



unl

Universidad
Nacional
de Loja



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“DISEÑO DE UN EMBALSE CON FINES DE RIEGO,
PARA UNA FINCA EN EL SECTOR YAMBANANGA,
DE LA PARROQUIA PURUNUMA, DEL CANTÓN
GONZANAMÁ, DE LA PROVINCIA DE LOJA”**

*Tesis de Grado Previa a
la Obtención del Título de
Ingeniera Agrícola.*

AUTOR:

Wilfrido Manuel Alvarez Lino

DIRECTOR:

Ing. Aníbal Eduardo González González, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2022

CERTIFICACIÓN DE TESIS

Loja, 26 de marzo del 2021

Ing. Aníbal Eduardo González González Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración de tesis de grado titulado: “**Diseño de un Embalse con fines de riego, para una finca en el sector Yambananga, de la parroquia Purunuma, del Cantón Gonzanamá, de la provincia de Loja**”, de autoría del estudiante Wilfrido Manuel Alvarez Lino, previa a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
**ANIBAL EDUARDO
GONZALEZ GONZALEZ**

Ing. Aníbal Eduardo González González Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **Wilfrido Manuel Alvarez Lino**, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.



Firmado electrónicamente por:

**WILFRIDO
MANUEL
ALVAREZ LINO**

Firma:

Cédula de identidad: 1105241721

Fecha: 7 de febrero de 2022

Correo electrónico. wmalvarezl@unl.edu.ec

Celular: 0959202992

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA DE PRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE TEXTO COMPLETO

Yo, Wilfrido Manuel Alvarez Lino declaro ser el autor de la tesis titulada **“Diseño de un Embalse con fines de riego, para una finca en el sector Yambananga, de la parroquia Purunuma, del Cantón Gonzanamá, de la provincia de Loja”**, como requisito para optar al grado de Ingeniería 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 de la siguiente manera en el repositorio digital institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en RI, 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 de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los siete días de febrero del dos mil veintidós.



Firmado electrónicamente por:
**WILFRIDO
MANUEL
ALVAREZ LINO**

Firma:

Autor: Wilfrido Manuel Alvarez Lino

Cédula: 1105241721

Dirección: Cbo. W. Analuisa y Sldo. Héctor Pilco. Correo electrónico: wmalvarezl@unl.edu.ec

Teléfono:

Celular: 0959202992

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Aníbal González González Mg. Sc.

Tribunal de grado:

Ing. Omar Augusto Ojeda Ochoa Mg. Sc (Presidente)

Ing. María Narcisa Chamba Ontaneda Mg. Sc (Vocal)

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado Mg. Sc (Vocal)

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen Santísima por ser los guías en mí camino, por brindarme sabiduría y fortaleza, para lograr resolver los problemas y dificultades que se me han presentado a lo largo de mi vida.

A mis padres Wilfrido y Yanaira por su apoyo incondicional, los consejos y valores inculcados en mí, que hoy me han permitido lograr los objetivos propuestos.

A mis hermanos María Fernanda, Segundo, Brayan, Mishel y María José, por ser mis aliados de la vida brindándome su apoyo condicional, cariño y motivación.

A mis abuelitos Manuel Y Fidelina por su apoyo incondicional, que me han inculcado sus valores, a mis tíos, primos, amigos y familiares que han compartido conmigo durante este proceso, ayudándome a encontrar el buen sentido a la vida.

Wilfrido Manuel Alvarez Lino

AGRADECIMIENTO

Al finalizar esta etapa de mi vida, le agradezco infinitamente a Dios y a la Virgen santísima, por ser mi guía de todos los días, por darme fortaleza para no desfallecer ante los problemas del diario vivir. También agradezco de manera cordial a todas y cada una de las personas que hicieron posible alcanzar este logro.

De manera especial expreso mi gratitud a la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y a la planta docente de la Carrera de Ingeniería Agrícola por sus conocimientos y experiencias brindadas durante los años de mi formación universitaria. Especialmente agradezco al director de tesis el Ing. Aníbal González por su acertada dirección, planificación y supervisión en la elaboración de este proyecto, finalmente agradezco a los docentes miembros del tribunal de grado quienes desinteresadamente brindaron sus valiosos criterios para finalizar con este trabajo.

Wilfrido Manuel Alvarez Lino

ÍNDICE

Hojas preliminares

Carátula.....	i
Certificación de tesis.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Esquema de tesis.....	vii

Cuerpo de la Tesis

1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Revisión de Literatura.....	8
4.1. Gestión Integral del Agua.....	8
4.2. Hidrología.....	8
4.2.1. Ciclo Hidrológico.....	8
4.3. Cuenca.....	9
4.4. Balance Hidrológico.....	9
4.5. Estructuras en Captación de Pequeñas Quebradas.....	10
4.5.1. Tomas Libres.....	10
4.5.2. Obras Auxiliares de Tomas Superficiales en Pequeñas Quebradas.....	11
4.5.2.1. Tomas Libres Mejoradas.:.....	12
4.5.2.2. Desarenador.....	13
4.5.3. Captación de Pequeñas Quebradas Mediante Caños Filtrantes.....	14
4.5.4. Obra de Toma con Rejilla de Fondo.....	14
4.6. Embalses.....	15
4.6.1. Elementos de una Presa o Embalse.....	15
4.6.1.1. Clasificación de las Presas.....	16
4.7. Localización y Capacidad de Pequeños Embalses.....	18
4.8. Estudio Hidrológico de la Cuenca.....	18

4.8.1.	Fases de un Estudio Hidrológico	18
4.8.2.	Aspectos de los Diseños Hidráulicos de una presa	19
4.9.	Planeación de los Recursos Hídricos.....	20
4.10.	Impacto Ambiental de Proyectos de Aprovechamiento de Recursos Hídricos.....	20
4.11.	Cosecha de Aguas Lluvias.....	21
4.12.	Requerimiento Hídrico de los Cultivos	22
4.12.1.	Evapotranspiración del cultivo de referencia.....	22
4.12.2.	Precipitación Efectiva	22
4.12.3.	Datos del cultivo	23
4.12.3.1.	Patrón de cultivos.....	23
4.12.3.2.	Coeficiente del cultivo (Kc).....	24
5.	Materiales y Métodos	25
5.1.	Ubicación.....	25
5.2.	Materiales	26
5.3.	Metodología.....	26
5.3.1.	Metodología para el cumplimiento del Primer Objetivo	26
5.3.1.1.	Análisis de la Disponibilidad de Agua en la Cuenca de Captación.....	26
5.3.1.2.	Estudio morfométrico.....	26
5.3.1.3.	Precipitación Media sobre la Cuenca de Aporte de Agua.....	30
5.3.1.3.1.	Recopilación de Información Meteorológica.	30
5.3.1.3.2.	Estimación de los Datos Faltantes.....	30
5.3.1.3.3.	Precipitación Media de la Microcuenca.	30
5.3.1.3.4.	Estimación de los Caudales Medios Mensuales.....	30
5.3.1.3.5.	Determinación de la curva de duración general.....	32
5.3.1.3.6.	Determinación de la curva de variación estacional.....	33
5.3.1.3.7.	Determinación del Índice de Retención y Regulación Hidria (IRH).	33
5.3.2.3.	Análisis de la Demanda de Agua de los Cultivos.:.....	33
5.3.2.3.1.	Patrón de Cultivos.....	33
5.3.2.3.2.	Coeficiente Kc de Cultivo.	33
5.3.2.3.3.	Evapotranspiración de Referencia (Eto).;	34
5.3.2.3.4.	Evapotranspiración de Cultivo (Etc).....	34
5.3.2.3.5.	Precipitación Efectiva.....	34
5.3.2.3.6.	Necesidad de Riego de los Cultivos..	34
5.3.2.3.7.	Índice de Escasez de Agua (IEA).	35
5.3.3.	Metodología para el cumplimiento del Segundo Objetivo	35

5.3.3.3.	Método de Algoritmo de la Sucesión de Picos.....	35
5.3.3.4.	Método de la Curva de Masa Inversa.	36
5.3.3.5.	Volumen del Embalse.....	36
5.3.3.6.	Volumen Total del Embalse.....	37
6.	Resultados	38
6.3.	Análisis de la Oferta y Demanda de Agua en la Microcuenca de Captación, así como Demanda de Agua en Área de Cultivo.....	38
6.3.2.	Disponibilidad de Agua en la Microcuenca de Captación.....	38
6.3.2.3.	Punto de Interés.....	38
6.3.2.4.	Características Morfométricas de la Cuenca.	38
6.3.2.4.1.	Área y Perímetro de la Microcuenca.....	38
6.3.2.4.2.	Parámetros de Forma de la Microcuenca.	39
6.3.2.5.	Análisis de la Oferta de Agua de la Microcuenca de Aporte.	43
6.3.2.5.1.	Recopilación de Información Meteorológica.	43
6.3.2.5.2.	Estimación y Relleno de Datos Faltantes de Precipitación.	44
6.3.2.5.3.	Determinación de la Precipitación Media de la Microcuenca Yambananga.....	45
6.3.2.5.4.	Caudales Medios Mensuales.....	49
6.3.2.5.5.	Curva de Duración General.....	55
6.3.2.5.6.	Curvas de Variación Estacional.....	55
6.3.2.5.7.	Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).....	56
6.3.2.6.	Análisis de la Demanda de Agua de los Cultivos.....	56
6.3.2.6.1.	Patrón de Cultivos de la Zona de Riego.	57
6.3.2.6.2.	Coeficiente de Cultivo (Kc).	59
6.3.2.6.3.	Evapotranspiración de Referencia (ET _o) en la Zona de Riego.	59
6.3.2.6.4.	Evapotranspiración de Cultivo (ET _c).	60
6.3.2.6.5.	Precipitación Efectiva en la Zona de Riego.	61
6.3.2.6.6.	Necesidades Netas de Riego (NR _n).....	61
6.3.2.6.7.	Índice de Escasez de Agua (IEA).	63
6.4.	Cálculo del Volumen del Embalse, que Permita Almacenar Agua para Cubrir la Demanda Hídrica de los Cultivos.....	63
6.4.2.	Método de Algoritmo de Sucesión de Picos o Pico Secuente	64
6.4.3.	Método de la Curva de Masa a la Inversa	65
6.4.4.	Volumen del Embalse.....	66
6.4.4.3.	Precipitación del Embalse.	66

6.4.4.4. Evaporación del Embalse.....	66
6.4.4.5. Cálculo del Volumen del Embalse.	66
7. Discusión.....	70
8. Conclusiones.....	73
9. Recomendaciones.....	74
10. Bibliografía.....	75
11. Anexos.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Captación a través de bocatoma libre.	11
Figura 2: Bocatoma con compuerta de cierre.....	12
Figura 3: Partes del desarenador	13
Figura 4: Captación de pequeñas quebradas mediante caños filtrantes	14
Figura 5: Sistema de obra de toma con rejilla de fondo.....	15
Figura 6. Mapa de Ubicación del Proyecto.....	28
Figura 7. Mapa Base de la Microcuenca Yambananga	40
Figura 8. Gráfica de elevación media a través del método de las intersecciones.	41
Figura 9. Curva hipsométrica de la microcuenca.....	41
Figura 10. Mapa de red hídrica de la microcuenca Yambananga.....	42
Figura 11. Perfil del cauce principal de la Quebrada Yambananga.	43
Figura 12. Mapa de las estaciones Meteorológicas cercanas a la zona de estudio.	44
Figura 13. Distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca Yambananga en mm.....	47
Figura 14. Distribución mensual de la precipitación.	49
Figura 15. Escurrimiento mensual de la Microcuenca Yambananga.	50
Figura 16. Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca para determinar el Ce.	51
Figura 17. Mapa de pendiente de la microcuenca para determinar el Ce.....	52
Figura 18. Mapa de clases texturales de la microcuenca para determinar el Ce.	53
Figura 19. Curva de duración general de la quebrada Yambananga.....	55
Figura 20. Curva de variación estacional de la quebrada Yambananga.....	56
Figura 21. Mapa de patrón de cultivos de la zona de riego.	57
Figura 22. Volumen mensual en el embalse (m)	68
Figura 23. Representación del vaso del embalse.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales datos de la quebrada Yambanaga	39
Tabla 2. Precipitación media mensual en las estaciones circundantes a la microcuenca.....	45
Tabla 3. Precipitación de la microcuenca Yambananga en mm y factor de correlación con la estación base.....	45
Tabla 4. Precipitación media de la microcuenca Yambananga	48
Tabla 5. Escurrimiento medio mensual de la microcuenca por el método de coeficiente de	

escorrentia en l/s.....	54
Tabla 6. Caudales medio probables de la microcuenca Yambanaga en l/s.....	55
Tabla 7. Patrón de cultivos para la zona de riego.....	58
Tabla 8. Cultivos de la zona de riego	58
Tabla 9. Valores de Kc para los cultivos de la zona de riego.....	59
Tabla 10. Evapotranspiración del cultivo de referencia en la zona de riego	60
Tabla 11. Evapotranspiracion de los cultivos en la zona de riego en mm/mes	60
Tabla 12. Precipitación efectiva en la zona de riego en mm/mes	61
Tabla 13. Necesidades netas de riego de los cultivos en mm/mes/ha.....	61
Tabla 14. Necesidades de riego brutas de los cultivos en m ³	62
Tabla 15. Método de algoritmo de sucesión de picos o método del pico secuente.....	64
Tabla 16. Método de la curva de la masa a la inversa.....	65
Tabla 17. Precipitación sobre el área mojada del embalse en mm/mes	66
Tabla 18. Evaporación del embalse en mm/mes.....	66
Tabla 19. Cálculo del volumen total del embalse en m ³	67
Tabla 20 Volumen del embalse y altura del muro	69

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de cuencas por su tamaño.	81
Anexo 2. Rangos de los coeficientes de forma de una Cuenca.....	81
Anexo 3. Clasificación y descripción de la curva hipsométrica.	82
Anexo 4. Valores y rangos de densidad de drenaje	82
Anexo 5. Clasificación de la pendiente del cauce principal.....	82
Anexo 6. Valores para determinar el factor C del para el método de coeficiente de escorrentía.	83
Anexo 7. Valores para determinar el factor C del para el método racional.	83
Anexo 8. Valores para determinar el factor N del para el método de Numero de Curva.....	84
Anexo 9. Valores m, n y k del para desarrollar el método del polinomio ecológico.....	85
Anexo 10. Valores k del para desarrollar el método de criterio de coeficiente de escorrentía. ..	86
Anexo11. Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH).....	87
Anexo 12. Categorías del indicé de aridez (Ia).....	87
Anexo 13. Categorías del indicé de escasez de agua (IEA).....	88
Anexo 14. Distribución de agua en el embalse.....	88
Anexo 15. Base de datos de precipitación de las estaciones Malacatos, Gonzanamá, Nambacola y Catamayo.....	89
Anexo 16. Curva generalizada del coeficiente de cultivo.....	92
Anexo 17. Curva de Kc de los cultivos de la zona de riego.	93
Anexo 18. Base de datos de las estaciones Quinara, Gonzanamá y La Argelia, para determinar la evapotranspiración de referencia.	94
Anexo 19. Evapotranspiración de referencia para las estaciones de Quinara, Gonzanamá y La Argelia en el software CROPWAT.....	95
Anexo 20. Curva de regresión lineal para la obtención de la evapotranspiración de referencia en la zona de riego.	96
Anexo 22. Mapa topográfico del sitio del embalse y ubicación respecto a la microcuenca Yambananga.	99
Anexo 23. Mapa del proyecto.....	100
Anexo 24. Registro fotográfico de salidas de campo.....	101

**“DISEÑO DE UN EMBALSE CON FINES DE RIEGO, PARA UNA FINCA EN EL SECTOR
YAMBANANGA, DE LA PARROQUIA PURUNUMA, DEL CANTÓN GONZANAMÁ, DE LA
PROVINCIA DE LOJA”**

2. Resumen

La disponibilidad del agua, con frecuencia es el factor más limitante para la producción agrícola, por ser requerida en grandes cantidades para el desarrollo correcto de los cultivos, de la misma forma, las reservas de los recursos hídricos en las microcuencas son limitados, esto a causa del constante deterioró debido a la sobreexplotación de los recursos naturales, así mismo el calentamiento global ha originado que la demanda de agua de los cultivos aumente de forma notable. El trabajo de investigación se desarrolló de septiembre de 2019 a febrero de 2021, en la microcuenca de la quebrada Yambananga, en la Parroquia Purunuma; para determinar la precipitación se seleccionaron las estaciones metereológicas circundantes a la zona de estudio (Gonzanamá, Catamayo, Nambacola y Malacatos), en base a los datos pluviométricos se procedió a determinar el escurrimiento en la quebrada a través del método de coeficiente de escorrentía, la ETo se determinó con el método de Penman Montheith, utilizando el software Cropwat 8.0; para el cálculo del volumen útil del embalse de utilizaron dos métodos (método del algoritmo de sucesión de picos y método de curva masa a la inversa). Los resultados muestran que el sector esta diferenciado por dos periodos; el primero con alta disponibilidad de agua producto de las precipitaciones y un segundo de escasez de agua, la demanda de agua en los cultivos aumenta en los últimos meses del año coincidiendo con el periodo de escasez de agua. Se concluye que se debe almacenar agua durante los meses de precipitación, para posteriormente regar los cultivos durante la escasez de agua. Se recomienda realizar estudios de almacenamiento y aprovechamiento del recurso hídrico, que permitan cultivar durante más tiempo garantizando la producción agrícola del sector.

Palabras claves: recursos hídricos, precipitación, demanda de agua, ETo.

2.1 Abstract

The availability of water is often the most limiting factor for agricultural production, as it is required in large quantities for the proper development of crops, in the same way, the reserves of water resources in the microbasins are limited, this because of the constant deterioration due to overexploitation of natural resources, as well as global warming has caused the water demand of crops to increase significantly. The research work was developed from September 2019 to February 2021, in the micro-watershed of the Yambananga stream, in the Purunuma parish; to determine precipitation, the meteorological stations surrounding the study area (Gonzanamá, Catamayo, Nambacola and Malacatos) were selected; based on the pluviometric data, the runoff in the stream was determined using the runoff coefficient method; ETo was determined with the Penman Montheith method, using the Cropwat 8. 0; two methods were used to calculate the useful volume of the reservoir (peak succession algorithm method and inverse mass curve method). The results show that the sector is differentiated by two periods; the first one with high water availability due to rainfall and the second one with water scarcity; water demand for crops increases in the last months of the year coinciding with the period of water scarcity. It is concluded that water should be stored during the months of precipitation in order to irrigate crops during the water shortage. It is recommended to carry out studies on the storage and use of water resources, which will allow crops to be grown for a longer period of time, guaranteeing agricultural production in the sector.

Keywords: water resources, precipitation, water demand, ETo.

3. Introducción

A nivel mundial, el 70 % del uso de agua se destina a la agricultura, 20 % a la industria y 10 % a uso doméstico. La escasez de agua en una región reduce la producción agrícola, la disponibilidad de alimentos y agudiza el aumento de la pobreza (El Telégrafo, 2014). Siendo la agricultura es el sistema de producción que mayor demanda de agua tiene a nivel global (Roldán et al., 2009). Se estima que sólo el 20% de las tierras agrícolas del mundo se encuentran bajo riego, las cuales proporcionan el 40% de la producción agrícola mundial (Ambast et al., 2002). La disponibilidad de agua cumple un papel impórtate en la producción agrícola a nivel mundial, existen extensas áreas agrícolas donde las precipitaciones no son suficientes para satisfacer la demanda de agua en los cultivos, así también, las fuentes pequeñas de agua utilizadas con fines agrícolas se han utilizado a su máximo potencial (La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2014). De esta manera las sequias afectan el desarrollo y aprovechamiento del agua y se consideran como unos de los fenómenos naturales generadores de desastres, causando daños materiales y cobrando vidas en muchas partes del mundo (Suaréz, 2013). Desde el punto de vista social la sequía se considera uno de los mayores desastres, que puede traer como consecuencia pobreza y hambre (Alexakis & Tsakaris, 2010).

Factores como el calentamiento global, la escasez de agua durante ciertos periodos, la reducción de la precipitación, el aumento de la evapotranspiración, ocasionan que las lluvias no logren cubrir con las necesidades hídricas de los cultivos, por lo tanto, es de prioridad fundamental dar un manejo adecuado a los recursos hídricos, por lo cual se plantea almacenar el agua de escorrentía durante la temporada de lluvia para su uso posterior con fines agrícolas (FAO, 2013). Además, la FAO, con la finalidad solucionar tal problema se plantean como objetivo principal, impulsar una agricultura sostenible y resiliente al cambio climático (FAO, 2019).

El Ecuador es uno de los países con mayores reservas de agua en América del Sur, (López, 2012). Donde solo 21,38 % del área cultiva está equipada para riego (Pilataxi, 2018). En él país los periodos secos más frecuentes se desarrollan en las provincias de Manabí, El Oro, Loja y Azuay. Algunos periodos que se presentan sequias extensas y severas (Zevallos, 2004). Este evento provoca la disminución del agua durante largos periodos y en grandes extensiones, afectando a actividades que dependen del uso del recurso hídrico como son; agricultura, vegetación, pérdida de la humedad del suelo. Según González (2005), a estos factores también se evidencia la reducción de los volúmenes de agua en sus respectivas vertientes, tanto subterráneas y superficiales. Además, Luna (2017), señala que existe una fuerte presión sobre los suelos agrícolas para producir alimentos, para la población en crecimiento del Ecuador, la cual el Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2012), estima una población de 19.8

millones de habitantes en el año 2020, lo cual hace que el empleo eficiente del agua de riego tome mayor importancia, particularmente en las zonas áridas y semiáridas, donde existe el mayor potencial para aumentar la productividad de alimentos. En el Ecuador y el resto del mundo, con el aumento de la población también aumenta la demanda de alimentos, con lo que cada vez es mayor la cantidad de agua para producirlos, lo cual ha provocado el deterioro de las cuencas hidrográficas (Ordoñez, 2015), siendo necesario organizar su explotación y conservación garantizando su disponibilidad de los recursos hídricos para las futuras generaciones (Cuenca, 2015).

En la provincia de Loja, existe un déficit hídrico, causado por la mala distribución de lluvias durante ciertos periodos, presentándose en la mayor parte del año, provocando un notorio descenso de los niveles de agua en las vertientes y ríos, siendo estas las principales fuentes de acceso para su consumo humano, animal y el riego de los cultivos (Cruz Roja Ecuatoria, 2013). Las sequias afectan principalmente a los cantones ubicados en la zona occidental, de donde las cuales son causantes que se pierdan el 47 % de las áreas cultivadas (Gobierno Provincial de Loja, 2015). La mayoría de los sistemas de riego más importantes de la provincia tienen una operación aproximada de mayor de 25 años, de los cuales su infraestructura ya ha cumplido con su vida útil, además de esto sus microcuencas se encuentran en un proceso de deterioro acelerado, como consecuencia de: inadecuadas prácticas agropecuarias, tala y quema indiscriminada de los recursos forestales, el sobrepastoreo de superficies dedicadas a la explotación ganadera y sobreutilización del recurso suelo; lo que, favorece la escorrentía y genera mayor cantidad de sedimentos. Además, Chamba (2015), señala que en algunos sistemas de riego se sigue utilizando enormes cantidades de agua por hectárea y por año, con métodos de riego que están destruyendo los suelos debido a la topografía características de la zona, si bien todavía no existe escasez de agua, existe un desequilibrio entre la disponibilidad y la demanda del recurso.

La planificación de los recursos hídricos en la provincia de Loja se enfrenta a un escaso monitoreo de cuencas hidrográficas (Riego y Drenaje del Sur [RIDRENSUR], 2012). Lo cual provoca que los sistemas de riego no dispongan de información básica para la planificación de los recursos hídricos, especialmente información de los parámetros climatológicos como la precipitación, la evaporación, la evapotranspiración y temperatura, y complementando a ello los requerimientos hídricos de los cultivos, factores limitantes para la adecuada planificación del riego, (Nero, 2019).

La parroquia Purunuma, hidrográficamente está conformada por un limitado número de quebradas de escaso caudal. (Gobierno Autónomo Descentralizado de Gonzanamá [GAG

Gonzanamá], 2014). Así mismo la zona se caracteriza por presentar una mala distribución de la precipitación durante el año, dando lugar a meses donde se da la mayor presencia de lluvias y meses que se caracterizan por la usencia total de lluvias, esto provoca la escasez de agua para riego, condicionando a los agricultores a cultivar pocas extensiones y cultivos de ciclo corto (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD PURUNUMA [PDyOT Purunuma] 2015). RIDRENSUR (2012), señala que las zonas agro-productivas requieren de la implementación de infraestructura para riego, capacitación y recursos económicos que permitan potenciar producción y la competitividad agropecuaria. El agua es el recurso más importante para el desarrollo, sin embargo, es el recuso en el que el hombre posee un bajo control en cuanto a su disponibilidad. Por lo cual, se deben plantear propuestas con fin mejorar la infraestructura para el almacenamiento del agua de escorrentía producida durante los meses lluviosos y aprovecharla para implementar zonas agrícolas épocas de estiaje. Según Montes (2004), cosechar agua de lluvia ha sido una actividad milenaria, practicada por muchas culturas en regiones húmedas y áridas.

En el presente proyecto, conociendo los problemas tanto de escasez y disponibilidad de agua se plantea conocer el potencial generador de agua de la microcuenca Yambananga. La planeación de los recursos hídricos se realizó con la ayuda del software ArcGIS, recopilando información meteorológica de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), e información obtenida en la Dirección de Riego y Drenaje del Consejo Provincial de Loja. La oferta del mensual de agua de la quebrada Yambananga se realizaron utilizando métodos semi-empíricos, de la misma manera para determinar los requerimientos hídricos de los cultivos se planteó el patrón de los cultivos, la evapotranspiración se determinó utilizando la metodología del libro de la FAO número 56, así mismo se hizo uso del software Cropwat 8.0. Finalmente, para determinar el volumen del embalse de debe obtener el volumen útil, para lo cual Vivanco (2017), el Método de algoritmo de sucesión de picos o método del pico secuente y Método de la curva de masa a la inversa.

De la misma manera el proyecto, contribuye a alcanzar las metas propuesta en el objetivo seis “Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el desarrollo rural integral”, planteado en la planificación del Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida. A través de los resultados de la investigación, se puede realizar una mejor planeación de los recursos hídricos del sector, que permitan potencializar la producción agrícola, aumentando los ingresos económicos de los agricultores mejorando su calidad de vida. A si mismo esta investigación servirá de base para replicarse en otras microcuencas ubicadas en esta parte de la provincia.

Para el desarrollo del presente estudio se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo General

- Contribuir al manejo eficiente del agua a través del diseño de un embalse con fines de riego en el sector de Yambananga.

Objetivos Específicos

- Realizar el análisis de la oferta y demanda del agua en la cuenca de captación, así como la demanda de agua en el área de cultivos.
- Diseñar el embalse, que permita garantizar la provisión de la demanda de agua de los cultivos.

4. Revisión de Literatura

A continuación, se detallan los fundamentos teóricos que se utilizaron en el desarrollo de la presente investigación, lo cual tiene que ver con gestión integral de recursos hídricos, análisis de oferta y demanda del agua, así como conceptos de embalse y metodología para su diseño.

4.1. Gestión Integral del Agua

La Gestión Integrada de recursos Hídricos, tiene un enfoque integral que abarca los ecosistemas, la sociedad y la economía, además es multisectorial ya que está diseñada para reemplazar el enfoque tradicional y fragmentado de la gestión del agua es decir hace énfasis a la sectorialidad del agua; en varias regiones del mundo el recurso hídrico sigue siendo sectorial (agua para consumo humano, agua para riego, agua para generar hidroelectricidad) por lo que se requiere de una coordinación con todos los actores y responsables de las cuencas hidrográficas (Global Water Partnership [GWP], 2013).

Según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (2014) los gestores, tanto gubernamentales como del sector privado, han de tomar decisiones complicadas sobre la asignación del agua. Con mayor frecuencia, éstos se enfrentan a una oferta que disminuye frente a una demanda creciente. Factores como los cambios demográficos y climáticos también incrementan la presión sobre los recursos hídricos.

Es así, que en la actualidad se evidencia que cada sector saca el mayor provecho del recurso, sin considerar su sostenibilidad de forma integral; esta manera de gestión, enfatiza la descoordinación y fraccionamiento en el uso del agua, tendiendo no solo a la sobreexplotación del recurso, sino causando una disminución considerable de los volúmenes de agua para todos los aprovechamientos, y al aumento en la contaminación de las fuentes de agua (GWP, 2013).

4.2. Hidrología

La hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos (Aparicio, 1992).

4.2.1. Ciclo Hidrológico.

El ciclo hidrológico es fundamental para entender los procesos que se suceden en la tierra. Requiere conocimientos multidisciplinarios. No existe un punto de partida en el ciclo del agua en la tierra, pero lo que sí está claro es que se basa en todos los estados del agua, gas, líquido y sólido. Todos los estados se presentan en la naturaleza y todas ellas son importantes de cara a los recursos humanos. Lo más importante es tener en cuenta la interrelación del hombre con la naturaleza y su influencia en el ciclo del agua (Bateman, 2007).

En forma gaseosa se encuentra en la atmósfera, en forma de nubes. Las nubes es la

forma visible cuando el gas está condensándose en pequeñas partículas estas comienzan a crecer por múltiples adhesiones aumentando de peso y caen en forma de lluvia, nieve o granizo. El agua en su caída puede volver a evaporarse, o ser interceptada por construcciones o la propia vegetación. Una vez en el suelo, agua líquida, lo humedece y en grandes cantidades llega a encharcarlo hasta que comienza a escurrir por la superficie del terreno. También dependiendo de la humedad del aire, la presión atmosférica, la temperatura, parte del agua puede evaporarse regresar a la atmósfera (Bateman, 2007).

Por un lado, el agua se infiltra en el terreno, haciendo varios recorridos que dependen de la composición del terreno. Si es permeable o impermeable. En terrenos permeables el agua tiende a escurrir casi vertical, por lo que más bien tiende a formar parte del acuífero. En cambio, cuando el terreno es más bien impermeable o bien roca fracturada o semifracturada el agua puede escurrir subsuperficialmente de manera transversal. Esta forma de fluir conduce al agua a acuíferos superficiales o bien a salir nuevamente del terreno (Bateman, 2007).

4.3. Cuenca

La cuenca es la unidad hidrológica superficial más utilizada. No coincide con las unidades hidrológicas subterráneas. Consiste en una porción de territorio que se puede aislar de forma que si esta fuese impermeable toda el agua que escurriría por ella drenaría por un mismo punto. Existen dos tipos de cuenca se pueden reconocer, endorreicas y exorreicas. Las cuencas endorreicas son aquella que terminan en un lago central y cuenca exorreicas aquellas cuencas que drenan fuera de la unidad hidrológica. Es un elemento que permite controlar las cantidades de agua para poder hacer una contabilidad de la misma (Bateman, 2007).

Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar (Jiménez, 2005).

4.4. Balance Hidrológico

El concepto de balance hídrico se deriva del concepto de balance en contabilidad, es decir, el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo en un intervalo de tiempo determinado. Para efecto del balance hídrico el estado inicial de toda la cuenca, puede definirse como la disponibilidad actual de agua en las varias posiciones que puede asumir (comprehensive assessment reporting evaluation [CARE], 2012).

La disponibilidad de recursos hídricos en una zona esta función del volumen anual promedio del agua que recibe, de la que vuelve a la atmósfera por transpiración y evaporación (en conjunto evapotranspiración) y también de la diferencia de disponibilidad hídrica en las épocas de lluvia y la seca o menos lluviosa. Cada una proporciona escenarios muy diferenciados

que merecen análisis por separado de los balances hidrológicos (Morejón et al., 2015).

Bosch and Hewlett (1982), estudiaron cuencas de un amplio rango de superficies, definiendo que, en la estimación de balances hídricos, la escala no constituye un problema importante, por lo que es posible emplear resultados de experiencias de manejo realizadas en cuencas de unas pocas hectáreas y extrapolarlos a otras de mayores dimensiones. En cambio, aspectos de las cuencas como el relieve, las características del suelo, la vegetación y la constitución geológica, tienen una marcada influencia en la capacidad de almacenamiento y en la generación de flujos de agua a la atmósfera y a las vías de drenaje.

4.5. Estructuras en Captación de Pequeñas Quebradas

Para la construcción de tomas en quebradas es importante discutir el comportamiento de éstas en diferentes épocas. Aquí adquiere un papel importante el conocimiento local: saber en qué sitios encontramos agua durante todo el año, en dónde se producen desmoronamientos y deslizamientos que pueden afectar nuestro sistema, si durante las crecidas se arrastra mucho material y cuál es su tamaño, hasta dónde llegan los máximos y mínimos niveles de agua. Contar con toda esta información nos permitirá poder trabajar sobre una infraestructura acorde con las condiciones locales. Para determinar la ubicación de este tipo de captaciones, uno de los factores que más incide es el de la pendiente. Si bien es característico que estos cursos de agua tengan pendientes fuertes, se debe construir en zonas con pendientes suaves (García et al., 2011).

4.5.1. Tomas Libres

Son una bifurcación artificial de la quebrada desde donde nace un canal lateral. Las encontramos mayoritariamente en los pequeños sistemas de riego campesinos, donde la derivación sobre todo se realiza por (García et al., 2011):

- Desvío directo desde la quebrada. En un punto situado en una de las márgenes se produce una desviación de una parte del caudal conducida mediante acequia.
- A partir de un “represamiento” confeccionado con ramas, tierra o piedras colocadas en el cauce. Por la acción de esta barrera, una parte o la totalidad del agua que escurre por la quebrada se desvía hacia un canal de conducción.

En este caso los componentes de la obra son dos: el represamiento o barrera y la obra de toma o “bocatoma”, esta última en general conformada por una acequia o canal. Este tipo de obra permite acomodarse fácilmente al movimiento que tienen las quebradas en sus cauces, tanto en el ancho como en la posición del fondo.

La barrera permite elevar el nivel de agua del cauce y hacer uniforme la velocidad de entrada del agua al sistema de captación o “bocatoma”. En el caso de estructuras temporarias, si bien deben reconstruirse con cada crecida, su confección es sencilla y los materiales siempre

están disponibles en la zona (tierra y ramas, piedras). En muchas ocasiones se confeccionan estructuras estables, construyendo pequeños represamientos de mampostería, gaviones, tablonés, etc. En estos casos hay que tener en cuenta que una estructura permanente puede traer cambios en el perfil natural de la quebrada, lo que podría generar procesos de erosión, de depósito o de socavamiento. El uso de bolsas rellenas de arena o tierra es una práctica intermedia que permite el paso de agua ante crecidas y que es fácil reinstalar con posterioridad (García et al., 2011).



Figura 1: Captación a través de bocatoma libre.
Fuente: CIPAE

Respecto a los condicionantes para su ubicación, lo ideal es que se las localice en tramos firmes y encajonados donde la pendiente del cauce no acumule sedimentos. Otra consideración para tener en cuenta es poder ubicarlas en tramos rectos, donde se observe que la quebrada no causa erosión ni sedimentación a fin de evitar problemas posteriores en la operación y mantenimiento del sistema, (García et al., 2011).

4.5.2. Obras Auxiliares de Tomas Superficiales en Pequeñas Quebradas

Las obras o componentes auxiliares son estructuras que se construyen para poder mejorar el funcionamiento del sistema, mejorar la calidad del agua que se capta y evitar una necesidad excesiva de mantenimiento. Las que comúnmente se encuentran en los sistemas de abastecimiento de agua mediante tomas libres son dos: tomas libres mejoradas con el uso de compuertas; y desarenadores.

4.5.2.1. Tomas Libres Mejoradas. En captaciones desde pequeñas quebradas, estas tomas son una versión mejorada de las tomas libres donde se incorporan estructuras de regulación, pero básicamente el funcionamiento es el mismo. La estructura consiste en una entrada sobre un margen de la quebrada, que puede estar hecha de hormigón, hormigón armado o mampostería, y desde allí el agua pasa al canal de conducción. De acuerdo a (García et al., 2011) una toma libre mejorada está compuesta por:



Figura 2: Bocatoma con compuerta de cierre
Fuente: CIPAE

- **Barrera o pequeño azud:** No necesariamente se construye en todos los casos, ya que, según las condiciones de la quebrada, el desvío del agua puede ser directo. Esta estructura permite elevar el nivel del agua a derivar y hacer uniforme la velocidad, para facilitar la entrada a un canal lateral.
- **Bocatoma o captación lateral:** Es la toma propiamente dicha, desde donde el agua pasa hacia el canal. Los laterales pueden hacerse con estructuras de protección mediante mampostería. En algunos casos se puede instalar una compuerta sobre la bocatoma que permita el cierre del sistema. Este sistema funcionará como un simple vertedero rectangular y el caudal de ingreso se calculará con la ecuación (1):

$$Q = C * L * H^{3/2} \quad (1)$$

Donde Q es el caudal en m³/s, C el coeficiente de ingreso (1,84), L el ancho del vertedero en m y H la altura o tirante en m.

- **Canal de desvío o canal principal:** Aquí es donde se inicia el sistema de conducción, y su función es el transporte del agua que fue desviada a partir de la bocatoma a los sitios de uso u obras auxiliares como, por ejemplo, un desarenador, compuerta de descarga, una represa o pequeño embalse.

- **Compuerta y canal de descarga:** Cumple con la función de devolver el agua al cauce original cuando es necesario, por ejemplo, ante situaciones de emergencia, crecidas o arreglos en el sistema.

4.5.2.2. Desarenador. Esta estructura tiene como principal objetivo reducir la cantidad de materiales sólidos de distintos tamaños (arenas, gravas, etc.) que trae el agua desde la toma, para evitar o disminuir la acumulación de sedimentos en las obras de conducción y almacenamiento. Los materiales que son transportados por el agua son más visibles en temporada de precipitaciones, cuando las quebradas aumentan mucho su caudal y el transporte de sólidos, debido a lluvias torrenciales en zonas de altas pendientes y de poca cobertura vegetal (García et al.,2011). Los componentes de esta obra son:

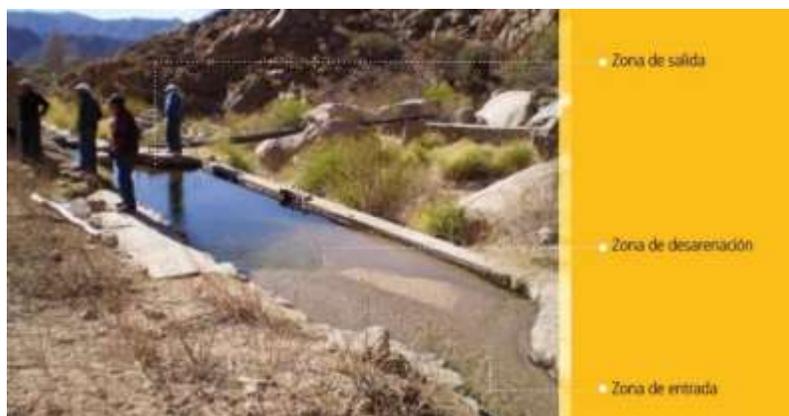


Figura 3: Partes del desarenador
Fuente: CIPAE

- **Zona de entrada o transición:** Tiene la función conseguir una distribución uniforme del agua cuando entra al desarenador, la velocidad disminuye, evitando la formación de turbulencias. Para lograr lo anterior, es conveniente que antes que el agua entre a la cámara de sedimentación exista una transición desde la unión del canal, que en forma progresiva se vaya ensanchando hasta el ancho de dicha cámara (García et al.,2011).
- **Zona o cámara de desarenación:** El agua que proviene desde la toma conducida por un tramo de canal llega a la cámara de desarenación. Por el aumento de la sección se genera una disminución de la velocidad del agua, a un punto tal que las partículas que son arrastradas se van depositando en el fondo (García et al.,2011).
- **Zona de salida o vertedero:** Es un vertedero desde donde el agua sale con un menor contenido de partículas hacia la conducción, y que toma finalmente las dimensiones del canal. Cuando la profundidad del desarenador es mayor que la del canal de salida, se le construye un escalón hasta el nivel de la conducción (García et al.,2011).

4.5.3. Captación de Pequeñas Quebradas Mediante Caños Filtrantes

Una de las alternativas que permiten captar el agua de pequeñas quebradas, con una estructura similar a la de captaciones de vegas o ciénegos, es la instalación de caños ranurados y muro de represamiento.

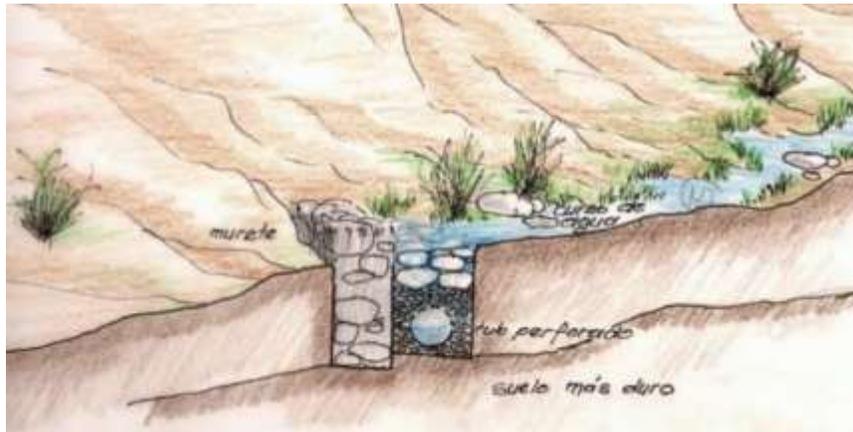


Figura 4: Captación de pequeñas quebradas mediante caños filtrantes
Fuente: CIPAE

En estos casos se hace una excavación y limpieza del sitio, tratando de asegurar que el caño filtrante quede por debajo del flujo de agua y con la suficiente seguridad para que no se produzcan roturas durante las crecidas. Este caño captará principalmente el flujo de agua superficial. La profundidad a la que se lo instala depende del tipo de material subyacente, de ser posible fundado sobre el lecho rocoso. El muro se coloca en forma transversal a la quebrada, de manera tal que permita represar el agua para que se introduzca en el caño (García et al.,2011).

En general este pequeño muro se funda en la roca firme y se levanta unos centímetros por arriba de la superficie natural de la quebrada. Además, se le da continuidad sobre los márgenes del curso de agua, para evitar socavamientos en esos puntos. La altura del murete debe permitir el paso del agua en caso de crecidas. Se le debe generar un pequeño vertedero central que facilite la salida del agua (García et al.,2011).

4.5.4. Obra de Toma con Rejilla de Fondo

La captación se efectúa por medio de una rejilla colocada en el fondo del cauce, en forma transversal al curso de agua, disponiendo sus barrotes en la dirección de la corriente. La rejilla debe tener una fuerte pendiente, aguas abajo, de 10 a 45°, asegurándonos de que sea mayor que la del río. La rejilla se construye con un azud o murete de muy poca altura o prácticamente al nivel de la quebrada. Los barrotes deben tener un perfil apropiado de modo que las piedras no se atasquen entre ellos. La separación es variable, en general oscila entre los 2 a los 6 cm (García et al.,2011).



Figura 5: Sistema de obra de toma con rejilla de fondo
Fuente: CIPAE

Inmediatamente debajo de la rejilla se dispone un canal colector que recibe el agua y la conduce a una cámara decantadora o desarenador. Junto con el agua ingresa material sólido del tamaño de la distancia entre barrotes, por lo cual el diseño del canal debe asegurar que las piedras y arenas que han pasado la rejilla puedan ser evacuadas hacia el desarenador-desripiador. Esto se logra dándole al canal una pendiente de al menos 3%. La cámara desarenadora-desripiadora es imprescindible para este tipo de toma, para evitar que el material grueso ingrese al sistema de conducción. Esto requerirá un diseño más exhaustivo a fin de retener tanto el material grueso como los sólidos más finos en suspensión (García et al.,2011).

4.6. Embalses

En el campo de la ingeniería, se llama presa o represa a un muro que ha sido fabricado a base de piedra, de hormigón o de cualquier tipo de materiales sueltos, por lo general se construye sobre el cauce natural un río, un arroyo o un canal (ARQHYS, 2012). La construcción de presas tiene como objetivo elevar el nivel natural del lago y poder aumentar su capacidad de embalse dentro de sus posibilidades. Estas dependen de la cuenca del lago y de las precipitaciones de la zona (FEDACULTURA, 2018).

4.6.1. Elementos de una Presa o Embalse

Los embalses o presas son obras más comunes en el medio rural. El éxito de su proyecto y construcción depende en gran medida de su viabilidad, y para conocer esta se precisa el estudio de diferentes elementos que construyen el embalse (DAL-RE, 2003). Estos son:

- **Cuenca:** La cuenca hidrográfica es un área de captación natural del agua de precipitación de la lluvia que hace converger los escurrimientos hacia un único punto de salida (Agencia Nacional de Aguas, 2019). Es el principal elemento definitorio para el dimensionamiento del embalse, cantidad de aguas disponibles y avenida máxima de diseños. (DAL-RE, 2003),

recomienda la escala de trabajo de 1/25.000 o 1/50.000, con curvas de nivel cada 10 o 20 metros.

- **Vaso:** Es toda el área inundable, por debajo del máximo nivel de las aguas a contener por un embalse. Es aquí donde se almacena el volumen de agua producto del escurrimiento superficial en temporadas de lluvia para luego usarlos en épocas de sequías, por lo que debe comprender un estudio geológico, estudio geotécnico y la topografía, con escalas en el orden de 1/10.000 o 1/5.000 con curvas de nivel cada metro (DAL-RE, 2003) & (Santoyo, 2018).
- **Cerrada:** La cerrada es la zana topográficamente más estrecha de un valle del embalse, lugar exacto donde se construye el muro de la presa (ANDALUCIARUSTICA, 2013). La cerrada se ubica generalmente perpendicular al cauce principal, los planos topográficos del lugar deben estar en escalas 1/1.000 o 1/500 con curvas de nivel cada metro (DAL-RE, 2003).
- **Dique:** Un dique es un muro artificial o natural que impide que el agua abandone su curso. Su altura es la diferencia entre la cota del punto más bajo de cimentación y el punto más alto de la construcción resistente (DAL-RE, 2003), indica que este puede ser construido de diferentes materiales y debido a que en este elemento es directamente ejecutado por el hombre, es sobre el cual existe mayor control.

4.6.1.1. Clasificación de las Presas. De acuerdo al Reglamento Técnico Sobre Seguridad de Presas y Embalses, (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996) existen tres categorías para la clasificación de las presas.

a) En función de sus Dimensiones.

- **Grandes Presas:** Según el reglamento aún vigente “Instrucción para el proyecto, construcción y exploración de grandes presas”, se identifican como grandes presas las que tienen las siguientes características (Ministerio de Medio Ambiente de España, 1996); 1.- Tener una altura desde la superficie de coronación desde la superficie de cimentación superior a los 15 metros, y 2.- Tener una altura entre 10 y 15 metros, y contar con una capacidad de embalse superior a 100.000 metros cúbicos. Además, se clasifican como grandes presas, que no cumplen con las condiciones anteriores, pero cumplen con las siguientes características; longitud de la coronación superior a 500 metros, capacidad de embalse superior a 1.000.000 de metros cúbicos, capacidad de desagüe superior a 2.000 litros por segundo y toda presa que presenté dificultades especiales en su cimentación o con características que no sean habituales (DAL-RE, 2003).
- **Pequeñas Presas:** Se clasificarán como pequeñas presas cualquier presa que no cumpla con las características señaladas para la clasificación de las grandes presas en el Reglamento Técnico Sobre Seguridad de Presas y Embalses, (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y

Medio Ambiente, 1996)

b) En función de su riesgo potencial. El estudio del riesgo potencial a la rotura o funcionamiento incorrecto que representa el fallo de una presa, deben clasificarse de acuerdo al Reglamento Técnico Sobre Seguridad de Presas y Embalses, (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996).

- **Categoría A:** Todas las presas cuales el fallo de su funcionamiento pueda afectar considerablemente a núcleos urbanos, así como causar daños materiales o medioambientales considerables.
- **Categoría B:** Cuyas presas que al producirse su fallo por rotura o incorrecto funcionamiento puede provocar daños materiales o medioambientales severos y o afectar a un número reducido de viviendas.
- **Categoría C:** En esta categoría se incluyen todas las presas que no pertenecen a las categorías A y B. es decir presas cuyo fallo solo causan daños materiales maderables e incidentalmente la pérdida de vidas humanas.

c) En función de su tipología. También es posible clasificar una presa tomando en cuenta el tipo de material con el que está construido el cuerpo principal del dique, simultáneamente con el sistema de transacción y equilibrado de los esfuerzos.

- **Presas de materiales sueltos:** Las presas de materiales sueltos se caracterizan generalmente por ser construidas por materiales que existen en las proximidades de la obra, principalmente piedras, gravas, tierra y materiales impermeables tales como arcilla y limo, que permitan la cohesión de las partículas de los materiales que a manera de muro permitan la retención del agua de la presa (García, 2016).
- **Presas de Gravedad:** La presa de gravedad es todas aquellas construidas por un muro sencillo, el cual soporta el esfuerzo del empuje de agua, gracias al propio peso del material de construcción. Principalmente están construidas por hormigón que se compone de cemento, piedra, grava y arena. La particularidad de este material permite adoptar diferentes formas, por lo tanto, para lograr una mayor durabilidad y estabilidad de la obra se construyen perfiles pesados de forma trapezoidal, el cual el lado del embalse es casi vertical (Sparrow, 2009).
- **Presas de contrafuertes:** Las presas de contrafuerte en su mayoría se construyen donde los materiales de necesarios para la construcción de la obra son escasos. En este tipo de dique los contrafuertes soportan el empuje que el agua ejerce sobre la pantalla (ARQHYS, 2012). Las presas de contrafuertes pueden tomar varias formas desde curvas asta planas, principalmente se fabrican de fabrican de concreto reforzado con acero (Valdivia, 2014).
- **Presas de bóvedas y bóvedas múltiples:** Las presas de bóveda se caracterizan por ser

construidas en forma de arco, el cual transmite el esfuerzo en el fondo y en las laterales de apoyo del dique, por lo general este tipo de presa se construyen cuando la cuerda del arco es menor o igual a 3 veces la altura (Florez, 2018). Las presas de bóvedas múltiples, se construyen por una serie de contrafuertes paralelos de sección rectangular y unas bóvedas que se apoyan sobre ellos, en el cual las bóvedas reciben el empuje y lo transmitan hacia los contrafuertes (Villarino, 2015.)

4.7. Localización y Capacidad de Pequeños Embalses

El proyecto de construcción de una presa o embalse es necesario partir de estudios previos, lo cual permite conocer la viabilidad, desde los puntos de vista técnico, económico, social y medioambiental, por lo tanto, se deben considerar todo estudio que afecte a la presa de la forma más completa posible (DAL-RE, 2003).

4.8. Estudio Hidrológico de la Cuenca

La hidrología es una ciencia que se encarga del estudio físico, químico y mecánicas del agua continental y marítima, así mismo como la distribución y circulación en la superficie terrestre, corteza terrestre y atmosfera. Desde el punto de vista ingenieril la hidrología tiene como fin utilizar métodos que le permitan determinar caudales como elemento de diseño en obras que se vinculan con el uso y protección del agua, como es la construcción de obras hidráulicas tales como represas, canales, acueductos y drenaje fluvial, entre otros. Los principales parámetros a tomarse en cuenta en la determinación de la hidrología de una cuenca son, precipitación, escorrentía, infiltración, propiedades físicas y mecánicas de los suelos, evapotranspiración entre los principales (Mendoza, 2011).

La finalidad de realizar estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas, establece la disponibilidad de los recursos hídricos, por lo tanto, esto permite realizar la planificación del uso del agua ya sea para consumo humano, riego o generación hidroeléctrica. Por otro lado, se debe mencionar la dificultad de acceder al agua tanto en calidad como en cantidad, ante esta problemática es necesario realizar estudios hidrológicos que sirvan de gestión y optimización de este recurso (Arévalo & Fierro, 2012).

4.8.1. Fases de un Estudio Hidrológico

Según SUEZ (2019), asegura que generalmente todos los estudios hidrológicos constan de las siguientes fases:

- Limitar las zonas de afección del proyecto, mediante cartografía disponible, fotografía aérea u otras tecnologías de captación de datos utilizadas en la agricultura de precisión.
- Definir el cauce y las características físicas de una cuenca: la superficie, la pendiente, la forma, la longitud del cauce principal, los usos del suelo, los tipos de materiales, entre otros.

- Determinar los caudales hidráulicos, con el fin de obtener los perfiles transversales y aquellos puntos donde existe algún elemento especial.
- Comprobar, mediante el uso de software especializado, de la información obtenida.
- Confección de los planos del estudio hidrológico (ubicación, cuenca, perfil longitudinal con lámina de agua, perfil transversal con márgenes inundados y planta de llanura de inundación, entre otros factores).

En algunos casos, los estudios hidrológicos o hidráulicos incorporan la tramitación y el seguimiento con las confederaciones hidrográficas, el análisis de la calidad de las aguas, así como la revisión de métodos de precipitación y pluviometría, entre los más destacados.

4.8.2. Aspectos de los Diseños Hidráulicos de una presa

Para (Arango Tobón) los diseños hidráulicos en una presa de un embalse se deben considerar los siguientes aspectos:

- **Volumen útil de almacenamiento:** El volumen que el embalse está en capacidad de almacenar para suministrar a los usuarios del sistema. Se determina mediante la aplicación de modelos de simulación hidrológica, utilizando como variables las características físicas del embalse, los caudales naturales que entran al embalse, las lluvias directas sobre el área del embalse, las pérdidas por evapotranspiración, infiltración, y vertimientos, y el suministro de agua a los usuarios. Cuando el volumen útil es menor que el volumen requerido entonces el embalse no está en capacidad de suministrar la demanda durante todo el tiempo y se presentan fallas en el suministro con el consiguiente racionamiento (Córdova 2015).
- **Demanda:** Para Córdova (2015), los requerimientos hídricos de los cultivos en un sistema de riego, cuando el río o quebrada se considera como fuente de suministro puede entregar el caudal de demanda durante unos períodos, pero falla en otros, entonces se hacen estudios hidrológicos adicionales de la fuente para determinar si la construcción de un embalse resuelve el problema. Como resultado de estos estudios se obtiene el volumen de almacenamiento requerido que es el volumen que se debe almacenar para satisfacer las demandas existentes.
- **Volumen de Sedimentos:** Mediante estudios de hidráulica fluvial y de transporte de sedimentos se estiman los volúmenes y las características granulométricas de los sedimentos que llegan al embalse en un año típico. Dado que los sedimentos más gruesos se quedan primero que los finos, y que un porcentaje de estos últimos se deposita contra la presa, es necesario evaluar la forma que toma la masa de los sólidos que se sedimentan para definir el volumen que ocuparán año tras año durante la vida útil del embalse. Los diseños deben asegurar que hay suficiente espacio de almacenamiento de sedimentos para que durante los años de operación proyectados los sedimentos no obstaculicen el funcionamiento de las

estructuras de captación (Córdoba 2015).

- **Estructura de captación:** Las estructuras de captación son las obras de toma que están colocadas por encima del nivel de sedimentos y por debajo del nivel mínimo de operación del embalse. Pueden ser torres con o sin compuertas que se comunican con conductos cerrados que pasan a través de la presa y entregan el agua a los sistemas de distribución, o estructuras más sencillas controladas por compuertas o por válvulas (Córdoba 2015).
- **Vertimiento de excesos:** Los volúmenes de agua que llegan al embalse cuando el volumen de embalse útil está lleno son excesos que deben salir de la estructura en un tiempo corto. Para este efecto se diseñan las estructuras de vertimiento, las cuales deben tener capacidad para conducir los picos de las crecientes extraordinarias en forma segura hasta entregarlos aguas abajo de la presa. En presas de concreto es corriente construir el vertedero de excesos dentro del cuerpo de la presa, pero en presas de tierra y escollera, y en algunos casos particulares de estructuras de concreto resulta más conveniente diseñar y construir el vertedero de excesos como una estructura independiente (Córdoba 2015).

4.9. Planeación de los Recursos Hídricos

González (2001) menciona que la planificación es un proceso que busca soluciones a problemas y necesidades, a su vez fomenta acciones que satisfacen metas y objetivos. La planificación de cuencas hidrográficas proporciona alternativas ante la toma de decisiones para el uso de los recursos de agua y tierra de la cuenca.

La planificación de los recursos hidráulicos con fines de riego se ha convertido en un campo de investigación importante, ya que permite organizar y dirigir la gestión integrada del recurso hídrico. Estas estrategias debidamente documentadas constituyen un plan y son el resultado de un proceso de análisis, toma de decisiones y diseño de esas estrategias con sus respectivas actividades para alcanzar objetivos predeterminados por y para un grupo relativamente grande de actores que dependen y comparten un mismo recurso y territorio (Bravo y Moreno, 2007).

4.10. Impacto Ambiental de Proyectos de Aprovechamiento de Recursos Hídricos

La construcción de obras hidráulicas impone la alteración del conjunto de la cuenca hidrográfica en la que se asienta. Esto supone alteraciones de tipo ambiental que deben ser estudiadas y evaluadas desde el punto de vista técnico, ambiental y económico.

Para Sparrow (2007) el estudio de efecto ambiental está orientado a determinar y valorar la trascendencia de las modificaciones ocasionadas en el medio por la construcción de la obra hidráulica. Las preguntas básicas que plantea resolver en un estudio de impacto ambiental son:

¿Qué elementos constituyen el proyecto?

¿Qué elementos constituyen el ecosistema potencialmente afectado?

¿Cuál será el impacto de las obras sobre los elementos constitutivos del ecosistema?

¿Qué medidas tomar para minimizar o mitigar los efectos ambientales negativos?

4.11. Cosecha de Aguas Lluvias

Según Abengoa (2015) la cosecha de lluvia, es una forma sostenible para aprovechar una fuente natural que contribuye a reducir la cantidad de agua consumida de otras fuentes. Esta cosecha de agua se realiza de manera superficial en los embalses más próximos o subterránea.

El almacenamiento subterráneo es el más importante, ya que permite recargar los acuíferos evitando el agotamiento y permitiendo la utilización con diversos fines como agua potable, riego y usos industriales. Para retener el agua en las cuencas, existen diversos tipos de obras y prácticas de conservación de suelos como son: zanjas trincheras, terrazas a nivel, represas escalonadas, pozos de absorción y otras más que permiten almacenar agua de lluvia para su uso posterior.

Ventajas del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias (Reyes & Rubio, 2014):

- Alta calidad físico química del agua de lluvia en algunas zonas.
- Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas, o para aquellas zonas donde el suministro de agua no es constante ni confiable.
- Empleo de mano de obra y/o materiales locales, los cuales son de fácil consecución en nuestro medio.
- En muchos de los proyectos no requiere energía para la operación del sistema.
- Fácil de mantenimiento.
- Reducción en los costos de agua potable proveniente de la red pública.
- Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvias son sostenibles y amigables con el medio ambiente, puesto que conserva suelo y agua, no se contamina el medio ambiente y tiene una producción rentable, en especial en la actualidad, donde el recurso agua es cada vez más limitado y por ende costoso.

Desventajas del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias (Reyes & Rubio, 2014):

- Alto costo inicial que puede impedir su implementación por parte de los inversionistas de los proyectos.
- La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.
- En proyectos donde se ha utilizado para riego o lavado, e incluso para sanitarios y orinales, deben independizarse las redes de aquellas que conducen agua potable apta para consumo humano.

- En proyectos que tienen un área descubierta pequeña, puede no ser rentable, ya que los volúmenes de captación son menores con respecto a los volúmenes potencialmente aprovechables para su utilización.

4.12. Requerimiento Hídrico de los Cultivos

Los requerimientos hídricos de los cultivos, es la cantidad de agua que necesitan para satisfacer la tasa de evaporación y transpiración de los cultivos, de tal forma que permita el adecuado desarrollo de estos (González, 2012). Para determinar el requerimiento hídrico de los cultivos se deben analizar los siguientes aspectos:

4.12.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia

Se conoce como evapotranspiración a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Allen, 2006).

La evapotranspiración depende de las características de la cubierta vegetal y de la proporción de suelo desnudo, del clima, del tipo de cultivo y de la disponibilidad del agua en el suelo (González, 2012). La evapotranspiración no es simple de medir. Para determinarla experimentalmente se requieren aparatos específicos y mediciones precisas de varios parámetros físicos o el balance del agua del suelo en lisímetros. Los métodos experimentales de campo, son en general caros, exigiendo precisión en las mediciones, y pueden ser completamente realizados y analizados apropiadamente sólo por personal de investigación suficientemente preparado. A pesar de que estos procedimientos no son apropiados para mediciones de rutina, siguen siendo importantes para la evaluación de las estimaciones de evapotranspiración obtenidas con otros métodos indirectos (Allen, 2006).

Debido a la dificultad de obtener mediciones de campo precisas, ETo se calcula comúnmente con datos meteorológicos. Una gran cantidad de ecuaciones empíricas se han desarrollado para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia utilizando datos meteorológicos. Algunos de los métodos son solamente válidos para condiciones climáticas y agronómicas específicas y no se pueden aplicar bajo condiciones diferentes de las que fueron desarrolladas originalmente. Actualmente se recomienda el método FAO Penman-Monteith como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia, ETo (Allen, 2006).

4.12.2. Precipitación Efectiva

No toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que parte de esta se pierde por escorrentía superficial o percolación profunda. Existen varios métodos para su cálculo o se realiza a través de software, CROPWAT utiliza el método que elaboro la USDA S.C.S. 1992-

1997 “United States Department of Agriculture Soil Conservation Services”, el cual fue desarrollado para evaluar la precipitación efectiva de un suelo húmedo y de su clima. Para esto es necesario contar con datos de precipitación mensual de un año en específico (Sparrow 2009).

4.12.3. Datos del cultivo

Se requieren los valores de K_c (coeficiente de cultivo), etapas (días), profundidad radicular (m), agotamiento crítico (fracción), respuesta rendimiento y altura del cultivo (m). El coeficiente de cultivo (K_c) da a conocer cómo la planta extrae agua del suelo a medida que esta se va desarrollando, desde su siembra hasta su cosecha. El K_c está influenciado principalmente por el tipo de cultivo y en menor proporción por el clima y la evaporación del suelo (Sparrow 2009).

4.12.3.1. Patrón de cultivos. Las variedades y especies con más probabilidades de éxito son por supuesto, aquellas que ya se hayan probado en condiciones naturales similares del ambiente, sin embargo, para asegurar que se consigan las plantas adecuadas, la investigación y búsqueda de éstas debe ser tan amplia como sea posible. (Zimmerman, 1981).

Algunos de los aspectos a considerar para establecer el patrón de cultivos (Luna, 2017):

- La experticia y tradición de los agricultores de la zona en llevar adelante determinados cultivos.
- Las expectativas futuras de los productores cuando se haya implementado el sistema de riego presurizado en su totalidad.
- La diversificación de cultivos que garanticen y mejoren la alimentación familiar.
- Las potencialidades y limitaciones que presentan los suelos, que se encuentran bajo el área de influencia del sistema de riego.
- Las facilidades de comercialización de los cultivos seleccionados.
- El interés de las Instituciones Gubernamentales y no Gubernamentales en apoyar procesos que garanticen: la generación de empleo, atender las necesidades locales y externas.
- La fácil adaptación de los cultivos seleccionados a las condiciones eco climáticas locales.

4.12.3.2. Coeficiente del cultivo (Kc). Según FAO 56 (2006). Los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto están incorporados en el coeficiente del cultivo (Kc). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ETo por Kc. Las diferencias en evaporación y transpiración entre los cultivos de campo y el pasto de referencia pueden ser integradas en un coeficiente único del cultivo (Kc) o separadas en dos coeficientes: un coeficiente basal del cultivo (Kcb) y un coeficiente de evaporación del suelo (Ke), por lo que:

$$Kc = Kcb + Ke \quad (2)$$

De acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ETc se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ETo y el coeficiente del cultivo Kc:

$$ETc = Kc * ETo \quad (3)$$

Donde Kc es el coeficiente del cultivo (adimensional) y ETo es la evapotranspiración del cultivo de referencia en mm/día.

El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo, del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente Kc. Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de Kc (FAO 56, 2006).

5. Materiales y Métodos

Para alcanzar los resultados propuestos se realizaron una serie de estudios de se detallan posteriormente, además se hace referencia a la ubicación del proyecto que comprende la cuenca de captación y la zona de riego, y los materiales utilizados para la obtención de resultados.

5.1. Ubicación

El proyecto comprende dos partes esenciales; la microcuenca de la quebrada Yambananga se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca hidrográfica Catamayo-Chira, así mismo la zona de riego se encuentra en el sector Yambananga, (Figura 6). El proyecto se localiza en la zona geográfica 17 S, el sistema UTM WGS84 zona 17, entre las siguientes coordenadas planas y geográficas:

Cuenca de captación:

Coordenadas Norte: 9 538 363 m. y 9 537 009 m.

Coordenadas Este: 681 683 m. y 682 925 m.

Latitud: 4° 10' 23,24" S y 4° 11' 0,7" S

Longitud: 79° 27' 47,42" W y 79° 27' 47" W

Zona de riego:

Coordenadas Norte: 9 538 602 m. y 9 538 491 m.

Coordenadas Este: 681 860 m. y 682 042 m.

Latitud: 4° 10' 15" S y 4° 10' 19" S

Longitud: 79° 21' 41" W y 79° 21' 0,7" W

Características de la zona de estudio:

El proyecto se encuentra ubicado en el sector Yambananga, en la parroquia Purunuma, del cantón Gonzanamá, provincia de Loja. La topografía existente en el sector es bastante accidentada, sumado a ello el suelo impermeable, dando como resultado grandes escurrimientos en épocas de lluvias (GAD Gonzanamá, 2014).

En esta zona la actividad agrícola está condicionada por la disponibilidad de los recursos hídricos, en el sector se realiza agricultura temporal y de ciclo corto, el maíz, frejol y arveja son de los cultivos que mayormente se cultivan en el sector ya que son de ciclo corto y de desarrollan con facilidad en la temporada invernal (PDyOT Purunuma, 2015).

5.2. Materiales

- Anuarios meteorológicos del INAMHI de las estaciones circunstantes a la zona de estudio.
- Cartas IGM Escala 1:50.000.
- Mapa de uso y cobertura vegetal del sector.
- Mapa de textura del suelo del sector.
- Software SIG
- GPS de precisión.
- Material de oficina.

5.3. Metodología

5.3.1. Metodología para el cumplimiento del Primer Objetivo

“Realizar el análisis de la oferta y demanda del agua en la cuenca de captación del recurso, así como de zona a implementarse los cultivos”

5.3.1.1. Análisis de la Disponibilidad de Agua en la Cuenca de Captación. En primera instancia se obtuvieron parámetros morfométricos de la microcuenca en estudio (Figura 7), luego se aplicaron métodos para la estimación de caudales en la microcuenca generadora de agua, los cuales se detallan a continuación:

5.3.1.2. Estudio morfométrico. Para el estudio de la microcuenca Yambananga se analizaron de forma cuantitativa las características morfométricas, a continuación, se muestran la metodología aplicada para determinar cada una de estas.

Área y Perímetro de la Microcuenca.

Se tomaron las coordenadas del punto de interés, y a través del software ArcGIS, se procedió a delimitar la Microcuenca, calcular el área y perímetro de la misma.

Forma de la Cuenca.

La forma de la cuenca tiene importancia fundamental en la cantidad de escorrentía, para una misma área y misma intensidad de lluvia, el hidrograma de salida depende directamente de la forma de la cuenca (González, 2017). Los factores de forma de la cuenca se determinaron a través de los siguientes métodos:

- Coeficiente de compacidad de Gravelius, el factor (K_c).

$$K_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

Donde P es el perímetro de la cuenca en km y A el área de la cuenca en km^2 .

$A = \text{Área de la cuenca (km}^2\text{)}$

- Índice de forma o coeficiente de Horton (R_f).

$$Rf = \frac{A}{Lb^2} \quad (5)$$

Donde Lb es la longitud del cauce principal en km y A el área total de la cuenca en km².

- Factor de elongación (Re).

$$Re = \frac{D}{L_c} = \frac{1,1284\sqrt{A}}{L_c} \quad (6)$$

Donde A es el área de la cuenca en km² y Lc la longitud axial de la cuenca en km.

Pendiente media de la microcuenca.

La pendiente media de la microcuenca guarda una relación compleja con el grado de infiltración, la escorrentía, la humedad del suelo y con la contribución del agua subterránea a la corriente del cauce (González, 2017). La pendiente se determinó a través del método del criterio de Alvord Ecuación (7).

$$Sc = \frac{D * L}{A} \quad (7)$$

Donde D es el desnivel constante entre las curvas de nivel en km, L la longitud total de las curvas de nivel en km Y A área de la cuenca km².

Elevación media de la cuenca y curva hipsométrica.

La elevación media de la microcuenca se determinó de dos formas, la primera con el método de las intersecciones, y posteriormente a través de la gráfica de la curva hipsométrica. Luna (2017), indica los siguientes pasos para elaborar la curva hipsométrica:

- Haciendo uso del Modelo digital del terreno (MDT), de la cuenca en estudio y mediante SIG, se definieron áreas parciales cada 20 metros de elevación.
- Se calcula el porcentaje de estas áreas con respecto al área total de la cuenca.
- Con estos resultados se construyó un gráfico de coordenadas que relaciona las elevaciones y el porcentaje de área acumulada por encima del límite inferior.
- Para obtener la altitud media se trazó una línea perpendicular al eje de las X entre el valor del 50% de área acumulada y la curva, y se proyectó una línea paralela al eje de las X, para que corte el eje de las Y, y permita determinar cuál es la elevación media de la cuenca.

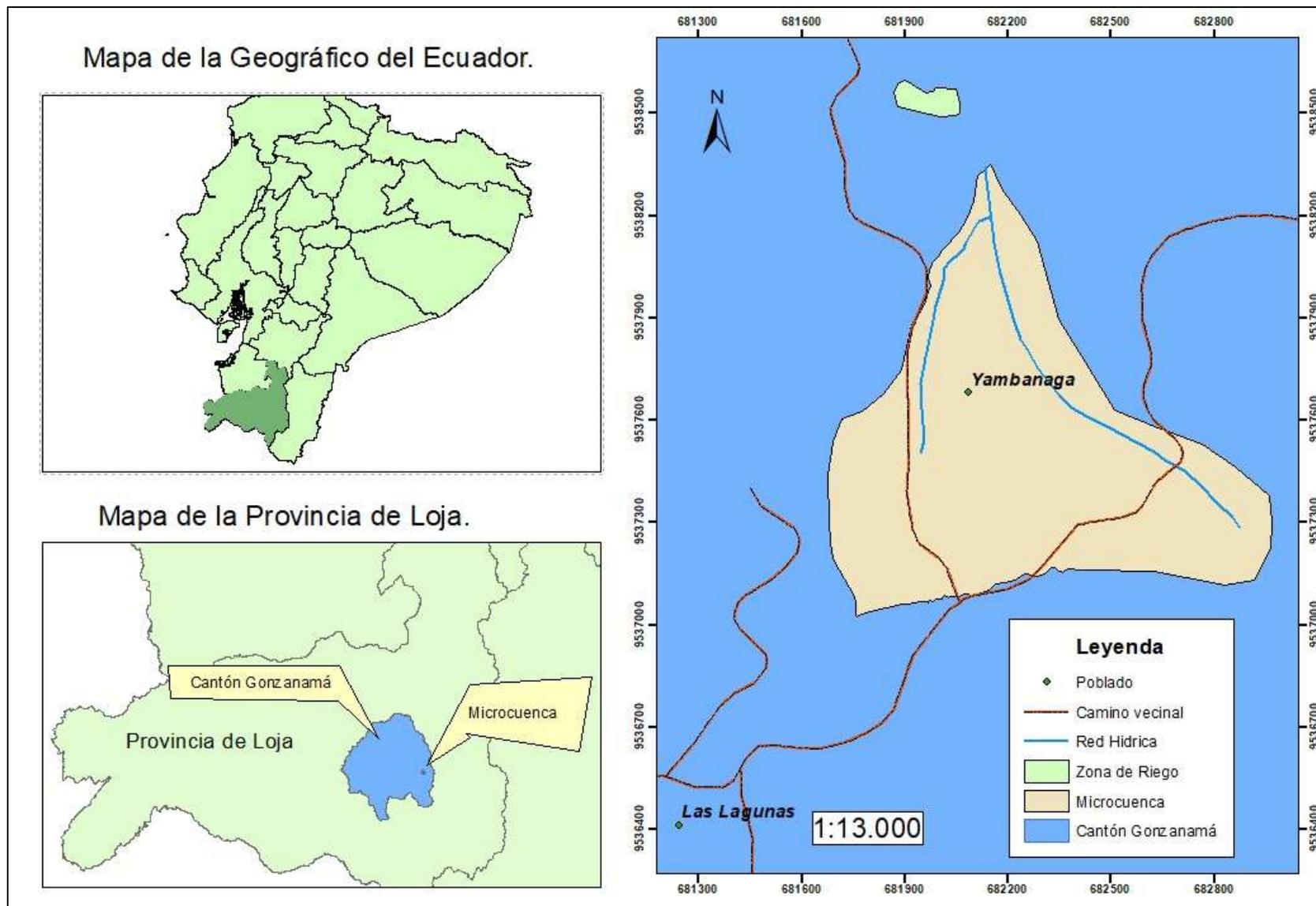


Figura 6. Mapa de Ubicación del Proyecto.

Densidad de drenaje y orden de corriente

González (2015), señala que orden de la corriente principal indicará la extensión de la red de corrientes dentro de la cuenca. Para determinar la densidad de drenaje y el orden de corriente se utilizaron las Ecuación (8) y (9) respectivamente, las cuales se describen a continuación:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (8)$$

Donde L es la longitud total de las corrientes en km y A el área de la cuenca en km².

$$Ds = \frac{Ns}{A} \quad (9)$$

Donde Ns es el número de corrientes de la cuenca y A el área de la cuenca en km².

Pendiente y perfil del cauce principal.

El perfil del cauce principal se generó a través del software ArcGIS, mientras que para determinar la pendiente del mismo se utilizó la Ecuación (10).

$$S = \frac{H}{L} * 100 \quad (10)$$

Donde H es la diferencia entre el mayor y menor punto m. y L la longitud del cauce en m.

Tiempo de concentración.

González (2017), define el tiempo de concentración, al tiempo que tarda en llegar a la sección de salida de la cuenca una gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca, el mismo que se determina mediante fórmulas experimentales. El tiempo de concentración de la microcuenca se calculó empleando dos métodos; Ven Te Chow Ecuación (11) y el método de la Dirección General de Carreteras Modificada de U.S. Corps of engineers Ecuación (12).

- Método de Ven Te Chow.

$$Tc = 0,01 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0,64} \quad (11)$$

Donde el Tc es el tiempo de concentración en horas, L la longitud del cauce en m y S la pendiente media del cauce en %.

- Método de la Dirección General de Carreteras Modificada de U.S. Corps of engineers.

$$Tc = 0,3 \left(\frac{L}{J^{\frac{1}{4}}} \right)^{0,76} \quad (12)$$

Donde el Tc es el tiempo de concentración en horas, L la longitud del cauce en m y J la pendiente media del cauce en %.

5.3.1.3. Precipitación Media sobre la Cuenca de Aporte de Agua. En caso que en la cuenca de aporte de agua no se disponga de estaciones hidrométricas, no es posible realizar la medición de caudales, por lo tanto, los escurrimientos medios mensuales se generaron a partir de los registros de precipitación mensual de las estaciones circundantes a la cuenca en estudio (Luna, 2017). A continuación, se presenta el procedimiento para calcular los escurrimientos mensuales de la microcuenca.

5.3.1.3.1. Recopilación de Información Meteorológica. Se procedió a buscar la información meteorológica de precipitación de las estaciones circundantes a la microcuenca de aportación de agua en los anuarios meteorológicos publicados por el INAMHI cuyas estaciones son: Malacatos, La Toma-Catamayo, Gonzanamá y Nambacola.

5.3.1.3.2. Estimación de los Datos Faltantes. Cuando existen estaciones pluviométricas con datos faltantes en sus registros debido, a ausencias del operador o daño temporal del equipo se debe utilizar métodos adecuados para realizar el relleno de estos datos (Luna, 2017). Los métodos aplicados para rellenar datos faltantes se describen a continuación:

- Media aritmética.

Según González (2001) se opta el método de la media aritmética previamente realizando un análisis, observando que existen estaciones y condiciones climáticas similares.

- Jansa Guardiola.

Quando falta un valor en una serie original de datos, se debe encontrar el valor probable que lo sustituya, para lo cual utilizamos la Ecuación (13).

$$P_m = P_{min} + \frac{c \times a}{a + b} \quad (13)$$

Donde a es la diferencia entre los dos términos que presiden al dato faltante, b es diferencia entre los dos términos que siguen al dato faltante, c es diferencia entre los dos términos que limitan al dato faltante y Pmin es el menor valor entre los términos que presiden y siguen al dato faltante

5.3.1.3.3. Precipitación Media de la Microcuenca. La precipitación media de la microcuenca se realizó en software ArcGIS, para lo cual se utilizó el método de las isoyetas, cuya ecuación (14), se detalla a continuación:

$$P_m = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + P_3A_3 + \dots + P_nA_n}{AT} \quad (14)$$

Donde Pn es la precipitación mensual de cada estación en mm, An el área parcial de cada polígono en km², y AT el área total de la cuenca en km².

5.3.1.3.4. Estimación de los Caudales Medios Mensuales. Para determinar el escurrimiento medio mensual de la microcuenca Yambananga se analizaron cinco métodos, y

finamente se optará por el método cuyos resultados se adapten mejor a las características de la microcuenca, los métodos aplicados se detallan a continuación:

• **Coefficiente de Escorrentía.**

Para determinar el escurrimiento de una cuenca, con este método además de la precipitación se toma en cuenta la pendiente, textura y cubierta vegetal (González, 2017), para lo cual se aplica la Ecuación (15).

$$V_m = AC P_m \tag{15}$$

Donde V_m es el volumen medio del agua que puede escurrir en miles de m^3 , A el área de la cuenca en km^2 , C el coeficiente de escorrentía (Anexo 6) y P_m la precipitación media de la cuenca en mm.

• **Polinomio Ecológico.**

Este método considera la relación entre la evapotranspiración y la lluvia, las características geomorfológicas y características de regulación natural de la cuenca, los coeficientes k , m y n se estimaron en base a la (Anexo 9), el caudal medio mensual se calcula con la Ecuación (16), (Luna, 2017).

$$Q = kA^n(0,70P_i + 0,29P_{i-1} + 0,01P_{i-2})^m \tag{16}$$

Donde Q es el caudal en m^3/s , A el área de drenaje de la cuenca en km^2 , P_i la precipitación del mes actual en mm, P_{i-1} la precipitación del mes anterior en mm, P_{i-2} la precipitación del mes tras anterior en mm y k , m , n son los coeficientes típicos de la cuenca de estudio (Anexo 9).

• **Numero de Curva.**

Este método fue desarrollado por el U. S. Soil Conservation Service, el cual toma en cuenta las características del suelo, su uso y cubierta vegetal, este método se aplicable en cuencas pequeñas, el valor de N es tomado de tablas ya establecidas (Anexo 8) y sus valores fluctúan entre 1 a 100, donde los valores cercanos a 1 indican que toda la lluvia se infiltra y los valores próximos a 100 indican que toda la lluvia escurre (Vivanco, 2017). Para su cálculo aplicamos la Ecuación (17).

$$Q = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5,08 \right]^2}{\left[P + \frac{2032}{N} - 20,32 \right]} \tag{17}$$

Donde Q es la escorrentía superficial acumulada en cm, P es la precipitación acumulada en cm y N es el Numero de curva, tablas SCS (Anexo 8).

• **Método Racional.**

A falta de información de caudales de la cuenca se puede utilizar el método Racional para

generar caudales medios mensuales, para lo cual primeramente se debe ponderar el coeficiente de escorrentía mediante el uso de tablas (Anexo 7), luego aplicando la siguiente Ecuación (18) (Vivanco, 2017).

$$Q = \frac{CPA}{86,4N} \quad (18)$$

Donde Q es el caudal en l/s, C el Coeficiente de escorrentía (tablas Anexo 7), P la precipitación mensual en mm, A es área de drenaje en ha y N el número de días del mes que se calcula.

• **Método del criterio de coeficiente de escurrimiento.**

Vivanco (2017), señala que este método permite determinar el escurrimiento medio mensual tomando en cuenta el uso, tipo y cobertura del suelo, para lo cual se aplican las ecuaciones que se describen a continuación:

$$V_e = C_e * V_{ii} \quad (19)$$

Donde V_e es el volumen de escurrimiento mensual mm, V_{ii} es el volumen de lluvia en m^3 y C_e el coeficiente de escorrentía

Para determinar C_e , se debe obtener el valor de k , a través del uso de la tabla (Anexo 10), tanto la Ecuación 20 y Ecuación 21 utilizadas para determinar C_e , se detalla a continuación:

Cuando $k \leq 0.15$:

$$C_e = k * \frac{P - 250}{2000} \quad (20)$$

Cuando $k > 0.15$:

$$C_e = \frac{(P - 250)}{2000} + \frac{(k - 0,15)}{1,5} \quad (21)$$

Donde P es la precipitación anual en mm, K el parámetro que depende del tipo y uso del suelo (Anexo 10) y C_e el coeficiente de escorrentía anual.

5.3.1.3.5. Determinación de la curva de duración general. La curva de duración general permite conocer al caudal en una unidad de tiempo con el que se realizara la planificación de actividades de riego y conocer los volúmenes disponibles para almacenar (Luna, 2017). Para su elaboración se realiza de la siguiente manera:

- Se clasifica la estadística de caudales de los valores mayores a menores.
- Se hacen intervalos de clase, se toma un periodo de años y se procede al conteo del número de datos que se encuentra en el rango para tal periodo.
- Después se determina el porcentaje de veces que se repite el rango de caudal, con relación al

total de datos.

- Por último, se grafica en el eje de las ordenadas el rango de caudales seleccionados, mientras que en el eje de las abscisas el porcentaje de veces que se repite el rango de caudal.

5.3.1.3.6. Determinación de la curva de variación estacional. Esta curva es un complemento de la curva de duración general, la cual indica el régimen climático e hidrológico de la cuenca, para graficarla se procede de la siguiente manera (Vivanco, 2017):

- Primero se obtiene la estadística de caudales por medio del método seleccionado.
- Se ordena los valores de caudales de mayor a menor en cada uno de los meses.
- Se determina la probabilidad de ocurrencia con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{2m - 1}{2n} \quad (22)$$

Donde P es la probabilidad en %, m el número de orden y n el número de años.

Finalmente, se grafica en el eje de las ordenadas se coloca el caudal (l/s) y en las abscisas los meses, se elaboró tomando en cuenta distintas probabilidades de ocurrencia, para fines de riego se recomienda trabajar con una probabilidad de 75 % (González, 2017).

5.3.1.3.7. Determinación del Índice de Retención y Regulación Hidria (IRH). Para determinar la IRH se utiliza la curva de duración general, luego de calcular el valor se debe interpretar en base a la clasificación de la IDEAM (Anexo 11), se utiliza la siguiente formula (23) (Luna, 2017):

$$IRH = \frac{VP}{VT} \quad (23)$$

Donde VP es el volumen representado por el arco que se encuentra por debajo de la línea del caudal medido y VT el volumen total representado bajo el arco de la curva de duración general.

5.3.2.3. Análisis de la Demanda de Agua de los Cultivos. Para determinar la demanda de agua para riego, se debe tener en cuenta distintos parámetros, cuyo procedimiento se detalla a continuación:

5.3.2.3.1. Patrón de Cultivos. El patrón de cultivos consiste en establecer los cultivos que se siembran y con los cuales se establece el requerimiento de agua para riego en el periodo de estiaje, para lo cual se toma en cuenta los cultivos que siembran con mayor regularidad por los agricultores del sector, así como los cultivos que se adaptan mejor a los pisos altitudinales del lugar (Nero, 2019).

5.3.2.3.2. Coeficiente K_c de Cultivo. El K_c se debe determinar para cada uno de los cultivos, para lo cual se utiliza las tablas presentadas en el documento de la FAO número 56. También se debe establecer la duración de cada etapa fenológica de cada cultivo, la duración de

cada una de sus etapas depende de la zona en que se encuentran, posteriormente se procede a realizar una gráfica, en el eje de las abscisas el tiempo de duración del cultivo y en el eje de las ordenadas el K_c para cada etapa fenológica, y finalmente obtener el K_c mensual (Vivanco, 2017).

5.3.2.3.3. Evapotranspiración de Referencia (Eto). Para determinar la evapotranspiración de referencia en la zona de riego, primeramente, se realizó para tres estaciones meteorológicas (La Argelia, Gonzanamá y Quinara) circundantes a la zona de estudio para el cual se utilizó el método de Penman Monteith a través del software Cropwat, para obtener la Eto con este método se debe tener datos medios mensuales de Temperatura mínima en °C, temperatura máxima en °C, Humedad relativa en %, velocidad del viento en km/día e insolación en horas (Luna, 2017). Una vez obtenida la Eto para cada estación se procede a determinar la Eto para la zona de riego a través de la fórmula de regresión Lineal simple, tomando en cuenta el Modelo Digital de Elevación de la zona de riego (González, 2019);

$$y = ax + b \quad (24)$$

Donde la x es la altura en la zona de riego, de esta manera obtenemos la Eto en mm/día.

5.3.2.3.4. Evapotranspiración de Cultivo (Etc). Con la evapotranspiración de referencia determinada anteriormente en mm/día, procedió posteriormente a determinar la evapotranspiración de cultivo tomando en cuenta los días de cada mes, para lo cual se aplica la Ecuación (25) (Vivanco, 2017).

$$Etc = Kc * Eto \quad (25)$$

Donde la Etc se calcula en mm/día, Kc es el coeficiente de cultivo (adimensional) y Eto es la evapotranspiración del cultivo de referencia en mm/día.

5.3.2.3.5. Precipitación Efectiva. La precipitación efectiva en la zona de riego se determinó haciendo uso del método del USDA, Soil Conservation Service, para lo cual se deben utilizar la Ecuación (26) para precipitación mensual inferior a 250 mm y la Ecuación (27) cuando la precipitación es mayor a los 250 mm (Vivanco, 2017).

$$P_{ef} = \frac{P_{tot}(125 - 0,2 * P_{tot})}{125}; \quad (26)$$

$$P_{ef} = 125 + 0,2 * P_{tot}; \quad (27)$$

Donde P_{ef} es la precipitación efectiva en mm y P_{tot} es la precipitación total en mm.

5.3.2.3.6. Necesidad de Riego de los Cultivos. Una vez obtenida la precipitación efectiva de la zona de riego y la evapotranspiración se procede a determinar los requerimientos hídricos de los cultivos, para lo cual se debe aplicar la formula [28] (Luna, 2017).

$$NRn = Etp - Pfect. \quad (28)$$

Donde NRn es las necesidades de riego en mm, Etp la evapotranspiración en mm/mes y $Pfect$ la precipitación efectiva en mm.

Finalmente, aplicamos la Ecuación (29) para determinar las necesidades de riego brutas de los cultivos, se debe tener en cuenta la eficiencia de riego, ya que la demanda de agua de los cultivos es directamente proporcional a la eficiencia con que se aplica el riego (González, 2019).

$$NRb = NRn/Ef \quad (29)$$

Donde NRb son las necesidades de riego brutas en mm, NRn las necesidades de riego netas en mm y Ef la eficiencia de aplicación de aplicación de riego (50% para el presente trabajo).

Obteniendo la lámina de riego, se seleccionaron los meses en que existe demanda de agua por los cultivos, se transformó de mm a m³/ha, luego se multiplico para cada área de cultivo obteniendo el volumen de agua que se necesita para regar los cultivos en el periodo de escasez de agua expresado en metros cúbicos (Vivanco, 2017).

5.3.2.3.7. Índice de Escasez de Agua (IEA). El índice de escasez de agua permite tener certeza en la cantidad de agua puede ser aprovechada, ya que este parámetro analiza si la demanda es significativa con respecto a la oferta (Vivanco, 2017), para su cálculo aplicamos la Ecuación (30).

$$IEA = \frac{Demanda * 100}{Oferta} \quad (30)$$

Donde el IEA está en % (Anexo 13) y la demanda y oferta en m³.

5.3.3. Metodología para el cumplimiento del Segundo Objetivo

“Diseñar el embalse, que permita garantizar la provisión de la demanda de agua de los cultivos”

En el cumplimiento de este objetivo, se llevaron a cabo varios eventos, desde realizar un levantamiento topográfico de la zona del embalse, el cual por el tamaño del proyecto se generó con un equipo GPS (Vivanco, 2017). Finalmente se determinó la capacidad del embalse a través de los métodos que se detallan a continuación:

5.3.3.3. Método de Algoritmo de la Sucesión de Picos. Según Molina (1989). Se calcula $xi-di$ (escurrimiento-demanda) para todo el año y se calcula la entrada neta (escurrimiento-demanda) acumulada. El procedimiento para su cálculo es el siguiente (Vivanco, 2017):

- Se localiza el primer pico ($p1$, valor máximo) de estos valores acumulados, ya sea en una tabla de cálculo o en una gráfica de esas diferencias acumulativas ($xi-di$) contra el tiempo en meses.
- Se calculan las diferencias entre el escurrimiento Se busca el Siguiete pico ($p2$) que es mayor

en magnitud que el primero (p_1) y que es posterior en el tiempo. Esto asegura que el embalse se ha vuelto a llenar y se ha completado un ciclo.

- Entre este par de picos, se encuentra la mayor depresión (t_1 , valor mínimo), y se calcula ($p_1 - t_1$) que es la capacidad de almacenamiento requerida en ese intervalo de tiempo, este volumen debe estar almacenado al final del mes correspondiente al p_1 para poder satisfacer la demanda completamente y llegar al final del mes correspondiente a t_1 con almacenamiento cero.
- Se localiza un pico posterior (p_3) mayor que p_2
- Se encuentra una depresión entre p_2 y p_3 (t_2) y se calcula $p_2 - t_1$
- Se continúa el mismo procedimiento para el resto de la serie y se encuentra la mayor diferencia $p_i - t_i$ que es la capacidad de almacenamiento requerida.

5.3.3.4. Método de la Curva de Masa Inversa. Según Molina (1989). El procedimiento que se aplica es el siguiente:

- Se calculan las diferencias entre el escurrimiento Q_i y la demanda D_i para los 12 meses del periodo de registro, que se anotan en un registro de exceso/eficiencia.
- En otra columna se calculan las diferencias acumuladas, empezando con el ultimo valor negativo (deficiencia) y procediendo hacia tras, hasta que uno de estos valores resulte positivo.
- Se elige la menor de estas cantidades negativas que es la capacidad requerida del embalse.

5.3.3.5. Volumen del Embalse. Para conocer el volumen total del embalse, realizamos los procedimientos requeridos para tal fin, estos los detallamos a continuación:

• **Volumen útil.**

Para su cálculo se aplica la siguiente ecuación:

$$V_{\text{util}} = \text{vol. inicial} + \text{aportes} - \text{perdidas} \quad (31)$$

El volumen inicial se determinó a través de los métodos: algoritmo de la sucesión de picos y de curva de masa a la inversa, en los aportes están comprendido los volúmenes de escurrimiento de la microcuenca y la precipitación en el embalse, en las perdidas está el agua que se extrae con fines de riego y el agua que se pierde del embalse por evaporación e infiltración. La precipitación en el embalse se determinó aplicando la misma metodología que se utilizó para el cálculo de oferta de agua de la microcuenca, mientras que para el cálculo de la evaporación del embalse se utilizó la ecuación siguiente (Vivanco, 2017):

$$E_{vi} = 0,7 \times E_{ti} \quad (32)$$

Donde E_{ti} es la evaporación mensual en el tanque más cercano en mm (Estación meteorológica Nambacola) y E_{vi} la evaporación mensual en el embalse en mm.

- **Volumen muerto.**

Según Vivanco (2017), se determina teniendo en cuenta el volumen útil del embalse, el cual M.E. Guevara (2000) considera que volumen muerto tiene un rango entre el 8 al 12 % del volumen útil (Anexo 14).

- **Volumen mínimo de operación.**

Tiene un valor empírico, el cual depende de la magnitud de la obra de almacenamiento de agua para riego, si bien en estudio el diseño del embalse no se enfoca en las especificaciones técnicas constructivas, sino más bien en determinar el volumen necesario para cumplir con la demanda de agua de los cultivos logrando cultivar por más tiempo posible, el volumen mínimo se consideró el 5 % del volumen útil (Vivanco, 2017).

5.3.3.6. Volumen Total del Embalse. El volumen final del embalse es el resultado de la suma del volumen útil, volumen muerto y volumen mínimo de operación, para cada uno de los meses. El volumen del embalse se determinó de acuerdo a los requerimientos hídricos, por lo tanto, existirán meses que la oferta supera al volumen del embalse, derramándose el agua ya que la propuesta del proyecto no se centra en el control de avenidas (Vivanco, 2017).

Finalmente, a través del software ArcGIS se generó el modelo digital de la topografía del sector del embalse, facilitando el cálculo del volumen del embalse, área de inundación y altura y longitud del muro.

6. Resultados

Los resultados que se obtuvieron luego de aplicar la metodología indicada en capítulo anterior, permite conocer de manera cuantitativa la oferta de agua en la microcuenca y demanda de los cultivos en el área de riego, además de plantear una propuesta que garantice manejar adecuadamente los recursos hídricos, a continuación, se detallan cada uno de los resultados:

6.3. Análisis de la Oferta y Demanda de Agua en la Microcuenca de Captación, así como Demanda de Agua en Área de Cultivo.

La oferta del caudal de una cuenca se debe conocer con exactitud, el cual permite calcular el área posible a irrigar, con la finalidad de determinar la oferta y demanda de agua (González, 2019), para lo cual se siguieron ciertos procedimientos los que se detallan a continuación.

6.3.2. Disponibilidad de Agua en la Microcuenca de Captación

Primeramente, se definió el punto de interés, que es el sitio donde se construirá una pequeña obra de almacenamiento de agua durante el periodo de lluvia, para regar durante el periodo de escasez de agua, luego se procedió a determinar las características morfométricas de la microcuenca y calcular la oferta de agua.

6.3.2.3. Punto de Interés. Las coordenadas de ubicación del punto de interés en el sistema UTM WGS84 zona 17 Sur, son: Coordenada Norte: 9538348 m; y Coordenada Este: 682148 m, donde las características morfométricas y de relieve del cauce de la quebrada brindan las cualidades idóneas para la construcción de una pequeña obra que permita el almacenamiento de agua, además las grandes ventajas que presta las características físico-mecánicas del suelo en este sitio. Después se procedió delimitar la microcuenca de aportación y elaborar el mapa base del proyecto, (Figura 7).

6.3.2.4. Características Morfométricas de la Cuenca. El análisis de los parámetros morfométricos de la microcuenca, se realizaron haciendo uso de software ArcGIS, a continuación, se muestra cada uno de ellos.

6.3.2.4.1. Área y Perímetro de la Microcuenca. La microcuenca posee las siguientes dimensiones: área 0,85 km², perímetro 4,31 km, longitud axial de 1,37 km y longitud de cauce principal de 1,38 km (**Tabla 1**). Según estas características, tomando en cuenta la clasificación para tamaño de cuencas establecida por el Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial (1978), se trata de una microcuenca ya que posee un área inferior a las 10 000 hectáreas (González, 2017).

Tabla 1*Principales datos de la microcuenca Yambananga*

Descripción	Unidad	Valor
Área	km ²	0,851
Perímetro	km	4,314
Longitud del cauce principal	km	1,38
Cota máxima	msnm	2419
Cota mínima	msnm	1935
Pendiente media de la cuenca	%	37
UBICACIÓN (WGS 1984 UTM Zona 17S)		
Coordenada ESTE	m	682148
Coordenada NORTE	m	9538348

6.3.2.4.2. Parámetros de Forma de la Microcuenca. El coeficiente de Gravelius es 1,32 el cual indica que la microcuenca tiene forma ovalada, esto facilita realizar un planificación adecuada de los recursos hídricos, ya que el escurrimiento superficial en estas microcuencas es adecuado, por lo contrario Vivanco (2017) indica que la quebrada La Cucula se encuentra en el orden 1,6 que se atribuye a una forma oblonga donde la escorrentía tarda más tiempo en llegar al punto de interés, además, si los valores son bajos se presentan escurrimientos rápidos, causando problemas de inundación. El coeficiente de Horton es 0,5 por lo cual la microcuenca es moderadamente achatada, presentando una leve respuesta a las crecientes, así mismo tiene un relieve bajo ya que el factor de elongación es 0,79, esto se puede observar con facilidad ya que la mayor parte de su superficie no presenta grandes accidentes geográficos.

Pendiente de la microcuenca.

La pendiente es 37 %, lo cual indica que la microcuenca Yambananga tiene una pendiente media. Esto se ratifica con lo expuesto por el Gobierno Provincial de Loja (2014) el cual manifiesta que en la provincia de Loja se encuentra en tres rangos altitudinales, razón por la cual una mayor superficie del territorio se encuentra en pendientes que van desde el 25 % y 50 %, categorizándose como pendiente media, mientras que pendientes entres 12 % y 25 % que se consideran bajas se encuentra en menor porcentaje en la provincia.

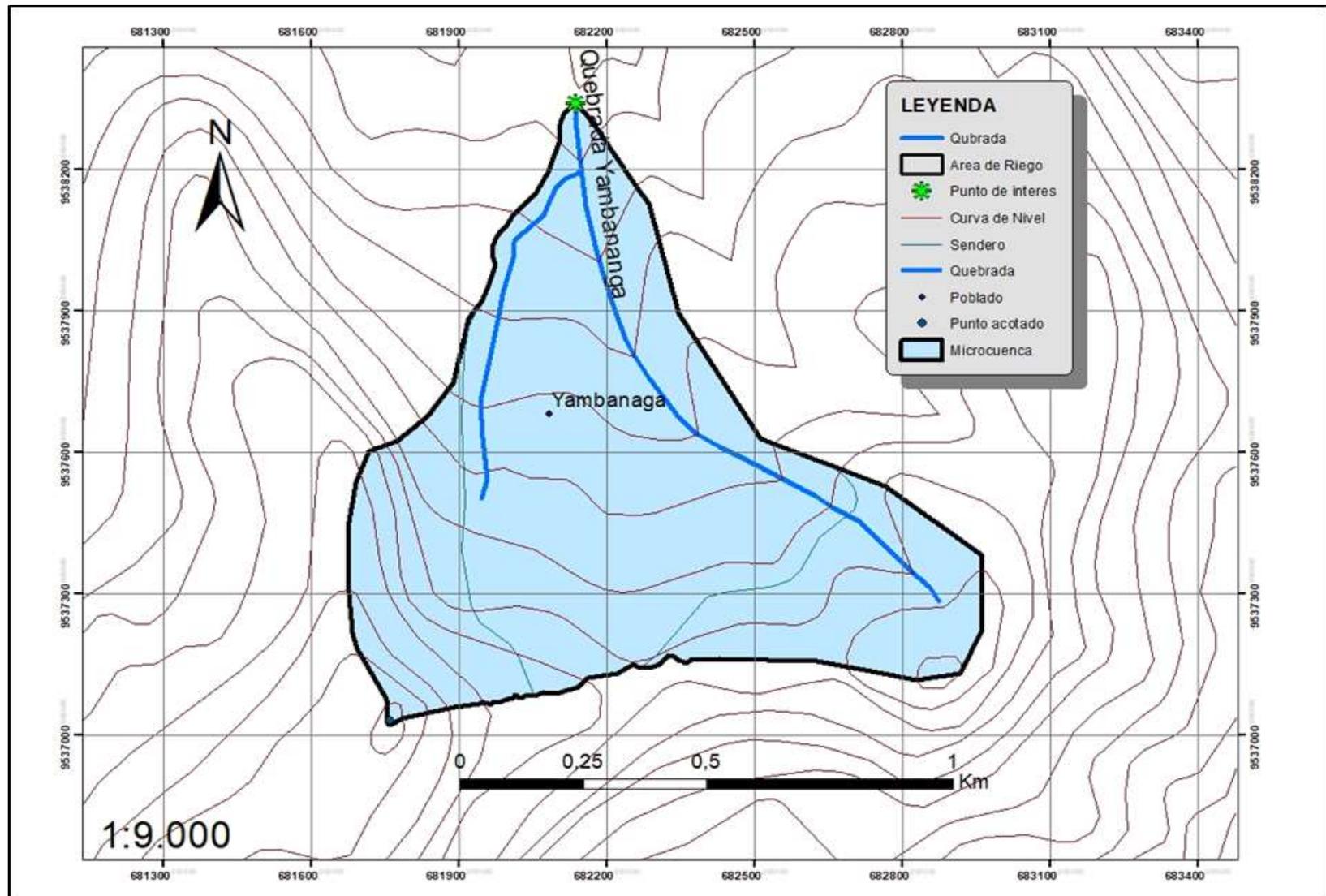


Figura 7. Mapa Base de la Microcuenca Yambananga

Elevación media de la microcuenca.

En la Figura 8, se observa la gráfica de la elevación media de la microcuenca, cuyo valor aproximado es 2139 m.s.n.m. dicho valor concuerda con el resultado obtenido con el método de las intersecciones.

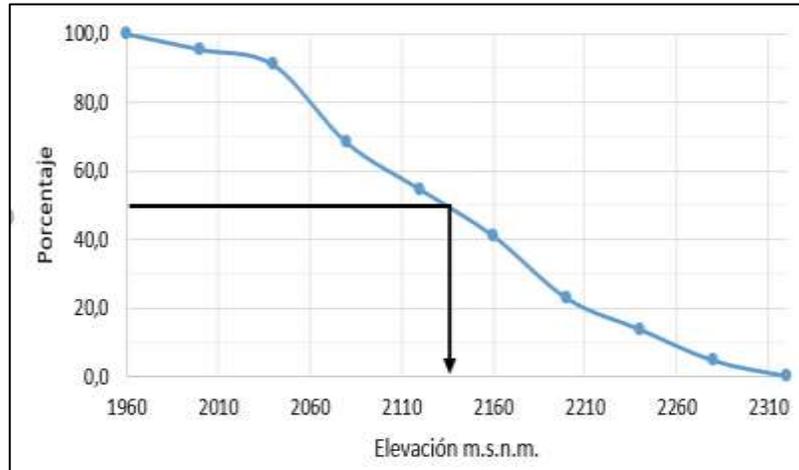


Figura 8. Gráfica de elevación media a través del método de las intersecciones.

Curva hipsométrica de la microcuenca

La curva hipsométrica (Figura 9) indica que la microcuenca se encuentra en una etapa de equilibrio cuyas características se atribuyen a cuencas geológicamente maduras o cuencas de pie de montaña (Anexo 3). Esto es un indicador del buen estado de conservación de la microcuenca, guardando una relación con los parámetros determinados anteriormente. De acuerdo a Racca (2007), analizando el área relativa que yace por debajo de la curva hipsométrica los valores indica que está en equilibrio atribuida a la madurez de la microcuenca.

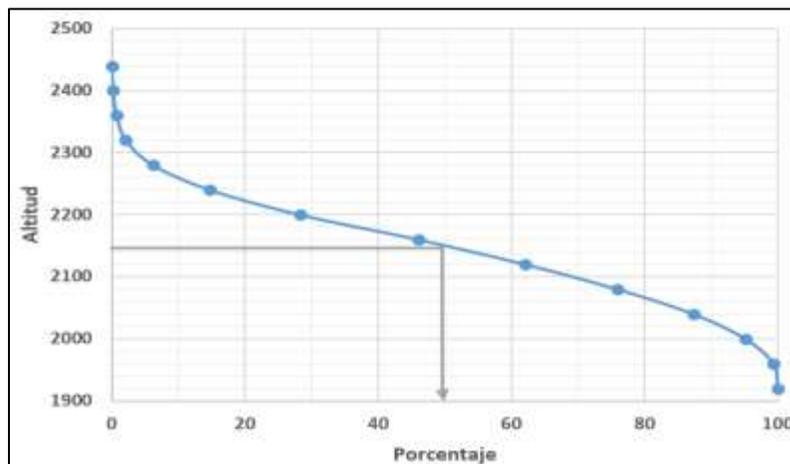


Figura 9. Curva hipsométrica de la microcuenca

Orden de corriente, densidad de drenaje y densidad de corriente.

Se elaboró el mapa de red hídrica de la microcuenca del proyecto de estudio (Figura 10), posteriormente se determinó cada uno de los parámetros relativos a la red de drenaje.

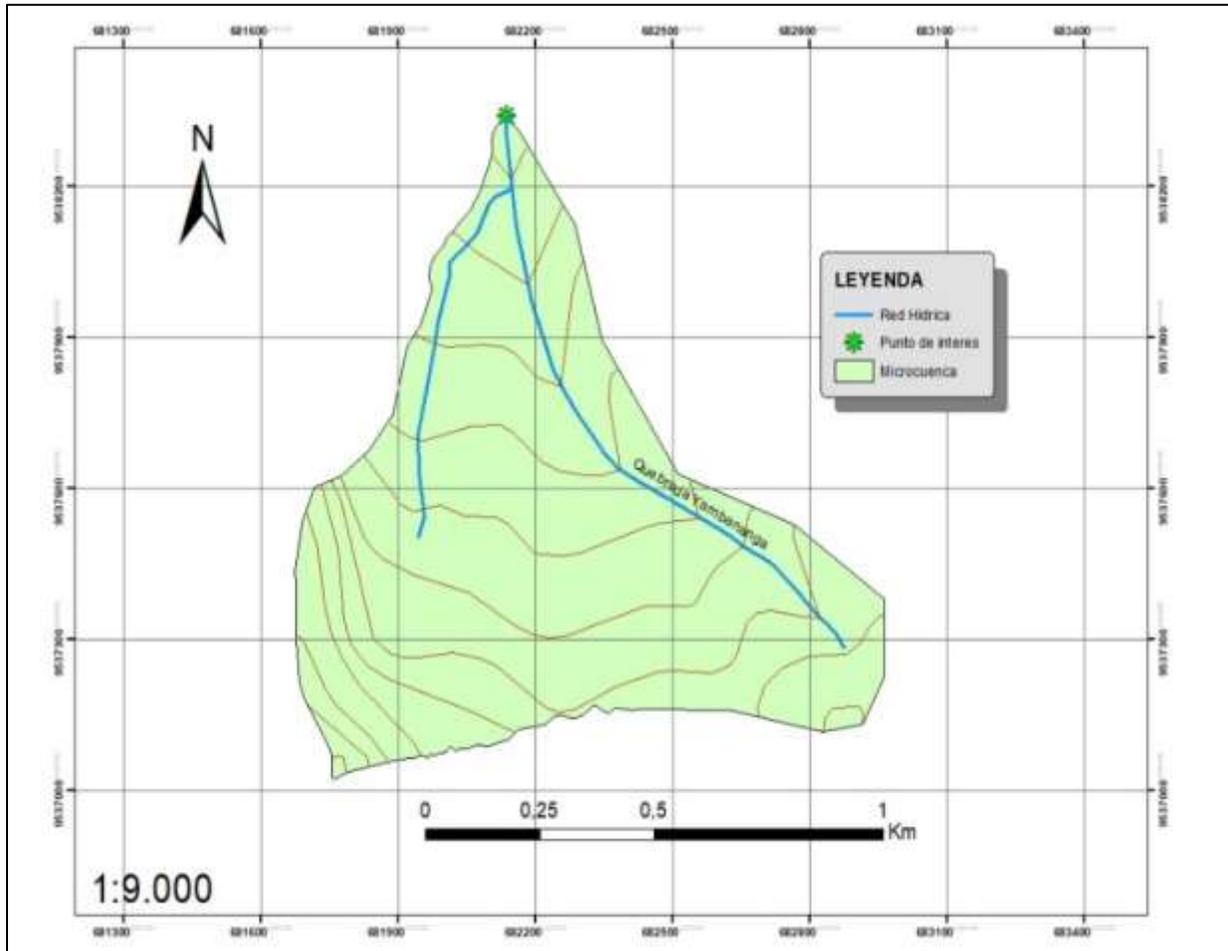


Figura 10. Mapa de red hídrica de la microcuenca Yambananga.

Como se observa en la Figura 10, el orden de corriente de la microcuenca es dos, es decir solo existen solo dos tributarios, debido a que la microcuenca tiene un área pequeña. La densidad de drenaje $2,51 \text{ km/km}^2$ y densidad de corriente son $2,35$ los cuales se encuentran en un rango moderado (Anexo 4), por lo que se considera que la microcuenca tiene suelos de impermeabilidad moderada y pendientes moderadas, así, Ibáñez, et al. (2011) señala que una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. Luna (2017), en su investigación, indica que una densidad de corriente de $1,51$ son características de cuencas con suelos son relativamente permeables con fuertes relieves y superficies con poca cobertura vegetal.

Pendiente y perfil de cauce principal

En la Figura 11, se observa el perfil del cauce principal generado en el software ArcGIS, así mismo la pendiente de este es 21%, lo que indica que tiene una pendiente fuerte, lo cual Navarrete (2004), indica que, a mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía del cauce principal, así mismo Llano (1998), atribuye que los procesos de erosión de una cuenca y la formación de descargas altas se presentan con los valores de pendiente mayores.

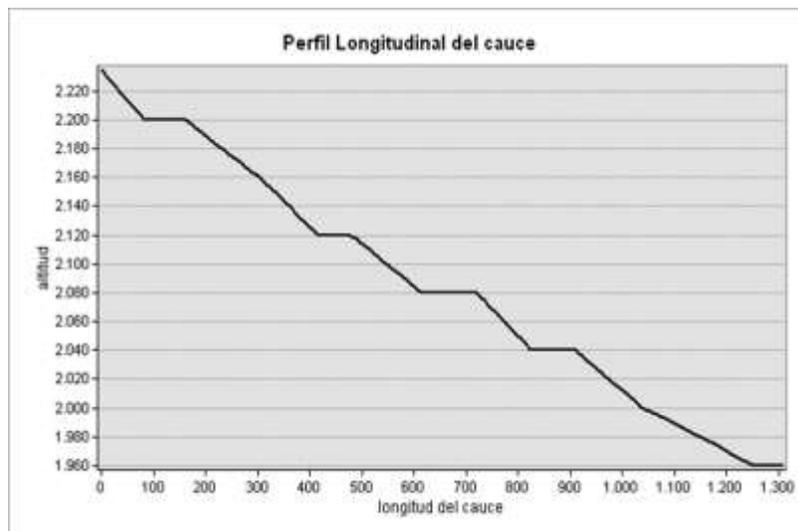


Figura 11. Perfil del cauce principal de la Quebrada Yambananga.

Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración de la escorrentía en el punto de interés se terminó por dos métodos: Ven Te Chow 22 minutos y el método de la Dirección General de Carreteras Modificada de U.S. Corps of engineers 13 minutos, con un promedio de 18 minutos, el tiempo de concentración de la microcuenca es corto debido a la pendiente del cauce principal como a la longitud del mismo (Vivanco, 2017).

6.3.2.5. Análisis de la Oferta de Agua de la Microcuenca de Aporte. Para realizar el análisis de la oferta de agua de la microcuenca Yambananga, se utilizaron diferentes métodos estadísticos, que permitan estimar el comportamiento hidrológico, a continuación, se describe cada uno de los métodos utilizados en este apartado.

6.3.2.5.1. Recopilación de Información Meteorológica. Para realizar el estudio de la oferta de agua en la microcuenca, se elaboró el mapa de las estaciones meteorológicas circundantes a la zona de estudio (Figura 12), estas son: Gonzanamá, Nambacola, Catamayo y Malacatos esta última se consideró como estación base para la Microcuenca Yambananga. La

información pluviométrica se obtuvo de los anuarios meteorológicos del INAHMI, así como información solicitada en la Dirección de Riego del Gobierno Provincial de Loja.

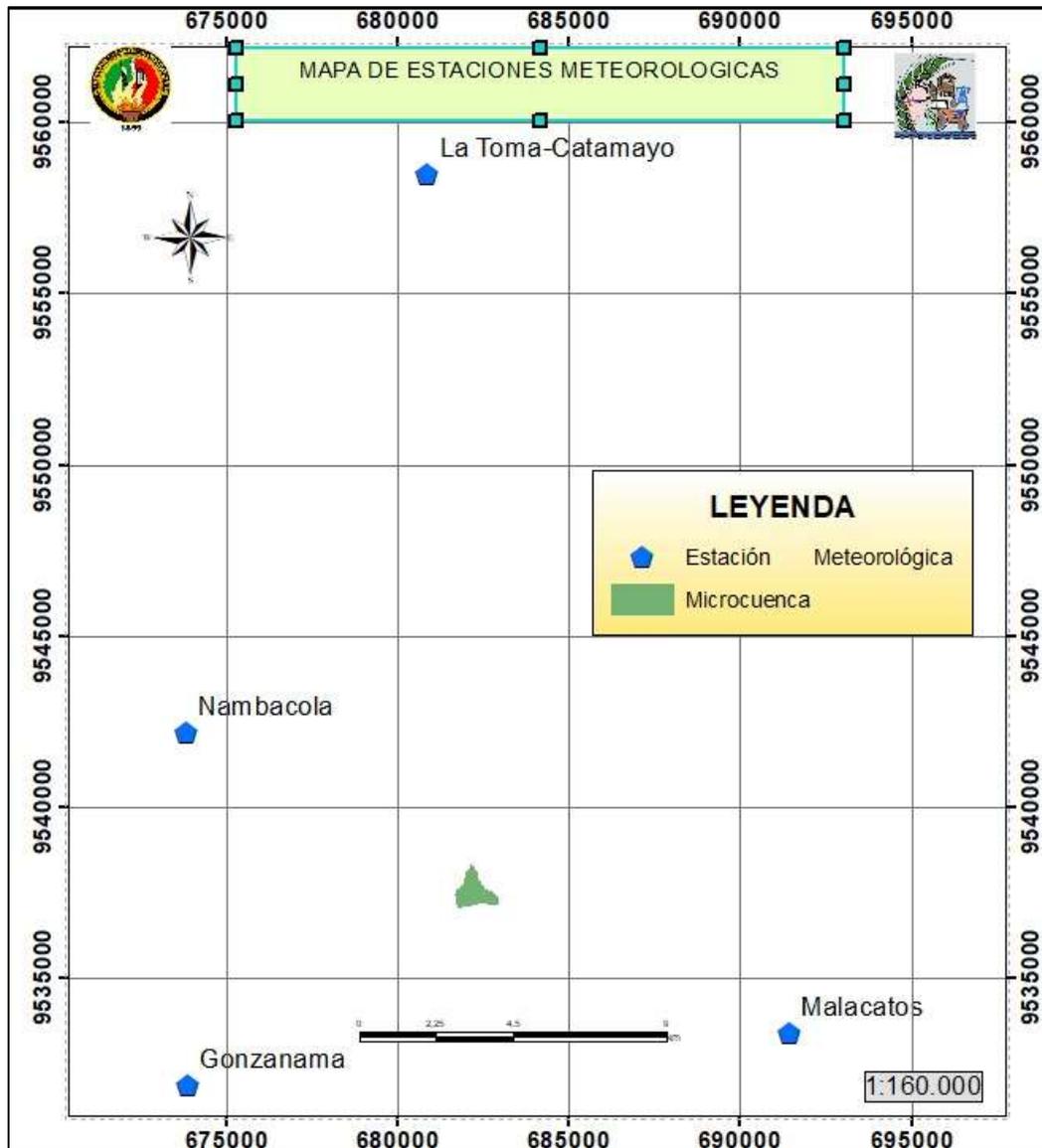


Figura 12. Mapa de las estaciones Meteorológicas cercanas a la zona de estudio.

6.3.2.5.2. Estimación y Relleno de Datos Faltantes de Precipitación. Se realizó el relleno de los datos faltantes haciendo usos de los métodos señalados en la metodología, el análisis estadístico de las estaciones meteorológicas se observa en el (Anexo 15), mientras que en la (Tabla 2) muestra la precipitación media mensual de cada estación.

Tabla 2

Precipitación media mensual en las estaciones circundantes a la microcuenca en mm.

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gonzanamá	198,65	244,65	296,39	269,0	90,61	17,99	14,46	4,40	29,42	74,57	113,53	129,17
Malacatos	73,80	112,33	116,58	95,17	40,20	7,97	6,09	4,85	23,23	81,48	57,93	80,66
Nambacola	71,31	165,81	263,26	123,50	47,69	9,07	6,91	4,13	4,16	37,99	58,23	55,29
La Toma-Catamayo	42,25	74,40	84,31	52,46	27,67	6,14	2,40	5,64	10,76	36,37	22,29	38,29

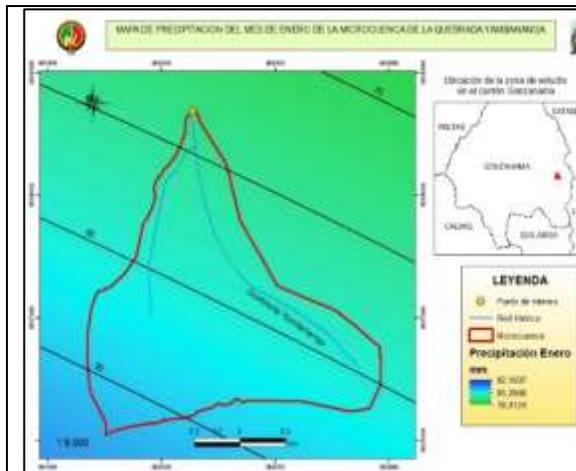
6.3.2.5.3. Determinación de la Precipitación Media de la Microcuenca

Yambananga. La precipitación media mensual de la microcuenca Yambananga se determinó a través de método de las isoyetas, en el software ArcGIS se elaboraron los mapas de la precipitación media mensual (Figura 13) y en la **Tabla 3**, se observa con claridad las láminas de precipitación para cada mes (González, 2017).

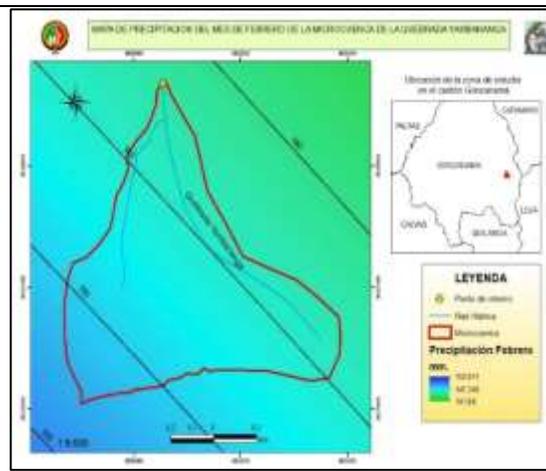
Tabla 3

Precipitación de la microcuenca Yambananga en mm/mes y factor de correlación con la estación base.

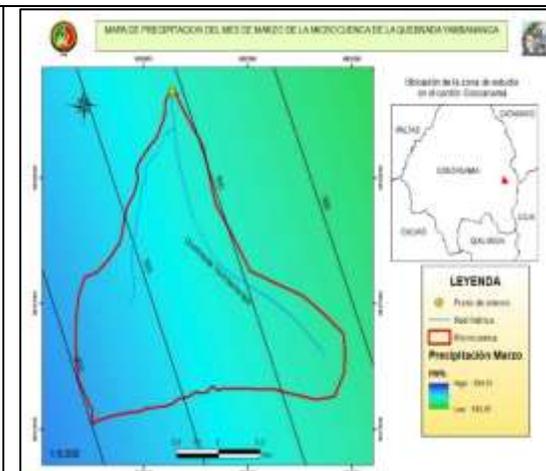
Prec/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Max	92,2	152,8	199,9	132,7	50,8	9,9	7,7	4,6	16,8	63,9	66,1	77,9	875,5
Media	85,6	146,7	192,9	124,1	48,3	9,5	7,21	4,5	16,0	62,1	63,0	74,6	834,5
Min	78,4	141,8	185,9	115,7	45,8	8,9	6,8	4,5	14,6	59,7	59,6	70,3	792,1
Factor de corrección	1,15	1,24	1,62	1,25	1,22	1,02	0,85	0,81	0,71	0,73	1,10	0,90	1,16



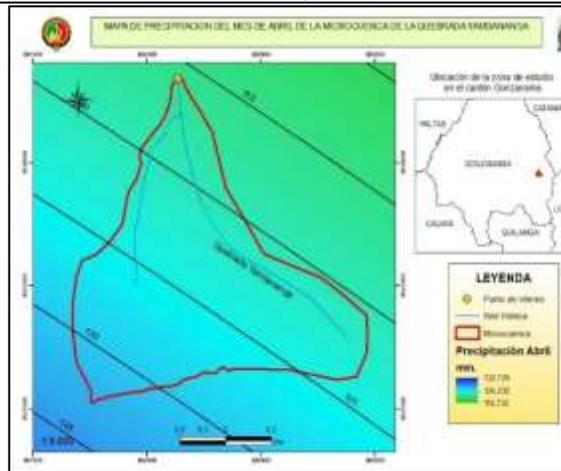
Enero: 85,6 mm



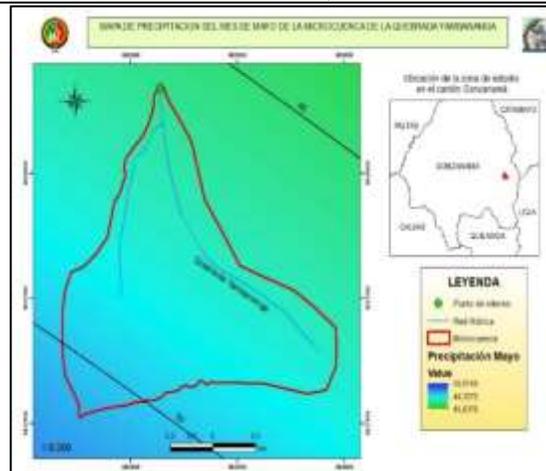
Febrero: 146,7 mm



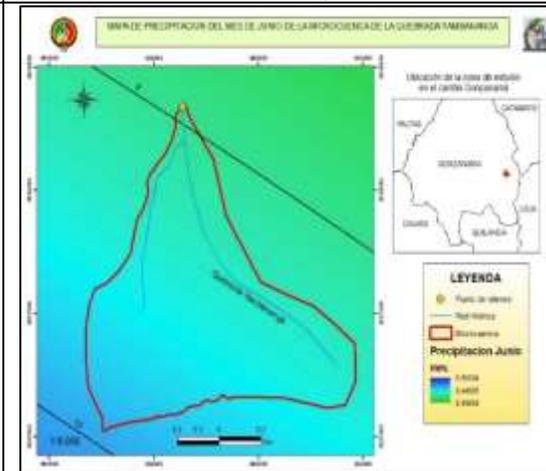
Marzo: 192,9 mm



Abril: 124,1 mm



Mayo: 48,3



Junio: 9,5 mm

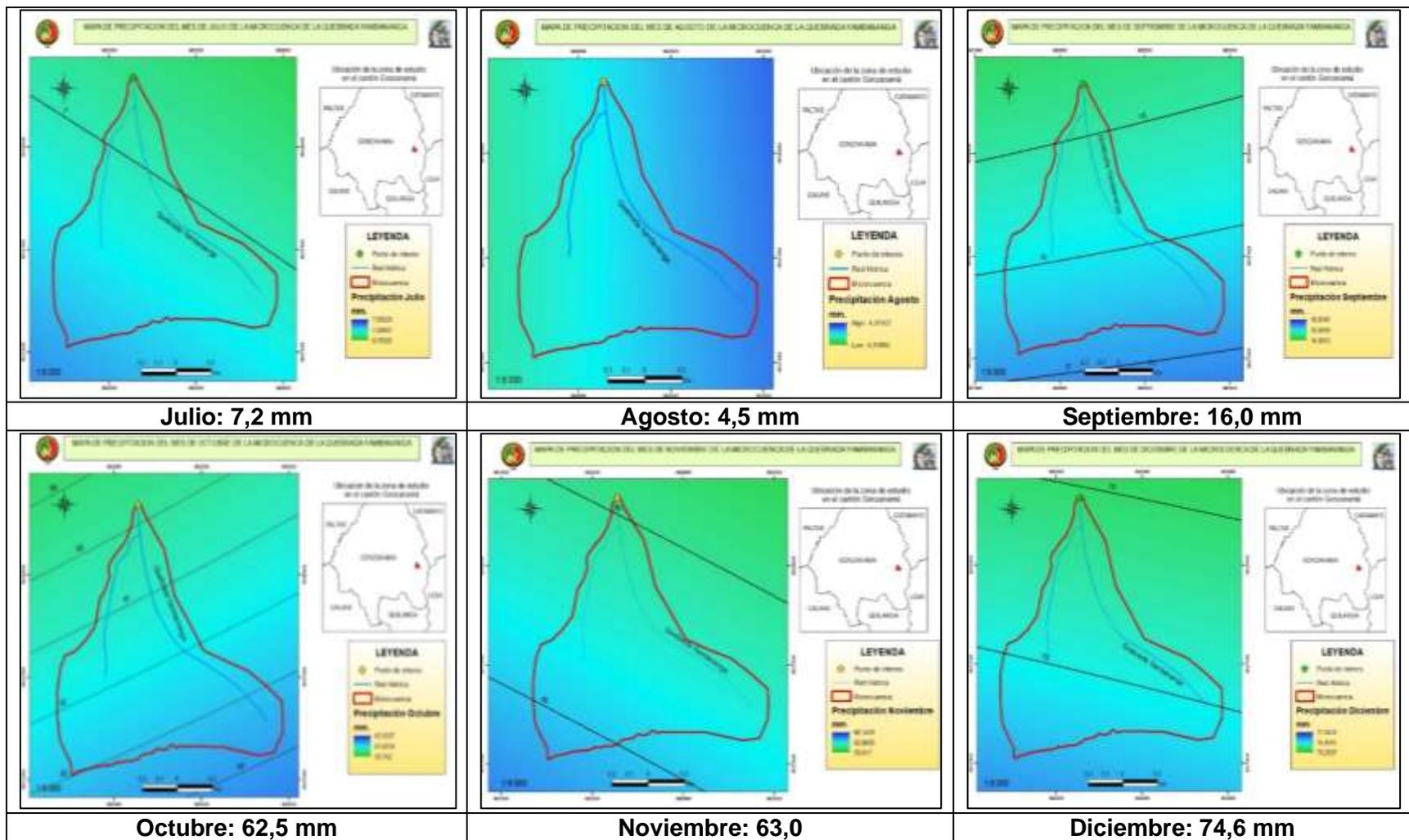


Figura 13. Distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca Yambananga en mm.

Tabla 4*Precipitación media de la Microcuenca Yambananga en mm.*

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T	M
1982	123,3	60,7	105,9	88,2	60,4	0,0	0,0	0,0	17,5	57,2	137,9	218,4	869,4	72,4
1983	194,5	65,9	246,4	88,3	70,7	14,6	1,8	0,0	2,6	92,2	2,6	32,4	811,9	67,7
1984	67,6	274,9	288,6	110,9	61,0	8,5	14,5	6,9	47,9	78,4	66,8	4,1	1030,0	85,8
1985	81,8	35,7	126,8	75,6	88,2	8,5	8,2	14,6	24,6	56,5	36,7	134,0	691,2	57,6
1986	43,5	142,0	194,5	116,0	62,1	8,5	0,0	0,5	26,8	51,3	39,5	67,5	752,1	62,7
1987	53,3	14,6	221,4	146,8	105,9	8,5	8,2	2,1	6,0	12,4	38,9	13,6	631,6	52,6
1988	124,2	201,8	41,0	129,0	46,3	19,5	14,3	5,9	5,8	37,5	76,5	63,1	764,9	63,7
1989	159,9	119,5	291,1	88,3	15,4	10,4	8,2	4,3	92,8	58,8	19,8	44,1	912,5	76,0
1990	121,3	159,9	36,3	350,9	16,1	7,8	18,1	3,3	15,2	51,4	112,0	33,5	925,8	77,1
1991	119,0	37,9	379,0	91,0	114,9	0,6	10,3	4,3	36,9	19,9	29,0	14,2	857,1	71,4
1992	51,2	28,0	238,6	36,1	21,4	3,4	0,0	0,1	29,0	51,4	57,7	72,1	589,1	49,1
1993	74,4	231,9	303,1	85,5	34,7	6,5	8,2	4,3	14,3	98,0	20,8	88,7	970,4	80,9
1994	117,9	92,2	126,9	53,9	37,4	8,5	8,2	15,1	3,4	30,4	47,0	57,4	598,3	49,9
1995	12,0	100,3	192,1	10,5	3,2	0,0	0,0	2,8	15,2	6,3	68,7	34,9	446,0	37,2
1996	44,6	103,9	24,5	52,4	19,7	8,5	8,2	4,3	12,6	49,8	39,2	50,4	418,1	34,8
1997	78,5	5,1	64,8	123,6	36,1	7,2	8,2	4,3	13,3	52,5	131,4	37,5	562,6	46,9
1998	57,3	168,5	176,0	99,3	12,9	8,5	8,2	4,3	15,2	102,7	39,2	50,4	742,6	61,9
1999	93,2	351,3	247,5	243,9	46,3	7,8	8,2	4,3	14,3	77,6	40,4	121,1	1255,8	104,6
2000	129,0	534,0	318,9	388,5	79,7	3,9	6,6	2,1	7,1	65,1	31,1	118,8	1684,8	140,4
2001	79,3	58,8	152,2	71,9	42,5	0,0	4,9	0,0	0,0	52,6	21,8	116,5	600,5	50,0
2002	51,2	73,0	55,1	193,9	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	86,3	31,0	114,6	610,6	50,9
2003	20,3	123,6	175,4	106,2	2,6	0,0	6,9	0,0	0,1	120,0	21,8	24,6	601,3	50,1
2004	25,1	36,0	33,1	180,4	38,9	5,2	12,4	0,0	20,9	84,2	166,2	96,7	699,0	58,3
2005	25,0	112,9	370,4	52,3	62,6	15,6	0,0	0,0	0,0	75,2	32,1	50,3	796,5	66,4
2006	61,5	164,1	361,2	96,4	1,5	39,6	18,0	0,0	1,1	32,2	150,0	123,0	1048,5	87,4
2007	35,6	66,5	251,6	187,2	56,5	11,8	4,9	11,7	4,4	57,2	156,8	56,0	900,3	75,0
2008	52,6	241,8	280,4	104,6	65,9	22,8	0,1	12,0	14,6	118,6	70,9	154,2	1138,4	94,9
2009	200,4	203,7	265,9	109,8	70,7	3,9	4,9	5,1	3,8	26,4	9,1	63,0	966,7	80,6
2010	4,2	143,9	115,6	100,3	113,7	38,7	21,3	12,9	8,9	33,9	101,3	68,1	762,8	63,6
2011	115,1	321,6	177,7	189,1	40,2	19,8	8,6	16,0	36,9	75,2	111,3	104,7	1216,3	101,4
2012	270,7	276,4	138,0	194,1	10,4	0,3	0,2	0,0	12,9	52,9	73,3	76,4	1105,4	92,1
2013	50,4	143,7	173,1	5,1	102,0	3,8	9,5	4,1	8,0	124,0	35,3	83,8	742,8	61,9
SUM	2738	4694	6173	3970	1545	302	231	145	512	1988	2016	2388	26703	2225
MAX	270,7	534,0	379,0	388,5	114,9	39,6	21,3	16,0	92,8	124,0	166,2	218,4	1684,8	140,4
MED	85,6	146,7	192,9	124,1	48,3	9,5	7,2	4,5	16,0	62,1	63,0	74,6	834,5	69,5
MIN	4,2	5,1	24,5	5,1	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	2,6	4,1	418,1	34,8
DESV	59,9	115,0	103,4	84,6	33,5	9,8	5,8	5,0	18,4	30,6	46,2	46,5	262,	21,9
CV(%)	0,7	0,8	0,5	0,7	0,7	1,0	0,8	1,1	1,1	0,5	0,7	0,6	0,3	0,3

En la Tabla 3, se muestran los valores de precipitación mensual de la microcuenca, de la misma forma los valores del factor de corrección con la estación base de la microcuenca, finalmente la Tabla 4, presenta la precipitación media mensual de la microcuenca de la quebrada Yambananga durante un periodo de 32 años.

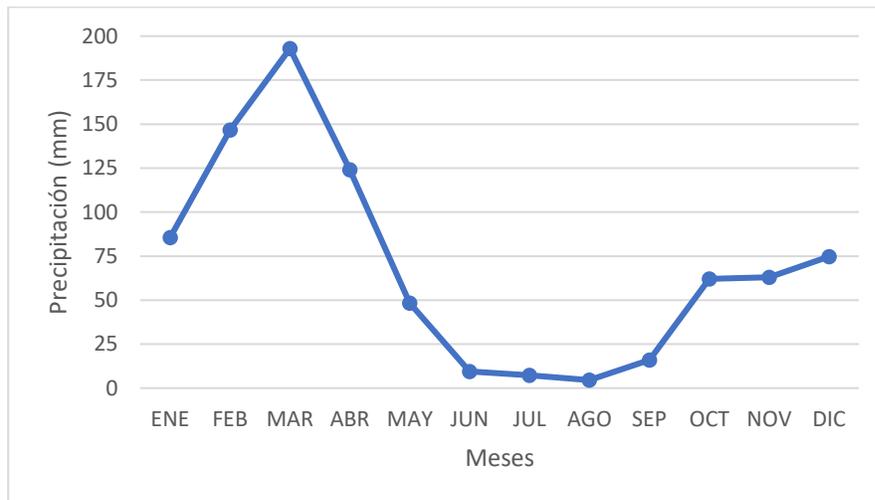


Figura 14. Distribución mensual de la precipitación.

En la Figura 14, se observa la variación de la precipitación durante el año, fácilmente se distinguen dos temporadas bien caracterizadas, la primera en la cual las precipitaciones van desde diciembre a mayo alcanzando su máximo pico en el mes de marzo con 192,9 mm, así mismo la temporada de escasez de lluvias es más notable en los meses de junio a septiembre siendo agosto el mes con menor precipitación con 4,5 mm, teniendo una precipitación anual de 834,5 mm (INAMHI, 2013). Así mismo el PDyOT Purunuma (2015) resalta que la parroquia Purunuma posee precipitaciones anuales que varían entre los 700 mm a los 1300 mm, donde los meses más lluviosos se presentan al inicio del año y la segunda mitad del año es de un régimen más seco.

6.3.2.5.4. Caudales Medios Mensuales. Los caudales medios mensuales de la quebrada Yambananga se calcularon a través de cinco métodos empíricos, cuyos resultados se muestran en la (Figura 15), posteriormente se realizaron las comparaciones necesarias y para escoger el método que mejor se adapte a la zona de estudio.

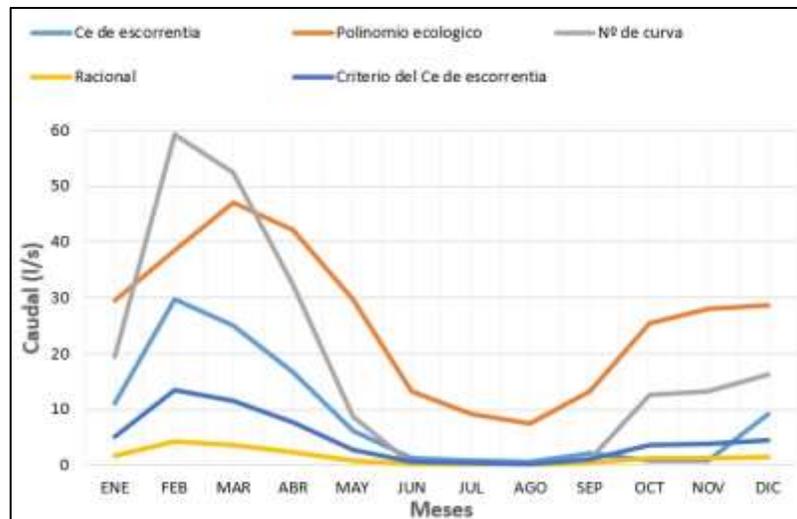


Figura 15. Esguerrimiento mensual de la Microcuena Yambananga.

En la Figura 15, se observa el resumen de los caudales mensuales en la quebrada Yambananga, luego de comparar las líneas de tendencia de los valores generados por los métodos aplicados, se observa una similitud en los meses de mayor escasez de agua, excepto en el método de Polinomio ecológico el cual tiene valores elevados, recordando que la distribución de las lluvias en el sector está bien definida, tanto que es fácilmente de conocimiento de los agricultores que en los meses de escasez de agua el caudal quebrada disminuye totalmente, finalmente se adoptó el método de Coeficiente de escorrentía en el cual se observa que los mayores caudales se dan en los primeros meses y posteriormente se identifican los meses con mayor problemas en la disponibilidad del recurso hídricos. Luna (2017), asegura que los cálculos de esguerrimiento a través de los métodos empíricos tienen gran confiabilidad, sin embargo, recomienda que se debe tener un historial de medición de los caudales con métodos directos.

Método de coeficiente de escorrentía.

Para determinar el esguerrimiento con este método primeramente se determinó el valor de Coeficiente de Escorrentía, donde se toma en cuenta la textura de los suelos, cobertura vegetal y pendiente (González, 2017), para lo cual se elaboraron los siguientes mapas.

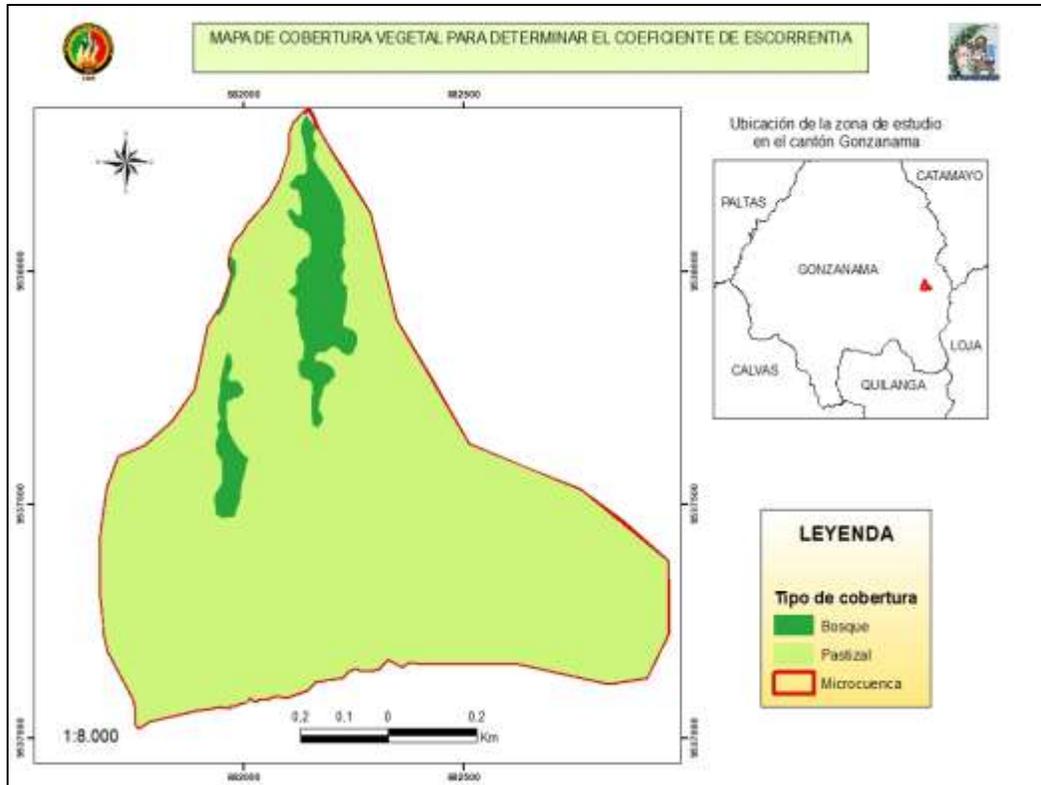


Figura 16. Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca para determinar el Ce.

En la Figura 16, se observa el mapa de cobertura vegetal en la microcuenca Yambananga, donde el bosque abarca el 10% del área total de la microcuenca, mientras que el pastizal cubre el 90% de la extensión, el sector está conformado en su mayoría por parcelas dedicadas al pastoreo, razón por la cual es limitado los suelos de uso agrícola en la parte alta, los cuales se encuentran en los sectores bajo la microcuenca (PDyOT Purunuma, 2015).

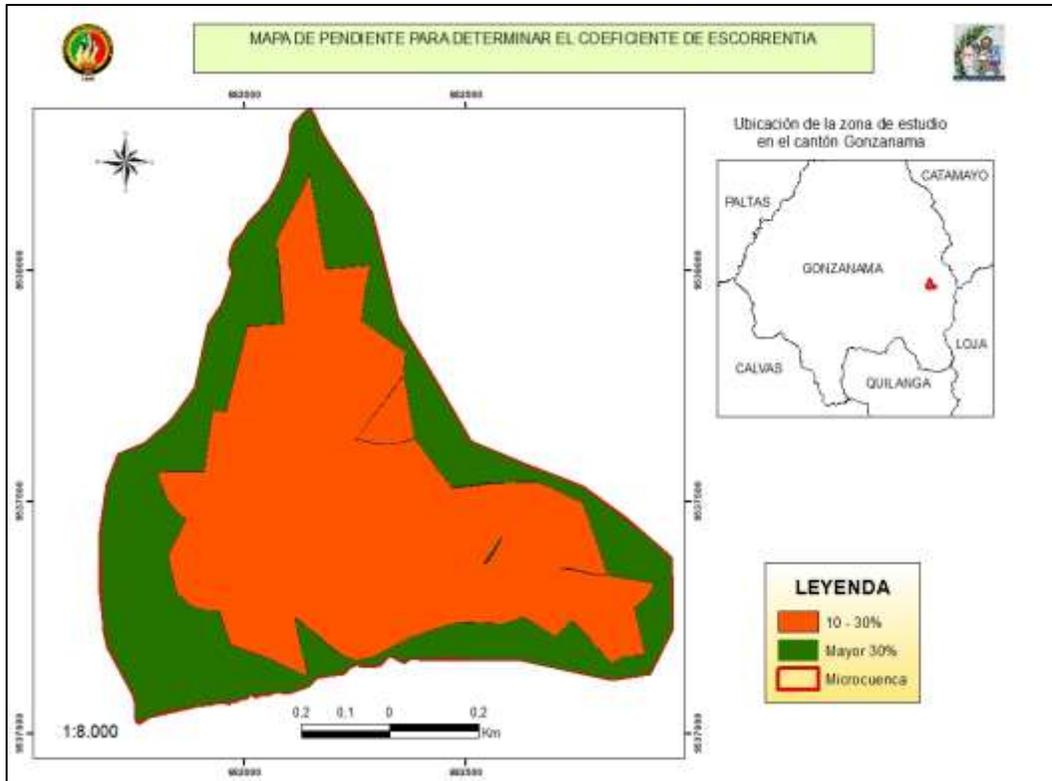


Figura 17. Mapa de pendiente de la microcuenca para determinar el Ce.

El mapa de pendiente para determinar Ce, se muestra en la Figura 17, la clasificación de la pendiente se encuentra en dos rangos, donde el 60% del área de la microcuenca tiene pendiente ente el 10% y 30% y las pendientes mayores al 30%, abarca el 40% de la superficie de la microcuenca (Cartografía IGM).

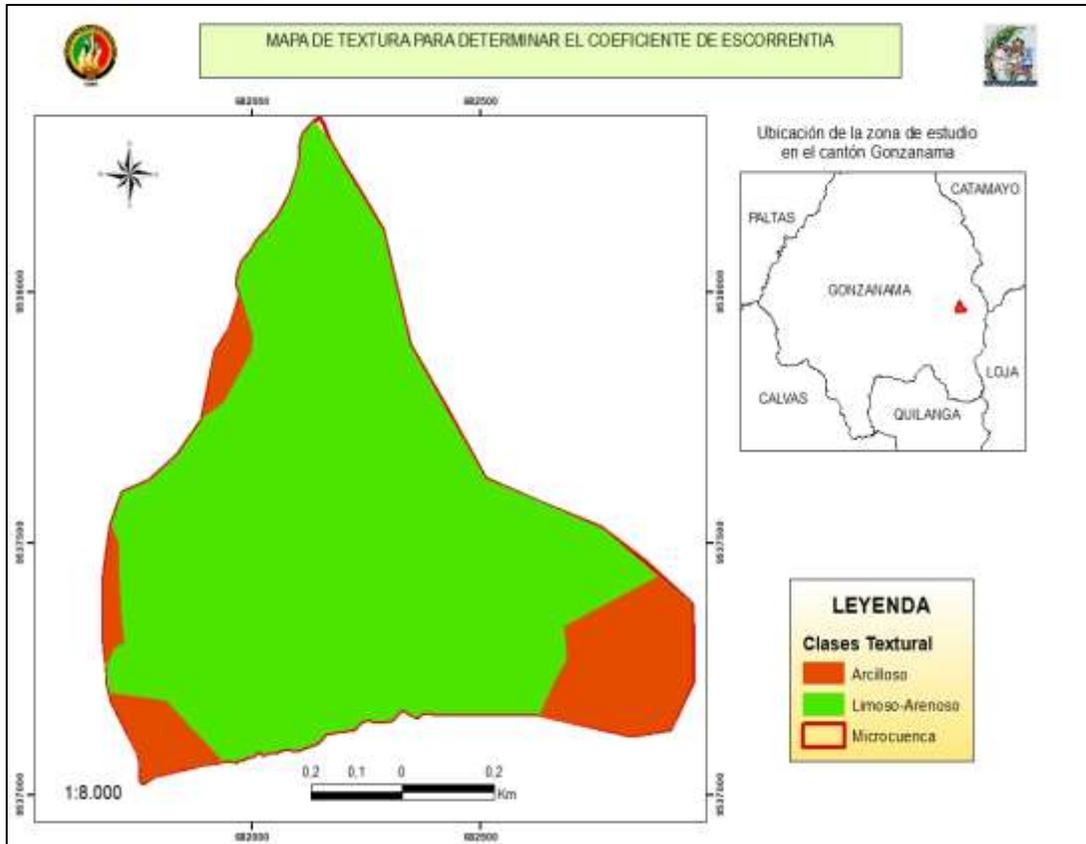


Figura 18. Mapa de clases texturales de la microcuenca para determinar el C_e .

En la Figura 18, se observa la clasificación de la textura, la microcuenca tiene dos clases texturales, predominado el Limoso-Arenoso con el 87% de la superficie y suelos arcillosos con el 13% del área total. Estos suelos considerados como pesados se caracterizan por tener poca impermeabilidad, dando lugar a mayor escurrimiento del agua durante las lluvias (Cartografía SIGTIERRAS).

Obtenido el valor de C_e , más la precipitación media mensual de la microcuenca se estimaron los caudales medios mensuales de la quebrada Yambananga, en la Tabla 5, se observan los escurrimientos medios mensuales, los mayores caudales se encuentran entre enero y mayo, mientras que la segunda parte del año se caracteriza por la disminución del caudal, siendo más evidente la escasez del recurso hídrico durante el mes de agosto. Estos acontecimientos se dan debido a la distribución de las lluvias, las mismas que tienen sus inicios en diciembre concluyendo en abril y posteriormente se presenta el periodo de ausencia de lluvias dando lugar a sequías en el sector (INAMHI, 2013).

Tabla 5

Escorrentía medio mensual de la microcuenca por el método de coeficiente de escorrentía en l/s.

Año/ Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T	M
1982	15,9	12,29	13,78	11,87	7,87	0,00	0,00	0,00	2,30	0,74	1,85	26,75	93,44	7,79
1983	25,2	13,34	32,07	11,89	9,20	1,96	0,23	0,00	0,34	1,19	0,04	3,97	99,46	8,29
1984	8,76	55,69	37,55	14,92	7,95	1,14	1,88	0,90	6,31	1,02	0,90	0,51	137,54	11,4
1985	10,6	7,23	16,50	10,18	11,49	1,14	1,06	1,91	3,25	0,73	0,49	16,41	81,00	6,75
1986	5,64	28,76	25,32	15,62	8,09	1,14	0,00	0,06	3,53	0,66	0,53	8,26	97,61	8,13
1987	6,91	2,95	28,82	19,77	13,79	1,14	1,06	0,28	0,79	0,16	0,52	1,67	77,85	6,49
1988	16,1	40,87	5,34	17,37	6,03	2,62	1,86	0,76	0,77	0,49	1,03	7,73	100,98	8,41
1989	20,8	24,20	37,89	11,89	2,00	1,40	1,06	0,56	12,2	0,76	0,27	5,40	118,42	9,87
1990	15,7	32,39	4,73	47,24	2,09	1,04	2,36	0,43	2,00	0,67	1,50	4,10	114,29	9,52
1991	15,4	7,68	49,32	12,26	14,96	0,08	1,34	0,56	4,86	0,26	0,39	1,74	108,89	9,07
1992	6,6	5,68	31,05	4,86	2,79	0,45	0,00	0,01	3,82	0,67	0,77	8,84	65,59	5,47
1993	9,7	46,98	39,45	11,51	4,52	0,88	1,06	0,56	1,88	1,27	0,28	10,86	128,91	10,7
1994	15,3	18,67	16,52	7,26	4,87	1,14	1,06	1,97	0,45	0,39	0,63	7,03	75,28	6,27
1995	1,7	20,32	25,00	1,42	0,41	0,00	0,00	0,37	2,00	0,08	0,92	4,28	56,37	4,70
1996	5,8	21,05	3,19	7,06	2,57	1,14	1,06	0,56	1,66	0,64	0,53	6,18	51,42	4,28
1997	10,2	1,03	8,44	16,65	4,70	0,97	1,06	0,56	1,76	0,68	1,76	4,59	52,38	4,36
1998	7,43	34,14	22,91	13,37	1,68	1,14	1,06	0,56	2,00	1,33	0,53	6,18	92,33	7,69
1999	12,0	71,16	32,20	32,84	6,03	1,05	1,06	0,56	1,88	1,01	0,54	14,84	175,25	14,6
2000	16,7	108,1	41,50	52,30	10,38	0,52	0,85	0,28	0,94	0,84	0,42	14,55	247,50	20,6
2001	10,3	11,91	19,81	9,67	5,54	0,00	0,64	0,00	0,00	0,68	0,29	14,27	73,11	6,09
2002	6,64	14,79	7,17	26,10	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	0,42	14,04	71,00	5,92
2003	2,63	25,03	22,83	14,30	0,33	0,00	0,90	0,00	0,01	1,55	0,29	3,01	70,88	5,91
2004	3,26	7,28	4,30	24,29	5,06	0,70	1,62	0,00	2,75	1,09	2,23	11,85	64,44	5,37
2005	3,25	22,88	48,20	7,04	8,15	2,10	0,00	0,00	0,00	0,97	0,43	6,17	99,19	8,27
2006	7,98	33,24	47,00	12,98	0,19	5,32	2,34	0,00	0,15	0,42	2,01	15,07	126,69	10,6
2007	4,62	13,47	32,74	25,21	7,36	1,59	0,63	1,53	0,58	0,74	2,10	6,86	97,43	8,12
2008	6,82	48,98	36,50	14,08	8,58	3,06	0,01	1,56	1,93	1,54	0,95	18,88	142,89	11,9
2009	2,60	41,27	34,60	14,79	9,20	0,52	0,63	0,67	0,50	0,34	0,12	7,72	136,36	11,4
2010	0,54	29,16	15,04	13,51	14,80	5,20	2,77	1,69	1,18	0,44	1,36	8,34	94,02	7,83
2011	14,9	65,15	23,12	25,46	5,24	2,66	1,12	2,09	4,87	0,97	1,49	12,83	159,93	13,3
2012	35,1	55,99	17,95	26,13	1,35	0,04	0,02	0,00	1,70	0,68	0,98	9,35	149,32	12,4
2013	6,54	29,11	22,53	0,69	13,28	0,51	1,24	0,53	1,06	1,61	0,47	10,26	87,82	7,32
SUM	355,1	950,9	803,3	534,5	201,2	40,6	30,0	18,9	67,5	25,7	27,0	292,5	3347,5	278,
MAX	35,10	108,1	49,32	52,30	14,96	5,32	2,77	2,09	12,2	1,61	2,23	26,75	247,50	20,6
MED	11,10	22,17	25,10	15,37	6,29	1,94	0,84	0,35	1,32	0,70	0,94	9,14	104,61	8,72
MIN	0,54	1,03	3,19	0,69	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,04	0,51	51,42	4,28
DESV	7,77	23,30	13,46	11,39	4,36	1,32	0,76	0,65	2,42	0,40	0,62	5,69	41,21	3,43
CV(%)	0,70	0,78	0,54	0,68	0,69	1,04	0,81	1,10	1,15	0,49	0,73	0,62	0,39	0,39

6.3.2.5.5. Curva de Duración General.

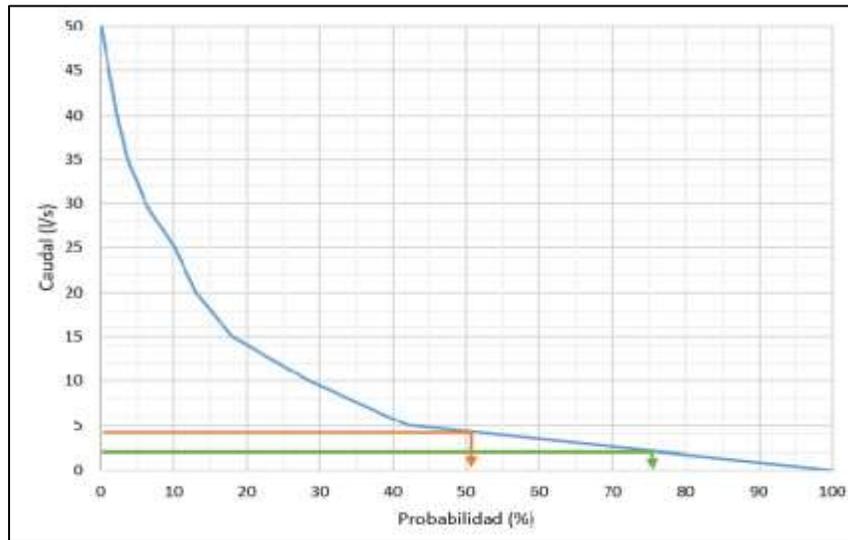


Figura 19. Curva de duración general de la quebrada Yambananga.

En la Figura 19, se observa la curva de duración general, la cual presenta pendientes pronunciadas, lo cual es un indicador que la microcuenca tiene caudales muy variables en el año. A lo que Vivanco (2017) menciona que a través de la curva de duración general se puede verificar el caudal disponible de manera óptima, establecer calendarios de riego y conocer el tiempo de duración de cierto caudal, es así que en la microcuenca hay una probabilidad del 50 % que exista un caudal de 4 l/s, mientras que con un 75% de probabilidad existe un caudal es 2 l/s, debido a la superficie pequeña de la microcuenca y a la características morfométricas la disponibilidad de agua es limitada.

6.3.2.5.6. Curvas de Variación Estacional.

Tabla 6

Caudales medio probables de la microcuenca Yambananga en l/s.

Prob.(%)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T	M
20%	15,9	46,9	37,6	25,2	9,2	1,9	1,3	0,9	3,3	1,1	1,5	14,3	159,3	13,3
35%	12,1	32,4	32,1	15,6	7,9	1,1	1,1	0,6	2,0	1,0	0,9	10,3	117,0	9,6
50%	8,76	24,2	23,1	13,5	5,5	1,0	1,1	0,5	1,7	0,7	0,5	7,7	88,5	7,4
60%	6,91	20,3	22,5	12,3	4,9	0,9	0,9	0,3	1,1	0,7	0,5	6,9	78,0	6,6
75%	5,79	12,3	15,0	10,2	2,1	0,5	0,0	0,0	0,5	0,5	0,4	4,6	51,9	4,3

En la Tabla 6, se observan los caudales medios probables en la microcuenca, también en la Figura 20, se facilita observar la variación de los caudales durante el año, para fines de

planificación de riego se debe trabajar con una probabilidad de 75 %, donde la gráfica presenta curvas muy pronunciadas alcanzando un caudal de 15 l/s en el mes de marzo en el cual se dan las mayores laminas de precipitación y también se muestran los meses con mayor déficit hídrico con un caudal por debajo de 0,001 l/s, siendo estos meses julio y agosto, estos datos son importantes a tomar en cuenta en la planificación de riego.

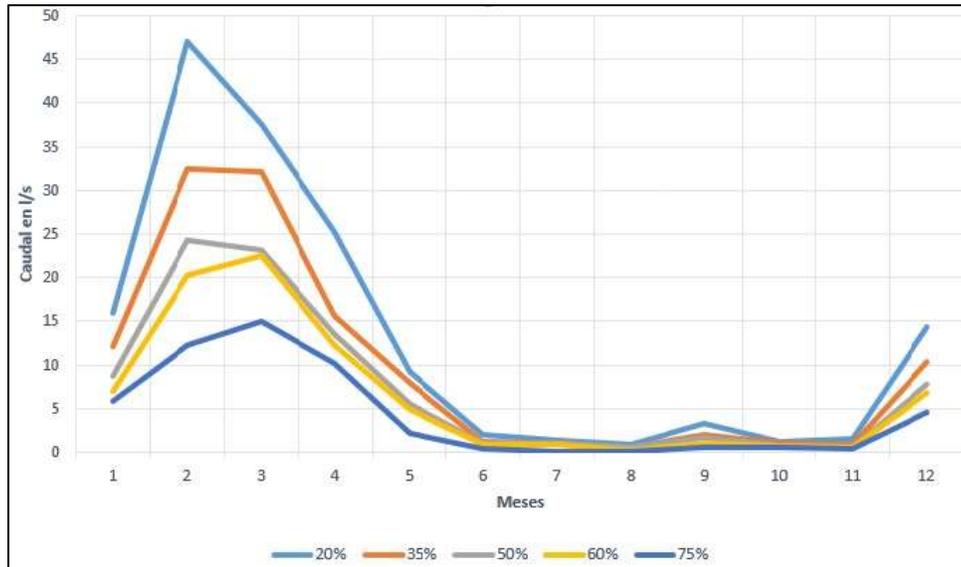


Figura 20. Curva de variación estacional de la quebrada Yambananga.

6.3.2.5.7. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH). El índice de retención y regulación hídrica de la microcuenca es 0,44 el cual según la clasificación del IDEAM (2010) representa a una microcuenca muy baja en retención y regulación de humedad (Anexo 11), el valor del IRH concuerda con las características morfométricas de la microcuenca, parámetros de la red de drenaje y la mala distribución de las lluvias en el sector.

6.3.2.6. Análisis de la Demanda de Agua de los Cultivos. La demanda está directamente relacionada al consumo de agua de cada uno de los cultivos, lo cual varía según las condiciones climáticas del lugar, para lo cual se debe determinar el volumen por unidad de superficie para cada cultivo y finalmente expresar la demanda en l/s, los procesos del cálculo de la demanda de agua se detalla a continuación:

6.3.2.6.1. Patrón de Cultivos de la Zona de Riego.

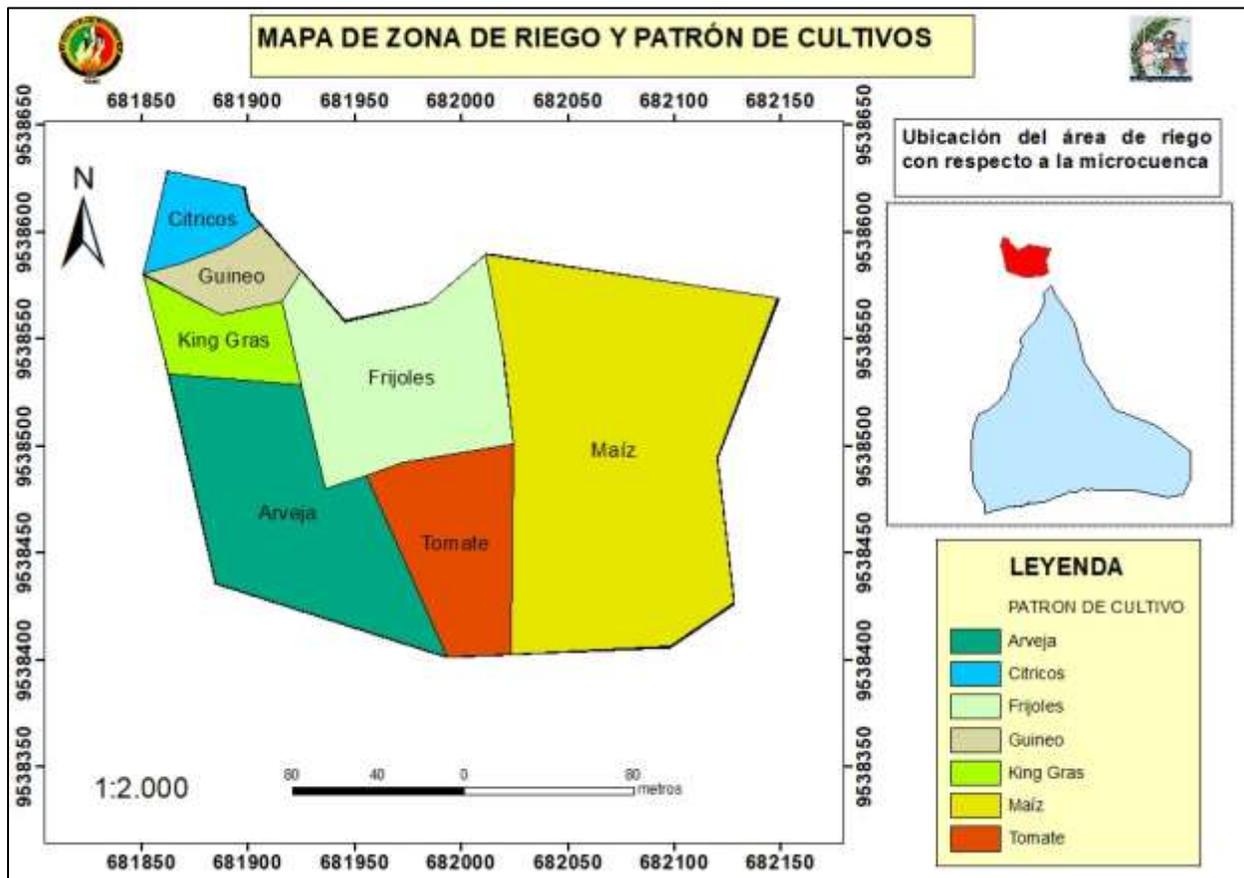
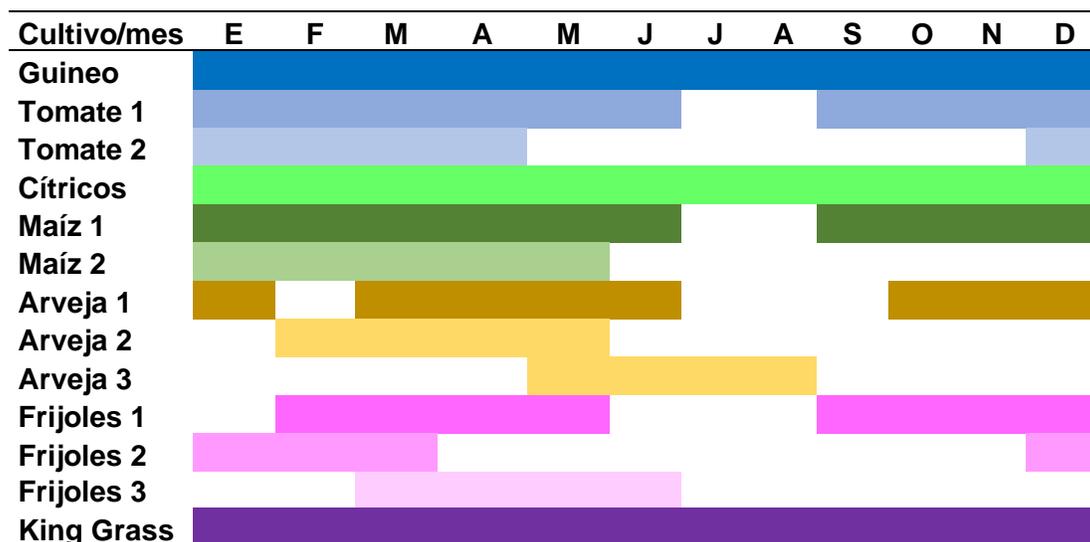


Figura 21. Mapa de patrón de cultivos de la zona de riego.

El patrón de cultivo de la zona de riego, se estableció en base a los cultivos que se producen en la zona baja de la parroquia Purunuma, donde el clima se caracteriza por presentar las mayores temperaturas de la parroquia (PDyOT, 2015), para el estudio y análisis del requerimiento de agua se tomaron en cuenta seis cultivos, para un área de 4.5 hectáreas, (Figura 21).

Tabla 7*Patrón de cultivos para la zona de riego.*

En la Tabla 8, se presenta el patrón de cultivos, donde se observan los meses en que estos se desarrollan, existen cultivos perennes y de ciclo corto los cuales se realizan dos o tres siembras en el año, dando en algunos casos meses en el que el terreno se encuentra en descanso (PDyOT Purunuma, 2015). En la siguiente tabla se muestran cada cultivo y su área de siembra, así también la duración del ciclo de cada cultivo.

Tabla 8*Cultivos de la zona de riego.*

Cultivo/mes	Área (ha)	Área (%)	Ciclo del cultivo (días)	Nº siembra	Inicio de cultivo
Guineo	0,16	3,56	365	1	Septiembre
Tomate 1	0,30	6,67	145	2	Febr-Septi
Tomate 2	0,18	4,00	145	1	Diciembre
Cítricos	0,16	3,56	265	1	Febrero
Maíz 1	0,80	17,78	165	2	Sept-Febr
Maíz 2	1,00	22,22	165	1	Enero
Arveja 1	0,40	8,89	105	2	Marz-Octu
Arveja 2	0,20	4,44	105	1	Febrero
Arveja 3	0,25	5,56	105	1	Mayo
Frijoles 1	0,35	7,78	105	2	Febr-Septiem
Frijoles 2	0,18	4,00	105	1	Diciembre
Frijoles 3	0,30	6,67	105	1	Marzo
King Grass	0,22	4,89	90	4	Ene-Abr-Jul-Sep
Total	4,5	100			

6.3.2.6.2. Coeficiente de Cultivo (Kc). Se determinó el Kc de cada una de las etapas de desarrollo de los cultivos, luego se procedió a realizar las curvas Kc de estos (Anexo 17), finalmente en la Tabla 9, se muestran los valores Kc mensuales de cada cultivo.

Tabla 9

Valores de Kc para los cultivos de la zona de riego.

Cultivo/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Guineo	1,19	1,20	1,20	1,18	1,10	0,41	0,42	0,42	0,45	0,61	0,98	1,15
Tomate 1	0,90	0,66	0,94	1,19	1,20	0,96			0,70	0,96	1,08	1,22
Tomate 2	0,96	1,18	1,22	0,90								0,70
Cítricos	0,65	0,65	0,64	0,63	0,61	0,60	0,60	0,60	0,60	0,61	0,63	0,65
Maíz 1	1,00	0,40	0,83	1,12	1,16	1,00			0,40	0,83	1,12	1,16
Maíz 2	0,40	0,83	1,12	1,16	1,00							
Arveja 1	0,49		0,42	0,98	1,20	0,97				0,42	0,98	1,22
Arveja 2		0,42	0,98	1,22	0,97							
Arveja 3					0,42	0,98	1,22	0,97				
Frijoles 1		0,42	0,99	1,22	0,64				0,42	0,99	1,22	0,64
Frijoles 2	0,99	1,22	0,64									0,42
Frijoles 3			0,42	0,99	1,22	0,64						
King Grass	1,02	0,93	1,04	1,02	0,93	1,04	1,00	0,93	1,04	1,02	0,93	1,04

En la Tabla 9, se observa el Kc para los cultivos durante los meses de sus ciclos vegetativos, donde los Kc máximos se encuentran durante las etapas finales del cultivo y los valores menores se dan en el inicio del cultivo, así como en la etapa final, fácilmente se puede identificar que los cultivos con los mayores requerimientos de agua es el guineo y tomate, y el cultivo de King gras y los cítricos tienen un Kc bajo (FAO Nro.56 2014). Se debe tomar en cuenta los meses que el Kc es alto con la finalidad de poder abastecer correctamente las necesidades de agua de los cultivos, además se recalca la investigación realizada en Sacapalca por (Nero, 2020) donde el Kc máximo para tomate, maíz y frejol es 1,2 y los valores mínimos están en un rango de 0,3 a 0,5, teniendo similitud con los valores de Kc para la presente investigación.

6.3.2.6.3. Evapotranspiración de Referencia (ETo) en la Zona de Riego. La evapotranspiración de referencia para cada estación se calculó el programa Cropwat 8.0 (Anexo 19), y se elaboraron los mapas de ETo para zona de riego (Anexo 20).

Tabla 10*Evapotranspiración del cultivo de referencia en la zona de riego.*

ETo/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
mm/día	2,97	2,70	3,09	3,20	3,07	3,14	3,42	3,66	3,64	3,34	3,20	2,86
mm/mes	92,2	75,6	95,6	96,0	95,3	94,3	106,1	113,3	109,2	103,4	95,9	88,7

En la

Tabla 10, se aprecia de manera clara la variación de la evapotranspiración del cultivo de referencia en la zona de riego, los picos máximos se producen en los meses desde julio hasta octubre, siendo los meses más críticos en cuanto a la falta de lluvias y el aumento de temperatura del sector, estas condiciones hacen indispensable el uso de agua para irrigar los cultivos favoreciendo al desarrollo óptimo y a asegurar la producción (GPL, 2019). La variación de los valores ETo según Trezza (2008), está ligado a la variabilidad de los factores meteorológicos que cambian en un sector, siendo la temperatura la que está más relacionada a esta variación.

6.3.2.6.4. Evapotranspiración de Cultivo (ETc). A continuación, se muestran los valores de la evapotranspiración de cultivo en la zona de riego.

Tabla 11*Evapotranspiración de los cultivos en la zona de riego en mm/mes.*

Cultivo/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Guineo	109,7	90,7	114,8	113,3	104,8	38,7	44,6	47,6	49,1	63,1	93,9	102,0
Tomate1	82,9	49,9	89,9	114,3	114,3	90,5			76,5	99,3	103,5	108,2
Tomate2	88,5	89,2	116,7	86,4								62,1
Cítricos	59,9	49,1	61,2	60,5	58,1	56,6	63,7	68,0	65,5	63,1	60,4	57,6
Maíz1	92,2	30,2	79,4	107,5	110,5	94,3			43,7	85,8	107,4	102,9
Maíz2	36,9	62,7	107,1	111,4	95,3							
Arveja1	45,2		40,2	94,1	114,3	91,5				43,4	93,9	108,2
Arveja2		31,7	93,7	117,1	92,4							
Arveja3					40,0	92,4	129,4	109,9				
Frijoles1		31,7	94,7	117,1	61,0				45,9	102,4	116,9	56,8
Frijoles2	91,2	92,2	61,2									37,2
Frijoles3			40,2	95,1	116,2	60,4						
King Grass	94,0	70,3	99,5	97,9	88,6	98,1	106,1	105,4	113,6	105,5	89,1	92,2

En la Tabla 11, se observan los valores de la evapotranspiración de cultivo, los cuales son directamente proporcional a los valores del Kc, los mayores rangos varían entre los meses de julio a septiembre, también se observa que los valores elevados del ETc coinciden con las

etapas de desarrollo finales del cultivo, donde el consumo de agua es óptimo para un buen desarrollo y producción. González (2017) asegura que los cálculos de ETc se deben realizar empleando en coeficiente único de cultivo (Kc), este cálculo está ligado aplicaciones tales como; planificación de riego, su diseño y su manejo, así como para establecer calendarios de riego en tiempo real.

6.3.2.6.5. Precipitación Efectiva en la Zona de Riego. La precipitación efectiva, se calculó haciendo uso del método propuesto por USDA (Soil Conservation Service), cuyos resultados se detallan a en la **Tabla 12**.

Tabla 12

Precipitación efectiva en la zona de riego en mm/mes.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	85,6	146,9	192,1	124,0	48,3	9,5	7,2	4,5	16,0	62,1	63,0	74,6
Precipitación efectiva	73,8	112,4	133,1	99,4	44,6	9,3	7,1	4,5	15,6	55,9	56,6	65,7

La precipitación efectiva presenta la misma tendencia que la precipitación generada en la zona de riego, se puede evidenciar las dos temporadas; la de las mayores precipitaciones que se dan en los primeros meses del año y la otra que va desde junio hasta septiembre donde la lámina de precipitación efectiva disminuye considerablemente.

6.3.2.6.6. Necesidades Netas de Riego (NRn). Las necesidades de riego representan la cantidad de agua que necesitan los cultivos para un adecuado desarrollo, en la siguiente tabla se puede evidenciar los meses en que se necesita mayor lámina de agua.

Tabla 13

Necesidades netas de riego de los cultivos en mm/mes/ha.

Cultivo/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Guineo	35,8			13,9	60,2	29,4	37,4	43,1	33,6	7,1	37,3	36,3
Tomate1	9,1			14,9	69,7	81,2			60,9	43,3	46,9	42,5
Tomate2	14,6											
Cítricos					13,5	47,3	56,5	63,5	49,9	7,1	3,7	
Maíz1	18,3			8,1	65,9	85,0			28,1	29,9	50,7	37,2
Maíz2				12,0	50,7							
Arveja1					69,7	82,2					37,3	42,5
Arveja2				17,7	47,8							
Arveja3						83,1	122,3	105,4				
Frijoles1				17,7	16,4				30,3	46,4	60,3	
Frijoles2	17,4											
Frijoles3					71,7	51,0						

En la Tabla 13, se observa que en los meses que las precipitaciones exceden a las cantidades de agua requeridas por los cultivos, la necesidad de riego es nula, a medida que las precipitaciones disminuyen el requerimiento de agua aumenta. Por otra parte, la Tabla 13, también permite identificar cuáles son los meses con mayor disponibilidad de agua, la cual se debe almacenar para utilizarlo como riego en los meses de estiaje donde las necesidades de riego aumentan amenazando con la pérdida de cultivos debido a la escasez del recurso hídrico (PDyOT Purunuma, 2015). Para Alvear (2000), cuando toda el agua requerida para la producción de los cultivos venga por medio de la lluvia, el riego no será necesario, por lo tanto, la de riego serán igual a cero, por tal razón observamos que en febrero y marzo no existe necesidad de riego, ya que la precipitación efectiva es mayor que la demanda mensual de agua de los cultivos.

Finalmente se determinó las necesidades brutas de riego, cuyos cálculos incluyen la eficiencia del sistema de riego aplicado, así como también la frecuencia de riego, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14

Necesidades de riego brutas de los cultivos en m³/mes.

Cultivo/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Guineo	229			89	385	188	240	276	215	46	239	232	2138
Tomate1	109			178	837	975			730	520	562	510	4421
Tomate2	105												105
Cítricos					87	303	362	406	320	46	23,9		1547
Maíz1	586			260	2110	2720			899	956	1623	1189	10342
Maíz2				479	2028								2507
Arveja1					1116	1315					597	680	3707
Arveja2				143	383								525
Arveja3						831	1223	1054					3108
Frijoles1				248	2230				424	650	844		2396
Frijoles2	125												125
Frijoles3					860	613							1472
King Grass	177				388	781	871	888	862	436	286	233	4922
Total	1332	0,0	0,0	1303	8423	7724	2696	2624	3450	2652	4174	2844	37315

Los requerimientos hídricos dependen de varios factores entre los cuales los más importantes están el clima y el consumo hídrico según la especie y estado de desarrollo del cultivo, lo que permiten mantener suficiente humedad en el sistema radicular en función de los factores climáticos, la fenología del cultivo y las características de suelo; (Bustamante et al., 2005)

En la Tabla 14, se puede ver cuál es el requerimiento de agua de los cultivos, la mayor demanda se da en los meses de mayo con 4823 m³ y noviembre con 4174 m³, mientras que el mes de febrero y marzo no existe requerimientos de riego, ya que en estos meses la precipitación efectiva es superior a las necesidades hídricas de los cultivos. A si mismo se observan los valores de requerimientos hídricos para cada cultivo, él depende de la superficie cultiva, el máximo valor es para el cultivo de maíz, con 12849 m³ para regar una superficie de 1,8 hectáreas distribuidas en dos lotes de siembra, y el menor valor para el cultivo de guineo, con 2138 m³ para regar un área de 0,16 hectáreas (FAO Nro.56 2014) y (GLP, 2019).

Finamente, tomando una eficiencia de riego del 50%, se necesitan 37315 m³ de agua para regar una superficie total de 4,5 hectáreas, a lo que (Luna, 2017) y (Nero, 2020), recomiendan mejorar la eficiencia de los sistemas de riego, logrando de esta forma minimizar las necesidades de hídricas, permitiendo aumentar considerablemente el área cultivable. González, et al, (2010) señala que eficiencia de riego es una condición que se debe tener en cuenta para expresar con mayor certidumbre la irrigación con fines agrícolas.

6.3.2.6.7. Índice de Escasez de Agua (IEA). El índice de escasez de agua para la microcuenca es de 15 %, según el IDEAM (2010), se clasifica como moderado, señalando que la disponibilidad de agua se puede ser en un factor limitador del desarrollo. Este índice, permite conocer la posibilidad de aumentar o disminuir las áreas de riego evitando la sobre explotación del recurso hídrico de la microcuenca, en tal caso no existe ninguna posibilidad de aumentar el área de riego ya que en épocas secas la disponibilidad del recurso hídrico es muy limitado (Vivanco, 2017).

Una vez realizado el análisis de oferta y demanda se establece un área de riego de 4,5 hectáreas con cultivos de guineo, cítricos, King gras, tomate, frijoles y arveja, estos tres últimos se siembran en diferentes meses y en distintas áreas con la finalidad de lograr el mayor aprovechamiento del agua cuando el caudal en la quebrada no disminuye considerablemente.

6.4. Cálculo del Volumen del Embalse, que Permita Almacenar Agua para Cubrir la Demanda Hídrica de los Cultivos

Para dar cumplimiento a este objetivo se realizó el levantamiento topográfico del sitio donde se propone diseñar el embalse, luego se elaboró el mapa base de la topografía (Anexo 22), identificando de esta forma el área destinada a inundar, la cual tiene una superficie de 2330 m².

Con la finalidad de realizar una propuesta de la planificación de los recursos hídricos de la microcuenca, se procedió a calcular el volumen útil necesario para suplir la demanda de agua

de los cultivos, para lo cual se utilizaron dos métodos los mismos que se describen a continuación:

6.4.2. Método de Algoritmo de Sucesión de Picos o Pico Secuente

Se toman con referencia dos años, considerando que las ofertas y demandas son las mismas, se procedió a hacer la relación entre oferta y demanda, a continuación, en la Tabla 15, se muestran detallados los respectivos cálculos.

Tabla 15.

Método de algoritmo de sucesión de picos o método del pico secuente.

	xi	di	xi-di	(xi-di)	Volumen (m)
	Aportes (m)	Demanda (m)		Acumulado (m)	
Enero	29730,24	1332,22	28398,02	28398,02	
Febrero	53633,66	0,00	53633,66	82031,68	
Marzo	67227,84	0,00	67227,84	149259,52	
Abril	39839,04	1303,44	38535,60	187795,13	
Mayo	16847,14	8422,54	8424,60	196219,72	p1
Junio	5028,48	7724,12	-2695,64	193524,09	
Julio	2249,86	2695,55	-445,69	193078,40	
Agosto	937,44	2623,80	-1686,36	191392,04	
Septiembre	3421,44	3450,08	-28,64	191363,39	
Octubre	1874,88	2652,07	-777,19	190586,21	
Noviembre	2436,48	4174,11	-1737,63	188848,58	t1
Diciembre	24480,58	2843,61	21636,96	210485,54	7371,15
Enero	29730,24	1332,22	28398,02	238883,56	
Febrero	53633,66	0,00	53633,66	292517,22	
Marzo	67227,84	0,00	67227,84	359745,06	
Abril	39839,04	1303,44	38535,60	398280,66	
Mayo	16847,14	8422,54	8424,60	406705,26	p2
Junio	5028,48	7724,12	-2695,64	404009,62	
Julio	2249,86	2695,55	-445,69	403563,93	
Agosto	937,44	2623,80	-1686,36	401877,57	
Septiembre	3421,44	3450,08	-28,64	401848,93	
Octubre	1874,88	2652,07	-777,19	401071,74	

Noviembre	2436,48	4174,11	-1737,63	399334,11	t2	7371,15
Diciembre	24480,58	2843,61	21636,96	420971,08	p3	

La Tabla 15, se observa claramente los meses en que existe mayor déficit de agua, así como los meses en que existe un excedente del recurso hídrico, en mayo en los picos p1 y p2 la disponibilidad de agua empieza a disminuir, el almacenamiento de agua se debe hacer en los meses anteriores a estos picos, garantizando tener agua para regar durante los meses de escasez, la temporada de carencia de agua dura hasta el mes de noviembre t1 y t2, la diferencia p-t es de 7371,15 m³, volumen necesario para regar los cultivos establecidos (INAMHI, 2013) y (FAO Nro.56 2014).

6.4.3. Método de la Curva de Masa a la Inversa

El cálculo del volumen útil del embalse, a través de este método hace la relación mensual entre oferta, a continuación, se muestran de forma detalla los cálculos.

Tabla 16

Método de la curva de masa a la inversa.

Mes	Qi Demanda (m3)	Di Demanda (m3)	Qi-Xi (m3)	Estado	Qi-Xi Ordenado (m3)	Qi-Xi Ordenado- Acumulado
Enero	29730,24	1332,22	28398,02	Exceso	-2695,64	-2695,64
Febrero	53633,66	0,00	53633,66	Exceso	-1737,63	-4433,26
Marzo	67227,84	0,00	67227,84	Exceso	-1686,36	-6119,62
Abril	39839,04	1303,44	38535,60	Exceso	-777,19	-6896,81
Mayo	16847,14	8422,54	8424,60	Exceso	-445,69	-7342,50
Junio	5028,48	7724,12	-2695,64	Diferencia	-28,64	-7371,15
Julio	2249,86	2695,55	-445,69	Diferencia	8424,60	1053,45
Agosto	937,44	2623,80	-1686,36	Diferencia	21636,96	22690,41
Septiembre	3421,44	3450,08	-28,64	Diferencia	28398,02	51088,43
Octubre	1874,88	2652,07	-777,19	Diferencia	38535,60	89624,03
Noviembre	2436,48	4174,11	-1737,63	Diferencia	53633,66	143257,70
Diciembre	24480,58	2843,61	21636,96	Diferencia	67227,84	210485,54

En la Tabla 16, se observa el cálculo del volumen del útil del embalse, se necesita embalsar es de 7371,15 m³ de agua, el cual permite abastecer las necesidades hídricas de los cultivos, el resultado obtenido a través de los métodos aplicados es el igual, por lo cual se

procederá a continuar con los cálculos del volumen total del embalse (INAMHI, 2013) y (FAO Nro.56 2014).

6.4.4. Volumen del Embalse

Para determinar el volumen total, es necesario realizar el balance hídrico del embalse, donde se debe toma en cuenta los aportes [escurrimiento superficial y precipitación en el embalse] y las extracciones [evaporación, filtraciones y extracción de agua para riego] (Vivanco, 2017), los cálculos requeridos en el balance hídrico del embalse se detallan a continuación.

6.4.4.3. Precipitación del Embalse. Igual que para determinar la precipitación en la microcuenca, se utilizó el método de las isoyetas obteniendo los resultados que se muestran a continuación:

Tabla 17

Precipitación sobre el área mojada del embalse en mm/mes.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación.	78,4	141,8	185,9	115,7	45,8	8,9	6,7	4,5	14,4	59,7	59,6	70,2

En la Tabla 17, al igual que la precipitación en la microcuenca sé observa que durante el año existen dos períodos bien caracterizados, uno con mayor lámina de precipitación, mientras que el segundo período caracterizada por la ausencia de lluvias (INAMHI, 2013).

6.4.4.4. Evaporación del Embalse. Para determinar la evaporación del agua en el embalse se tomó en cuenta los datos de evaporación del tanque evaporímetro.

Tabla 18

Evaporación del embalse en mm/mes.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Eto	121,8	100,7	140,	108,1	163	166	188,2	191,0	176,4	169,5	145,7	170,
Factor	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Eva	85,2	70,5	98,7	75,7	114	116	131,7	133,7	123,4	118,6	102,0	119,

Como se observa en la Tabla 18, la evaporación del embalse no varía considerablemente en el año, la evaporación aumenta en los meses de ausencia de lluvia (INAMHI, 2013).

6.4.4.5. Cálculo del Volumen del Embalse. A continuación, se presentan cálculos y resultados de los procedimientos para calcular el volumen total del embalse:

Tabla 19

Cálculo del volumen total del embalse en m³.

	A	B	C	D	E	F	G	H		I	J	K	L
					(A-B-C+D) *0,025	A-B-C +D+E	Acumulado de F	Vol. Meto. C.M.I. -F (en caso de extraer)		G-H	I*0,08	J*0,05	H+J+K
Meses	Aportes	Extracciones	Eto Embalse	Precip. Embalse	Infiltración	Regulación Hídrica	Acumulado	Vol. Embalse	Estado	Derrame	Vol. Muerto	Vol. Min. Operación	Vol. Total
Ene	29730,2	1322,22	204,48	188,1	709,5	27672,1	27672,1	7371,15	Lleno	20300,9	589,69	368,56	8329,40
Feb	53633,7	0,0	169,16	340,2	1345,1	52459,6	80131,6	7371,15	Lleno	72760,5	589,69	368,56	8329,40
Mar	67227,8	0,0	236,67	446,0	1685,9	65751,2	145882,9	7371,15	Lleno	138511,7	589,69	368,56	8329,40
Abr	39839,0	1303,44	181,53	277,6	965,8	37665,8	183548,7	7371,15	Lleno	176177,6	589,69	368,56	8329,40
May	16847,1	8222,54	274,40	109,9	206,5	8053,6	191602,3	7371,15	Lleno	184231,1	589,69	368,56	8329,40
Jun	5028,5	7724,12	279,86	21,4	-73,9	-2880,3	188722,0	4490,9	Lleno	184231,1	359,27	224,54	5074,67
Jul	2949,9	2695,55	315,96	16,1	-18,6	-726,9	187995,1	3763,9		184231,1	301,11	188,20	4253,23
Ago	937,4	2623,80	320,66	10,8	-49,9	-1946,3	186048,7	1817,6		184231,1	145,41	90,88	2053,89
Sep	3424,4	3450,08	296,14	34,6	-7,3	-283,0	185765,8	1534,6		184231,1	122,77	76,73	1734,13
Oct	1874,9	2652,07	284,56	143,2	-23,0	-895,6	184870,2	639,1		184231,1	51,12	31,95	722,14
Nov	2436,5	4174,11	244,59	143,0	-46,0	-1793,3	183076,9	254,0		182822,9	20,32	12,70	287,02
Dic	24480,6	2843,61	285,98	168,4	538,0	20981,4	204058,4	7371,15	Lleno	196687,2	589,69	368,56	8329,40
Ene	29730,2	1322,22	204,48	188,1	709,5	27672,1	231730,4	7371,15	Lleno	224359,3	589,69	368,56	8329,40

En la Tabla 19, se muestran los cálculos del volumen total del embalse, la infiltración y el volumen muerto se determinaron en base a los propuesto por M. E. Guevara (Anexo 14) los valores de infiltración presentan una variabilidad durante el año, ya que dependen de la precipitación existente en cada mes, así mismo el volumen mínimo de operación se consideró del 5 %, los datos obtenidos son bastante considerables ya que es fácil observar son los meses en que existe mayor oferta de agua, en los cuales el embalse se encuentra lleno, y así también se muestran los meses de estiaje donde hay escasez del recurso hídrico, de la misma forma en la tabla se observa cuando existen derrames, sin embargo el embalse se calculó con fines de riego y no para el control de máximas avenidas, de acuerdo al volumen pequeño del embalse se deben proyectar obras aguas arriba con la finalidad de controlar el ingreso de sedimentos al embalse disminuyendo su capacidad de almacenamiento.

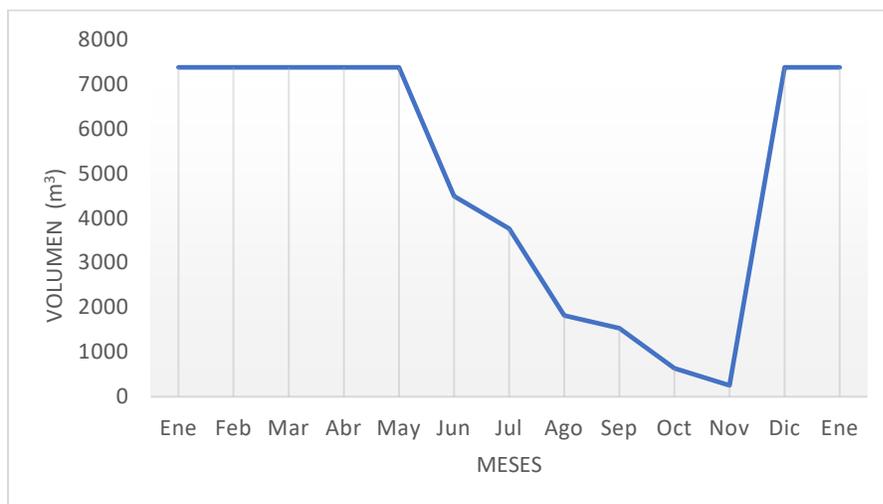


Figura 22. Volumen mensual en el embalse (m)

La Figura 22, permite ver detalladamente el volumen de agua que se encuentra el embalse en cada mes, los primeros meses debido a las precipitaciones el embalse se encuentra lleno, conforme aumentan las extracciones, el volumen de agua embalsada disminuye durante los meses de sequía y empieza a llenarse nuevamente cuando empieza la temporada de lluvias, por lo tanto, el embalse debe llenarse a su máximo volumen antes de la temporada más crítica, de tal manera se garantiza el riego para los cultivos durante los meses de escasez del recurso hídrico.

La Figura 23, representa la forma del vaso del embalse, el cual tiene un área inundada de 2300 m², el embalse es considerablemente pequeño debido al tamaño de la microcuenca la cual no proporciona un volumen de agua considerable.

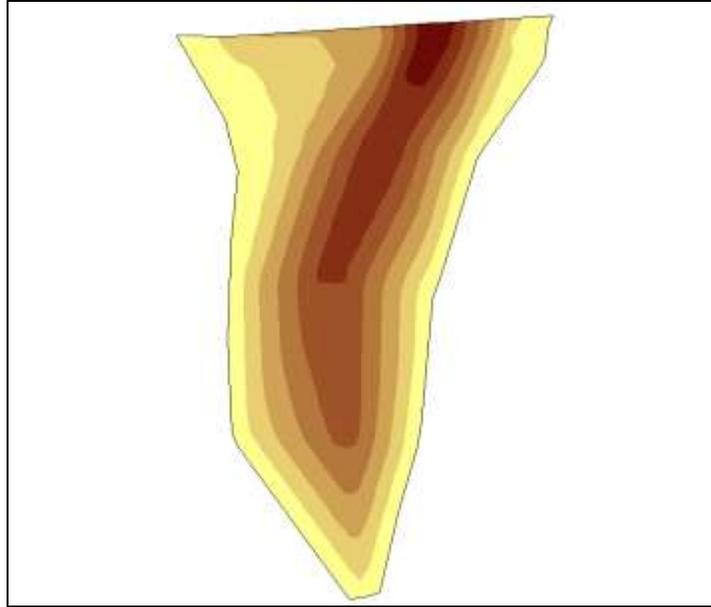


Figura 23. Representación del vaso del embalse

Tabla 20

Volumen del embalse y altura del muro

VOLUMEN	
Volumen total del embalse (m ³)	8329,40
Volumen muerto (m ³)	589,69
Volumen mínimo de operación (m ³)	368,56
ALTURA DEL MURO	
Cota inicio (msnm)	1935
Cota final (msnm)	1948
Altura del muro (m)	13
Longitud del muro (m)	47

Conociendo el volumen total del embalse, se determinaron las dimensiones del embalse, el cual tiene una capacidad de 8329,40 m³, la altura del muro es de 12 metros y una longitud de la cresta es de 47 metros, según la topografía del sitio (Anexo 22).

El embalse se clasifica como pequeño embalse ya que no cumple con ninguna de las características de grandes Presas propuestas Reglamento Técnico Sobre Seguridad de Presas y Embalses, (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996), la capacidad del embalse propuesto para satisfacer la demanda de agua de una superficie de 4,5 hectáreas de cultivos de guineo, tomate, maíz, frijol, king gras y arveja.

7. Discusión

La cuenca de la quebrada Yambananga tiene una área de 85,52 hectáreas, así mismo posee un perímetro de 4,31 km, la cual es relativamente pequeña, por lo que de acuerdo a la clasificación propuesta por el CIDIAT (1978) se considera como microcuenca, el coeficiente de compacidad de Gravelius para la microcuenca es 1,32 lo cual indica que tiene forma ovalada, y de la misma forma el coeficiente de forma de Horton es 0,5 que ubica a la microcuenca como moderadamente achatada lo cual indica una respuesta leve a las crecidas, características similares presenta la cuenca de la quebrada San Agustín lo cual Luna (2017) indica que estas microcuencas facilitan la planificación de los recursos hídricos, caso contrario sucede en la microcuenca de la quebrada La Cucula donde Vivanco (2017) indica que según coeficiente de Gravelius tiene forma oblonda la cual presenta una respuesta rápida a escurrimiento luego de precipitaciones, trayendo con ello problemas de inundación aguas abajo. La microcuenca tiene una pendiente media siendo esta del 37 % lo cual está condicionado por la orografía característica de la provincia de Loja, donde el GPL (2014) menciona que la mayor parte de la superficie del territorio provincial tiene una pendiente que comprende entre el 25 % y 50 %, la pendiente del cauce principal tiene gran incidencia al determinar el tiempo de concentración, aquí podemos diferenciar entre la cuenca de la quebrada La Cucula y Yambananga, la primera tiene un cauce de 3,7 km y una pendiente del 27,14 % con un tiempo de concentración de 20 minutos mientras que el cauce de la segunda tiene una longitud de 1,38 km el tiempo de concentración es de 18 minutos, de acuerdo a estos datos ratificamos que a mayor pendiente del cauce menor tiempo de concentración.

Para el análisis de la oferta de agua de la microcuenca de aporte en primera instancia se determinó la precipitación media sobre la microcuenca, para lo cual fue necesario contar con datos de precipitación de las siguientes estaciones meteorológicas: Gonzanamá, Catamayo, Nambacola y Malacatos, la distribución de la lluvia en la zona se encuentra bien definida, donde se caracterizan dos épocas bien definidas dando así el inicio de la época lluviosa en noviembre que se extiende hasta abril, posteriormente las lluvias disminuyen hasta el mes de octubre dando lugar a la época de escasez del recurso hídrico, las mayores láminas de precipitación se dan en el mes de febrero y marzo con 146,69 mm y 192,91 mm respectivamente a diferencia de los meses de julio y agosto que tienen 7,21 mm y 4,54 mm, esta variación de la precipitación durante el año tiene su explicación, por lo que el INERHI, PREDESUR y CONADE (2000) exponen que la mala distribución de las lluvias en la provincia de Loja se debe a factores entre los cuales se menciona la orografía característica de la región andina, la posición geográfica en zona ecuatorial ligada estrechamente con el factor de la radiación solar y el efecto de la interacción Océano

Pacífico-atmósfera; la Corriente de El Niño introduce al continente aire húmedo y caliente que produce lluvia convectiva principalmente en los meses de enero a abril y la Corriente Fría de Humboldt caracteriza con vientos fríos principalmente en meses de agosto y septiembre, sin embargo pese a la mala distribución de la lluvia la microcuenca Yambananga tiene una precipitación media anual de 834,5 mm.

El escurrimiento medio mensual de la microcuenca se calculó con los métodos utilizados por Vivanco (2017) para la microcuenca La Cucula y Luna (2017) en la microcuenca San Agustín donde los métodos que se adaptaron a estos sectores fueron del polinomio ecológico para la primera microcuenca, mientras que para la segunda microcuenca los métodos que más se reaccionaron entre sí fueron el método de polinomio ecológico y método racional, para la microcuenca de estudio se seleccionó el método de coeficiente de escorrentía obteniendo así en el mes de marzo un caudal de 25,10 l/s siendo este el mayor durante el año, mientras que en agosto el caudal es de 0,35 l/s, de esta forma se evidencia la poca disponibilidad de los recursos hídricos en la microcuenca durante ciertos periodos de años, así mismo en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Purunuma (2015) indica que el territorio está formado por un sin número de pequeñas quebradas con abundante caudales de agua durante la época lluviosa y en tiempo de escasez de la precipitación el caudal disminuye y en ocasiones donde la escasez de agua se prolongan, el caudal de estas desaparece.

Para el análisis de la demanda de agua de los cultivos, en primer instancia seleccionamos un grupo de cultivos que se siembran con mayor regularidad en el sector Yambananga, para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia se utilizó la metodología propuesta por la FAO obteniendo que la ETo para el sector se encuentra en el rango de 75,6 hasta 113,3 mm/mes, posteriormente se determinó la precipitación efectiva en la zona de riego, los meses en que existe mayor demanda de lámina de agua son los meses en que los cultivos están en la etapa de mayor desarrollo requiriéndose una lámina de próxima a 116 mm/mes, así mismo según el PDyOT PURUNUMA (2015) indica que el déficit hídrico de la parroquia va desde los 50 mm a los 250 mm, haciéndose el problema más evidente en sectores que debido a la temperatura natural existe mayor evapotranspiración, siendo estos sectores los que se localizan en las intermediaciones de las parroquias Nambacola, El tambo y Malacatos, mismo sector donde se localiza el proyecto de estudio, el riego se programó con una eficiencia del 50 % en lo propuesto en la investigación realizada por CONGOPE (2014) para la aplicación de riego por surcos, finalmente el volumen requerido para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos es de 37 315 m³.

En el cálculo del volumen útil del embalse se consideraron los mismos métodos utilizados

por Vivanco (2017), los mismos que relacionan la oferta de la microcuenca de aportación y la demanda de agua de los cultivos, así con los dos métodos aplicados se obtuvo un volumen útil de 7371,15 m³.

Para el cálculo del volumen total del embalse, al determinar el valor de cada uno de los componentes se tomó en cuenta el gráfico de distribución del agua en un embalse que plantea M. E. Guevara teniendo finalmente el volumen muerto y volumen mínimo de operación 589,69 m³ y 368,56 m³ respectivamente, lo cual suma el volumen total del embalse de 8329,40 m³.

De acuerdo a la topografía en el sitio del embalse la cota inicial del embalse está en 1935 m.s.n.m. y la cota final en 1948 m.s.n.m., así tenemos la altura del muro de 13 m, la longitud del muro 47 m, la superficie inundable 2300 m², teniendo el embalse una capacidad final de 8397 m³.

8. Conclusiones

- La microcuenca de la quebrada Yambananga, tiene una superficie de 85,51 hectáreas, la pendiente media de 37 %, la red de drenaje está formada por dos tributarios con una longitud de cauce principal de 1,38 km, el tiempo de concentración aproximado de 18 minutos.
- En la microcuenca se establecen dos periodos de humedad, la primera con presencia de lluvias que va de enero a mayo con el valor más alto de 192,91 mm en marzo y la otra seca de junio a septiembre con el valor más bajo en agosto con 4,51 mm.
- El caudal máximo en la quebrada es 25,37 l/s en marzo, y el mínimo es de 0,35 l/s en agosto, el caudal de diseño es de 2 l/s con una probabilidad de 75 %, el cual indica que la microcuenca es muy baja en retención y regulación de humedad.
- El Kc más alto son guineo, tomate, arveja y frejol con valores de 1,20 y 1,22 durante la etapa de desarrollo y producción, y el Kc por debajo de 0,50 son para el cultivo de guineo, maíz, arveja y frejol, el cual se da durante la primera fase fenológica del cultivo.
- La evapotranspiración del cultivo de referencia se encuentra entre 75,6 mm/mes en marzo a 113,3 mm/mes en agosto, las necesidades de agua en los cultivos varían de 2138 m³ para 0,16 hectáreas de guineo, a 12849 m³ para 1,8 hectáreas de maíz, finalmente se necesita 37315 m³ para regar una superficie de 4,5 hectáreas.
- Mediante el método de Curva Masa a la Inversa y método de Algoritmo de Suscepción de Picos, el volumen útil del embalse de ser de 7371,15 m³.
- El volumen total del embalse es de 8397 m³, el volumen muerto 589,69 m³ y el volumen mínimo de operación 368,56 m³, el área inundable tiene 2300 m², la altura y longitud del muro son 13 m y 47 m respectivamente.

9. Recomendaciones

- Que los GADs, gestionen ante el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, la instalación de estaciones meteorológicas, que brinden información precisa y actualizada con la finalidad de poder realizar proyectos vinculados a la planificación de los recursos hídricos en las diferentes cuencas y microcuencas de la provincia.
- Que la Universidad Nacional de Loja, institución encargada de generar investigación y de vinculación, debe plantear a otras instituciones desarrollar proyectos y programas de investigación, con temas relacionados al cambio de uso de suelos, variación del inicio de las temporadas de lluvia, así como el análisis el volumen de precipitación respecto a años anteriores, y realizar estudios hidrológicos en cuencas que permitan conocer la disponibilidad de agua para implementar nuevos sistemas de riego.
- Realizar investigaciones que permitan conocer el potencial hídrico que tienen las cuencas localizadas en la parte alta de la parroquia Purunuma, para elaborar y proponer proyectos de captación y almacenamiento de agua que permita incrementar áreas de riego en las partes bajas donde se localizan los barrios Yambananga, La Cría, San Miguel y Chiquil, así mismo sugerir que en los sistemas de riego de la parroquia Purunuma se mejore la eficiencia de la aplicación riego creando la posibilidad de aumentar el área de riego.
- Realizar un análisis económico, en el cual se pueda conocer la rentabilidad de cada uno de los cultivos, así como las temporadas en que estos tienen mayor demanda, y finalmente proponer a los agricultores que se siembre los cultivos de mayor rentabilidad económica y brindar asesoramiento técnico durante toda la duración del cultivo.

10. Bibliografía

- Agencia Nacional de Aguas. (2019). Planeamiento, Manejo y Gestión de Cuencas. Capacitación presentada en Brasil. Recuperado de https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/83/2/Unidade_1.pdf
- Ambast, S., Keshari, K., Gosain, A., 2002. Teledetección por satélite para apoyar la gestión de los sistemas de riego: conceptos y enfoque. Riego y drenaje.
- ANDALUCIARUSTICA. (2013, noviembre 12). Presas, Embalses y Pantanos. Recuperado 9 de julio de 2019, de Andalucía Rustica website: <https://andaluciarustica.com/presas.htm>
- Allen, R. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- ALVEAR, J. 2000. Riego Andino, Manejo de Agua en la Cuenca. Quito, EC. CAMAREN. p. 150
- Aparicio, F. J. (1992). Fundamentos de la hidrología de superficie. México: Grupo Noriega editores.
- AQUASTAT. (2016). Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO. Recuperado 8 de julio de 2019, de http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/americas/indexesp5.stm
- Arango Tobón, J. C. (s.f.). Las obras de captación para riego. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/4785/13/70064307._2002_5.pdf
- Arévalo, A. D., & Fierro, K. P. (2012). Estudio Hidrológico de las Cuencas Hidrográficas como base para la Gestión de los Recursos Hídricos. Cuenca de drenaje Precipitación. Recuperado 18 de julio de 2019, de Scribd website: <https://es.scribd.com/document/258767061/Estudio-Hidrologico-de-las-Cuencas-Hidrograficas-como-base-para-la-Gestion-de-los-Recursos-Hidricos>
- ARQHYS. (2012a). Presas hidráulicas y construcción. Recuperado 9 de julio de 2019, de <https://www.arqhys.com/construccion/presas-hidraulicas-construccion.html>

- ARQHYS. (2012b). Tipos de presas. Recuperado 16 de julio de 2019, de <https://www.arqhys.com/construccion/presas-tipos.html>
- Bateman, A. (2007). HIDROLOGIA BASICA Y APLICADA. 70.
- Bustamante, I., Ojeda, W., Sifuentes, E., Unland, H., Weiss, Y. 2005. Programación Integral del Riego en Maíz en el Norte de Sinaloa México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuahnáhuac, México.
- CARE. (2012). Internacional-Avina. Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Cuenca. Ecuador.
- Córdova, C. Jhon. (2015). Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales. Universidad de Piura
- Cuenca, A. (2015). Análisis de la disponibilidad Hídrica de la cuenca del rio Catamayo, hasta la estación en PDTE. Vicin, con fines de aprovechamiento y conservación (tesis de Grado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- DAL-RE, R. (2003). Pequeños Embalses de Uso Agrícola. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, (ONU-DAES). (2014). Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015. Áreas temáticas: Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Recuperado 11 de agosto de 2019, de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>
- El Telégrafo. (2014, junio 16). El agua siembra, riega y cosecha desarrollo. Recuperado 2 de julio de 2019, de El Telégrafo—Noticias del Ecuador y del mundo website: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/masqmenos/1/el-agua-siembra-riega-y-cosecha-desarrollo>
- FAO. (2014). Libro Nro. 56. Evaporación del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIOS FAO RIEGO Y DRENAJE.
- FAO. (2014). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>

- FAO. (2019). Informe anual 2018 América Latina y el Caribe. Recuperado de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura website: <http://www.fao.org/3/ca4222es/ca4222es.pdf>
- FEDACULTURA. (2018). ¿Qué es y para a que sirve una presa hidráulica? —FEDA Cultura. Recuperado 9 de julio de 2019, de <https://www.fedacultura.ad/murs-daigua/que-es-y-para-a-que-sirve-una-presa-hidraulica>
- Florez, V. (2018, noviembre 13). Presas Arco. Tipologías y esquema resistente. Recuperado 16 de julio de 2019, de EADIC - Cursos y Master para Ingenieros y Arquitectos website: <https://www.eadic.com/presas-arco-tipologias-y-esquema-resistente/>
- García, José A., Zamora Gómez, Juan P., Bilbao, Lucas N. (2011). Sistemas de Captación de agua de manantiales y pequeñas quebradas para la región andina. Centro de Investigación y desarrollo tecnológico para la Pequeñas Agricultura Familiar. Obtenido de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cipaf_ipafnoa_manual__de_agua.pdf
- García, L. M. (2016, julio 12). Presas de materiales sueltos. Burgos y la Rioja. Recuperado 15 de julio de 2019, de BLOG DE LUISMI. IyC. website: <http://iycblogluismi.blogspot.com/2016/07/presas-de-las-provincias-de-burgos.html>
- Guevara, M. (2000). Embalses. En Estructuras Hidráulicas (págs. 1-31). Obtenido de http://www.academia.edu/7223828/Obras_hidraulicas._Embalses
- Global Water Partnership. (2013). “Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal”. La GIRH en Centroamérica. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/guia-girh-a-escalamunicipal.pdf.
- González, R. (2001). Hidrología en Cuencas. Loja. Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- González, F. (2012). Determinación de las necesidades de riego de los cultivos. Disponible en: <http://digital.csic.es/handle/10261/75100>

- González, M., Saldarriaga, G., Jaramillo, O. 2010. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA. Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. IDEAM. Estudio Nacional del Agua.
- González, A. (2017). Hidrología. Loja. Ecuador. Universidad Nacional de Loja: Carrera de Ingeniería Agrícola.
- González, A. (2019). Manejo integral de cuencas Hidrográficas. Planeación de los recursos hídricos con fines de riego. Loja. Ecuador. Universidad Nacional de Loja: Carrera de Ingeniería Agrícola.
- Superficial Jiménez. (2005). Gestión integral de cuenca hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales (No.2.).
- Ibáñez, S., Moreno, H., Gisbert. 2011. Morfología de las cuencas hidrográficas. Valencia
- Mendoza, C. (2011). Importancia de la Hidrología. 30.
- Ministerio de Medio Ambiente. (1996). Clasificación de presas en función del riesgo potencial. Recuperado de file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Tesis/PDF%20informacion%20problematICA/clasificacio n%20de%20presas%20en%20funcion%20de%20su%20riedgo%20potencil.pdf
- Molina, L. S. (enero-abril de 1989). Métodos para calcular capacidades de embalses. México: Instituto Mexicano de tecnología de agua, CNA.
- Monge, M., 2019. Evapotranspiración y Kc (parte II). <https://www.iagua.es/>
- Morejón Miranda, Y. M., Vega Carreño, M. B., Escarré Esteve, A., Peralta Vital, J. L., Quintero Silveiro, A., & González Piedra, J. I. (2015). Análisis de balance hídrico en cuencas hidrográficas de la Sierra de los Órganos. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 36(2), 94-108.
- Nero, L. (2020). Estimación de la disponibilidad y demanda hídrica en la parroquia Sacapalca para su aprovechamiento en el suministro de agua para riego. Universidad Nacional de

Loja. Loja-Ecuador.

López C. (1998). Restauración Hidrológica Forestal de Cuencas y Control de Erosión. Ingeniería Medioambiental, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España.

Luna, A. (2017). Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema la era, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG). Loja.

PDyOT GAD PURUNUMA. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial «PURUNUMA». 212.

Pilataxi, C. (2018). Módulo de tecnificación Agropecuaria. 8.

Ordoñez, J. (2015). Determinación de la respuesta hidrológica de la subcuenca alta del río Zamora. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

Racca J.M.G., 2007. Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno.

Reglamento Técnico Sobre Seguridad de Presas y Embalses. (s. f.). Capítulo 3. Clasificación de las Presas. Recuperado 12 de julio de 2019, de http://www.carreteros.org/legislacionb/aguas/seguridad/reg_tecnico/articulos/articulo_3.htm

Cruz Roja Ecuatoria. (2013). Sequía afecta gravemente a agricultores y ganaderos en Ecuador— Ecuador. Recuperado 22 de julio de 2019, de ReliefWeb website: <https://reliefweb.int/report/ecuador/sequ%C3%ADa-afecta-gravemente-agricultores-y-ganaderos-en-ecuador>

Reyes María, J. Rubio John, J. Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias. Universidad católica de Colombia. Recuperado. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>

Santoyo, J. (2018). Funcionamiento de Vasos, Tránsito de Avenidas en Vasos y Cauces. Recuperado de https://www.academia.edu/37293546/Funcionamiento_de_Vasos_Tr%C3%A1nsito_de

_ Avenidas_en_Vasos_y_Cauces

- Sparrow, E. (2009). PRESAS DE GRAVEDAD. Recuperado de [http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/represas_de_gravedad_a_plicacion tmp4ab639d7.pdf](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/represas_de_gravedad_a_plicacion_tmp4ab639d7.pdf)
- SUEZ. (2019). La importancia del estudio hidrológico en la agricultura. Recuperado 18 de julio de 2019, de <https://agricultura.suez-agriculture.com/blog/estudio-hidrologico-agricultura>
- Trezza, r. 2008. Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela. ¿Cuál método utilizar? Dpto. de Ingeniería, Núcleo Universitario Rafael Rangel, Universidad de los Andes. Trujillo. Venezuela. e-mail: rtrezza@ula.ve
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Gonzanamá. (2014). PARROQUIA PURUNUMA. Recuperado 8 de julio de 2019, de Gonzanamá website: <https://gonzanama.gob.ec/index.php/gonzanamama/2014-11-24-02-31-37/purunuma>
- Valdivia, R. (2014). Presa de Contrafuerte. Recuperado 16 de julio de 2019, de Prezi.com website: <https://prezi.com/fjza-lxda-qk/presa-de-contrafuerte/>
- Villarino Otero, A. (s. f.). Presas. Recuperado de <http://ocw.usal.es/eduCommons/enseanzas-tecnicas/ingenieria-civil/contenido/TEMA%205%20-%20PRESAS.pdf>
- Vivanco, E. (2017). Diseño de la capacidad de un embalse de agua con fines de riego, en la cuenca de la quebrada La Cucula. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.
- Zevallos. (2004). Proyecto gestión del riesgo ENSO en América Latina. Quito.

11. Anexos

Anexo 1. Clasificación de cuencas por su tamaño.

Tamaño de cuenca	Rango
Sistema hidrográfico	> a 300 000 ha (300 Km ²)
Cuenca	60 000 a 300 000 ha (60 a 300 Km ²)
Subcuenca	10 000 a 60 000 ha (10 a 60 Km ²)
Microcuenca	< 10 000 ha (100 Km ²)

Fuente: CIDIAT (1978).

Anexo 2. Rangos de los coeficientes de forma de una Cuenca.

Coeficiente de Gravelius	Forma
1,00 – 1,25	Redonda
1,25 – 1,50	Ovalada
1,50 – 1,75	Oblonga

Fuente: Tomado de González (2001)

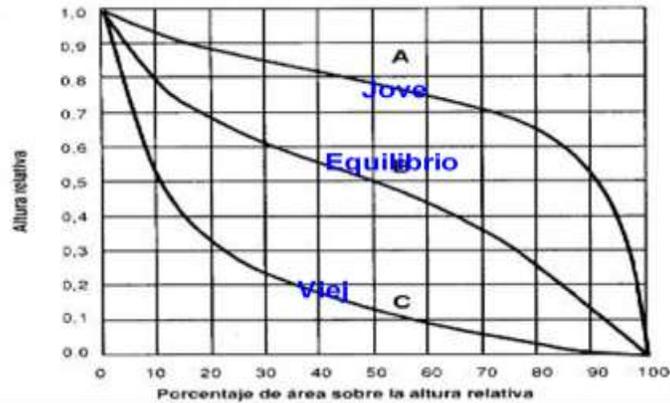
Rangos de R_f	Clases de forma
0,01 – 0,18	Muy poco achatada
0,19 – 0,36	Ligeramente achatada
0,37 – 0,54	Moderadamente achatada

Fuente: Tomado de Gonzales (2001)

Factor de elongación
<ul style="list-style-type: none">• El coeficiente varía entre 0,6 a 1,0• Valores cercanos a la unidad relieve bajo• $R_e = 0,6$ a $0,8$ asociado a fuertes relieves y pendientes

Fuente: Tomado de Gonzales (2001)

Anexo 3. Clasificación y descripción de la curva hipsométrica.



Fuente: Fuente: Tomado de Gonzales (2001)

Descripción de las etapas de la curva hipsométrica

Etapa A	Cuenca en desequilibrio	Cuenca geológicamente joven Cuenca de meseta
Etapa B	Cuenca en equilibrio	Cuenca geológicamente madura Cuenca de pie de montaña
Etapa C	Cuenca erosionada	Cuenca de valle

Fuente: González (2001)

Anexo 4. Valores y rangos de densidad de drenaje.

Rangos	Clases
0,1 – 1,8	Baja
1,9 – 3,6	Moderada
3,7 – 5,6	Alta

Fuente: González (2001)

Anexo 5. Clasificación de la pendiente del cauce principal.

Pendiente media del cauce principal (%)	Clases
1 a 5	Suave
6 a 11	Moderado
12 a 17	fuerte

Anexo 6. Valores para determinar el factor C del para el método de coeficiente de escorrentía.

Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo		
		Arenoso-limoso Limoso-arenoso	Limoso Limoso-arenoso	Arcilloso
Bosque	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,25	0,35	0,50
	10 - 30	0,30	0,40	0,60
	>30	0,32	0,42	0,63
Pastizal	0 - 5	0,15	0,35	0,45
	5 - 10	0,30	0,40	0,55
	10 - 30	0,35	0,45	0,65
	>30	0,37	0,47	0,68
Cultivo agrícola	0 - 5	0,30	0,50	0,60
	5 - 10	0,40	0,66	0,70
	10 - 30	0,50	0,70	0,80
	>30	0,53	0,74	0,84

Fuente: Tomado de González (2001)

Anexo 7. Valores para determinar el factor C del para el método racional.

Cobertura de suelo	Tipo de suelo	Pendiente (%)				
		>50	20 -50	5 - 20	1 - 5	0 - 1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,65	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Tomado de Luna (2017), citado por González (2001).

Anexo 8. Valores para determinar el factor N del para el método de Numero de Curva.

Uso del terreno	Tratamiento o practica	Condición hidrológica	N según tipo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Surco recto	Pobre	77	86	91	94
	Surco recto	Pobre	72	81	88	91
Cultivos en surco	Surco recto	Buena	67	78	85	89
	Surco o nivel	Pobre	70	79	84	88
	Surco o nivel	Buena	65	75	82	86
	Surco o nivel y terraza	Pobre	66	74	80	82
	Surco o nivel y terraza	Buena	62	71	78	81
	Surco recto	Pobre	65	76	84	88
Cereales finos	Surco recto	Buena	63	75	83	87
	Surco o nivel	Pobre	63	74	82	85
	Surco o nivel	Buena	61	73	81	84
	Surco o nivel y terraza	Pobre	61	72	79	82
	Surco o nivel y terraza	Buena	59	70	78	81
	Surco recto	Pobre	66	77	85	89
Legumbres (sembradas con maquinaria)	Surco recto	Buena	58	72	81	85
	Surco o nivel	Pobre	64	75	83	85
	Surco o nivel	Buena	55	69	78	83
	Surco o nivel y terraza	Pobre	63	73	80	83
	Surco o nivel y terraza	Buena	51	67	76	80
	Surco recto	Pobre	68	79	86	89
Pradera natural o pastizal	Surco recto	Buena	49	69	79	84
	Surco o nivel	Pobre	39	61	74	80
	Surco o nivel	Buena	47	67	81	88
	Surco o nivel	Pobre	25	59	75	83
	Surco o nivel	Buena	6	35	70	79
	Surco recto	Pobre	45	66	77	83
Pradera permanente	Surco recto	Buena	30	58	71	78
	Surco o nivel	Pobre	45	66	77	83
	Surco o nivel	Buena	25	55	70	77
Bosque	Surco recto	Regular	36	60	73	79
	Surco o nivel	Buena	25	55	70	77
	Superficial impermeable		100	100	100	100
Cascos de hacienda		59	74	82	86	
Caminos de terracería		72	82	87	89	
Caminos por pavimentos duros		74	84	90	92	
Superficial impermeable		100	100	100	100	

Los tipos de suelo a partir de los cuales se obtiene "N", pueden ser 4 de acuerdo a la velocidad con que se infiltra el agua: A (alta), B (moderada), C (baja) y D (muy baja).

Fuente: Tomado de Vivanco (2017), citado por González (2001).

Anexo 9. Valores m, n y k del para desarrollar el método del polinomio ecológico.

Características geomorfológicas de la cuenca	Exponente (m)
Área de drenaje < 1,0 km ²	1,00
Terreno escarpado, pendiente > 50%	0,90
Terreno impermeable, empinado, A < 10 km ²	0,80
Presencia de nevados, lagos y pantanos, páramos	0,70
Bosques, buena cubierta vegetal, pendiente < 25%	0,60
Topografía ondulada A < 100 km ²	0,50
Topografía plana	0,40
Cuencas muy grandes A < 1000 Km ²	0,30

Características de regulación natural de la cuenca	Exponente (n)
Selva – llanura	1,00
Pie de cordillera	0,90
Montaña baja	0,80
Mesetas – valles interandinos	0,70
Montañas altas	0,60
Región sub andina	0,50
Región andina	0,40
Región rival	0,30

Tabla de coeficiente ecológico (k)

Relación Etp sobre la lluvia	Nieve	Tundra	Puna o paramo	Estepa	Monte	Bosque	Sabana	Línea jungla
0,125	0,0058	0,0064	0,0070	0,0076	0,0082	0,0088	0,0094	0,0100
0,250	0,0052	0,0058	0,0064	0,0070	0,0076	0,0082	0,0088	0,0094
0,500	0,0046	0,0052	0,0058	0,0064	0,0070	0,0076	0,0082	0,0088
1,000	0,0040	0,0046	0,0052	0,0058	0,0064	0,0070	0,0076	0,0082
2,000		0,0040	0,0046	0,0052	0,0058	0,0064	0,0070	0,0076
4,000			0,0040	0,0046	0,0052	0,0058	0,0064	0,0070
8,000				0,0040	0,0046	0,0052	0,0058	0,0064
16,000					0,0040	0,0046	0,0052	0,0058
32,000							0,0046	0,0052
64,000								0,0046

Fuente: Tomado de Luna (2017), citado por González (2001)

Anexo 10. Valores k del para desarrollar el método de criterio de coeficiente de escorrentía.

USO Y COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
CULTIVOS			
En hilera	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,27	0,30
Granos pequeños	0,24	0,27	0,30
PASTIZAL			
% DEL SUELO CUBIERTO O PASTADO			
Más del 75% ---- poco	0,14	0,20	0,28
Del 50 al 75% --- regular	0,20	0,24	0,30
Menos del 50% --- excesivo	0,24	0,28	0,30
BOSQUE			
Cubierto más del 75%	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 50 al 75%	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 25 al 50%	0,17	0,26	0,28
Cubierto menos del 25%	0,22	0,28	0,30
Cascos y zonas con edificaciones	0,26	0,30	0,32
Caminos, incluyendo derecho de vía	0,27	0,30	0,33
Pradera permanente	0,18	0,24	0,30
A	Suelos muy permeables, tales como arenas profundas, y loes poco compactos.		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad, loes algo más compactos que los terrenos tipo A, terrenos migajosos.		
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados, sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

Fuente: tomado de Vivanco (2017), citado por González (1997)

Anexo11. Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH)

Rango	Calificación	Descripción
> 0,85	Muy alta	Muy alta retención y regulación de humedad
0,75 – 0,85	Alta	Alta retención y regulación de humedad
0,65 – 0,75	Moderada	Media retención y regulación de humedad
0,50 – 0,65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
< 0,50	Muy Baja	Muy baja retención y regulación de humedad

Fuente: Tomado de Vivanco (2017), citado IDEAM (2010)

Anexo 12. Categorías del índice de aridez (Ia)

Rango de valores (Ia)	Características
< a 0.15	Altos excedentes de agua
0.15 a 0.19	Excedentes de agua
0.20 a 0.29	Entre moderado y excedentes de agua
0.30 a 0.39	Moderado
0.40 a 0.49	Entre moderado y deficitario de agua
0.50 a 0.59	Deficitario de agua
> a 0.60	Altamente deficitario de agua

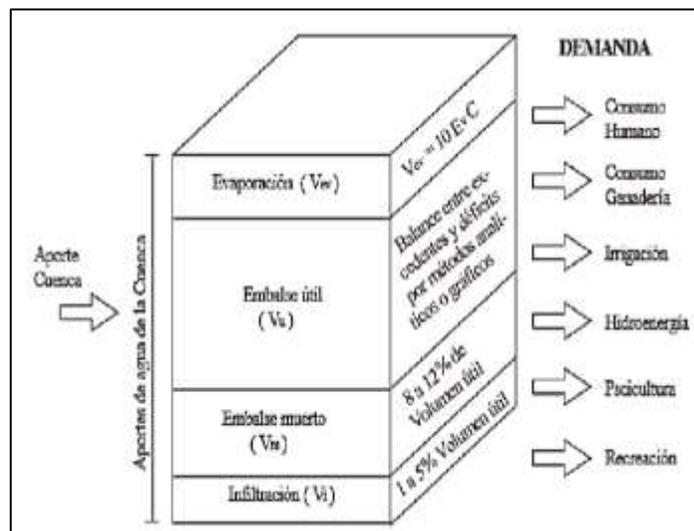
Fuente: Tomado de IDEAM (2010)

Anexo 13. Categorías del índice de escasez de agua (IEA)

Categoría del índice de escasez	Porcentaje de la oferta hídrica utilizada (%)	Explicación
Alto	> 40	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para intervenir y controlar la oferta y la demanda. Es insuficiente la oferta hídrica para atender la alta demanda de agua por sectores productivos y se restringe al desarrollo económico. se requieren fuertes inversiones económicas para mejorar la eficiencia de utilización de agua en los sectores productivos y en los sistemas de abastecimiento de agua potable
Medio	20 a 40	Medio
Moderado	10 a 20	La disponibilidad de agua se puede convertir en un factor limitador del desarrollo. Se puede implementar un mejor sistema de monitoreo y seguimiento del agua y desarrollar proyecciones del recurso hídrico a corto y largo plazo
Bajo	< 10	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico, en términos de cantidad de agua.

Fuente: Tomado de IDEAM (2010)

Anexo 14. Distribución de agua en el embalse.



Fuente: Tomado de M. E. Guevara, citado por Vivanco (2017)

Anexo 15. Base de datos de precipitación de las estaciones Malacatos, Gonzanamá, Nambacola y Catamayo.

Precipitación (mm)

Estación:	Malacatos			Latitud N:	9533394			m						
Código:	M-143			Longitud E:	691441			m						
Institución	INAMHI			Altitud:	1453			msnm						
Año /Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T	M
1982	107	49,1	65,3	70,3	49,6	0,0	0,0	0,0	24,6	78,6	125,	243	812	67,7
1983	169	53,3	152	70,4	58,0	14	2,1	0,0	3,6	127	2,4	124	776	64,6
1984	58,6	222,5	178	88,4	50,1	8,3	17	8,5	67,4	108	60,8	4,6	872	72,7
1985	70,9	28,9	78,2	60,3	72,4	0,0	0,0	18	34,7	77,6	33,4	149	623	51,9
1986	37,7	114,9	120	92,5	51,0	0,0	0,0	0,6	37,7	70,5	35,9	74,9	636	53,0
1987	46,2	11,8	137	117	86,9	0,0	9,6	2,6	8,4	17,0	35,4	15,1	487	40,6
1988	107,	163,3	25,3	103	38,0	19	17	7,2	8,2	51,5	69,6	70,1	680	56,6
1989	139	96,7	180	70,4	12,6	10	0,0	0,0	131	80,7	18,0	49,0	787	65,6
1990	105	129,4	22,4	280	13,2	7,6	21	4,1	80,5	27,5	102	37,2	830	69,2
1991	103	30,7	234	72,6	94,3	0,6	12	0,0	51,9	27,4	26,4	15,8	669	55,7
1992	44,4	22,7	147	28,8	17,6	3,3	0,0	0,1	40,8	0,0	52,5	80,1	438	36,5
1993	64,5	187,7	187	68,2	28,5	6,4	0,0	0,0	20,1	135	18,9	98,5	814	67,9
1994	102	74,6	78,3	43,0	30,7	0,0	0,0	19	4,8	41,8	42,8	63,7	501	41,7
1995	10,4	81,2	119	8,4	2,6	0,0	0,0	3,5	16,8	8,6	62,5	38,8	351	29,3
1996	38,7	84,1	15,1	41,8	16,2	0,0	0,0	0,0	17,7	68,4	0,0	0,0	283	23,5
1997	68,1	4,1	40,0	98,6	41,4	7,1	0,0	0,0	18,8	72,1	120	41,6	511	42,6
1998	49,7	136,4	109	79,2	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	141	50,4	69,0	646	53,7
1999	68,3	79,8	75,3	73,8	40,1	4,5	0,0	0,0	7,4	104	30,7	54,2	538	44,8
2000	112	432,2	197	310	65,4	2,2	8,3	6,6	12,1	98,0	69,1	96,7	1408	117
2001	68,8	47,6	93,9	57,3	39,0	13	5,8	0,0	0,0	72,2	19,8	129	548	45,6
2002	44,4	59,1	34,0	155	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	104	28,2	127	556	46,3
2003	17,6	100,0	108,	84,7	2,1	0,0	8,1	0,0	0,1	164,	19,8	27,3	533	44,4
2004	21,8	29,1	20,4	143,	31,9	5,1	15	9,5	29,4	115,	151	107,	680	56,7
2005	21,7	91,4	229	41,7	51,4	15	0,0	0,0	0,0	103	29,2	55,9	638	53,2
2006	53,3	132,8	222,	76,9	1,2	39	2	0,0	1,6	44,2	137	136,	866	72,2
2007	30,9	53,8	155,	149,	46,4	15	5,7	14,	6,2	78,6	143	62,2	758	63,1
2008	45,6	195,7	173	83,4	54,1	22	0,1	15	20,6	163	64,5	171	1008	84,0
2009	174	164,9	164	87,6	58,0	3,8	5,7	6,3	5,3	36,2	8,3	70,0	784	65,3
2010	3,6	116,5	71,3	80,0	93,3	38	25	16	12,6	46,5	92,2	75,6	671	55,9
2011	99,8	260,3	110	151	33,0	19	10	20	52,0	103	101	116	1077	89,6
2012	235	223,7	85,1	154	8,5	0,3	0,2	0,0	18,2	72,6	72,2	84,8	955	79,6
2013	43,7	116,3	107	4,1	83,7	3,7	11	5,0	11,3	170	32,1	93,0	681	56,8
SUM	2361	3595	3731	3045	1286	255	195	155	744	2607	1853	2581	22409	1867
MAX	235	432,2	233,8	309,8	94,3	38,8	25,0	19,7	130,7	170,3	151	242,5	1409	117,4
MED	73,8	112,3	116,6	95,2	40,2	8,0	6,1	4,9	23,2	81,5	57,9	80,7	700,3	58,4
MIN	3,6	4,1	15,1	4,1	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	282,0	23,5
DESV	51,9	88,3	63,9	65,3	27,4	10,3	7,7	6,6	28,3	45,3	42,8	51,9	222,2	18,5

Precipitación (mm)

Estación:	Gonzanamá				Latitud N:	9531875	m							
Código:	M-149				Longitud E:	673885	m							
Institución:	INAMHI				Altitud:	2042	msnm							
Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T	M
1982	216,7	223,4	88,2	182,1	142,8	3,8	0,0	0,0	48,7	277,8	80,1	362,0	1625,6	135,5
1983	274,4	161,2	345,5	234,7	78,1	9,6	26,7	4,7	1,9	201,3	56,1	247,7	1641,9	136,8
1984	108,5	429,0	330,2	247,1	59,2	19,8	11,7	6,5	48,3	138,6	104,0	72,5	1575,4	131,3
1985	243,9	59,6	156,9	90,5	106,0	0,0	0,0	5,9	8,5	37,5	41,3	246,0	996,1	83,0
1986	146,7	237,9	45,9	188,6	11,3	0,0	0,0	0,1	11,4	88,8	42,2	116,5	889,4	74,1
1987	59,2	0,0	159,6	6,8	88,9	0,0	0,0	5,7	3,6	2,2	43,4	12,2	381,6	31,8
1988	127,2	140,4	98,7	172,2	92,8	0,0	17,2	0,0	45,8	41,6	129,9	99,5	965,4	80,4
1989	197,7	187,1	290,9	221,6	97,6	14,2	0,0	1,0	13,0	124,0	26,0	42,5	1215,6	101,3
1990	107,1	266,3	121,9	275,9	38,4	2,8	52,3	3,0	0,0	81,5	85,9	73,9	1109,0	92,4
1991	68,8	231,8	414,2	101,7	100,9	8,7	22,0	1,9	21,5	20,0	37,1	74,8	1103,4	92,0
1992	76,4	176,4	149,8	206,7	90,2	4,2	0,0	5,2	59,8	45,6	82,5	83,5	980,3	81,7
1993	104,3	263,5	452,4	208,4	49,5	0,0	6,4	0,0	69,2	49,8	69,2	161,6	1434,3	119,5
1994	347,3	208,4	303,8	207,5	4,3	0,0	0,0	7,3	5,2	24,0	74,2	7,6	1189,6	99,1
1995	20,4	191,9	77,8	97,3	70,8	0,0	1,2	0,0	0,0	57,7	69,0	156,5	742,6	61,9
1996	62,2	0,0	334,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	396,5	33,0
1997	49,7	112,0	76,0	97,7	24,1	3,2	0,0	0,0	75,2	55,6	313,4	106,7	913,6	76,1
1998	72,6	112,6	255,3	167,0	82,7	3,0	0,0	25,3	62,0	134,0	91,8	74,0	1080,3	90,0
1999	173,9	260,6	415,3	68,5	179,3	56,0	3,7	3,0	58,0	49,6	33,4	212,5	1513,8	126,2
2000	105,1	335,6	425,6	180,8	82,0	17,1	0,0	0,0	71,7	6,6	0,0	96,6	1321,1	110,1
2001	246,6	178,1	235,2	173,2	18,7	3,4	0,0	11,6	21,9	7,8	140,7	164,0	1201,2	100,1
2002	121,6	221,9	200,4	343,0	46,6	35,0	10,5	0,0	27,2	72,2	151,4	52,1	1281,9	106,8
2003	88,4	27,7	256,7	281,3	72,6	17,5	31,3	0,0	51,1	42,2	68,7	23,7	961,2	80,1
2004	137,2	217,7	362,5	219,6	98,6	0,0	49,6	0,0	64,4	16,0	152,1	39,8	1357,6	113,1
2005	117,9	188,2	691,8	255,5	178,2	9,3	0,0	0,0	0,0	52,7	70,9	233,7	1798,2	149,8
2006	216,9	242,8	597,0	694,3	116,1	1,3	39,4	0,0	4,2	11,6	458,8	229,9	2612,3	217,7
2007	133,8	147,4	162,5	588,9	383,1	1,2	6,8	0,0	10,5	128,4	302,4	177,3	2042,3	170,2
2008	346,3	580,4	695,4	828,4	58,3	50,2	9,7	25,0	36,3	207,5	260,9	185,2	3283,6	273,6
2009	868,1	416,9	589,1	432,6	121,5	35,8	23,4	0,0	3,1	33,7	24,6	88,5	2637,3	219,8
2010	136,2	335,6	234,1	161,2	273,4	124	138,9	7,3	25,3	51,1	112,3	185,6	1784,6	148,7
SUMA	6356,7	7828,6	9484,5	8608,0	2899,5	576	462,7	141	942	2386	3632	4133	47451	3954
MAX	868,1	696,3	695,4	905,7	383,1	123,5	138,9	25,3	75,2	277,8	458,8	362,0	3283,6	273,6
MED	198,6	244,6	296,4	269,0	90,6	18,0	14,5	4,4	29,4	74,6	113,5	129,2	1482,8	123,6
MIN	20,4	0,0	45,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	381,6	31,8
DESV	181,7	164,5	178,2	217,1	78,7	30,0	27,2	6,9	26,3	71,6	107,4	88,0	702,0	58,5
CV (%)	0,9	0,7	0,6	0,8	0,9	1,7	1,9	1,6	0,9	1,0	0,9	0,7	0,5	0,5

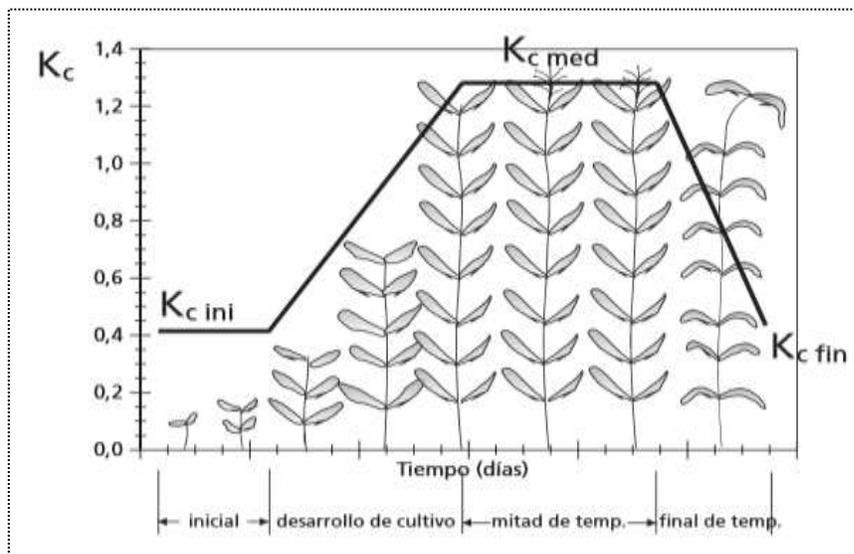
Precipitación (mm)

Estación:	Catamayo				Latitud N:	9558492			m					
Código:	M-060				Longitud E:	680873			m					
Institución:	INAMHI				Altitud:	1230			msnm					
Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T	M
1974	13,7	148,1	126,1	0,0	0,0	9,1	0,8	8,3	7,4	57,0	32,3	37,3	440,1	36,7
1975	14,8	236,9	88,1	45,6	45,6	28,3	10,4	20,6	0,0	93,4	16,0	5,4	605,1	50,4
1976	65,3	97,9	43,1	80,1	19,7	1,9	0,0	4,8	9,7	3,1	5,1	33,3	364,0	30,3
1977	30,8	17,5	0,8	49,7	0,0	2,7	0,0	8,8	49,7	54,5	0,0	15,2	229,7	19,1
1978	18,1	17,5	104,9	63,4	59,3	0,9	0,8	0,8	7,2	1,6	1,8	5,2	281,5	23,5
1979	22,9	125,1	175,0	72,9	39,0	1,3	0,0	28,3	22,8	0,0	0,4	15,7	503,4	42,0
1980	66,9	76,8	81,8	113,2	1,3	2,6	0,5	0,0	1,8	53,3	58,1	59,7	516,0	43,0
1981	48,7	49,7	125,7	41,6	11,1	0,1	1,1	7,8	0,0	23,7	5,5	52,1	367,1	30,6
1982	29,6	90,3	61,0	82,7	24,8	0,3	0,3	0,0	11,3	44,2	41,1	125,8	511,4	42,6
1983	104,2	33,8	94,0	44,2	31,6	9,4	2,3	0,0	3,9	66,6	3,3	64,0	457,3	38,1
1984	46,2	57,5	52,8	58,5	27,9	3,0	3,4	1,4	20,7	52,6	53,7	4,1	381,8	31,8
1985	12,2	12,6	45,5	10,1	27,1	0,5	0,4	11,3	6,1	46,5	12,7	48,4	233,4	19,5
1986	23,4	84,4	57,2	61,0	3,5	0,0	0,0	3,9	5,7	31,9	20,0	24,1	315,1	26,3
1987	35,3	7,1	42,0	55,1	58,4	0,2	2,4	1,5	2,6	33,8	15,7	3,9	258,0	21,5
1988	62,2	71,3	13,3	122,2	27,8	9,4	12,6	5,8	18,3	41,3	38,2	33,2	455,6	38,0
1989	124,1	92,9	121,3	8,5	12,2	7,1	0,1	3,1	5,9	64,8	28,7	1,3	470,0	39,2
1990	20,2	76,4	37,5	94,0	18,4	5,3	14,5	0,0	7,3	36,7	36,5	17,4	364,2	30,4
1991	64,1	33,3	154,0	8,1	45,7	7,0	2,2	0,0	13,3	9,3	15,1	30,5	382,6	31,9
1992	22,3	77,1	37,0	35,3	23,9	7,5	1,1	2,5	12,4	5,9	26,6	14,2	265,8	22,2
1993	15,3	115,3	140,7	65,0	9,4	0,4	1,0	0,0	23,7	52,8	8,7	145,4	577,7	48,1
1994	114,4	59,2	142,5	54,0	4,1	2,0	0,5	6,3	11,3	9,9	32,4	35,5	472,1	39,3
1995	2,8	37,0	22,3	27,2	53,3	0,2	3,4	0,7	4,7	116,0	70,1	61,4	399,1	33,3
1996	44,1	121,0	113,4	69,5	49,9	23,7	0,1	3,0	0,5	26,3	0,9	10,1	462,5	38,5
1997	31,5	13,0	52,5	23,8	0,5	1,4	0,3	5,4	1,5	16,3	34,9	35,3	216,4	18,0
1998	1,1	41,7	99,2	23,4	52,3	0,8	0,5	24,9	4,3	64,0	13,6	17,8	343,6	28,6
1999	40,9	105,6	133,2	47,9	76,0	15,1	1,0	2,8	34,2	6,5	10,8	81,6	555,6	46,3
2000	64,4	134,1	119,7	76,4	32,7	28,2	2,6	3,8	13,9	6,4	0,0	26,5	508,7	42,4
2001	43,5	50,1	76,0	35,5	19,3	3,4	2,4	1,9	4,6	0,0	41,9	67,8	346,4	28,9
2002	31,1	54,3	78,2	94,2	11,0	3,9	5,2	0,0	7,3	43,9	35,6	24,1	388,8	32,4
SUM	1214	2138	2439	1563	785,8	175,7	69,9	157,7	312,1	1062	659,7	1096	11673	972,8
MAX	124,1	236,9	175,0	122,2	76,0	28,3	14,5	28,3	49,7	116,0	70,1	145,4	1187	2249
MED	42,3	74,4	84,3	52,5	27,7	6,1	2,4	5,6	10,8	36,4	22,3	38,3	403,0	763,7
MIN	1,1	7,1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	216,4	18,0
DESV	31,4	50,2	45,7	31,0	21,0	8,1	3,8	7,4	11,0	29,1	19,1	34,7	108,3	9,0
CV (%)	0,7	0,7	0,5	0,6	0,8	1,3	1,6	1,3	1,0	0,8	0,9	0,9	0,3	0,0

Precipitación (mm)

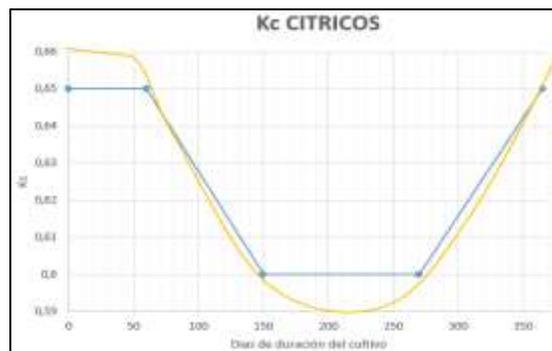
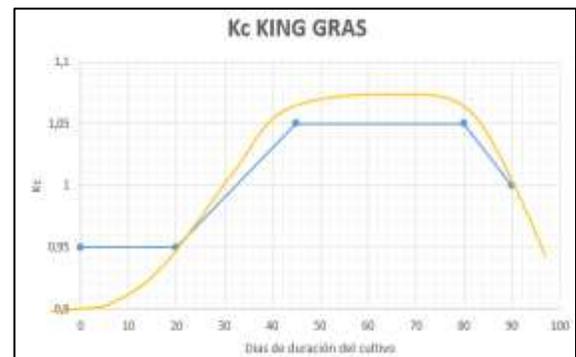
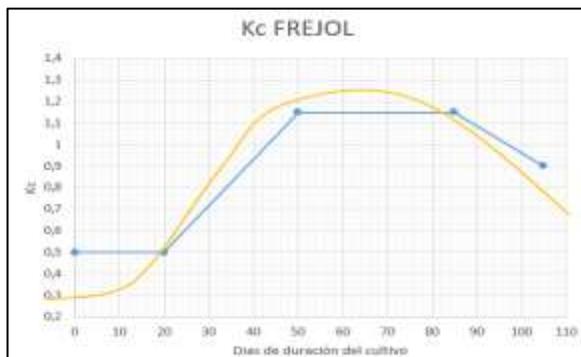
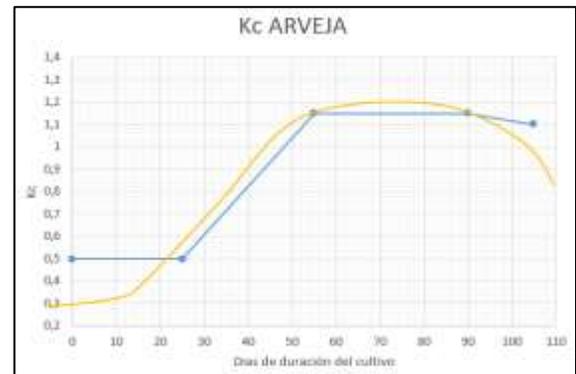
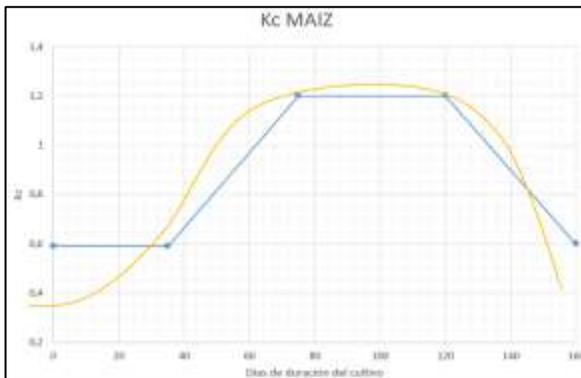
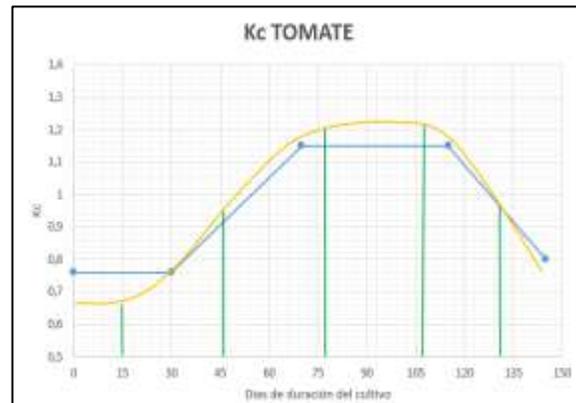
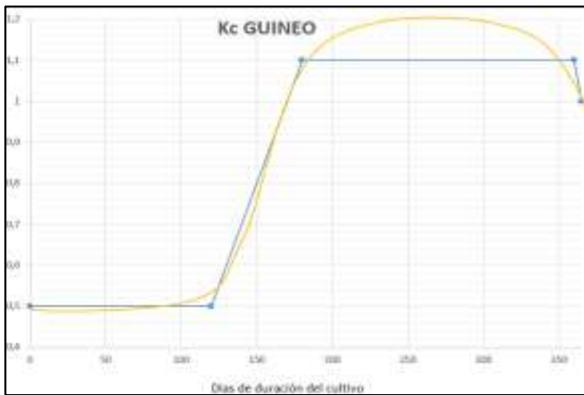
Estación:	Nambacola			Latitud N:	9542165	m								
Código:	M-1214			Longitud E:	673839	m								
Institución:	INNAMHI			Altitud:	1835	msnm								
Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T	M
2005	14,0	128,3	359,5	73,0	23,4	12,3	0,5	0,0	0,0	33,8	20,0	126,2	791,0	65,9
2006	29,7	309,6	498,6	281,4	0,0	12,3	14,7	0,0	0,0	16,1	141,7	75,9	1380,0	115,0
2007	59,0	133,7	146,4	190,0	53,6	0,7	0,0	1,7	4,3	43,6	39,0	51,4	723,4	60,3
2008	29,5	483,7	429,1	198,5	62,0	29,5	6,0	28,0	4,9	81,5	43,9	92,0	1488,6	124,1
2009	133,2	160,5	379,8	92,2	54,8	0,0	8,3	5,0	2,5	28,4	1,8	6,8	873,3	72,8
2010	11,3	63,5	1,0	24,0	23,0	0,0	41,0	1,0	21,0	32,0	16,7	63,0	297,5	24,8
2011	68,0	177,6	130,5	184,3	18,3	8,0	4,5	8,7	0,0	14,6	82,6	36,3	733,4	61,1
2012	231,6	221,6	91,7	194,7	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	36,0	115,7	30,0	927,8	77,3
2013	21,9	38,7	58,4	7,0	67,9	22,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,0	250,4	20,9
2014	40,9	13,0	412,8	11,5	179,4	7,9	0,1	0,9	5,3	85,7	70,8	90,2	918,5	76,5
2015	145,3	93,7	388,1	101,9	35,7	6,6	0,9	0,1	7,8	46,2	108,3	2,4	937,1	78,1
SUM	784,4	1823,9	2895,9	1358,5	524,6	99,8	76,0	45,4	45,8	417,9	640,5	608,2	9321,0	777
MAX	231,6	483,7	498,6	281,4	179,4	29,5	41,0	28,0	21,0	85,7	141,7	126,2	1488,6	124,1
MED	71,3	165,8	263,3	123,5	47,7	9,1	6,9	4,1	4,2	38,0	58,2	55,3	847,4	70,6
MIN	11,3	13,0	1,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	250,4	20,9
DESV	69,9	135,1	177,5	91,5	49,2	9,7	12,2	8,4	6,2	26,2	48,9	38,3	374,9	31,2
CV (%)	1,0	0,8	0,7	0,7	1,0	1,1	1,8	2,0	1,5	0,7	0,8	0,7	0,4	0,4

Anexo 16. Curva generalizada del coeficiente de cultivo.



Fuente: Tomado de la FAO

Anexo 17. Curva de Kc de los cultivos de la zona de riego.



Anexo 18. Base de datos de las estaciones Quinara, Gonzanamá y La Argelia, para determinar la evapotranspiración de referencia.

Factor	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
	Estación:							Quinara					
Temperatura mínima (°C)	14,6	14,7	14,9	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,9	14,5	14,3	14,5	14,6
Temperatura máxima (°C)	26,2	25,9	26,2	26,6	26,3	25,6	25,0	25,8	27,1	28,1	27,6	27,0	26,5
Humedad %	79	83	83	80	79	73	70	68	66	71	75	79	76
Viento (Km/día)	51	41	51	70	70	130	145	151	112	72	50	65	84
Insolación (hr)	4,1	3,5	4,4	4,9	5,4	5,3	5,8	6,6	6,1	5,4	5,1	4,3	5,1
	Estación:							Gonzanamá					
Temperatura mínima (°C)	12,0	12,3	12,4	12,5	12,4	12,2	12,2	12,3	12,2	12,0	11,9	12,1	12,2
Temperatura máxima (°C)	22,7	22,1	22,5	22,6	23,0	23,2	22,9	23,4	23,7	23,6	23,6	23,4	23,1
Humedad %	91	91	91	91	90	90	89	89	89	89	90	90	90
Viento (Km/día)	72	77	73	91	96	116	136	135	115	87	79	72	96
Insolación (hr)	6,0	4,0	5,0	5,0	6,0	7,0	8,0	8,0	7,0	7,0	6,0	6,0	6,3
	Estación:							La Argelia					
Temperatura mínima (°C)	12,1	12,3	12,4	12,3	12,3	12,2	11,8	11,9	11,9	11,6	11,2	11,8	12,0
Temperatura máxima (°C)	21,3	21,3	21,7	21,9	21,4	20,3	19,9	19,9	21,4	22,7	23,0	22,4	21,4
Humedad %	77	78	77	77	76	75	74	71	72	73	74	75	75
Viento (Km/día)	40	38	38	40	48	70	81	85	65	46	35	42	52
Insolación (hr)	3,7	3,4	3,5	3,9	4,3	4,3	4,4	4,9	4,8	4,8	5,2	4,6	4,3

Anexo 19. Evapotranspiración de referencia para las estaciones de Quinara, Gonzanamá y La Argelia en el software CROPWAT.

Quinara

ETa Penman-Monteith Mensual - untitled

País: ECUADOR Estación: QUINARA (145)

Altitud: 1059 m. Latitud: 4.31 °N Longitud: 79.20 °E

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETa mm/día
Enero	14.6	26.2	79	51	4.1	14.6	2.92
Febrero	14.7	25.9	83	41	3.5	14.4	2.87
Marzo	14.9	26.2	83	51	4.4	16.3	3.22
Abril	14.7	26.6	80	70	4.9	16.9	3.39
Mayo	14.7	26.3	79	70	5.4	17.0	3.36
Junio	14.7	26.6	73	130	5.3	16.4	3.46
Julio	14.7	25.0	70	145	5.8	17.3	3.64
Agosto	14.5	25.8	68	151	6.6	19.1	4.02
Septiembre	14.9	27.1	66	112	6.1	18.7	3.98
Octubre	14.5	26.1	71	72	5.4	17.4	3.60
Noviembre	14.3	27.6	75	50	5.1	16.2	3.23
Diciembre	14.5	27.0	79	65	4.3	14.6	2.97
Promedio	14.6	26.4	76	84	5.1	16.6	3.39

Gonzanamá

ETa Penman-Monteith Mensual - untitled

País: ECUADOR Estación: GONZANAMA (148)

Altitud: 2047 m. Latitud: 4.23 °N Longitud: 79.43 °E

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETa mm/día
Enero	12.0	22.7	91	72	6.0	17.4	3.07
Febrero	12.3	22.1	91	77	4.0	15.2	2.76
Marzo	12.4	22.5	91	79	5.0	17.2	3.12
Abril	12.5	22.6	91	91	5.0	17.0	3.09
Mayo	12.4	23.0	90	96	6.0	17.9	3.19
Junio	12.2	23.2	90	116	7.0	18.8	3.29
Julio	12.2	22.8	89	136	8.0	20.4	3.90
Agosto	12.3	23.4	89	136	8.0	21.2	3.88
Septiembre	12.2	23.7	89	115	7.0	20.1	3.60
Octubre	12.0	23.6	89	87	7.0	19.8	3.53
Noviembre	11.9	23.6	90	79	6.0	17.5	3.14
Diciembre	12.1	23.4	90	72	6.0	17.1	3.06
Promedio	12.2	23.1	90	96	6.3	18.3	3.26

La Argelia

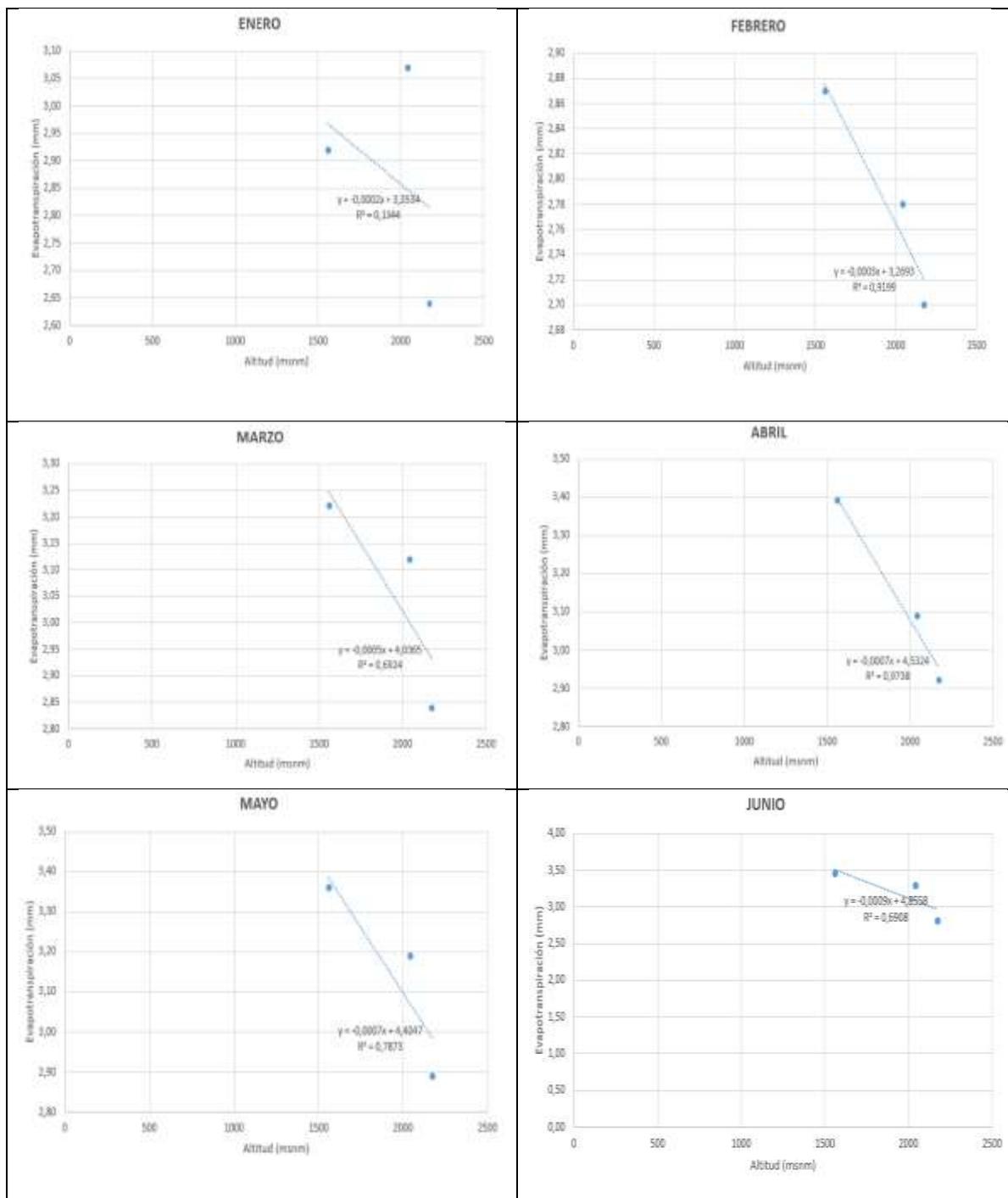
ETa Penman-Monteith Mensual - untitled

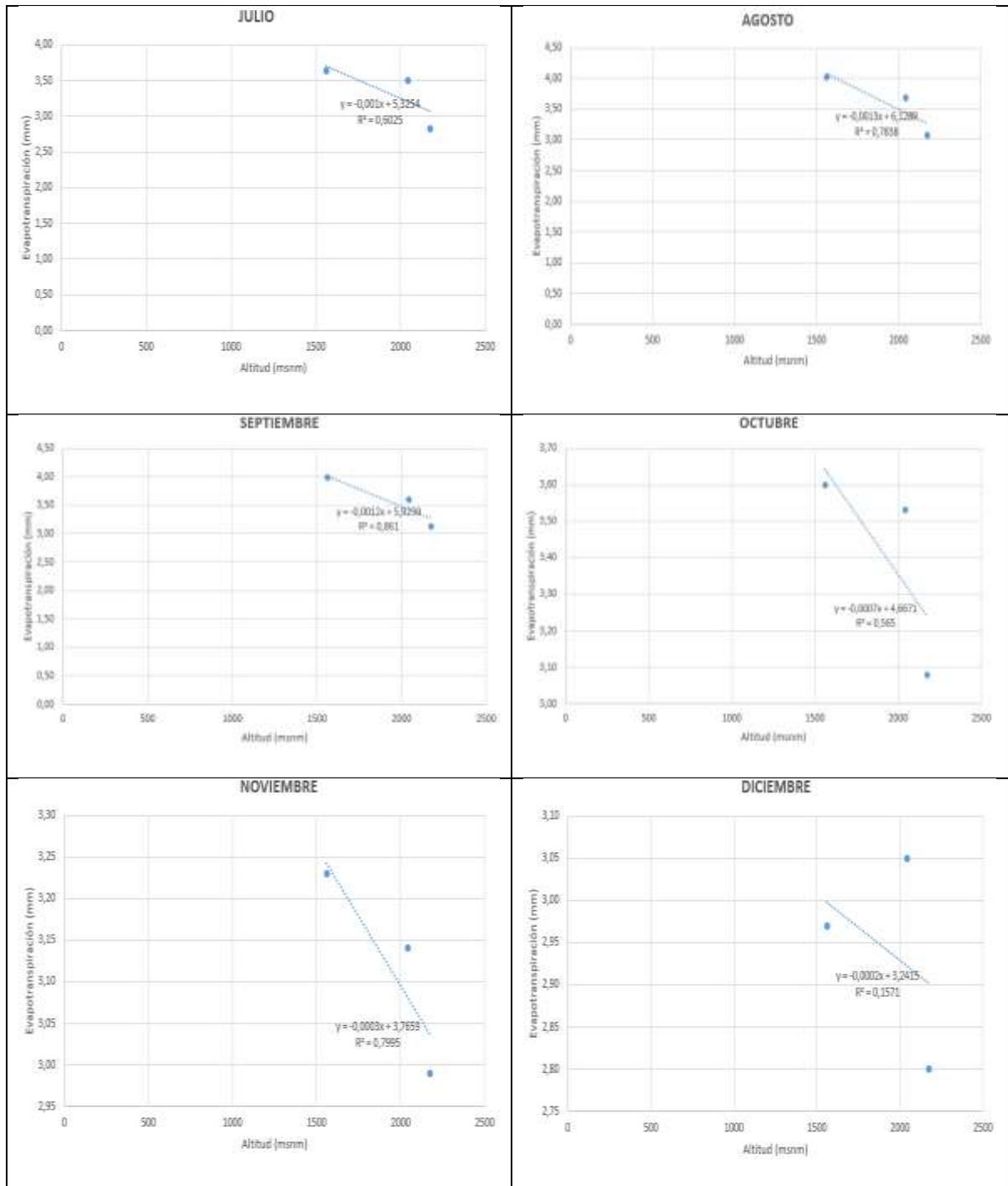
País: ECUADOR Estación: LA ARGELIA

Altitud: 2174 m. Latitud: 4.03 °N Longitud: 79.20 °E

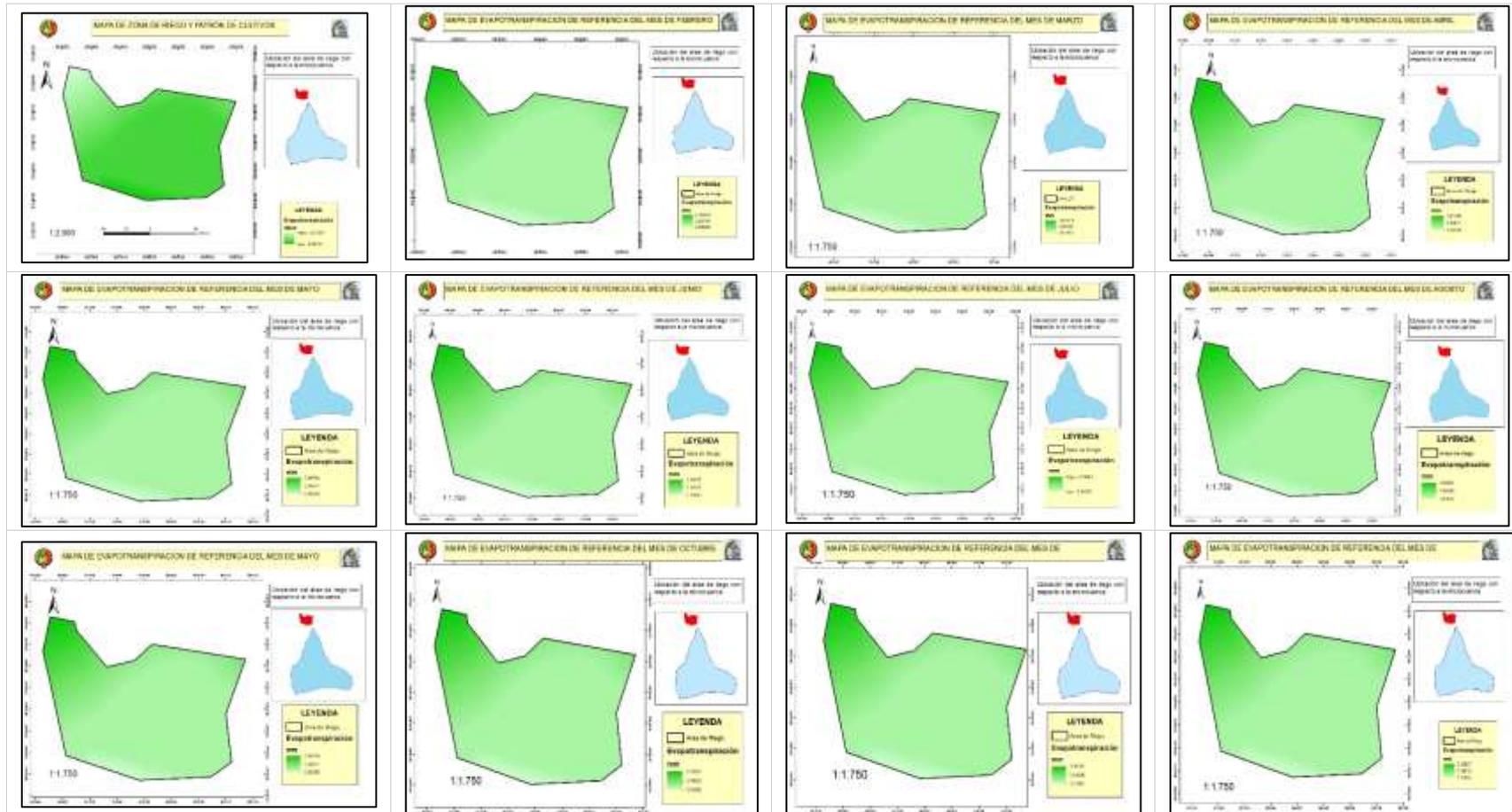
Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETa mm/día
Enero	12.1	21.3	77	40	3.7	14.1	2.64
Febrero	12.3	21.3	78	38	3.4	14.3	2.70
Marzo	12.4	21.7	77	38	3.5	14.9	2.84
Abril	12.3	21.9	77	40	3.9	15.3	2.92
Mayo	12.3	21.4	76	48	4.3	15.3	2.89
Junio	12.2	20.3	75	70	4.3	14.9	2.81
Julio	11.8	19.5	74	81	4.4	15.2	2.87
Agosto	11.9	19.9	71	85	4.9	16.5	3.07
Septiembre	11.9	21.4	73	65	4.8	16.7	3.13
Octubre	11.6	22.7	73	46	4.8	16.5	3.08
Noviembre	11.2	23.0	74	35	5.2	16.4	2.99
Diciembre	11.8	22.4	75	42	4.6	15.1	2.80
Promedio	12.0	21.4	75	52	4.3	15.4	2.89

Anexo 20. Curva de regresión lineal para la obtención de la evapotranspiración de referencia en la zona de riego.

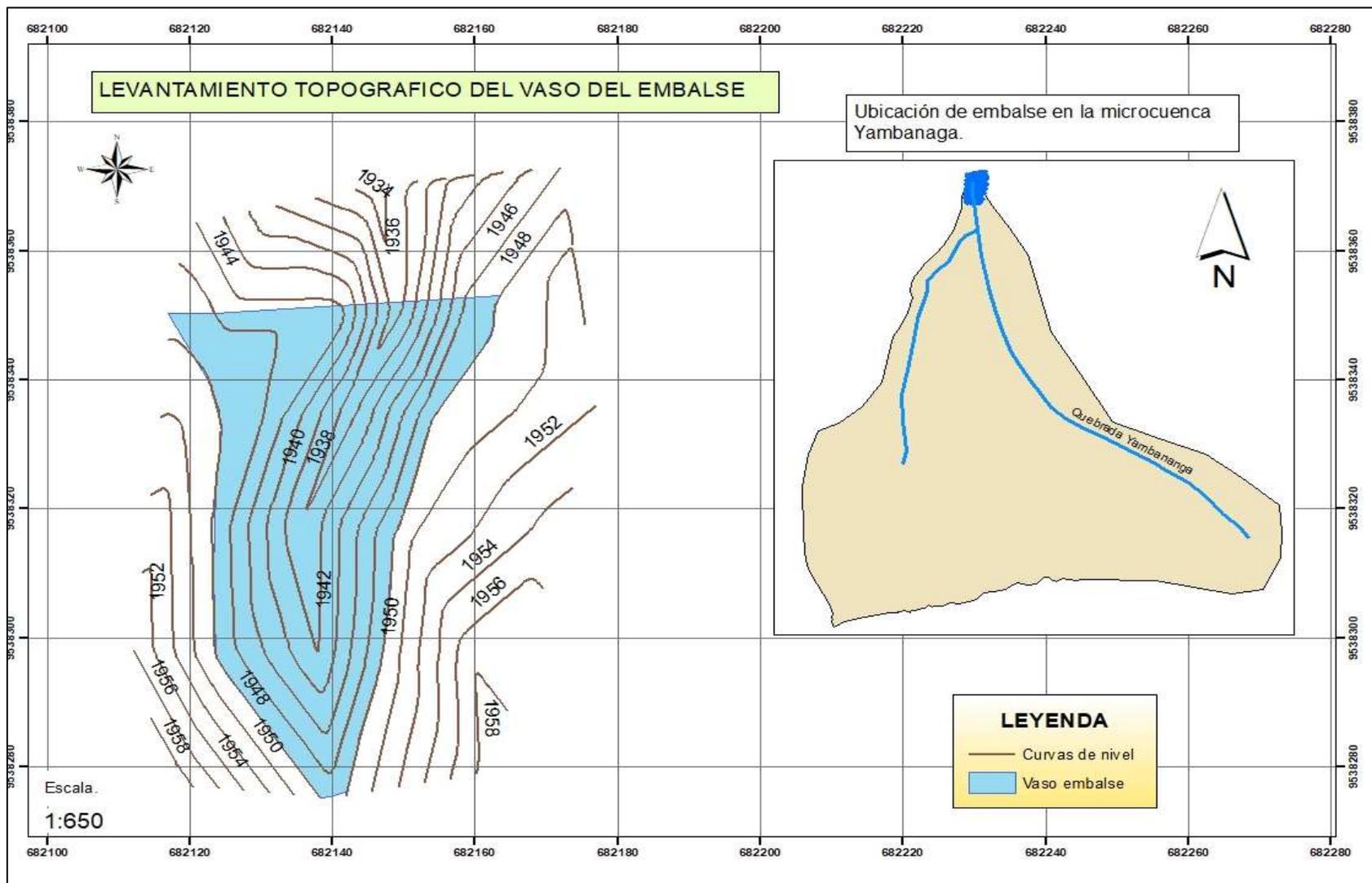




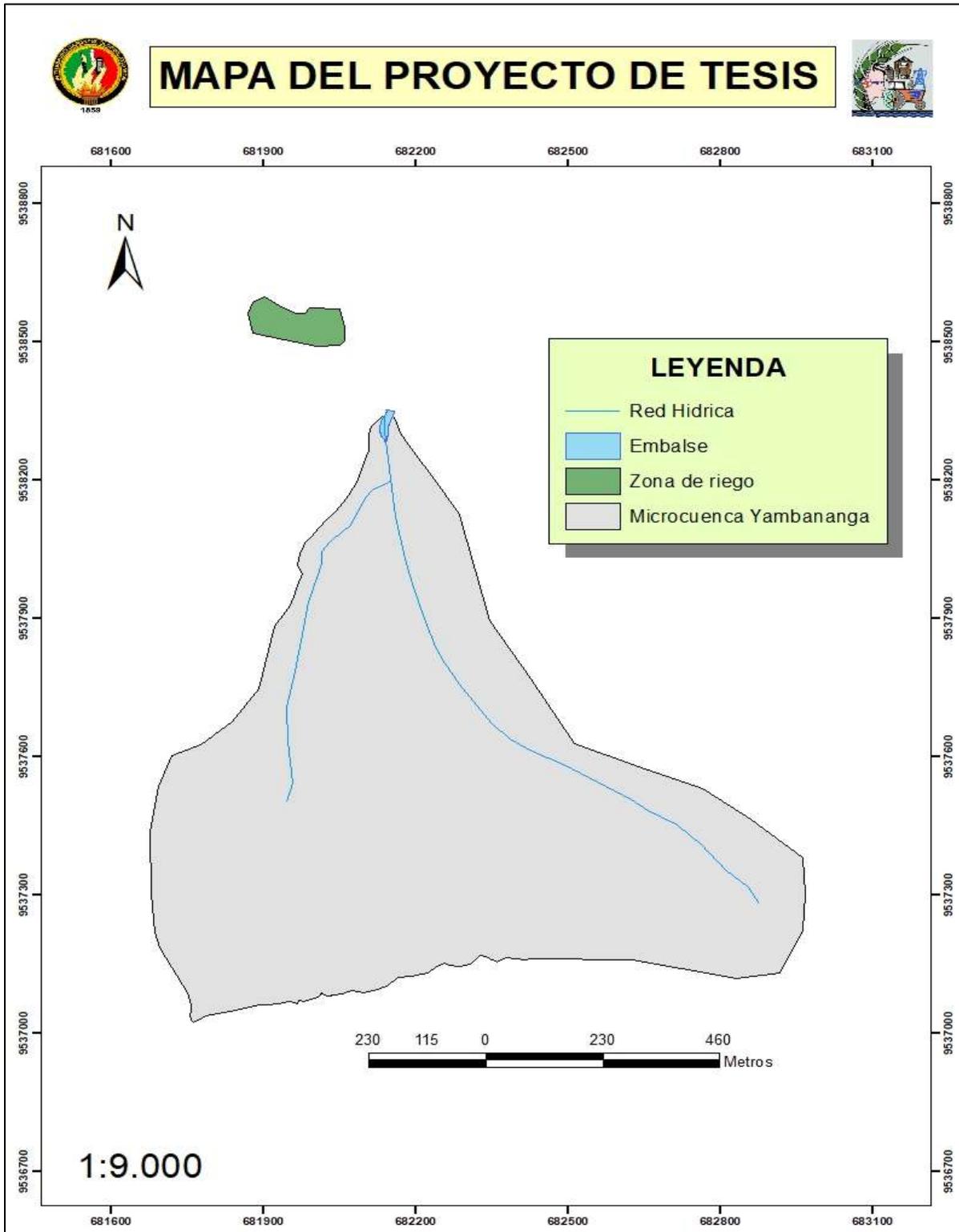
Anexo 21. Mapas de evapotranspiración de la zona de riego.



Anexo 22. Mapa topográfico del sitio del embalse y ubicación respecto a la microcuenca Yambananga.



Anexo 23. Mapa del proyecto.



Anexo 24. Registro fotográfico de salidas de campo



Vista de la microcuenca desde la parte superior.



Punto de interés de microcuenca.



Pequeña obra de captación en la microcuenca



Identificación del sector en la carta cartográfica.



Cultivo de yuca en el la zona de riego del proyecto



Visita a los cultivos en el sitio de la zona de riego (Maíz y Frejol)