Universidad Nacional de Loja

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ANÁLISIS ENTRE LA OFERTA Y DEMANDA DE AGUA, CON FINES DE RIEGO, EN EL CANAL ALTO DE SAN PEDRO DE VILCABAMBA, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).

Tesis de grado previa a la Obtención del Título de Ingeniera Agrícola

Lady Anabel Panamito Flores
Autora;
Mg.Sc. Aníbal Eduardo González González
Director:

Loja - Ecuador
2022

CERTIFICACIÓN DE TESIS

Loja 17 de mayo del 2021

Ing. Aníbal Eduardo González González, Mg. Sc.
DOCENTE DE LA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

CERTIFICO:

En calidad de director de la tesis titulada **"ANÁLISIS ENTRE LA OFERTA Y DEMANDA DE AGUA, CON FINES DE RIEGO, EN EL CANAL ALTO DE SAN PEDRO DE VILCABAMBA, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)",** de autoría de la egresada de la Carrera de Ingeniería Agrícola, Lady Anabel Panamito Flores, debo manifestar que ha concluido con su investigación de acuerdo al cronograma aprobado y autorizo se continúe con el trámite de graduación.

Firmado electrónicamente por:
ANIBAL EDUARDO GONZALEZ GONZALEZ

Ing. Aníbal Eduardo González González Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

Autoría

Yo **Lady Anabel Panamito Flores**, declaro ser autora 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.

Autora: Lady Anabel Panamito Flores

Firmado electrónicamente por:
LADY ANABEL PANAMITO FLORES

Firma: ……..

Cédula: 1105813701

Fecha: Loja, abril de 2022

Correo: lapanamitof@unl.edu.ec

Teléfono o Celular: 0981584049

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

Yo, L**ady Anabel Panamito Flores,** declaro ser autora de la tesis titulada **"ANALISIS ENTRE LA OFERTA Y DEMANDA DE AGUA, CON FINES DE RIEGO, EN EL CANAL ALTO DE SAN PEDRO DE VILCABAMBA, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA (SIG)",** como requisito para optar al grado de Ingeniera Agrícola, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo 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 puedan consultar el contenido de este trabajo en el 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 10 días del mes de diciembre del dos mil veinte uno firma la autora.

Firmado electrónicamente por:
LADY ANABEL PANAMITO FLORES

Firma:…… … …….

Autor: Lady Anabel Panamito Flores

Número de cedula: 1105813701

Dirección: Loja, sector la Inmaculada - Francisco Lecaro y Ana Icaza

Correo electrónico: anabellady92@hotmail.com

Teléfono: 0722647793 **Celular:** 0981584049

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Tribunal de Grado: Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta **PRESIDENTE**

Ing. María Narcisa Chamba Ontaneda **Vocal**

Ing. Diego Fernando Chamba Zaragocín **Vocal**

Dedicatoria

Primeramente agradezco a mi Dios, por darme una oportunidad de vida, a mis padres Edi Panamito y Blanca Flores, hermanos Leonardo, Javier, Evelin, Darío, Kevin y Cristina mis pequeños sobrinos Mateo, María, Emanuel, Valentina y a mi princesa Victoria, que estuvieron siempre apoyándome económicamente y moralmente con sus consejos de lucha y superación en cada amanecer de la vida, y ahora se sienten orgullosos de aquella niña que creció, lloro y desarrollo sus habilidades y nunca se derroto ante cualquier circunstancia siendo ejemplo para las futuras generaciones, A mi esposo Luis Avalo, que es un soporte incondicionalmente que ha estado en los buenos y malos momentos, por enseñarme a que nunca me dé por vencida por más perdida que este la batalla.

Lady Anabel Panamito Flores

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja en especial a la planta docente de la carrera de Ingeniería Agrícola, gracias por brindarme sus conocimientos y experiencias a través de estos años de arduo trabajo, por formarme como una profesional en los ámbitos ético, humano y científico-técnico en todas las ramas del conocimiento de la ingeniería.

Mi agradecimiento especial a mi director de Tesis al Ing. Aníbal González, por su confianza, respeto, amistad y por su valioso aporte y orientación.

Gratitud a los Ing. Ramiro Vásquez, Ing. Hermel Loaiza, Lic. Cecilia Ledesma, Ing. José Merino y al Ing. Fabián Sotomayor; y mis amigos Vicente, Anita, Mishell, Andrea, Luis y a la junta de riego San Pedro de Vilcabamba, por sus palabras de aliento a fin de lograr mi objetivo planteado.

Finalmente agradezco a mis padres, hermanos, familiares que en los momentos más difíciles supieron brindarme su apoyo y confianza a fin de ser una excelente ingeniera en mi cantón Zapotillo.

Lady Anabel Panamito Flores

ÍNDICE

Caratula i
Certificación de tesis ii
Autoría iii
Carta de autorización iv
Dedicatoria v
Agradecimiento vi
Esquema de tesis vii
Índice de Tablas ix
Índice de Figuras x
Índice de Anexos xi
1. Titulo 1
2. Resumen 2
2.1 Abstract 4
3. Introducción 6
4. Marco teórico 9
4.1. Planeación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas 9
4.2. Estimación de la disponibilidad de agua para riego 10
4.2.1. Cuenca Hidrográfica. 10
4.2.2. Características morfométricas de una cuenca. 10
4.2.3. Precipitación media sobre la cuenca. 11
4.2.4. Escurrimientos. 12
4.2.4.1. Criterio del coeficiente de escurrimiento. 13
4.2.4.2. Método racional. 13
4.2.4.3. Método del Polinomio Ecológico. 14
4.2.4.4. Curva de duración de caudales. 15
4.3. Demanda de agua de los cultivos y evapotranspiración 16
4.4. Necesidades hídricas de los cultivos 16
4.4.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo). 16
4.4.1.1. Método de Penman – Monteith. 18
4.4.1.2. Programa de cómputo CROPWAT 8.0. 18
4.4.2. Coeficiente del cultivo (Kc). 19
4.4.3. Evapotranspiración de los cultivos (ETc). 19
4.5. Precipitación Efectiva 20
4.6. Patrón de Cultivos 20
4.7. Requerimiento Hídrico de los cultivos 21
4.8. Sistemas de Información Geográfica (SIG) 21
5. Materiales y Métodos 23

5.1. Materiales 23
5.2. Ubicación del área de estudio 24
5.3. Metodología 26
5.3.1. Análisis de la oferta hídrica en la microcuenca Uchima. 26
5.3.1.1. Características morfométricas de la microcuenca. 26
5.3.1.2. Estimación de la precipitación media. 26
5.3.1.3. Estimación de los escurrimientos medios superficiales 28
5.3.1.4. Curva de duración general o permanencia de caudales 34
5.3.1.5. Aforo de la corriente en el sitio de captación. 35
5.3.2. Análisis de la demanda de agua 36
5.3.2.1. Precipitación media mensual del área de riego 36
5.3.2.2. Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) 37
5.3.2.3. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) 38
5.3.2.4. Precipitación Efectiva 40
5.3.2.5. Requerimientos de riego 41
5.3.3. Comparación de la oferta y demanda hídrica, con fines de riego en la perspectiva de estructurar alternativas para su optimización 41
6. Resultados y Discusión 42
6.1. Oferta hídrica en la microcuenca Uchima. 42
6.1.1. Parámetros de Forma 42
6.1.2. Parámetros de relieve 43
6.1.3. Parámetros relativos a la red de drenaje 44
6.1.4. Precipitación media de la microcuenca 45
6.1.5. Escurrimientos medios mensuales 49
6.1.5.1. Curva de duración general y variación estacional 51
6.1.5.2. Análisis de la demanda de agua de los cultivos. 53
6.1.6. Catastro del sistema de riego 53
6.1.7. Precipitación media de la zona de riego 54
6.1.8. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) 59
*6.1.9. Determinación del patrón de cultivos y del coeficiente del cultivo (*Kc*)* 63
6.1.10. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) 70
6.1.11. Requerimientos de riego 71
6.2. Análisis entre la oferta y la demanda de agua 73
7. Conclusiones 76
8. Recomendaciones 78
9. Bibliografía 79
10. Anexos 84

Índice de Tablas

Tabla 1.*Coeficiente k, m, n. Método del Polinomio Ecológico.* 14
Tabla 2.*Coeficientes de Escorrentía para el Método Racional.* 30
Tabla 3.*Coeficientes k, m, n. Método del Polinomio Ecológico.* 31
Tabla 4.*Características para Determinar el Tipo de Suelo.* 33
Tabla 5.*Valores de "K" en Función del Tipo del Suelo y Uso del Suelo.* 34
Tabla 6.*Coeficiente de Corrección entre la Precipitación Estimada por el Método de las Isoyetas y la Precipitación Media Mensual de la Estación de Malacatos.* 36
Tabla 7.*Valores de Kc, para los cultivos identificados en la zona de riego* 39
Tabla 8.*Estudios Realizados en Microcuencas Cercanas a la del Estudio y que se Encuentran en la Vertiente del Pacifico.* 45
Tabla 9.*Precipitación Media de la Microcuenca Uchima (mm).* 47
Tabla 10.*Caudal Medio Mensual (m^3/s) Generado por Métodos Empíricos Para la Microcuenca Uchima.* 49
Tabla 11.*Uso Actual del Suelo.* 54
Tabla 12.*Precipitación Media de la Zona de Riego (mm).* 56
Tabla 13.*Precipitación Efectiva de la Zona de Riego (mm).* 58
Tabla 14.*Patrón de Cultivos* 63
Tabla 15.*Coeficientes Kc de los Cultivos* 70
Tabla 16.*Evapotranspiración del Cultivo (mm/mes)* 71
Tabla 17.*Requerimientos de Riego para cada Cultivo (m^3)* 72
Tabla 18.*Análisis entre Oferta y Demanda Hídrica.* 74

Índice de Figuras

Figura 1. *Mapa de Ubicación de la Zona de Estudio.* 25
Figura 2.*Diagrama de Modelación para Escurrimientos Medios. Método Racional.* 29
Figura 3.*Mapa Base de la microcuenca Uchima* 42
Figura 4.*Distribución de la precipitación media mensual en la Microcuenca Uchima.* 46
Figura 5.*Distribución Espacial de la Precipitación (mm/mes) en la Microcuenca Uchima. Geoportal Inamhi Periodo (1990 – 2012).* 48
Figura 6.*Análisis Comparativo entre los Caudales Calculados por Métodos Indirectos para la Microcuenca Uchima y los Aforos Realizados.* 50
Figura 7.*Curva de Duración General de la Microcuenca Uchima* 52
Figura 8.*Curvas de Variación Estacional de la Microcuenca Uchima.* 53
Figura 9.*Distribución de la precipitación media en la zona de Riego, si la necesitas a la tabla me avisas* 55
Figura 10.*Distribución Espacial de la Precipitación Media en la Zona de Riego (mm).* 57
Figura 11.*Evapotranspiración de la Zona de Riego.* 61
Figura 12.*Temperatura Media de la Zona de Riego.* 61
Figura 13.*Horas Sol en la Zona de Riego* 61
Figura 14.*Humedad Relativa de la Zona de Riego.* 61
Figura 15.*Distribución Espacial de la Evapotranspiración* 62
Figura 16.*Distribución Espacial de los Cultivos en la Zona de Riego.* 64
Figura 17.*Curvas de Kc para los Cultivos de Maíz y Guineo* 66
Figura 18.*Curvas de Kc para los Cultivos de Caña y Café* 67
Figura 19.*Curvas de Kc para los Cultivos de Yuca y Pasto* 68
Figura 20.*Curva Kc para los Cultivos de Hortalizas y Frutales* 69
Figura 21.*Áreas de Riego Actual y Superficies Agrícolas a Incrementar* 75

Índice de Anexos

Anexo 1.*Parámetros Morfométricos de la microcuenca Uchima* 84
Anexo 2.*Perfil del Cauce Principal Generado Mediante el Software Arc Map 10.3* 85
Anexo 3.*Curva Hipsométrica de la microcuenca Uchima Generada Mediante el Software Arc Map 10.3* 85
Anexo 4.*Estadística Pluviométrica de la Estación La Argelia (mm)* 86
Anexo 5.*Estadística Pluviométrica de la Estación Yangana (mm)* 87
Anexo 6.*Estadística Pluviométrica de la Estación Malacatos (mm)* 88
Anexo 7.*Estadística Pluviométrica de la Estación San Francisco (mm)* 89
Anexo 8.*Estadística Pluviométrica de la Estación Quinara (mm)* 90
Anexo 9.*Análisis de Consistencia de Datos* 91
Anexo 10.*Caudales Medios Generados por el Método Racional para la microcuenca Uchima (m3/s)* 93
Anexo 11.*Caudales Medios Generados Mediante el Método del Polinomio Ecológico para la microcuencaUchima (m^3/s)* 94
Anexo 12.*Caudales Generados Mediante el Criterio del Coeficiente de Escorrentía para la microcuencaUchima (m^3/s)* 95
Anexo 13.*Distribución Espacial de las Pendientes Encontradas en la Zona de Riego Actual y en el Área Propuesta para Incrementar.* 96
Anexo 14.*Distribución Espacial de la Profundidad Efectiva Encontrada en la Zona de Riego* . 97
Anexo 15.*Mapa de Pendientes de la Microcuenca Uchima.* 98
Anexo 16.*Mapa de Cobertura Vegetal de la Microcuenca Uchima* 99
Anexo 17.*Mapa de Textura de la Microcuenca Uchima.* 100

“ANÁLISIS ENTRE LA OFERTA Y DEMANDA DE AGUA, CON FINES DE RIEGO, EN EL CANAL ALTO DE SAN PEDRO DE VILCABAMBA, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)”

2. Resumen

En el Ecuador, el mayor uso del recurso hídrico es para riego, constituyendo un factor esencial en la productividad del sector agrícola, estabilidad de la seguridad alimentaria y desarrollo del país. La planificación de los recursos hídricos se presenta como la estrategia principal en pro de asegurar este recurso para las generaciones presentes y futuras. Sin embargo, el éxito de la planificación no corresponderá simplemente a lo que se realice desde el ámbito técnico, si no de los diálogos y del intercambio de saberes entre las comunidades y quienes realicen la planificación.

La presente investigación se desarrolló con la finalidad de conocer cuál es el caudal a diferentes probabilidades de ocurrencia, que genera el rio Uchima; además, estimar cuáles son las demandas hídricas que se generan para el patrón de cultivos actual; y, finalmente determinar cuántas hectáreas de cultivo se podrán incorporar, realizando un aprovechamiento eficiente del recurso hídrico.

Se realizó un análisis físico y morfométrico de la microcuenca del Rio Uchima, desde la captación, con la finalidad de conocer su forma, el relieve y las características de su red hídrica. Luego se efectuó un estudio hidrológico para conocer el comportamiento de la cuenca y la disponibilidad de caudales para diferentes probabilidades de ocurrencia, utilizando métodos empíricos y ejecutando algunas mediciones directas del caudal, que permitieron determinar cuál es el método empírico que más representa el comportamiento del río.

Se estructuró una base de datos geográfica digital, que contiene el catastro del sistema de riego y su patrón de cultivos, lo que permitió contar con una estimación muy cercana de las necesidades hídricas actuales. Para ello se utilizaron métodos semi-empíricos los cuales son racional, polinomio ecológico y criterio del coeficiente de escurrimiento; El método empírico que mejor se adaptó a las condiciones geomorfológicas de la microcuenca Uchima y a los aforos

realizados mediante el molinete hidráulico en el sitio de captación, fue el método del polinomio ecológico, que presentó un comportamiento puntualmente en el período de estiaje.

Finalmente, se comparó la oferta y la demanda de agua y se determinó que se puede ampliar el área de riego, con el caudal disponible al 75% de probabilidad y con las demandas hídricas de los cultivos, se pueden regar 600 ha más de las que actualmente se riegan, con un uso eficiente y sustentable del agua, lo que se convertirá en una mayor producción agrícola.

Cabe mencionar que todo el levantamiento de información y los resultados obtenidos fueron socializados con los usuarios del sistema de riego, cumpliendo de esta forma, con la función sustantiva de vinculación con la sociedad de la Universidad Nacional de Loja.

Palabras clave: Planificación, estudio hidrológico, riego, seguridad alimentaria, excedente, eficiencia de aplicación.

2.1 Abstract

In Ecuador, the greatest use that is given to the water resource is for irrigation, constituting an essential factor in the productivity of the agricultural sector, stability of food security and development of the country. The planning of water resources is presented as the main strategy in favor of ensuring this resource for present and future generations. However, the success of this planning will not simply correspond to what is carried out from the technical sphere, but will also depend on the dialogues and the exchange of knowledge between the communities and those who carry out the planning.

The present investigation was developed with the purpose of knowing what the flow is at different probabilities of occurrence, generated by the Uchima river; In addition, estimate what are the water demands that are generated for the current crop pattern; and, finally, determine how many hectares of crops can be incorporated, making efficient use of the water resource.

In the development of the research, a physical and morphometric analysis of the Uchima River micro-basin was carried out, from the catchment work, in order to know its shape, the relief and the characteristics of its water network. Then a hydrological study was carried out to know the behavior of the basin and the availability of its flows for different probabilities of occurrence, using empirical methods and executing some direct measurements of the flow, which allowed determining which is the empirical method that most represents the behavior of the river.

A digital geographic database was structured, which contains the cadastre of the irrigation system and its crop pattern, which allowed for a very close estimate of current water needs. For this, semi-empirical methods were used, which are rational, ecological polynomial and runoff coefficient criterion; The empirical method that best adapted to the geomorphological conditions of the Uchima micro-basin and to the gauging carried out by means of the hydraulic pinwheel at

the catchment site, was the ecological polynomial method, which presented punctual behavior in the dry season.

Finally, the supply and demand for water were compared and it was determined that the irrigation area can be expanded, with the flow available at 75% probability and with the water demands of the crops, 600 more hectares can be irrigated than they are currently irrigated, with an efficient and sustainable use of water, which will lead to increased agricultural production.

It is worth mentioning that all the information gathering and the results obtained were socialized with the users of the irrigation system, thus fulfilling the substantive function of linking the National University of Loja with society.

Keywords: Planning, hydrological study, irrigation, food security, surplus, application efficiency.

3. Introducción

El recurso hídrico, al ser uno de los insumos fundamentales para el desarrollo de los seres vivos, su calidad y disponibilidad es limitada, como consecuencia del mal manejo antrópico de las cuencas hidrográficas, que conlleva a la racionalidad del uso, manejo y eficiencia del agua. Al crecer la población y ser necesaria una mayor producción de alimentos, el agua se vuelve un recurso valioso para lograr la máxima rentabilidad en la producción agrícola, la misma que exige, una etapa de planificación, un conocimiento adecuado del efecto del agua de riego sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo, logrando mayor productividad y contribuir a la soberanía alimentaria del Ecuador, concretamente en la Provincia de Loja (Cañar, 2015).

El riego es el principal uso consuntivo del Ecuador, junto con el uso doméstico y el industrial, pues de los 22 500 hm^3/año que demanda este uso, el riego ocupa el 81,1%. Además, según datos del llamado Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2002), el riego tiene un papel importante en el desarrollo del país, pues se estima que el valor de la producción bajo riego es del 70% de la producción agrícola total, lo que indica que la productividad de las tierras bajo riego es aproximadamente cinco veces mayor a la de secano.

SENAGUA (2015), menciona las actividades de irrigación obtienen el recurso principalmente de fuentes superficiales, las cuales suministran alrededor del 99% de la superficie bajo riego. Por otro lado, la Empresa Pública de Riego y Drenaje del Sur (RIDRENSUR, 2012), señala que en la provincia de Loja las zonas agro productivas demandan de la ejecución de infraestructura para riego, capacitación y recursos económicos que permitan la rentabilidad y competitividad agropecuaria.

El sistema de riego Canal Alto San de Pedro de Vilcabamba, que se ubica a 36,4 km,

dirección sur oriente de la ciudad de Loja, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT, 2016), la producción agrícola presenta alta incertidumbre y baja productividad, lo que ha desembocado en el abandono del campo y la utilización de las áreas potencialmente productivas destinadas a actividades para infraestructura vacacionales y recreacionales, claudicando la inversión agrícola y fortaleciendo la emigración hacia otras latitudes en pos de nuevas oportunidades de vida.

Los resultados del estudio servirán para que los usuarios del sistema de Riego, conozcan las características de la microcuenca de producción de agua, los caudales disponibles que pueden aprovechar, las demandas hídricas para diferentes patrones de cultivos y la certeza que los caudales del rio Uchima pueden servir para regar una superficie mayor; lo que permitirá, servir a la sociedad con mayor y mejor producción agrícola a través del eficiente uso del agua.

Finalmente, el documento presenta un análisis físico y morfométrico de la microcuenca, que es el río Uchima, un estudio del comportamiento hídrico de la microcuenca; el análisis de las demandas hídricas de los cultivos; y, finalmente la calibración entre oferta y demanda de agua.

El objetivo general es contribuir con la Junta de usuarios del sistema de riego Canal Alto de San Pedro de Vilcabamba, con la generación de información de la oferta y la demanda de los recursos hídricos, que permita una optimización de su uso y el incremento de la producción agrícola. Así mismo se planteó los objetivos específicos.

- Analizar la oferta hídrica para el sistema de riego a través del estudio del comportamiento hidrológico de la microcuenca de generación de agua.
- Estudiar la demanda hídrica de los cultivos para la zona de riego en el sistema Canal Alto de San Pedro de Vilcabamba.

- Adecuar la oferta y demanda con la finalidad de determinar el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos orientado a su optimización de su uso, y el mejoramiento de la producción agrícola.

4. Marco teórico

Mediante el conjunto de teorías mencionadas en este capítulo, se explica la orientación del tema de tesis y se ofrece una conceptualización adecuada de los términos que se utilizará en el desarrollo de la misma.

4.1. Planeación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas

Según López A. (2015), menciona que la planificación de los recursos hídricos constituye una herramienta importante para el ordenamiento y gestión, contribuyendo al desarrollo socioeconómico sustentable y con el tiempo sostenible del mismo. En este contexto Ortiz *et al*. (2017) ha realizado avances importantes definiendo a la cuenca hidrográfica como unidad de interés hídrico. Siendo prioridad la integralidad de procesos técnicos, normativos, administrativos y científicos que permitan las investigaciones que integren la variabilidad climática siendo el proceso natural que depende de condiciones orográficas y de localización geográfica del sitio a ser estudiado.

La Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1992), señala que las cuencas hidrográficas constituyen las unidades geográficas idóneas para planificar el desarrollo socioeconómico de una región conjuntamente con el uso racional y sostenible de los recursos naturales básicos: suelo, agua y vegetación. Por lo tanto, es indispensable una buena planificación de los recursos hídricos con fines de riego, para incrementar el desarrollo socioeconómico de una determinada región.

Dourojeanni (2000), citado por Nero (2020), también menciona que la planificación es la definición lógica de una determinada serie de estrategias que contribuyen a la organización y gestión integrada lo de los recursos hídricos. Estrategias que son debidamente documentadas,

analizadas y procesadas para la realización de una planificación mediante el análisis, toma de decisiones y el diseño de estrategias para un grupo de actores que dependen y comparten un mismo recurso y territorio.

4.2. Estimación de la disponibilidad de agua para riego

4.2.1. Cuenca Hidrográfica.

Las cuencas hidrográficas son unidades territoriales donde se combinan procesos ecológicos, como el ciclo del agua y se producen bienes y servicios (Jouravlev, 2002). También, la cuenca hidrológica es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología (Ramakrishna ,1997). Además, González (1997), indica que toda cuenca está limitada por líneas donde la pendiente del terreno diverge denominado "parteaguas", el cual constituye la división de la cuenca con respecto a cuencas vecinas.

4.2.2. Características morfométricas de una cuenca.

Gaspari, *et.al*., (2013), considera que gran parte de estudios de cuencas se fundamentan en análisis a partir de variables geomorfológicas cualitativas y cuantitativas, además el análisis geomorfológico de una cuenca hidrográfica permite conseguir fundamentos que expliquen su dinámica y evalúen las condiciones ambientales a las que se encuentra expuesta. En los estudios intervienen factores diversos tales como: topografía, geología, edafología, climatología, vegetación, etc. Esta influencia no puede ser reducida a expresiones matemáticas, pero su estudio puede dar ideas cualitativas del problema. Fattorelli y Fernández (2011).

Una cuenca hidrográfica se la caracteriza cuantitativamente de acuerdo a todos los

parámetros que describen su estructura física y territorial, cuyo fin establece posibilidades, limitaciones de sus recursos naturales e identifica problemas presentes y potenciales. Su caracterización inicia con la delimitación de su área, forma, tamaño, pendiente media y del cauce principal, red de drenaje entre otros. Siendo estos los "Parámetros morfológicos de la cuenca" que son base para la identificación de la vulnerabilidad y peligros a los desastres (Ordoñez, 2011).

4.2.3. Precipitación media sobre la cuenca.

González (2016), plantea que para la estimación de los requerimientos hidrológicos es necesaria la determinación de la precipitación media sobre el área de la cuenca, para tormentas específicas anuales o mensuales. En el caso de tormentas específicas se recomienda tomar datos a mayor detalle debido a que pueden tener mayor duración de minutos. En cualquiera de los casos puede convertirse la precipitación puntual en valores medios sobre el área de estudio.

"Los elementos esenciales para la formación de la precipitación son la humedad disponible en el aire y un mecanismo que produzca la condensación y la formación de las gotas. Según el mecanismo que produzca el ascenso del aire da lugar a los tres tipos de precipitación: convectiva, orográfica y ciclónica". El principal efecto climático es la intensidad y la duración de la precipitación. La intensidad resulta fundamental porque se relaciona con la tasa de infiltración del suelo. Si la intensidad de la lluvia es mayor a la tasa de infiltración, todo el excedente de la lluvia es escorrentía superficial (Luna, 2017).

Según Chow (1998), citado por Luna (2017), uno de los métodos más utilizados para la obtención de la precipitación media es el método de los polígonos de Thiessen el cual trata de tener en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos. Sus principales limitaciones es su poca flexibilidad a cambios

que se presentan en la red de estaciones que obliga a la elaboración de nuevos mapas cuando esto ocurre. Y él no considerar la influencia orográfica lo que supone una variaciónlineal de la precipitación lo cual obviamente no es real.

Otro método más exacto para promediar la precipitación sobre una cuenca, es el de las isoyetas. Su exactitud depende en gran parte de la habilidad del analista. Las isoyetas o líneas de igual precipitación se trazan interpolando los datos puntuales dados por los pluviómetros con una técnica similar a la utilizada en topografía y de acuerdo a las condiciones locales de la cuenca (González, 2010), citado por (Cañar, 2016).

4.2.4. Escurrimientos.

El escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua, que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre. Los aspectos fundamentales para la hidrología de cuencas hidrográficas, es la estimación de los volúmenes de escorrentía, sean anuales, mensuales o estacionales, los mismos que se necesitan para determinar posibilidades de embalse o para planificar el uso del recurso disponible, aspectos que conducen a buscar metodologías que resuelvan el problema (González, 2010).

Su análisis requiere el conocimiento de la capacidad de la cuenca para producir escorrentía y determinar la cantidad necesaria para diseñar obras hidráulicas para riego y drenaje entre otras. Su escorrentía puede ser estimada a partir de la precipitación restando la lluvia caída sobre la cuenca, con todas las pérdidas que se producen por infiltración, evapotranspiración, intercepción y almacenamiento superficial.

Los tres aspectos básicos de los caudales de un río son los volúmenes mensuales y anuales disponibles para su almacenamiento y uso; periodos de estiaje para conocer la utilización del agua en los ríos y análisis de crecidas que atenúa los daños por inundaciones, además que contribuye al diseño de estructuras hidráulicas por donde transitan las crecidas (Luna, 2017).

4.2.4.1. Criterio del coeficiente de escurrimiento.

Este método se basa en la estimación de los coeficientes de escurrimientos medios anuales (*Ce*), requerido para analizar los volúmenes anuales de escurrimiento (*Ve*) a utilizarse para el riego (González, 1997). Los tipos de suelos que interesan en cuanto a su mayor o menor permeabilidad se clasifican en:

4.2.4.1.1. Suelos muy permeables, tales como arenas profundas, y poco compactos

4.2.4.1.2. Suelos medianamente permeables, tales como arenas de media profundidad, algo más compactos que los correspondientes a los suelos A, terrenos migajosos.

4.2.4.1.3. Suelos casi permeables, tales como arenas muy delgadas, sobre una capa impermeable o bien arcillas.

4.2.4.2. Método racional.

El coeficiente de escorrentía, depende también de las características y condiciones del suelo. Debe escogerse un valor razonable que integre los efectos de: porcentaje de permeabilidad, pendiente, características de encharcamiento, tasa de infiltración, condiciones de humedad antecedente, grado de compactación del suelo, almacenamiento por depresión y la vegetación (Luna, 2017). En la sección correspondiente a la metodología se detalla la ejecución de este método utilizando SIG.

4.2.4.3. Método del Polinomio Ecológico.

Maldonado (2017), menciona que el método está basado en las características geomorfológicas, de regulación natural y ecología de las cuencas mediante la adopción de coeficientes típicos de las condiciones de las cuencas en estudio en la tabla 1 se muestra los coeficiente para el método del polinomio ecológico, más detalles se indican más adelante, en la sección de metodología.

Tabla 1

Coeficiente k, m, n. Método del Polinomio Ecológico.

Características Geomorfológicas de la Cuenca	Exponente (m)
Área de drenaje < 1.0 km²	1.00
Terreno escarpado, pendiente > 50%	0.90
Terreno impermeable, empinado, A < 10 km²	0.80
Presencia de nevados, lagos y pantanos, páramos	0.70
Bosques, buena cubierta vegetal, pendiente < 25 %	0.60
Topografía ondulada A < 100 km²	0.50
Topografía Plana	0.40
Cuencas muy grandes A < 1000 km²	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 nival	0.30

Tabla de Coeficiente Ecológico (k)

Relación Evapotranspiración sobre 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: *González (1997). Citado por Luna (2017). Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema La Era, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG) (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador. pág. 8. SARH (1978), citado por Cañar (2016).*

4.2.4.4. Curva de duración de caudales.

Cuenca (2015), señala que las formas de las curvas de duración de caudales son típicas y dependen de las características de las cuencas vertientes. En cuencas de montaña, por ejemplo, la pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva indica que los caudales altos se presentan durante períodos cortos, mientras que en los ríos de llanura no existen diferencias muy notables en las pendientes de los diferentes tramos de la curva. Este hecho permite ajustar la forma de la curva de duración según las características de la cuenca cuando la serie de

caudales medios es deficiente, o para transponer una curva de duración de una cuenca bien instrumentada de la misma región a la cuenca que tiene información escasa.

4.3. Demanda de agua de los cultivos y evapotranspiración

Una vez estimada la cantidad de agua disponible en el suelo, es necesario evaluar la demandadel cultivo, en este caso representada por la evapotranspiración. Sólo de esta forma sabremos lacantidad de agua necesaria a ser entregada a través del riego, para cubrir la totalidad de las necesidades del cultivo en sus distintas fases de desarrollo (Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP, 2016). Para esto es necesario hacer algunos cálculos que apuntan específicamente a estimar la Evapotranspiración del cultivo, a través de una estimación de la transpiración de las plantas y de la evaporación de agua que ocurre desde el suelo. Conociendo la Evapotranspiración diaria se puede conocer el caudal a aplicar.

4.4. Necesidades hídricas de los cultivos

Según Sela (2020), la necesidad de agua de los cultivos se define como la cantidad de agua que se requiere para satisfacer la tasa de evapotranspiración, de modo que los cultivos puedan desarrollarse exitosamente. Pues a partir del conocimiento de estas necesidades hídricas se podrán determinar las áreas probables a beneficiar y diseñar las obras requeridas (Baldión, 1986), citado por González (1997).

Los requerimientos hídricos de los cultivos dependerán principalmente de la especie, variedad, etapa fenológica, fecha de siembra y condiciones ambientales del ciclo fenológico ser a (Allen, 2006), citado por Nero (2020).

4.4.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia (generalmente gramíneas

o alfalfa de entre 8 y 15 cm de altura), que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo (FAO, 2006), citado por Nero (2020).

A pesar de que la ETo incluye dentro de su estimación a un cultivo de referencia, para el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2018), este valor sigue siendo muy ambiguo si lo que se pretende es evaluar la evapotranspiración en modelos productivos agrícolas, con características diferentes a las de un cultivo de referencia.

Pues la ETo, al tener un cultivo de referencia estándar, no tiene en cuenta aspectos como dimensiones y morfología del follaje, etapa de desarrollo (fenología) y demás aspectos fisiológicos propios de las plantas, como su respiración y fotosíntesis. Por tal motivo, al cálculo de la ETo se le incorpora un coeficiente de cultivo (Kc), el cual incorpora aspectos vegetales al cálculo de evapotranspiración, dando origen a la Evapotranspiración de cultivo (ETc) bajo condiciones estándar (ALLEN, PEREIRA, RAES, & SMITH, 2006).

- Entre los métodos de cálculo de la evapotranspiración se cuentan:
- El tanque evaporímetro de clase A.
- Los métodos que utilizan sólo datos de temperatura, como "Thornthwaite" y "Blaney- Criddle"
- Métodos que tienen en cuenta además de la temperatura la insolación, como el de "Makkink";
- El método de Hargreaves.

- Finalmente, métodos que tienen en cuenta la temperatura, insolación, humedad del aire y el viento "Penman Monteith"

Independientemente del método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración, es fundamental calibrar el método comparando estos valores con valores medidos de la evapotranspiración en condiciones locales (FAO 2006).

4.4.1.1. Método de Penman – Monteith.

El método Penman-Monteith es el método estándar más recomendado por la FAO para la definición y cálculo de la evapotranspiración de referencia ETo. El método requiere datos meteorológicos, como radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento y datos de ubicación geográfica de la estación, como latitud, longitud y elevación (IDEAM, 2018).

Aunque tiene como limitación la dificultad de disponer de toda la información requerida, básicamente en lo que se refiere a medidas de radiación y de viento, y de haberse formulado hace poco más de sesenta años, gracias a su fundamento en principios físicos este método puede usarse sin restricciones en cualquier ambiente climático. Es uno de los más completos y de los que da resultados más ajustados a la realidad bajo condiciones climáticas muy diversas (Sánchez y Carvacho, 2017).

4.4.1.2. Programa de cómputo CROPWAT 8.0.

El CROPWAT 8.0 es un software utilizado para el cálculo de los requisitos de agua de los cultivos y la programación del riego, es el paso previo al cálculo hidráulico, pues consiste en calcular los turnos, caudales y tiempos de riego basados en los datos del suelo, el clima y los cultivos (FAO, 2018).

Los datos climatológicos que requiere el programa son los siguientes: a) información básica de la estación meteorológica: nombre del país, nombre de la estación, altitud, latitud y longitud; y b) datos climáticos mensuales de: precipitación (p), temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, insolación (horas brillo sol) y velocidad del viento (González, 1997).

4.4.2. Coeficiente del cultivo (Kc).

Este coeficiente es un valor adimensional que describe las variaciones de la cantidad de agua que son extraídas del suelo por las plantas (efecto combinado de evaporación y transpiración) a medida que éstas se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha. Es decir, varía según el tipo de cultivo y según su estado de desarrollo. Unos autores distinguen tres valores de Kc y otros autores distinguen cuatro valores, según cada una de las fases de desarrollo del cultivo: inicial, desarrollo-media y maduración o bien inicial, desarrollo, media y maduración. (Monge, 2019).

Por su parte (Ibáñez, 2016), menciona que el Kc presenta valores pequeños al inicio del crecimiento del cultivo y aumentan a medida que se incrementa el desarrollo. El valor máximo se alcanza durante la floración, se mantiene durante la fase media y finalmente decrece durante la maduración. Por lo cual es recomendable disponer de valores de Kc para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembras, pero en ausencia de esta información se pueden usar valores orientativos.

4.4.3. Evapotranspiración de los cultivos (ETc).

El agua que se encuentra disponible en el suelo se agota por el consumo de las plantas (transpiración), por la evaporación superficial y por el drenaje. La suma de la transpiración y

evaporación se conoce como evapotranspiración (ETc). Esta varía en función del clima, las características del cultivo, las prácticas de manejo y el medio de desarrollo, por lo tanto, el conocimiento preciso de la ETc es una herramienta fundamental que contribuye con una adecuada gestión de los recursos hídricos y con el mejoramiento de la productividad de los cultivos (Cenicaña, 2015).

La evapotranspiración del cultivo puede ser calculada a partir de datos climáticos e integrando directamente los factores de la resistencia del cultivo, el albedo y la resistencia del aire en el enfoque de Penman-Monteith. Debido a que todavía existe una considerable falta de información para los diferentes cultivos, el método de Penman-Monteith se utiliza solo para la estimación de la tasa de evapotranspiración del cultivo estándar de referencia (ETo). La relación ETc/ETo que puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos y es conocida como Coeficiente del Cultivo (Kc) (FAO, 2006).

4.5. Precipitación Efectiva

Este parámetro se define como la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo; quedan por tanto excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío SIAR, 2016).

Complementa FAO (2006), mencionado que la precipitación efectiva depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido en humedad del suelo o velocidad de infiltración.

4.6. Patrón de Cultivos

La FAO (1997), citado por Nero (2020), define al patrón de cultivo como una secuencia

anual y distribución espacial de cultivos y señala que para definir un patrón de cultivos se debe considerar dos aspectos fundamentales:

Aspectos económicos: se debe pensar en el tipo de cultivo, desde la obtención de la semilla, el proceso del cultivo, la cosecha, así como el tiempo de recuperación de la inversión y la comercialización del producto a su fin.

Aspectos de sostenibilidad y sustentabilidad: como sustentable para desarrollar el proyecto se debe considerar el recurso suelo y el recurso hídrico, mientras que como sostenible debe entenderse el no incidir negativamente en el aspecto ambiental tanto puede ser el desmejoramiento del suelo, o perdidas de la capa vegetal, problemas con la hidrología del sectory otros problemas que se puedan originar.

4.7. Requerimiento Hídrico de los cultivos

El requerimiento hídrico de los cultivos, se define como la cantidad de agua que necesita un cultivo para su desarrollo óptimo (SIAR, 2016). Esta necesidad se incrementa, conforme se desarrolla la planta, de ahí que el conocimiento de este factor de crecimiento es importante desde el punto de vista de planificación de cultivos y la obtención de buenas cosechas.

La diferencia de la necesidad de agua de los cultivos es la cantidad de agua que se requiere para satisfacer la tasa de evapotranspiración, de modo que los cultivos puedan prosperar. La tasa de evapotranspiración es la cantidad de agua que se pierde en la atmósfera a través de las hojas de la planta, así como la superficie del suelo FAO (2006).

4.8. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Para Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2020, un sistema de información

geográfica es un marco de trabajo para reunir, gestionar y analizar datos. Arraigado en la ciencia geográfica, SIG integra diversos tipos de datos. Analiza la ubicación espacial y organiza capas de información para su visualización, utilizando mapas y escenas 3D. Con esta capacidad única, SIG revela el conocimiento más profundo escondido en los datos, como patrones, relaciones y situaciones, ayudando a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes.

Específicamente en el ámbito de la hidrología, (GEOINNOVA, 2017), menciona que los SIGse posicionan como una herramienta muy útil en la integración de información utilizada para manejar y procesar gran cantidad de datos hidrológicos y/o de calidad del agua. Puesto que conesta información se puede planificar, gestionar, realizar estudios de inundabilidad, controlar lasmasas de agua superficiales, etc. Todo esto mediante la generación de una base de datos para crear mapas a nivel local, regional o estatal, con la aplicación de tablas de asignación y reclasificación, además de operaciones con superposición de las distintas capas de informaciónque se generaron, permite una rápida ejecución y actualización posibilitando un modelogenerado y tener escenarios con análisis.

5. Materiales y Métodos

5.1. Materiales

- Hardware (computador)
- Software: Arc Map 10.3, procesador de texto (Microsoft Word), Idrisi selva, cropwat 8.0, hoja electrónica de Excel y Power Point.
- Cartas del Instituto Geográfico Militar (IGM), en formato *shape* (shp) y a escala 1:50.000 de las estaciones cercanas a la del estudio.
- Delimitación de las parroquias del Ecuador en formato Shp, disponible en el geoportal del Sistema Nacional de Información (SNI).
- Planos, de las principales redes hidráulicas del sistema de riego Canal Alto de San Pedro de Vilcabamba (MAG)
- Mapa Catastral de los sectores cercanos a la zona de estudio San Pedro deVilcabamba. (MAG)
- Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de las estaciones climáticas cercanas a la del estudio las cuales son (La Argelia, Malacatos, Yangana, Quinara y San Francisco), correspondientes a la serie comprendida a los años (1990-2012), que actualmente se encuentran publicadas en el GEOPORTAL INAMHI y en los archivos físicos de la empresa pública de riego y drenaje del sur (RIDRENSUR).
- Mapas de textura del suelo, pendientes, uso y cobertura del suelo, del área de estudio. Catastro predial 2010 de la parroquia San Pedro de Vilcabamba. (Anexo 15, 16 y 17).
- Mapa de suelos del SIG TIERRAS.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo

Descentralizado de la parroquia San Pedro de Vilcabamba, (Periodo 2013-2017).

- GPS Navegador.
- Molinete hidráulico
- Ortofoto de la parroquia Vilcabamba
- Calculadora, lápiz, papel, etc.
- Cámara fotográfica.

5.2. Ubicación del área de estudio

El sistema de riego "Canal Alto San Pedro de Vilcabamba", se encuentra ubicado a 36.4 km, en dirección sur oriente de la ciudad de Loja, en la parroquia San Pedro de Vilcabamba, cantón Loja, figura 1. Forma parte de la cuenca hidrográfica del rio Catamayo-Chira, subcuenca del río Vilcabamba y microcuenca del Río Uchima del cual se capta el agua en la cota 1787 msnm. Geográficamente se extiende entre las siguientes coordenadas planas:

Coordenada N: 9 536 081 m – 9 530 214 m

Coordenada E: 700 681 m – 710 788 m

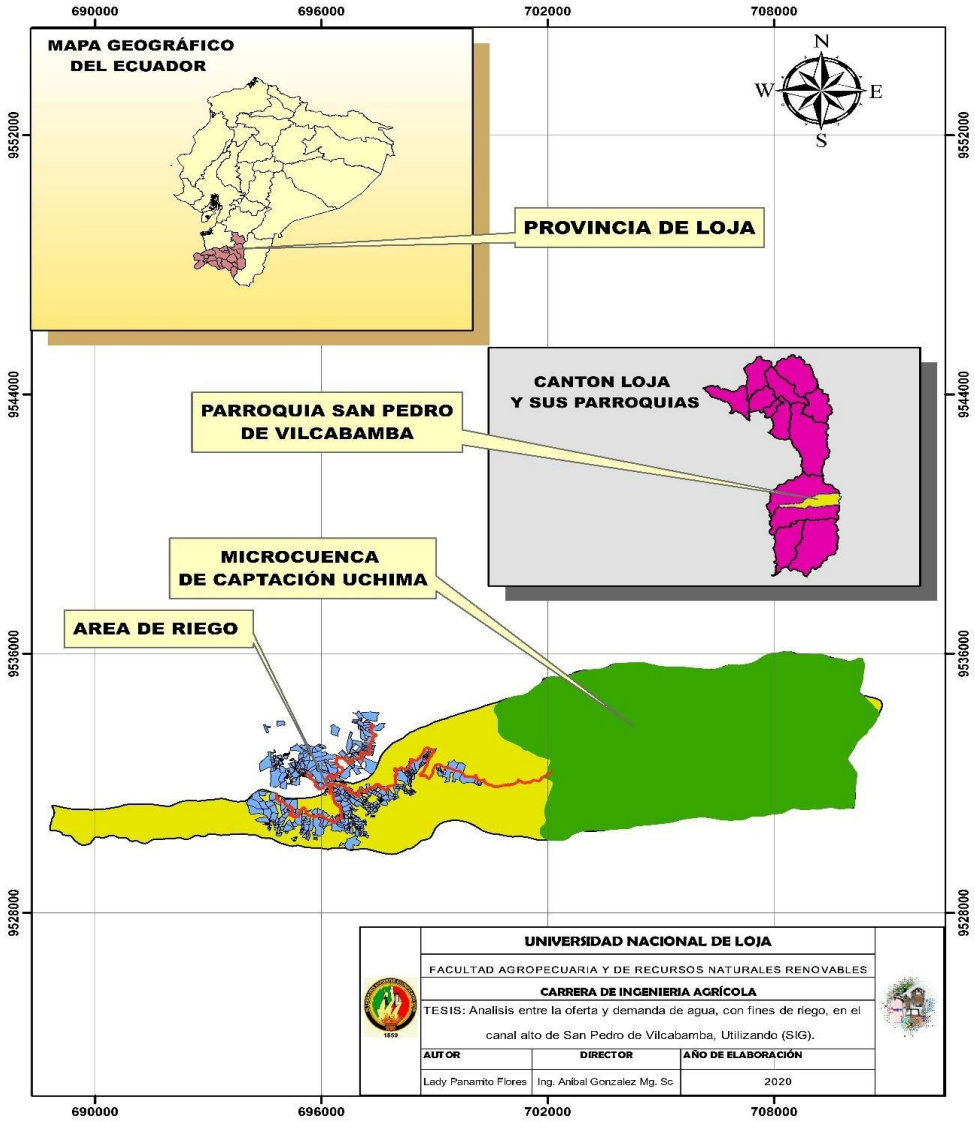
Altitud parte alta: 3 720 msnm

Altitud parte baja: 1 787 msnm

Según en el Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT, 2019), Limita al Norte con las parroquias Malacatos, al Sur con la parroquia Vilcabamba, al Este con la provincia de Zamora Chinchipe y al Oeste con las parroquias Malacatos y Vilcabamba. En cuanto a las características climáticas se señala que su temperatura media anual es de 19.5°C, su precipitación promedio anual es de 1 410 mm y una humedad relativa del 71,5 %.

Figura 1

Mapa de Ubicación de la Zona de Estudio.



En cuanto a la zona de riego, la misma abarca a las comunidades Sacapo; Cararango; Ullaguanga; Amala y Chaupi que pertenecen a la parroquia de San Pedro de Vilcabamba, así como también Cabianga; Santa Ana el Vergel; El Naranjo El Prado y Tariana referentes de la parroquia Malacatos. Geográficamente esta zona se ubica en las siguientes coordenadas planas:

Coordenada N: 9 534 232 m – 9 529 992 m

Coordenada E: 694 059 m –700 224 m

Altitud parte alta: 1 648 msnm

Altitud parte baja: 1 480 msnm

5.3. Metodología

5.3.1. Análisis de la oferta hídrica en la microcuenca Uchima.

Para el cumplimiento de este objetivo se extrajo información base de los estudios cartográficos publicados en el Geo Portal del Instituto Geográfico Militar, información que se procesó en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcMap 10.3, e IDRISI Selva, obteniendo los mapas temáticos de la zona de estudio (Anexo 2 y 3).

Seguido se generó volúmenes y caudales disponibles de riego mediante métodos indirectos como los métodos Racional, Polinomio Ecológico y Criterio del Coeficiente de Escurrimiento, para lo cual se recopiló información de los registros meteorológicos publicados en el portal de internet del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), periodos 1990 – 2012 así como también de las bases meteorológicas de RIDRENSUR.

5.3.1.1. Características morfométricas de la microcuenca.

El análisis morfométrico se ejecutó con la ayuda de los softwares SIG y con la información cartográfica recopilada, se realizó los cálculos referentes a parámetros de forma (área, perímetro, factor de forma y de elongación), relieve (pendiente media y elevación media de la cuenca) y drenaje (densidad de drenaje y de corrientes, longitud, pendiente del cauce principal y el tiempo de concentración. Anexo 1.

5.3.1.2. Estimación de la precipitación media.

La precipitación media se determinó en base a los registros meteorológicos de las

estaciones circundantes a la cuenca (La Argelia, Malacatos, Yangana, Quinara y San Francisco) y con una serie estadística de 22 años (1990 - 2012). (Anexo del 4 al 8 respectivamente).

- El relleno de datos faltantes se realizó mediante la correlación lineal simple, para lo cual se estableció relaciones lineales entre dos estaciones, La Argelia que es la estación base y las otras a las cuales se requiere llenar o extender (Malacatos, Yangana, Quinara y San Francisco), considerando que tengan la misma similitud climática como: precipitación, temperatura y altitud.

- La consistencia de datos se verificó con el análisis de doble masa, para lo cual se realizó comparaciones de las precipitaciones acumuladas anuales de una estación, con varias estaciones; en donde, en las ordenadas se colocaron las precipitaciones de la estación comparada y en las abscisas la sumatoria de las demás estaciones consideradas. Se tomó en cuenta que las estaciones a comparar debían tener similitud climática, por ser la más completa y ubicación geográfica.

  La graficas obtenidas se analizaron bajo los siguientes criterios técnicos: Si la gráfica presenta una curva no muy pronunciada, la serie estadística todavía es confiable, si hay paralelismo en la gráfica, la serie estadística es consistente y si se produce un cambio de pendiente en alguna gráfica se debe modificar los valores anuales, obviamente respaldando la información técnica y científicamente. Anexo 9.

- Finalmente, la precipitación media de la microcuenca se determinó mediante isoyetas, que son líneas de igual precipitación, cuyo proceso constructivo se realizó mediante el software SIG, generando una base de datos en Excel, la cual se exporta

y procesa en Arc Map 10.3. Utilizando el método de interpolación Spline se obtuvo 12 capas ráster de precipitación que corresponden a cada uno de los meses de toda la serie estadística en estudio y para las estaciones meteorológicas involucradas. Además, con el límite de la cuenca se realizó una extracción por máscara, evidenciando la precipitación espacial máxima y mínima de cada mes.

5.3.1.3. Estimación de los escurrimientos medios superficiales

Método Racional: Para determinar los volúmenes de escurrimiento este método utiliza la siguiente ecuación

$$Vm = C * Pm * Ac$$

Donde:

Vm = Volumen medio que puede escurrir la cuenca (m^3)

C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

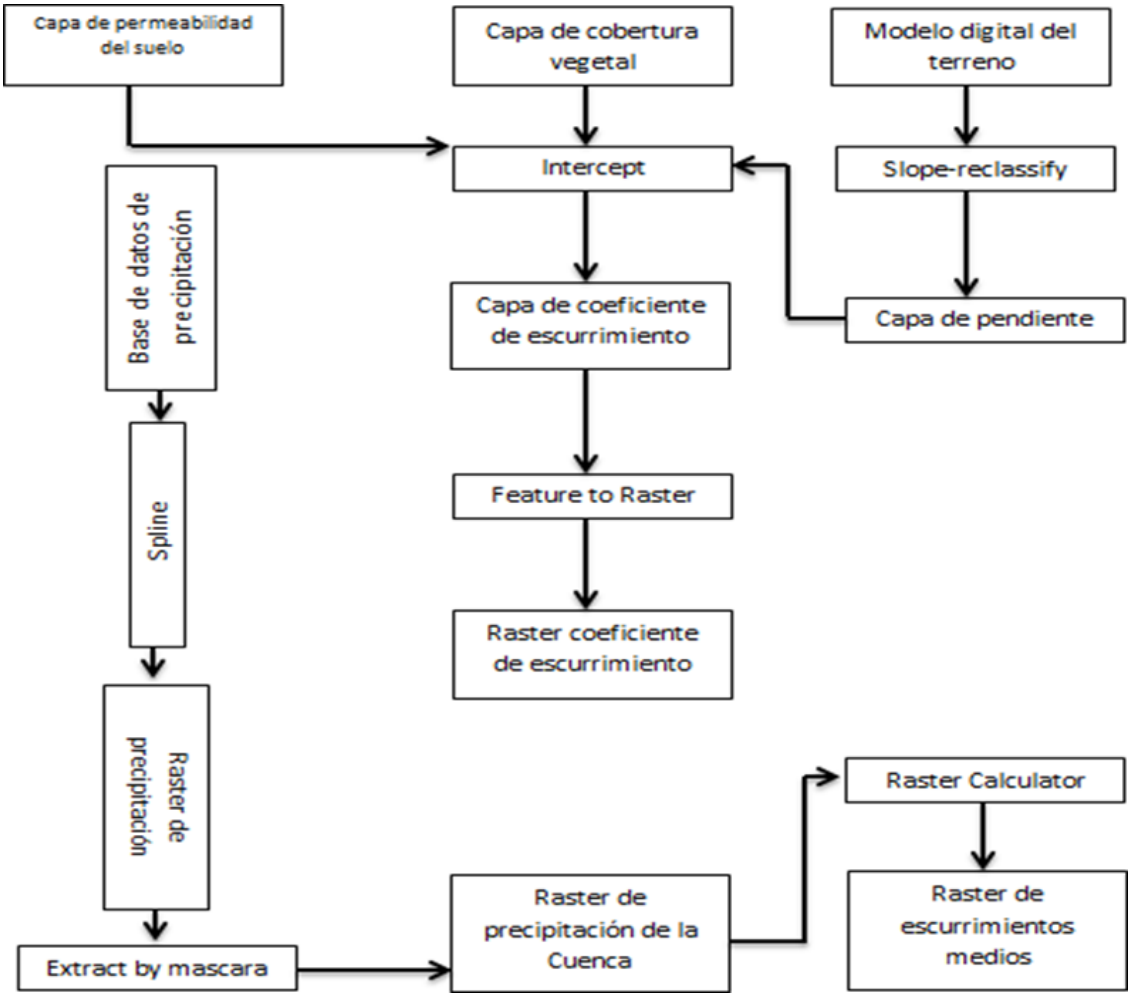
Pm = Precipitación media mensual (mm)

Ac = Área de la cuenca (km^2)

Según Luna (2017), para aplicar este método, utilizando los SIG fue necesario la información digital correspondiente a la permeabilidad del suelo, pendiente, cobertura vegetal, mostrada en la tabla 2, y el modelo digital del terreno (MDT) obtenidas del gestor de descargas del Ministerio de Agricultura, Ganadería (MAG, 2020) y las fotografías áreas del Centro de Investigaciones Territoriales (CIT) de la Universidad Nacional de Loja. Con esta información se delimitó la microcuenca de captación del río Uchima, además se utilizó el diagrama de modelamiento descrito en la figura 2, para obtener los volúmenes medios escurridos en la cuenca.

Figura 2

Diagrama de Modelación para Escurrimientos Medios. Método Racional.



Nota: *González (1997). Planeación de los Recursos Hídricos, con fines de riego, en la zona andina del Ecuador (Tesis de Maestría). pág. 53.* Diagrama de modelación para escurrimientos medios, Método Racional.

Como se observa en el diagrama, el procesamiento de los datos de precipitación de las estaciones de (La Argelia, Malacatos, Yangana, Quinara y San Francisco), permitió crear el ráster de precipitación de la cuenca. Que es una de las variables requeridas según la fórmula que utiliza este método.

Mientras que el ráster de coeficiente de escorrentía, se determinó a partir de las capas

digitales correspondientes a permeabilidad del suelo, cobertura vegetal y pendientes (Tabla 3).

Finalmente, con la herramienta ráster calculador del SIG, se logró cruzar los ráster de precipitación media, coeficiente de escurrimiento y área de la cuenca, generando el ráster de escurrimientos medios de la cuenca. Anexo 10.

Tabla 2

Coeficientes de Escorrentía para el Método Racional.

Cobertura del 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	0,35	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
Bosque, 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 Benítez et al, (1980), citado por Lemus & Navarro (2003).*

Método del Polinomio Ecológico: En este método se analizó las características geomorfológicas de regulación natural y ecológicas de las cuencas, para ello fue necesario adoptar coeficientes que simulan las condiciones de la cuenca según Maldonado (2017). Anexo 11. Los

valores de estos coeficientes y cada característica que simulan se reflejan en la tabla 3.

La expresión es la siguiente:

$$Qi = k * A^n (0.70 * Pi + 0.29 * Pi{-}1 + 0.01 * Pi{-}2)$$

Donde:

Qi = Caudal (m^3/s)

A= Área de la cuenca (km^2)

Pi = Precipitación mensual del mes actual (mm)

Pi-1 = Precipitación mensual del mes anterior (mm)

Pi-2 = Precipitación mensual del tras anterior (mm)

k,m,n = Coeficiente que dependen de las condiciones de las cuencas (Ver tabla 3).

Tabla 3

Coeficientes k, m, n. Método del Polinomio Ecológico.

Características geomorfológicas de la cuenca	**Exponente (m)**
Área de drenaje < 1.0 km²	1,00
Terreno escarpado, pendiente > 50%	0,90
Terreno impermeable, empinado, A < 10 km²	0,80
Presencia de nevados, lagos y pantanos, páramos	0,70
Bosques, buena cubierta vegetal, pendiente < 25 %	0,60
Topografía ondulada A < 100 km²	0,50
Topografía Plana	0,40
Cuencas muy grandes A < 1000 km²	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 nival	0,30

Tabla de coeficiente ecológico (k)

Relación Evapotranspiración sobre 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: *González (1997). Citado por Luna (2017). Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en elsistema La Era, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG) (tesis de pregrado). Pág. 40.*

Criterio del coeficiente de escurrimiento: En este método se determinó el coeficiente de escorrentía en base a los tipos de suelo y a la vegetación que se encuentran en la microcuenca. Las características para determinar los tipos de suelo se discriminaron en base a la información que propone el método en la tabla 4 y mediante análisis en las capas raster de textura anexo 17 y permeabilidad de la zona. Por su parte los tipos de vegetación se determinaron en base a la tabla 5 y al análisis en las imágenes satelitales de la cuenca (González, 1997). Anexo 12. Los volúmenes de escurrimiento se determinan mediante la siguiente expresión:

$$V_e = Ce * V_{II}$$

Donde

V_e = Volumen de escurrimiento mensual (m^3).

V_{ll} = Volumen de Lluvia (m^3)

Ce = Coeficiente de escorrentía

La variable del coeficiente de escorrentía (Ce), se determina en función de la precipitación anual y de la variable (k), misma que está en función del tipo y uso del suelo, y cuyo valor se obtiene en base a la Tabla 5. El valor que se determine para esta variable indicara la ecuación a utilizarse para determinar el (Ce). Así tenemos:

Cuando k ≤ 0,15

$$C_e = k * \frac{P - 250}{2000}$$

Cuando k ≥ 0,15

$$C_e = k * \frac{P - 250}{2000} + \frac{k - 0,15}{1,5}$$

Siendo para ambas ecuaciones:
P = Precipitación anual (mm)
k = parámetro que depende del tipo y uso del suelo (adimensional)
Ce = Coeficiente de escorrentía anual (adimensional).

Tabla 4

Características para Determinar el Tipo de Suelo.

Tipo de Suelo	Características
A	Suelos muy permeables, tales como arenas profundas, y loess poco compactos.
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad, loess algo más compactos que los terrenos tipo A, terrenos migajosos.
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o lo es muy delgados, sobre una capa impermeable, o bien arcillas.

Fuente: *González (1997). Planeación de los Recursos Hídricos, con fines de riego, en la zona andina del Ecuador(Tesis de Maestría). pág.*

Tabla 5

Valores de "K" en Función del Tipo del Suelo y Uso del Suelo.

Uso o cobertura de suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas, desnudas	0,26	0,28	0,3
Cultivos			
En Hilera	0,24	0,3	0,3
Legumbres o rotación de ladera	0,24	0,27	0,3
Granos pequeños	0,24	0,27	0,3
Pastizal (% del suelo cubierto o pastoreo)			
Más del 75% Poco	0,14	0,2	0,2
Del 50 al 75% Regular	0,2	0,24	0,3
Menos del 50% Excesivo	0,24	0,28	0,3

Uso o cobertura de suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Bosque			
Cubierto más del 75 %	0,7	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	0,3
Cascos y zonas con edificaciones	0,26	0,3	0,32

Fuente: *González (1997). Planeación de los Recursos Hídricos, con fines de riego, en la zona andina del Ecuador(Tesis de Maestría). pág. 51.*

5.3.1.4. Curva de duración general o permanencia de caudales

La secuencia metodología que se ejecutó, para construir la curva, consistió en ordenar los caudales de mayor a menor y calcular el rango de la muestra, para lo cual se realiza la diferencia entre el caudal máximo y el mínimo.

A continuación, se determinó un número de intervalos de 10, la determinación de número deintervalos dependerá del número de datos que se tenga y del detalle que se desee conseguir en la curva. Seleccionado el número de intervalo se determinó la amplitud del mismo, dividiendo el número de datos para el número de intervalo determinado.

Después se determinó los límites de clase de cada uno de los intervalos y el número de valores comprendidos en cada intervalo. Posterior a esto, para expresar el % del tiempo se divide el número de meses de superávit para el total de frecuencias y como el caudal es expresado en % representará una probabilidad de ocurrencia del 100%.

Finalmente, la curva se graficó, mediante el software de Microsoft Excel, determinando el caudal disponible a una probabilidad del 75% y 80%.

5.3.1.5. Aforo de la corriente en el sitio de captación.

Con la finalidad de tener un contraste entre los escurrimientos estimados por métodos empíricos y lo cuantificado in situ en época de estiaje (septiembre - diciembre), según se evidencia en estudios climatológicos realizados por Luna (2017), y Cañar (2016). Se realizó aforos utilizando el molinete hidráulico, para lo cual se identificó una sección estable y de fácil acceso, dividiéndola en varias secciones de un metro lineal, desde la margen izquierda a derecha, dependiendo el caudal y haciendo la medición en cada una de éstas, para posteriormente aplicar la ecuación.

Tomando en cuenta el número de revoluciones por segundo, se utilizó la ecuación de velocidad.

Cuando n < 3.328 rev/seg $V = (0.007 + 0.3345 * n)$

Cuando 3.328< n < 7.084 $V = (-0.013 + 0.3403 * n)$

Dónde:

V= velocidad del agua en m/s

Constantes= 0.007, 0.3345, -0.013, 0.3403

N= número de revoluciones por segundo

Finalmente se calculó las áreas de cada tramo y con la ecuación de continuidad se determinó el caudal.

$Q = (A*V)$

Dónde:

Q= Caudal (m^3/s)

A= Área de cada tramo en (m^2)

V = Velocidad (m/s)

5.3.2. Análisis de la demanda de agua

5.3.2.1. Precipitación media mensual del área de riego

Para determinar la precipitación media en el área de riego se utilizó el Método de Isoyetas, generadas para cada uno de los meses del año. Con la finalidad de obtener una estadística de precipitación media mensual para la zona de riego, se generó un coeficiente de corrección entre la precipitación media mensual generada con el método de las isoyetas y la precipitación media mensual de la estación que presenta mayor relación climática o valores similares de precipitación como es la estación de Malacatos. Tabla 6.

La selección de esta estación se determinó en base a análisis de correlación lineal entre las estaciones de (Malacatos, Yangana, Quinara y San Francisco).

Tabla 6.

Coeficiente de Corrección entre la Precipitación Estimada por el Método de las Isoyetas y la

Precipitación Media Mensual de la Estación de Malacatos.

Meses	Precipitación Mensual Isoyetas (mm)	Precipitación Mensual Malacatos (mm)	Factor
Enero	116.4	70.2	1.66
Febrero	166.2	112.7	1.48
Marzo	166.8	115.9	1.44
Abril	146.7	92.6	1.58
Mayo	119.3	36.2	3.29
Junio	135.0	32.9	4.11
Julio	116.1	31.0	3.74
Agosto	76.0	16.3	4.68
Septiembre	71.5	24.9	2.88
Octubre	110.7	78.6	1.41
Noviembre	87.0	65.6	1.33
Diciembre	132.9	77.3	1.72

5.3.2.2. Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)

La ETo de la zona de estudio, se calculó a partir de datos meteorológicos de temperatura máxima y mínima (ºC), humedad relativa (%), velocidad del viento (km/día) y heliofania mensual (horas), correspondiente a las estaciones climatológicas de Malacatos y Vilcabamba. Pues las mismas tienen mayor influencia sobre la zona de riego ya que la rodean y son las más cercanas a esta. Además, poseen un registro completo de los meteoros climatológicos antes mencionados.

En cuanto al método utilizado este se determinó en base a los resultados de experiencias en trabajos anteriores realizados en la zona de estudio y en otros trabajos similares en zonas con similitud climática a la nuestra.

Como es el caso en el trabajo realizado por Cañar (2016), en el sistema de riego Campana Malacatos, donde los resultados de evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo), obtenidos mediante Penman - Monteith y Hargreaves fueron comparados, para finalmente escoger los del primer método debido a que el mismo utiliza un mayor número de variables meteorológicas como (temperatura máxima y mínima (ºC), humedad relativa (%), velocidad del viento (km/día) y

heliofania mensual (horas), que intervienen en el proceso de evapotranspiración.

Otro trabajo de planeación de los recursos hídricos, es el realizado por Luna. (2017), en el Sistema de riego La Era, donde se utilizó directamente el método de Penman-Monteith, considerando para ello que existe una estación muy cercana y de mayor influencia en la zona, además de presentar un registro completo de las variables meteorológicas demandas por el método. También existe un estudio climatológico realizado por CONSULSUR. (2018), para la readecuación de la conducción principal del canal alto de San Pedro de Vilcabamba, en el cualse indica que el método de Penmam-Monteith (Cropwat) arrojo valores de *ETo* aproximados a la realidad local.

Se consideró en nuestro trabajo el método de Penman – Monteith, automatizado en el software Cropwat 8.0, tomando en cuenta resultados anteriores más cercanos a la realidad climática y topográfica de la provincia de Loja.

5.3.2.3. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc)

Con base en los cultivos identificados y a las mayores rentabilidades que estos presentan, según las reuniones realizadas con los miembros de la Junta de Riego APECAEL, se determinó los valores del coeficiente del cultivo (Kc), para lo cual fue necesario las guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (FAO, 2006). Sin embargo y con la finalidad de obtener el coeficiente promedio mensual, se construyó la curva Kc de cada cultivo enseñada la tabla 7, graficando para ello en el eje de las abscisas la escala del tiempo, y en eje de las ordenadas los valores de Kc (ver figuras 17, 18, 19 y 20).

Una vez graficada la curva, los valores representativos para cada mes se obtuvieron con unalectura de la curva cada 10 días. Finalmente, para determinar la *ETc* se aplicó la siguiente

ecuación:

$$ETc = ETo * Kc$$

ETc: evapotranspiración de los cultivos (mm/mes)

ETo: evapotranspiración de referencia (mm/mes)

Kc: coeficiente de cultivo, (adimensional)

En la siguiente tabla se detalla los valores de (Kc), para los cultivos con sus diferentes etapas de crecimiento (inicio, desarrollo, mediados y final), con su periodo de días identificados en la zona de riego.

Tabla 7

Valores de Kc, para los cultivos identificados en la zona de riego

Cultivos	Etapas de crecimiento	Duración días	*Kc*
Maíz	Inicio	21	0,3
	Desarrollo	29	1,2
	Mediados	35	1,1
	Final	35	0,6
Caña	Inicio	30	0,15
	Desarrollo	50	1,2
	Mediados	180	1,2
	Final	60	0,7
Café	Inicio	120	1
	Desarrollo	60	1,1
	Mediados	150	1,1
	Final	35	1,05
Frutales	Inicio	60	0,75
	Desarrollo	90	0,8
	Mediados	120	0,85
	Final	95	0,8
Guineo	Inicio	120	1
	Desarrollo	60	1,05
	Mediados	180	1,05
	Final	5	1,05

Cultivos	Etapas de crecimiento	Duración días	*Kc*
Pasto	Inicio	10	0,3
	Desarrollo	15	0,7
	Mediados	75	0,7
	Final	264	0,7
Yuca	Inicio	150	0,15
	Desarrollo	40	1
	Mediados	110	1
	Final	60	0,45
Hortalizas	Inicio	20	0,7
	Desarrollo	30	1
	Mediados	15	1
	Final	10	0,95

Fuente: *Evapotranspiración del Cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos(FAO, 2006)*

5.3.2.4. Precipitación Efectiva

Aunque si bien FAO (1978), menciona que el método más preciso para determinar la precipitación efectiva es a través de la observación en campo. También recomienda utilizar formulas empíricas en los escenarios donde se dificulta implementar instrumentos de medición. Con este fin la misma FAO ha desarrollado una ecuación, a través del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), permitiendo determinar la precipitación efectiva de acuerdo a los valores mensuales de precipitación. La ecuación, que se encuentra automatizada en el software Cropwat, es la siguiente:

Ecuación 1 $\boldsymbol{Pef} = (125-0.2x\ Pto)/125$ para P_{to} mensual < 250 mm

Ecuación 2 $\boldsymbol{Pef} = (125-0.2x\ Pto)/125$ para P_{to} mensual > 250 mm

Dónde:

$\boldsymbol{P_{ef}}$= Precipitación efectiva (mm)

$\boldsymbol{P_{tot}}$= Precipitación total del mes (mm)

5.3.2.5. Requerimientos de riego

La determinación de los requerimientos hídricos se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$Req = (ETc - Pe)$$

Una vez obtenidos los requerimientos hídricos se calculó el volumen de agua mensual para irrigar los cultivos de maíz, caña, café, pasto, frutales, hortalizas, guineo y yuca. Posteriormente se seleccionó el mes de mayor requerimiento hídrico de acuerdo al patrón de cultivos y se obtuvo el caudal continuo por hectárea y considerando la eficiencia del método de riego se consiguió el caudal característico, mismo que al multiplicarlo por el número de hectáreas del sistema de riego arrojó el valor del caudal demandante para irrigar las áreas que actualmente se encuentran cultivadas en la zona de riego.

5.3.3. Comparación de la oferta y demanda hídrica, con fines de riego en la perspectiva de estructurar alternativas para su optimización

La información de volúmenes de oferta y demanda se comparó con la finalidad de determinar si existe o no un excedente en la oferta hídrica, y en caso de existirlo, buscar una alternativa que permita aprovechar este excedente en la irrigación de nuevas áreas potencialmente agrícolas. Para lo cual, mediante una hoja electrónica de Microsoft Excel, se realizó una base de datos, la misma que constató del número de hectáreas, patrón de cultivos, requerimiento hídrico de los cultivos, eficiencia del método de riego y la disponibilidad del recurso hídrico, para realizar una comparación entre la oferta y la demanda de agua, donde cambiando el método de riego se puede observar si existe un excedente de agua para incrementar áreas de riego, según la zonificación agroecológica.

6. Resultados y Discusión

Este capítulo presenta los resultados obtenidos en la investigación, en el Sistema de riego Canal Alto de San Pedro de Vilcabamba.

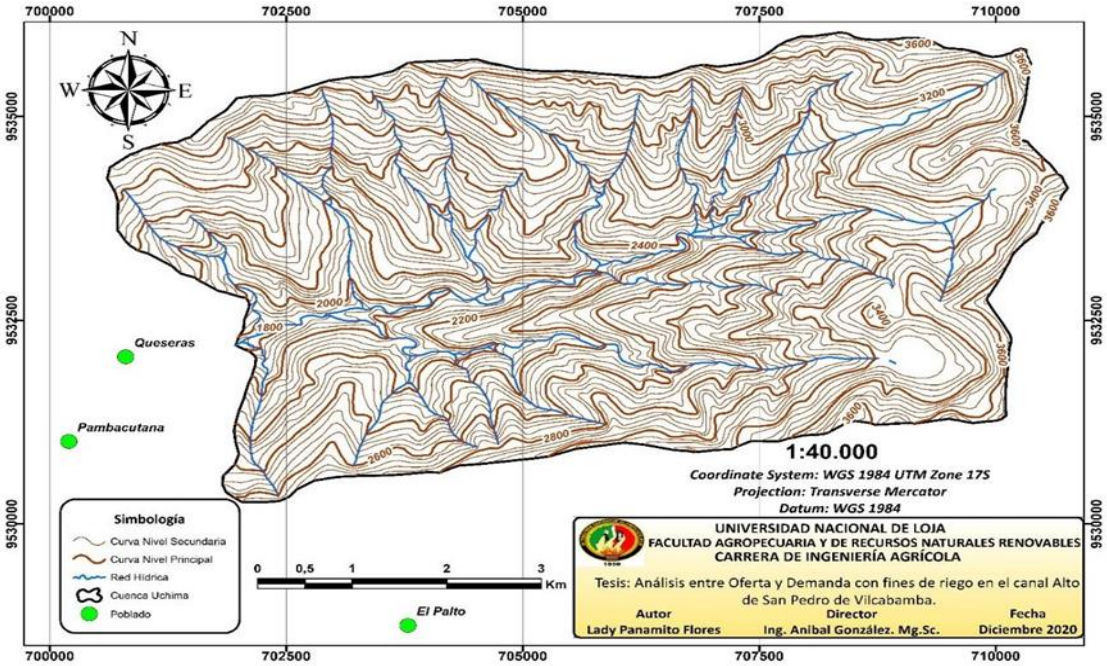
6.1. Oferta hídrica en la microcuenca Uchima.

6.1.1. Parámetros de Forma

Como un primer resultado se presenta el mapa base de la microcuenca Uchima (Fig. 3). A partir del cual se realizó el análisis morfométrico, determinando que la microcuenca tiene un área de 41,55 km^2 categorizándola como un sistema hidrográfico, según el criterio de Aguirre (2007). Por el contrario, Campos (1992) según sus criterios de clasificación la clasificaría como una cuenca pequeña.

Figura 3

Mapa Base de la microcuenca Uchima



Esta discrepancia se da al asociar la magnitud de una microcuenca a dos aspectos: El primero donde la magnitud no implica la división de la microcuenca en unidades hidrográficas, sino solamente el tamaño físico con fines descriptivos. Mientras que, en el segundo, si se asocia la magnitud de una microcuenca a optimizar y preservar la cantidad y calidad del agua, se considera como la unidad de planeación, en ese caso surge la división como con la finalidad de definir los niveles de planeación y ejecución de acciones, en donde, la importancia en la determinación de la superficie se encuentra al nivel de operación de las acciones, es decir, en la unidad hidrográfica básica de operación.

En cuanto a su forma la microcuenca se categorizó como ovalada según los criterios del índice de Gravelius, lo que indica que tiene mayor facilidad para concentrar la escorrentía. Pues las aguas circulan por más causes secundarios y su tiempo de concentración de 81 minutos, será mayor que en las cuencas alargadas.

Con esta afirmación concuerda Luna (2017), pues señala que la microcuenca San Agustín, ubicada en la parroquia El Tambo, tiene una forma redonda a oval redonda lo que la hace propensa a crecidas de gran magnitud. Al igual que en la microcuenca Campana Malacatos, donde (Cañar, 2016) determinó que la forma de la cuenca es redonda a oval. Todo esto indica la influencia de la forma redonda a oval redonda en la posibilidad de producir avenidas de importante magnitud.

6.1.2. Parámetros de relieve

La pendiente media en la microcuenca Uchima es de 64 % considerada como fuerte, por lo tanto, según (Wisler, 1959, citado por Aguirre, 2007), influye directamente en el tiempo de flujo sobre el terreno y directamente en la magnitud de las avenidas o crecidas. Es decir, que mientras más fuerte se presente la pendiente, menor será la infiltración que se produzca y mayor el aporte a

una crecida. Evidentemente que esta capacidad de infiltración será mayor o menor según se presente la cobertura vegetal y el tipo de suelo. Pues así lo menciona (Nero, 2020), en su estudio realizado en las microcuencas San Ignacio y La Vega de la parroquia Sacapalca, donde determinó que, aunque las pendientes son fuertes, la velocidad de escurrimiento no es fuerte, debido a que las microcuencas poseen una cobertura vegetal abundante y el tipo de suelo que permite la retención de la precipitación, y el agua no detenida se desliza y se incorpora a la crecida o cauce principal.

6.1.3. Parámetros relativos a la red de drenaje

Tomándose en cuenta la inclinación de la pendiente, como la densidad de corrientes es de 1,37 corrientes/km^2, por lo que es probable que los suelos sean relativamente permeables con fuertes relieves, superficies y cobertura vegetal densa; cabe recalcar lo cual aumentara el tiempo de concentración. Anexo 1.

En cuanto a los parámetros relativos a la red de drenaje, presenta una densidad de drenaje de 1,32 km/km2, que según el criterio de Horton representa un bajo drenaje, la longitud del cauce principal es de 10,29 km, con una pendiente media de 31,37%, habiendo determinando un tiempo de concentración según Kirtpich de 81 minutos, tiempo en el cual la gota más alejada se tarda en llegar al punto de captación. En la tabla 8, se analiza los resultados obtenidos en este estudio junto a estudios de otros autores tales como Nero. (2020), Luna. (2017) y Cañar. (2016), en microcuencas cercanas a la del estudio, que poseen similitud topográfica y climática, se podrá evidenciar la relación que existe entre la longitud de los cauces, pendientes medias y los tiempos de concentración. Pues una longitud mayor supone mayores tiempos de desplazamiento de las crecidas y como consecuencia de esto, mayor atenuación de las mismas, por lo que los tiempos de

subida y las duraciones totales de estas serán evidentemente mayores.

Tabla 8

Estudios Realizados en Microcuencas Cercanas a la del Estudio y que se Encuentran en la Vertiente del Pacifico.

Longitud Cauce (km)	Pendiente media del cauce (%)	Tiempo de Concentración (min)	Autor
10,29	31,37	81	(Lady, 2022), Estudio de oferta y demanda hídrica en la microcuenca Uchima.
5,86	26	28	(Nero,2020), Estudio de oferta y demanda hídrica en la microcuenca San Ignacio
8,27	27	40	(Nero,2020), Estudio de oferta y demanda hídrica en la microcuenca La Vega
8,29	21	67	(Luna, 2017) Estudio de planificación hídrica en la microcuenca San Agustín.
12	19	60	(Cañar, 2016), Estudio de oferta y demanda hídrica en la microcuenca Campana Malacatos.

6.1.4. Precipitación media de la microcuenca

La precipitación media anual para la microcuenca Uchima (tabla 9), es de 1 444,6 mm/año la mayor concentración de esta se presenta en el mes de marzo con precipitación de 167 mm, como también los meses comprendidos entre diciembre a abril, con un 60,6% (729 mm) del total anual, lo cual se puede evidenciar tambien en las figuras. 4 y 5, por lo cual se denomina a este periodo como época invernal. Mientras la menor concentración se encuentra en el mes de septiembre con precipitación de 71 mm, y el periodo comprendido de mayo a noviembre, con un 39,4% (715 mm) del total anual, denominado como temporada de verano, la necesidad del riego es evidente e indispensable para realizar cualquier actividad agrícola. Estas temporadas bien marcadas, también se evidencian en la cuenca Campana Malacatos y en las microcuencas San Agustín, San Ignacio,

La Vega y Mollepamba, que se encuentran muy cercanas a nuestra microcuenca de estudio, pero aun cuando comparten el mismo periodo invernal, solamente la cuenca Campana registra valores semejantes a la microcuenca de analizada.

Esta variabilidad de los valores de precipitación en la época invernal se le atribuye a la cobertura vegetal existente en cada una de las microcuencas. Es decir que mientras la cobertura vegetal sea extensa dentro de una cuenca, esta influirá directamente en la precipitación, pues según Sánchez (2018), la vegetación provoca la disminución de la temperatura ambiental generando precipitaciones y vientos. De igual forma concuerda (FAO, 1996), al mencionar que la lluvia se produce cuando las diminutas gotitas que flotan en el aire, producto de la transpiración de las plantas y evaporación del agua del suelo, se unen y se hacen lo suficientemente pesadas para precipitarse en forma de lluvia.

Figura 4.

Distribución de la precipitación media mensual en la Microcuenca Uchima.

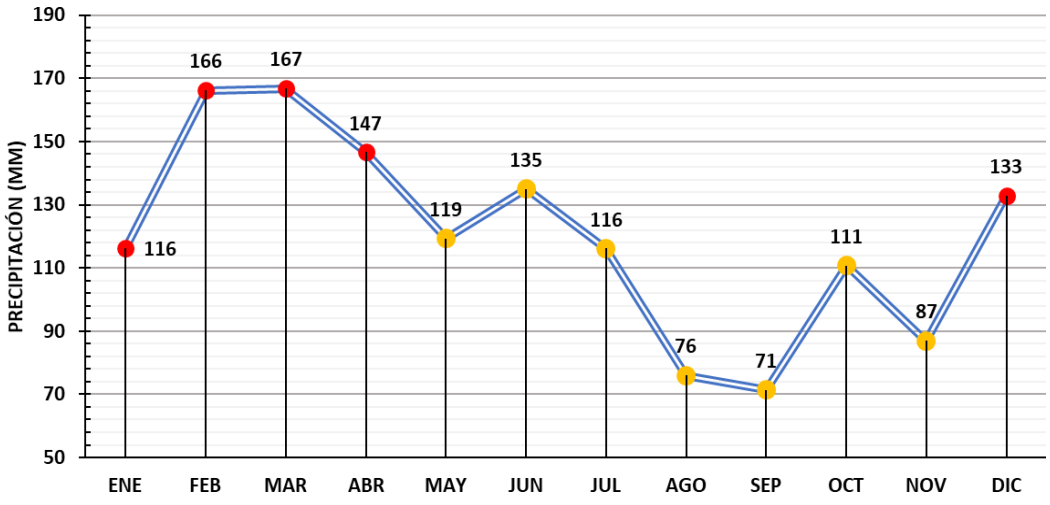


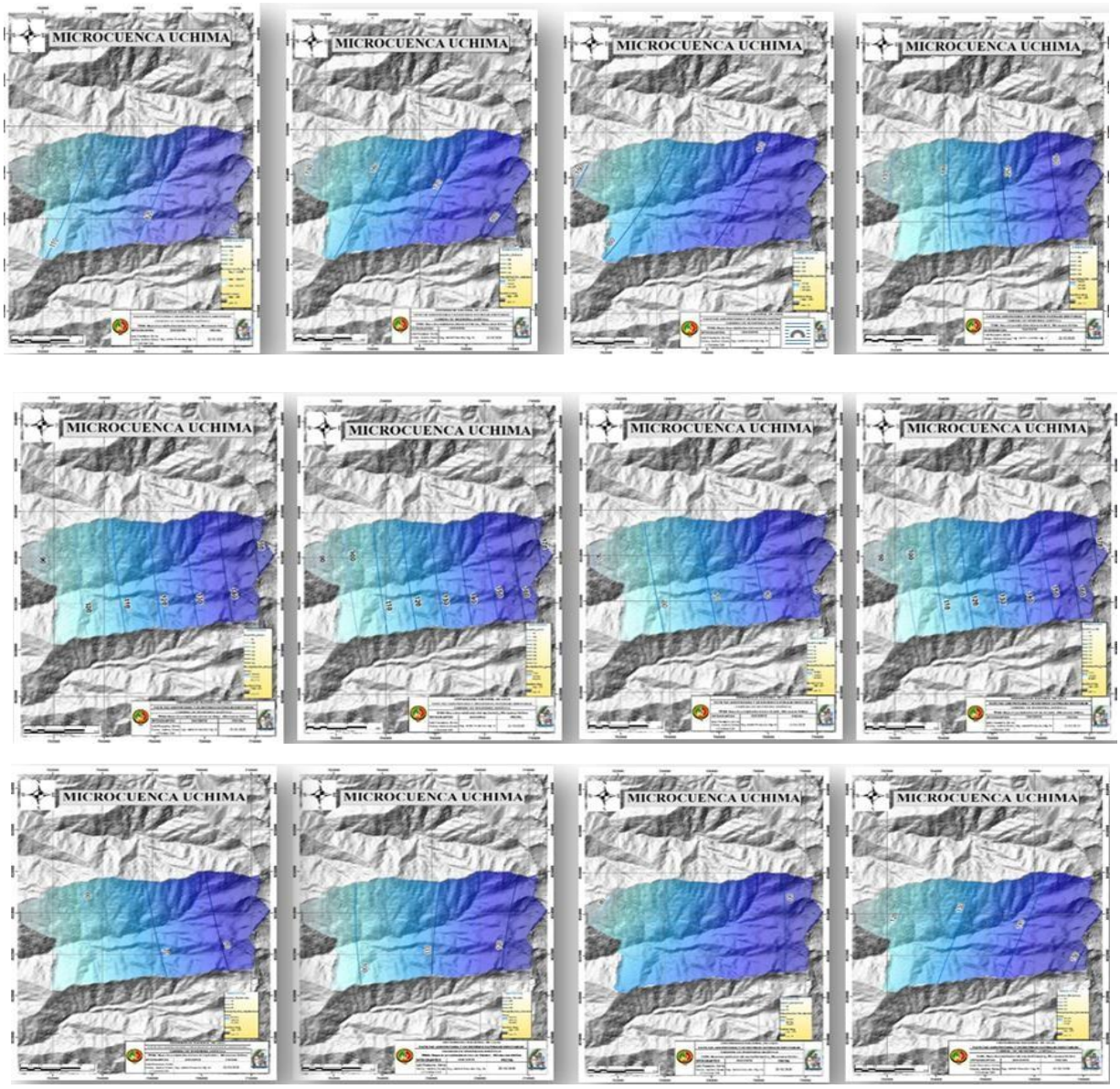
Tabla 9

Precipitación Media de la Microcuenca Uchima (mm).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Media
1990	174,4	190,9	32,2	443,1	43,5	31,2	79,7	26,7	71,5	110,7	135,0	63,9	1402,9	116,9
1991	171,1	45,3	336,6	115,0	310,6	2,5	45,3	31,3	149,1	38,6	35,0	27,1	1307,5	109,0
1992	73,6	33,5	211,9	45,6	58,0	13,6	144,4	56,2	117,2	99,4	69,6	137,6	1060,7	88,4
1993	107,0	276,9	269,2	108,0	93,9	26,3	179,7	104,6	57,8	189,6	25,0	169,2	1607,2	133,9
1994	169,5	110,1	112,7	68,1	101,1	33,5	35,9	87,0	13,8	58,9	56,7	109,4	956,7	79,7
1995	17,2	119,8	170,6	13,3	8,6	1034,5	997,0	28,5	32,3	12,1	82,8	66,7	2583,5	215,3
1996	64,2	124,1	21,7	66,2	53,4	33,5	35,9	27,1	50,9	96,3	120,7	69,1	763,1	63,6
1997	112,9	6,0	57,6	156,2	44,1	29,2	143,9	126,1	54,0	101,6	158,5	71,5	1061,5	88,5
1998	82,4	201,3	156,3	125,4	34,9	107,2	141,9	127,9	116,9	198,7	103,7	112,5	1509,1	125,8
1999	157,8	337,9	145,7	101,5	303,1	185,3	171,4	179,8	179,7	30,0	48,8	153,5	1994,5	166,2
2000	193,1	201,6	211,7	127,9	206,3	273,1	106,3	180,2	148,9	34,1	25,8	75,8	1784,8	148,7
2001	114,1	70,2	135,2	90,7	221,1	273,4	21,7	186,6	92,4	101,7	26,2	222,3	1555,7	129,6
2002	73,6	87,2	48,9	244,8	14,8	123,3	26,0	21,1	40,0	166,9	37,4	218,7	1102,9	91,9
2003	29,2	147,5	155,8	134,1	6,9	169,6	30,3	24,7	55,0	232,1	26,2	46,9	1058,4	88,2
2004	36,1	42,9	29,4	227,9	105,1	21,0	54,7	34,0	84,5	162,8	200,4	184,5	1183,2	98,6
2005	36,0	134,9	328,9	66,0	169,3	62,9	66,8	43,3	44,5	145,5	38,7	96,0	1232,9	102,7
2006	88,4	195,9	320,7	121,8	4,0	159,4	79,0	55,4	4,6	62,3	180,9	234,7	1507,0	125,6
2007	51,2	79,4	223,4	236,4	152,8	47,7	21,3	67,4	17,8	110,7	189,1	106,9	1304,2	108,7
2008	75,6	288,8	249,0	132,1	178,2	91,6	21,3	68,8	59,2	229,4	85,5	294,1	1773,7	147,8
2009	288,2	243,3	236,1	138,7	191,0	15,6	21,3	29,5	15,2	51,0	11,0	120,3	1361,3	113,4
2010	6,0	171,9	102,6	126,7	307,3	155,7	93,6	74,4	36,2	65,5	122,2	129,9	1392,0	116,0
2011	165,5	384,1	157,8	238,8	108,7	79,7	37,8	92,2	149,4	145,5	134,3	199,8	1893,5	157,8
2012	389,2	330,1	122,5	245,2	28,0	135,0	116,1	76,0	52,3	102,3	87,0	145,7	1829,3	152,4
Suma	2676,4	3823,6	3836,7	3373,7	2744,6	3104,8	2671,4	1748,8	1643,5	2545,7	2000,5	3055,8	33225,5	120,4
Máxima	389,2	384,1	336,6	443,1	310,6	1034,5	997,0	186,6	179,7	232,1	200,4	294,1	2583,5	215,3
Media	**116,4**	**166,2**	**166,8**	**146,7**	**119,3**	**135,0**	**116,1**	**76,0**	**71,5**	**110,7**	**87,0**	**132,9**	**1444,6**	**120,4**
Mínima	6,0	6,0	21,7	13,3	4,0	2,5	21,3	21,1	4,6	12,1	11,0	27,1	763,1	63,6
Desv.M	90,5	105,6	96,0	92,3	100,3	211,6	198,9	52,6	49,8	63,8	58,5	68,3	407,1	33,9
Cv	1,3	1,6	1,7	1,6	1,2	0,6	0,6	1,4	1,4	1,7	1,5	1,9	3,5	3,5

Figura 5

Distribución Espacial de la Precipitación (mm/mes) en la Microcuenca Uchima. Geoportal Inamhi Periodo (1990 – 2012).



Cada una de las imágenes de la figura 5, representa la precipitación mensual de cada mes del año, como también muestra sus colores, donde indica que el color azul representa mayor precipitación, mientras que el color celeste demuestra menor precipitación, corroborado con los

datos de la tabla 9.

6.1.5. Escurrimientos medios mensuales

Los escurrimientos medios mensuales determinados por los tres métodos indirectos (Racional, Polinomio Ecológico y Criterio del coeficiente de escorrentía) señalados en la bibliografía se resumen en la tabla 10, donde se observa que los mayores valores de escurrimiento se presentan en los meses de mayor precipitación, por ende, los menores valores de escurrimiento se observan en los meses de menor precipitación. Estos resultados se corroboran al igual que en los estudios realizados por Cañar. (2016), Luna. (2017) y Nero. (2020), donde expresan que, en el periodo comprendido entre los meses de febrero a julio, se presentan los mayores valores de escorrentía. Mientras que, en los meses de agosto a enero, se muestran los valores de menor escorrentía.

Tabla 10

Caudal Medio Mensual (m^3/s) Generado por Métodos Empíricos Para la Microcuenca Uchima.

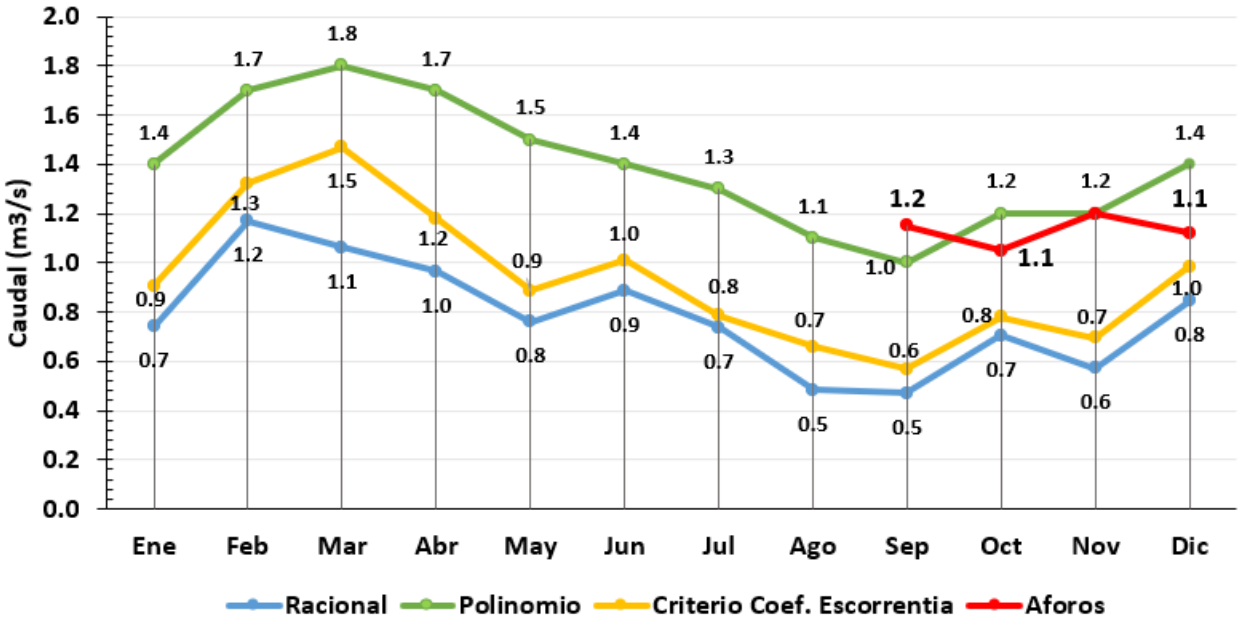
Meses	Método Racional	Método Polinomio Ecológico	Criterio del coeficiente de escorrentía
Enero	0,7	1,4	0,9
Febrero	**1,2**	1,7	1,3
Marzo	1,1	**1,8**	**1,5**
Abril	1,0	1,7	1,2
Mayo	0,8	1,5	0,9
Junio	0,9	1,4	1,0
Julio	0,7	1,3	0,8
Agosto	**0,5**	1,1	0,7
Septiembre	**0,5**	**1,0**	**0,6**

Octubre	0,7	1,2	0,8
Noviembre	0,6	1,2	0,7
Diciembre	0,8	1,4	1,0

Presentando los valores medios mensuales en el método del polinomio ecológico con un valor mayor del caudal de 1,8 m^3/s, en el mes de marzo, mientras que el mes de septiembre con un bajo resultado de 1,0 m^3/s, a comparación del método racional y el de criterio del coeficiente de escorrentía es el más allegado con sus resultados comparándolo también con los aforos realizados; es decir que al momento de utilizar cada uno de los métodos se debe tener muy presente las características geomorfológicas, ecológicas y de regulación natural de la microcuenca.

Figura 6

Análisis Comparativo entre los Caudales Calculados por Métodos Indirectos para la Microcuenca Uchima y los Aforos Realizados.



En consecuencia, para determinar cuál de los resultados obtenidos por los diferentes

métodos se pudo aceptar como los más cercanos a la realidad de la microcuenca, se graficaron los aforos realizados In Situ, con los valores obtenidos mediante los métodos indirectos (Fig, 6). Lo que demostró que los valores obtenidos, mediante el método del polinomio ecológico y el criterio del coeficiente de escorrentía, son los más cercanos con los obtenidos mediante los aforos In Situ. Mientras que el método racional, presento valores muy alejados.

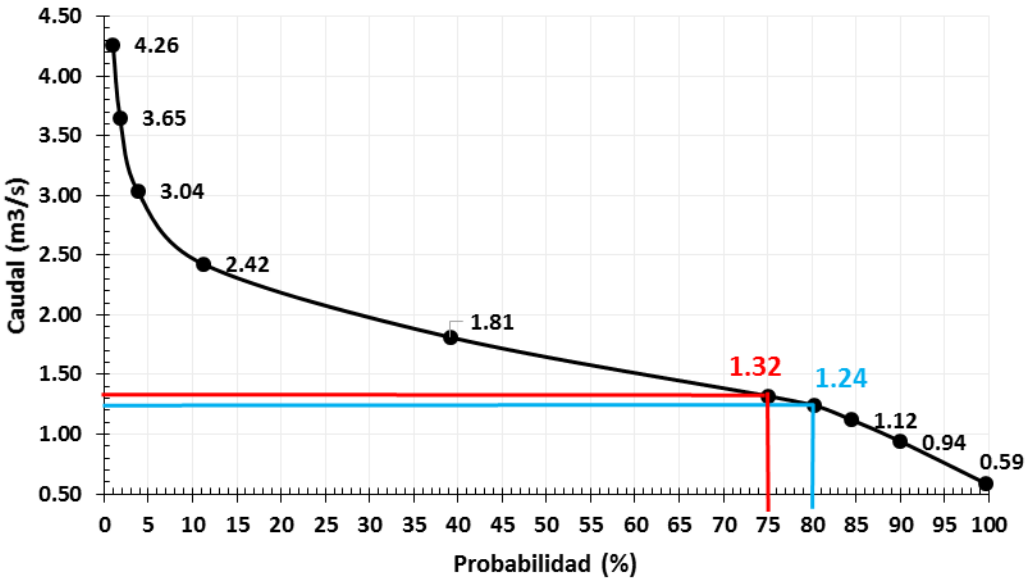
Todo esto consecuencia del tipo de variables que incorpora cada método, se obtuvo que mientras el método racional incorpora la textura, pendiente y cobertura vegetal, no considera las condiciones de regulación natural del suelo que, si las incorpora el criterio del coeficiente de escorrentía, ni las características ecológicas, que hasta el momento solo incorpora el método del polinomio ecológico. Por esta razón, y considerando que el lugar donde se encuentra la cuenca de captación es una zona húmeda, donde cobra gran importancia las precipitaciones circundantes, se prefirió los valores del polinomio ecológico (ver información para el Anexo 14).

6.1.5.1. Curva de duración general y variación estacional

Como se observa en la figura 7, la microcuenca Uchima presenta en el punto de interés un caudal de 1,24 m^3/s, con una probabilidad de ocurrencia del 80%, mientras a una probabilidad de ocurrencia del 75% el caudal es de 1,32 m^3/s. Lo que nos indica que utilizando un caudal característico de 1 l/seg/ha se podría regar 1 320 ha teóricas. Además, en la curva también se observa pendientes pronunciadas en el tramo inicial, indicando que los caudales altos se presentan en periodos cortos, lo que es muy común en microcuencas con topografía fuerte como es el caso de la microcuenca Uchima.

Figura 7

Curva de Duración General de la Microcuenca Uchima

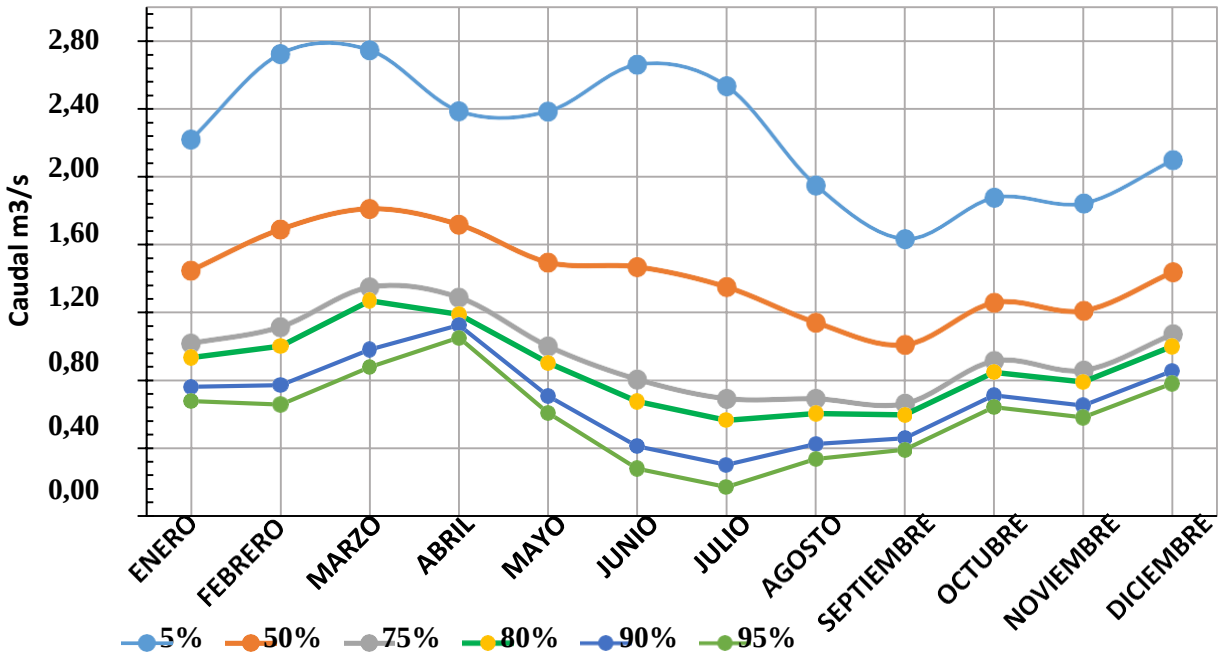


De acuerdo con los resultados obtenidos concuerdan con Cañar, 2016, Luna, 2017, y Nero, 2020 quienes realizaron estudios climatológicos en las microcuencas Campana, San Agustín, San Ignacio y La Vega, respectivamente, donde determinaron que las microcuencas presentan una topografía fuerte y por ende indican que los caudales altos se presentan en periodos cortos.

Por otro lado, en la figura 8, se puede evidenciar la secuencia cronológica de los eventos y la probabilidad de ocurrencia de los mismos, donde el color plomo señala el 75% de probabilidad, mientras que el color verde con puntos amarillos representa el 80% de probabilidad, los cuales se puede evidenciar que la variación de los eventos máximos y mínimos están definidos por las precipitaciones que caen sobre la microcuenca Uchima.

Figura 8

Curvas de Variación Estacional de la Microcuenca Uchima.



6.1.5.2. Análisis de la demanda de agua de los cultivos.

En este capítulo se señala las áreas de riego identificadas durante los recorridos de campo, en el proceso de georreferenciación del catastro del sistema de riego. También se muestra el patrón de cultivos y sus requerimientos de riego.

6.1.6. Catastro del sistema de riego

En la tabla 11 se resumen los usos que se identificaron dentro del área de riego, donde la mayor superficie la ocupan los cultivos permanentes de caña, frutales, guineo, yuca y café, en

cuanto a los cultivos de ciclo corto, dentro de estos se consideró los cultivos de lechuga, col, zanahoria , brócoli y demás hortalizas que siembran, pastizales considerado a los predios que se encuentran ocupados por pastos destinados al ganado y el espacio considerado como vías corresponde al lugar por donde es posible movilizarse mediante automotor.

Este último y a decir de la población, se ha convertido en referente de la Parroquia San Pedro de Vilcabamba, pues en el 2015 y según datos del PDOT. (2015), la parroquia contaba con 127,38 ha de café y en la actualidad se han incorporado 152,36 ha por lo que hasta el momento cuentan con un total de 279.74 ha. Es decir que el cultivo de café presenta un incremento de 119,61 %, con respecto al año 2015. Anexo 14.

Este incremento se atribuye a las características especiales que presenta la parroquia para potencializar el cultivo de café, además poseen un mercado establecido y son parte de la Federación de Cafetaleros del Sur – FAPECAFES que exporta y fomenta la producción de café a nivel de la Región Sur del Ecuador.

Tabla 11

Uso Actual del Suelo.

CATEGORIAS DE USO	ÁREA (ha)	Porcentaje (%)
Cultivos Permanentes	478,59	71,70
Cultivos Ciclo Corto	60,46	9.06
Pastizales	121,35	18.18
Vías	7,08	1.06
Total	**667,48**	**100**

Fuente: *Consulsur 2018.*

6.1.7. Precipitación media de la zona de riego

Los datos de precipitación media en la zona de riego se muestran en la tabla 12 como

también en las figuras 9 mediante un diagrama Pareto y ratificando en la figura 10 por medio de la distribución espacial, en la misma se puede apreciar que en la zona de riego se precipitan 829,9 mm/año, de los cuales el 66,6% (552,45 mm) se presentan en el periodo comprendido entre diciembre y abril, con el valor mayor de 148mm, mientras que en el periodo mayo – noviembre la precipitación es de 277,41mm, lo que representa el 33,4% del total anual, señalando el valor mínimo de agosto con 14mm, Es decir que en el periodo de verano el descenso en las precipitaciones es del 49,8 %. (275,04 mm menos que en el periodo invernal), por lo que la necesidad del riego es evidente e indispensable para realizar cualquier actividad agrícola.

Figura 9

Distribución de la precipitación media en la zona de Riego.

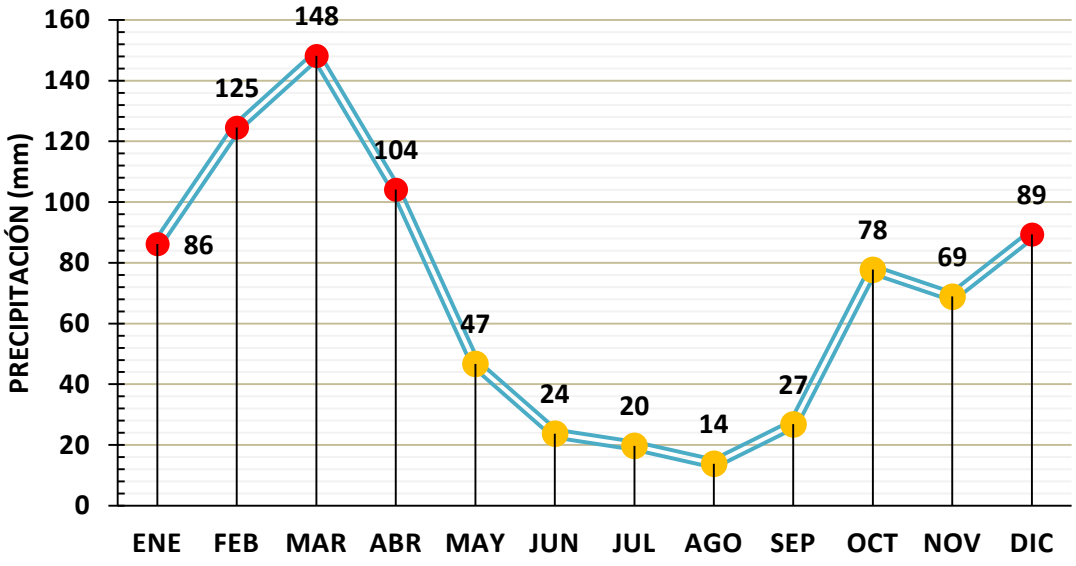


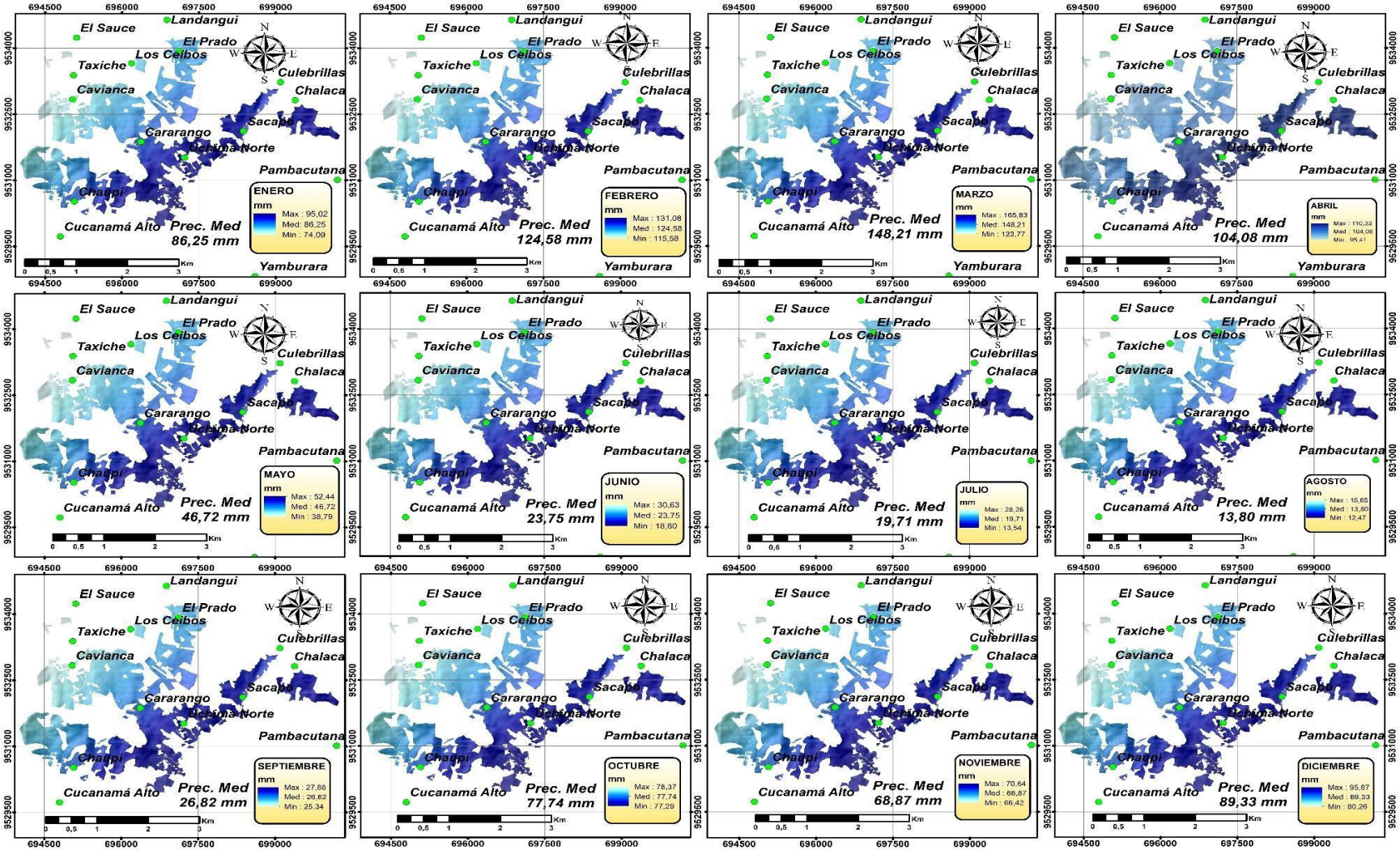
Tabla 12

Precipitación Media de la Zona de Riego (mm).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual	Media
1990	129,3	143,1	28,7	314,4	17,0	5,5	13,5	4,8	26,8	77,7	106,9	43,0	910,8	75,9
1991	126,8	33,9	299,0	81,6	121,6	0,4	7,7	5,7	56,0	27,1	27,7	18,2	805,9	67,2
1992	54,6	25,1	188,3	32,4	22,7	2,4	24,5	10,2	44,0	69,8	55,1	92,5	621,6	51,8
1993	79,3	207,5	239,2	76,6	36,8	4,6	30,5	19,0	21,7	133,2	19,8	113,8	981,9	81,8
1994	125,6	82,5	100,1	48,3	39,6	5,9	6,1	15,8	5,2	41,4	44,9	73,6	589,0	49,1
1995	12,8	89,8	151,6	9,4	3,4	182,0	169,2	5,2	12,1	8,5	65,6	44,8	754,3	62,9
1996	47,6	93,0	19,3	47,0	20,9	5,9	6,1	4,9	19,1	67,7	95,5	46,4	473,4	39,4
1997	83,7	4,5	51,2	110,8	17,3	5,1	24,4	22,9	20,3	71,3	125,5	48,0	585,1	48,8
1998	61,1	150,8	138,9	89,0	13,7	18,9	24,1	23,2	43,9	139,6	82,1	75,6	860,8	71,7
1999	117,0	253,2	129,5	72,0	118,7	32,6	29,1	32,6	67,5	21,1	38,6	103,2	1015,0	84,6
2000	143,1	151,1	188,1	90,8	80,8	48,0	18,0	32,7	55,9	23,9	20,4	50,9	903,8	75,3
2001	84,6	52,6	120,1	64,4	86,6	48,1	3,7	33,9	34,7	71,4	20,8	149,5	770,2	64,2
2002	54,6	65,3	43,5	173,7	5,8	21,7	4,4	3,8	15,0	117,2	29,6	147,0	681,8	56,8
2003	21,6	110,6	138,4	95,2	2,7	29,8	5,1	4,5	20,6	163,0	20,8	31,5	643,9	53,7
2004	26,8	32,2	26,1	161,7	41,1	3,7	9,3	6,2	31,7	114,4	158,7	124,1	735,8	61,3
2005	26,7	101,1	292,3	46,9	66,3	11,1	11,3	7,9	16,7	102,2	30,6	64,6	777,5	64,8
2006	65,5	146,8	285,0	86,4	1,5	28,1	13,4	10,0	1,7	43,7	143,2	157,8	983,2	81,9
2007	38,0	59,5	198,5	167,8	59,8	8,4	3,6	12,2	6,7	77,8	149,7	71,8	853,8	71,2
2008	56,0	216,4	221,3	93,7	69,8	16,1	3,6	12,5	22,2	161,2	67,7	197,7	1138,2	94,9
2009	213,6	182,3	209,8	98,4	74,8	2,7	3,6	5,3	5,7	35,8	8,7	80,9	921,7	76,8
2010	4,4	128,8	91,2	89,9	120,3	27,4	15,9	13,5	13,6	46,0	96,8	87,3	735,1	61,3
2011	122,7	287,8	140,2	169,5	42,6	14,0	6,4	16,7	56,1	102,2	106,3	134,3	1198,8	99,9
2012	288,5	247,3	108,8	174,0	11,0	23,8	19,7	13,8	19,6	71,8	68,9	97,9	1145,1	95,4
Suma	1983,8	2865,3	3408,8	2393,8	1074,6	546,3	453,3	317,4	616,9	1788,0	1584,0	2054,6	19086,8	69,2
Máxima	288,5	287,8	299,0	314,4	121,6	182,0	169,2	33,9	67,5	163,0	158,7	197,7	1198,8	99,9
Media	**86,3**	**124,6**	**148,2**	**104,1**	**46,7**	**23,8**	**19,7**	**13,8**	**26,8**	**77,7**	**68,9**	**89,3**	**829,9**	**69,2**
Mínima	4,4	4,5	19,3	9,4	1,5	0,4	3,6	3,8	1,7	8,5	8,7	18,2	473,4	39,4
Desv.M	67,0	79,2	85,3	65,5	39,3	37,2	33,7	9,5	18,7	44,8	46,3	46,0	191,7	16,0
Cv	1,3	1,6	1,7	1,6	1,2	0,6	0,6	1,4	1,4	1,7	1,5	1,9	4,3	4,3

Figura 10

Distribución Espacial de la Precipitación Media en la Zona de Riego (mm).



Por otro lado, considerando las precipitaciones medias determinadas en la tabla 13, se calculó la precipitación efectiva del área del riego con ayuda del software *Cropwat* 8.0, el cual incluye el método USDA S.C. para dicho propósito. Los resultados se muestran donde se destaca que los meses de febrero y marzo presentan las mayores precipitaciones, mientras los valores más bajos son julio y agosto.

Estos periodos, (febrero - marzo) y (julio – agosto), de invierno y verano respectivamente, también se encuentran marcados en los estudios climatológicos realizados por Cañar, 2016, en la microcuenca Campana, Luna, 2017, en la microcuenca San Agustín, Nero, 2020, en las microcuencas San Ignacio y La Vega.

Tabla 13

Precipitación Efectiva de la Zona de Riego (mm).

Meses	P. media (mm)	Prec. Efec (mm)
Enero	86,3	74,4
Febrero	124,6	99,8
Marzo	148,2	113,1
Abril	104,1	86,8
Mayo	46,7	43,2
Junio	23,8	22,9
Julio	19,7	19,1
Agosto	13,8	13,5
Septiembre	26,8	25,7
Octubre	77,7	68,0
Noviembre	68,9	61,3
Diciembre	89,3	76,6

6.1.8. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)

La figura 15 muestra los valores de evapotranspiración de referencia (mm/día), determinados para la zona de riego. En la misma se puede observar que existen dos periodos bien definidos de evapotranspiración. Uno comprendido entre junio a noviembre, donde en promedio se producen 5,44 mm/día de evapotranspiración y se concentran los valores más altos de evapotranspiración como lo es el valor mayor de 6,1 mm/día en el mes de agosto. Y otro comprendido de diciembre a mayo, donde se presentan los valores más bajos de evapotranspiración y en promedio se produce 4,14 mm/día de la misma mientras en el mes de febrero con un valor bajo de 3,7 mm/día.

Esta variación de la evapotranspiración en la zona de riego, se produce por el efecto de las variables climáticas que se presentan en el sector. Este efecto se puede observar analizando las figuras 11, 12, 13 y 14. Donde se observa que en los meses donde se registran menores temperaturas y mínimas horas sol, la evapotranspiración es menor. Lo que se justifica ya que al registrase menor cantidad de horas sol el aporte de energía que brinda la radiación también es menor, por consiguiente, la perdida de agua en forma de vapor mediante la evapotranspiración visiblemente será menor. Esto concuerda con lo mencionado por FAO (2006), en su guía para la determinación de los requerimientos de riego, donde enfatiza que la evapotranspiración depende en gran medida del aporte de energía que brinda la radiación.

Por otro lado, analizando los valores de humedad relativa (fig. 14), que expresa el contenido de vapor de agua presente en el aire, se observó que estos son mayores en los meses donde la evapotranspiración, que es la perdida de agua en forma de vapor a través de la evaporación y transpiración, registra sus valores más bajos. Es decir, mientras la evapotranspiración es menor

la humedad relativa es mayor.

Esto ocurre debido a las temperaturas son bajas lo que provoca un descenso en la temperatura del aire y en su capacidad de absorber vapor de agua. Es decir, si la temperatura de aire es de 20º C y la cantidad de evapotranspiración generada ha provocado una humedad relativa del 50%.

Y se empieza a producir un descenso en la temperatura a 17ºC, esto provocara que la humedad relativa ascienda un valor de 60 % aun cuando la cantidad de evapotranspiración no cambia. Esto también lo menciona Flores (2016), en su artículo de cambios de humedad por variación de temperatura, donde indica que, para un contenido de vapor de agua constante, un descenso de la temperatura del aire produce un aumento de la humedad relativa. También menciona que en la naturaleza los cambios de humedad relativa causados por variaciones de temperatura pueden ser por variaciones diarias de temperatura y el movimiento de aire de un lugar a otro.

Figura 11.
Evapotranspiración de la Zona de Riego.

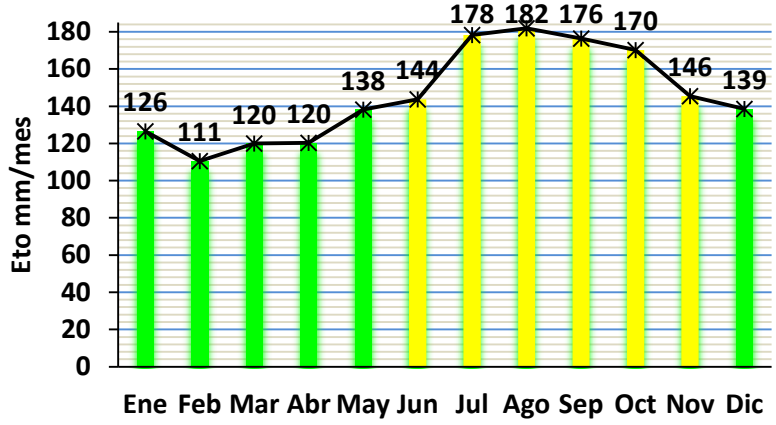


Figura 12.
Temperatura Media de la Zona de Riego.

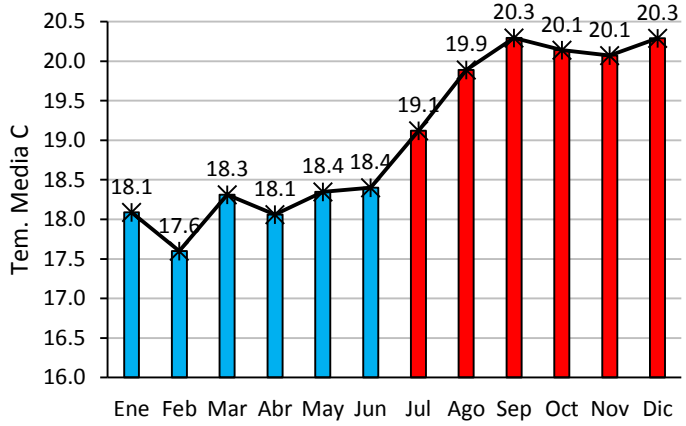


Figura 13
Horas Sol en la Zona de Riego

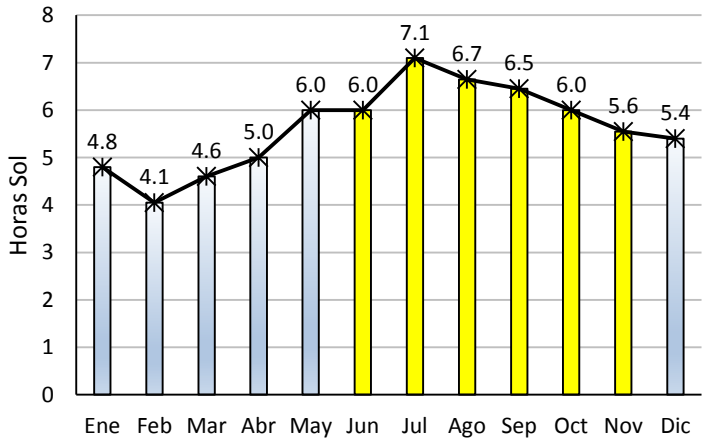


Figura 14.
Humedad Relativa de la Zona de Riego.

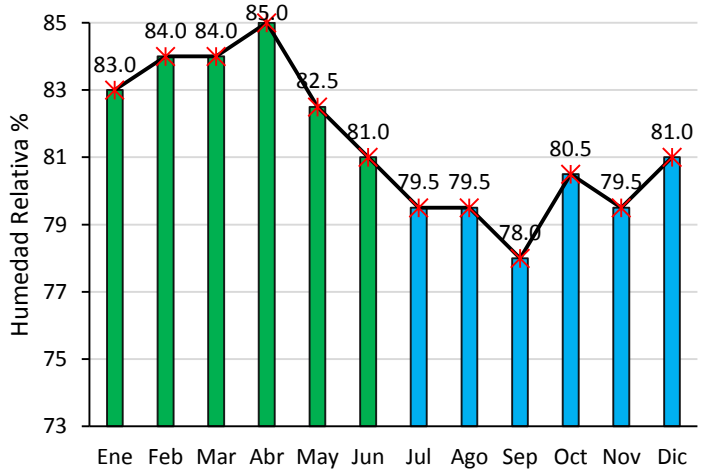
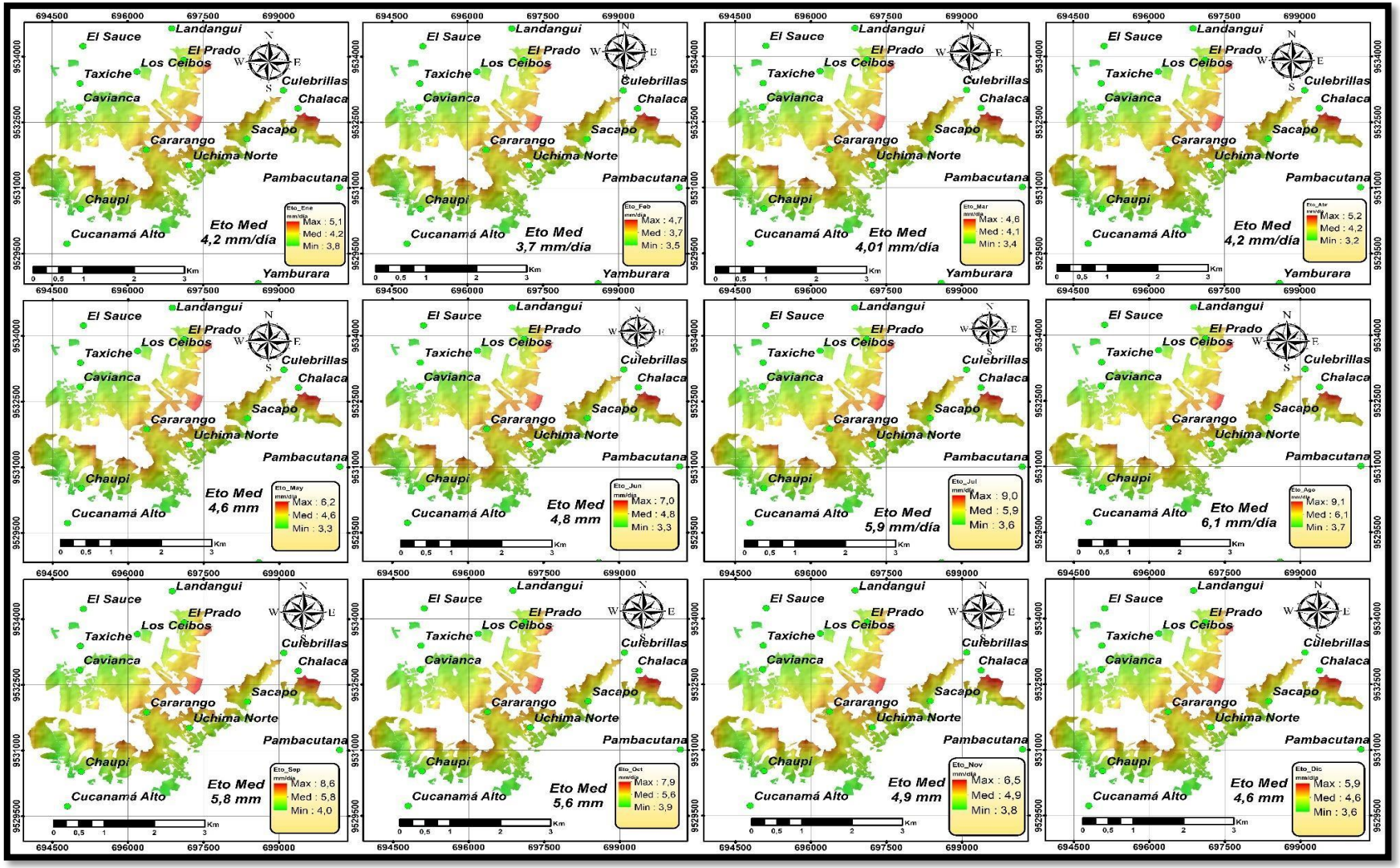


Figura 15

Distribución Espacial de la Evapotranspiración



6.1.9. Determinación del patrón de cultivos y del coeficiente del cultivo (Kc)

En la tabla 15 se muestra la duración del ciclo fenológico, fechas de siembra y el área de los cultivos que forman el patrón de cultivos identificado en la zona de riego, mediante los recorridos In Situ.

En el patrón de cultivos, el color verde, representa la fase inicial; el color azul, representa la fase de desarrollo; el color café representa la fase media y el color amarillo representa la fase final. El color celeste corresponde a descansos y preparación de la tierra para la siguiente siembra. Hay que recalcar que en base a estos cultivos se realizó el cálculo de las necesidades hídricas, Tabla 14.

Los cultivos que se consideraron, además de dinamizar la economía del agricultor, forman parte de su dieta tradicional y de sus costumbres ancestrales. Por ejemplo, el agricultor siembra el maíz, no solo con el fin de obtener un redito económico sino también con el fin de conseguir el alimento para la crianza de animales menores que después serán de alimento para él. PDOT (2015).

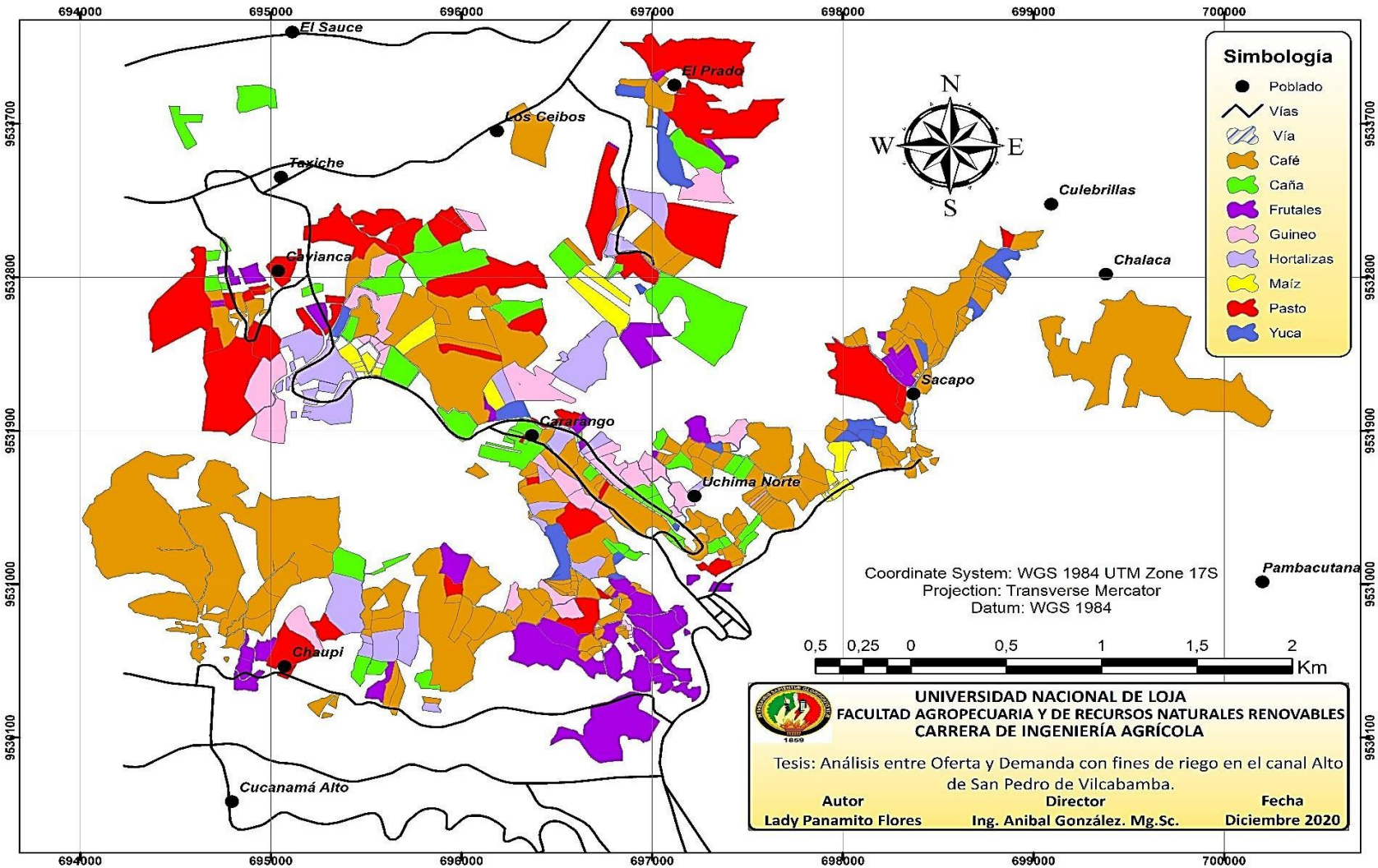
Tabla 14.

Patrón de Cultivos

Cultivo	Área (ha)	Ciclo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
Maíz	8,4	120												
Caña	85,6	320												
Café	279,7	365												
Pasto	121,4	365												
Frutales	63,8	150												
Hortalizas	52,1	75												
Guineo	39,1	365												
Yuca	17,4	360												

Figura 16

Distribución Espacial de los Cultivos en la Zona de Riego.



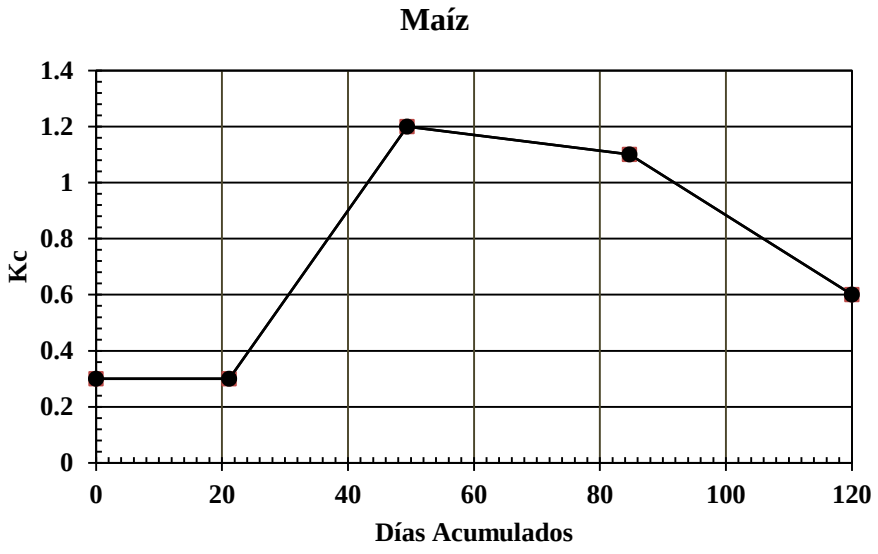
En la figura 16 señala la distribución espacial de los cultivos en la zona de riego, Hay que indicar que, de acuerdo a los recorridos de campo y los diálogos con agricultores y directivos del GAD parroquial de San Pedro de Vilcabamba, el área que está catalogada como pasto, y que es la segunda en orden jerárquico indicado por la (tabla 15) después del café, y como tercer orden se encuentra los frutales los demás corresponde a predios que actualmente están subutilizados, y que sin embargo poseen agua de riego.

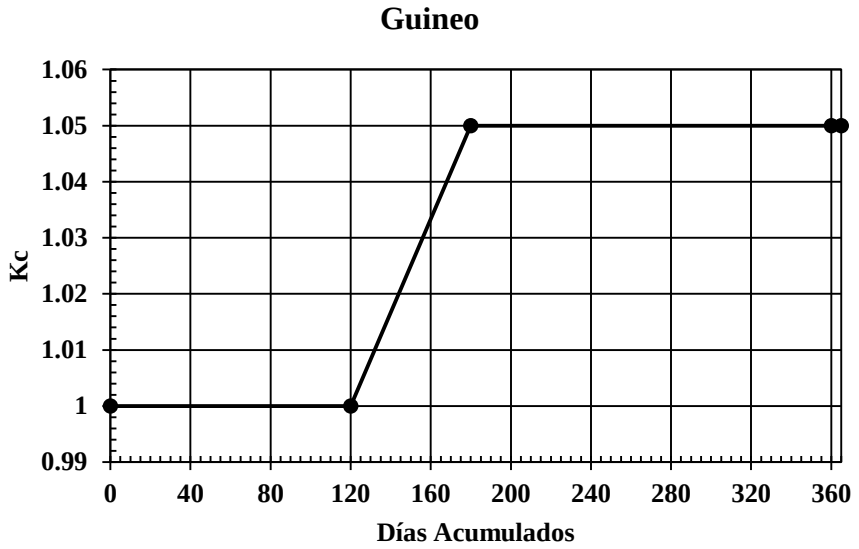
Además, debe mencionar que los cultivos citados en la tabla 15, difieren con los citados en otras investigaciones similares como son las de Cañar, 2016, Luna, 2017, y Nero, 2020, esto se atribuye principalmente a la experticia de los agricultores, a la adaptabilidad climática y a la rentabilidad de los cultivos. Pues así lo expresa los citados autores y los diálogos que se mantuvieron con los miembros de la junta de riego.

Por otro lado, identificados los cultivos de la zona de riego, se determinó los valores de Kc en base a las curvas Kc construidas para cada cultivo. Estas curvas se construyeron en base a datos publicados por FAO (2016), y a los que los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de ETo. Por lo tanto, mientras ETo representa un indicador de la demanda climática, el valor de Kc varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, y solo en una pequeña proporción en función del clima

Figura 17

Curvas de Kc para los Cultivos de Maíz y Guineo

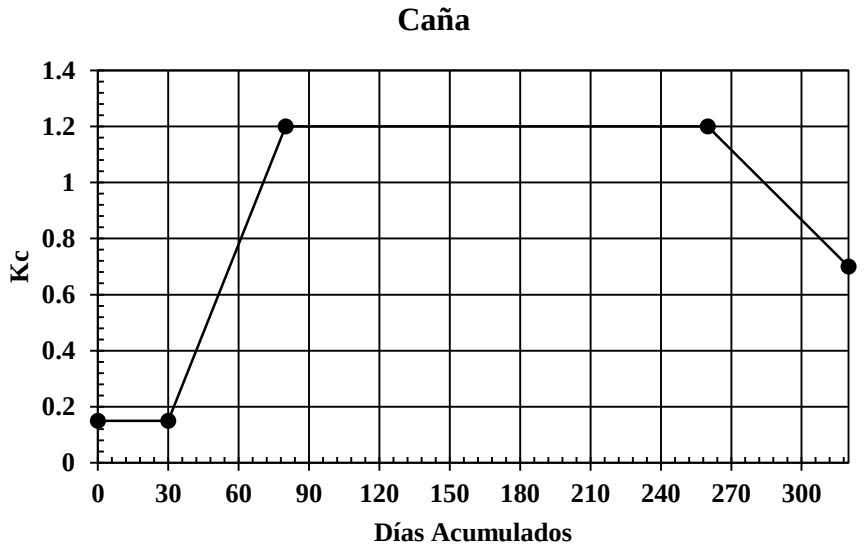


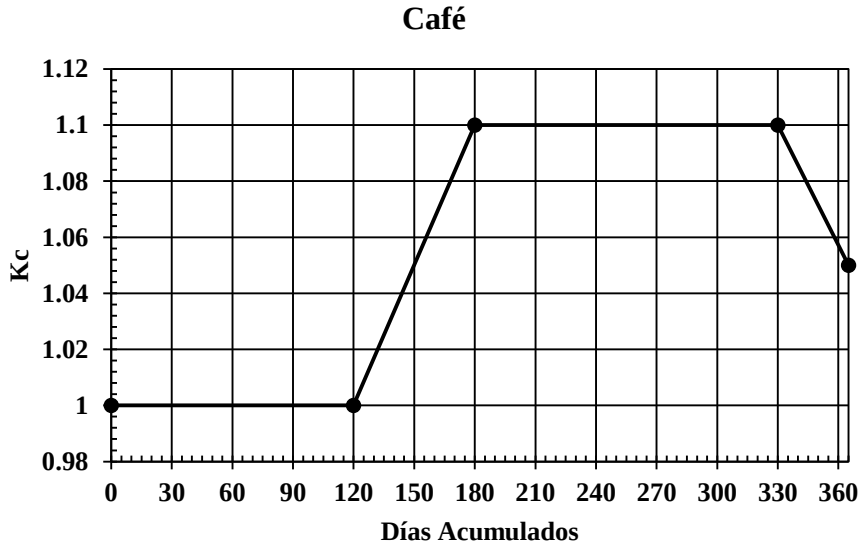


En la figura 17 se puede observar que el cultivo de maíz y de guineo presentan un incremento de Kc durante en su etapa de desarrollo.

Figura 18

Curvas de Kc para los Cultivos de Caña y Café

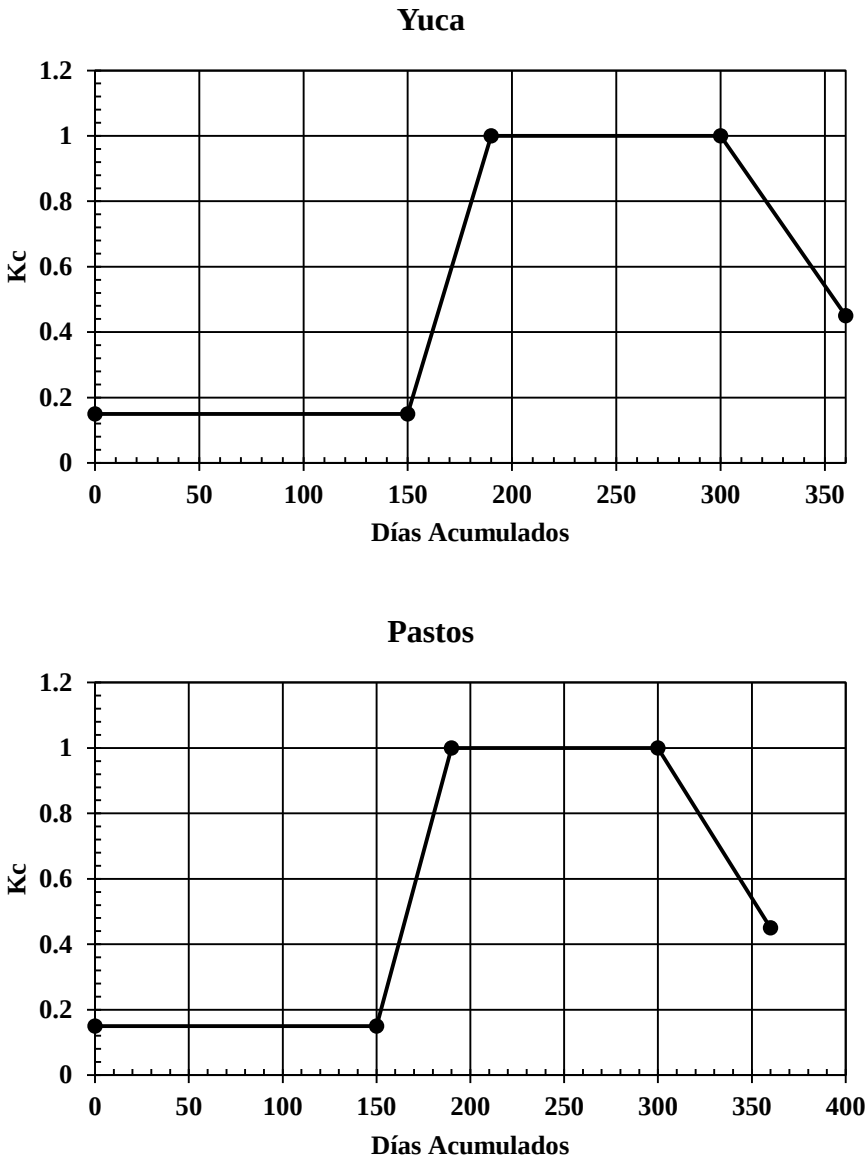




La figura 18 se observa que el cultivo de caña y de café presenta un aumento de Kc durante el proceso de desarrollo de la siembra.

Figura 19

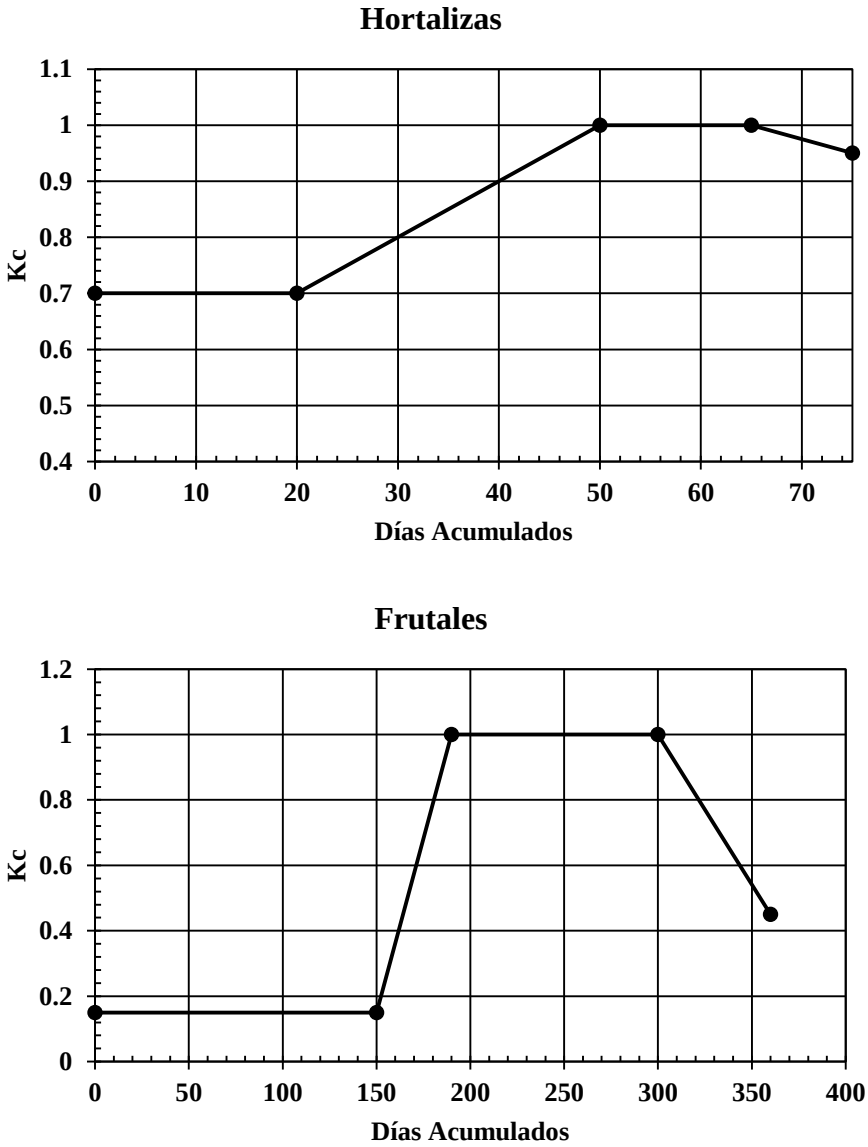
Curvas de Kc para los Cultivos de Yuca y Pasto



Seguidamente en la figura 19 se puede prestar atención que el cultivo de yuca y de pasto presenta un acrecentamiento de Kc durante su etapa de desarrollo.

Figura 20

Curva Kc para los Cultivos de Hortalizas y Frutales



Y finalmente en la figura 20 se puede verificar que el cultivo de hortalizas y frutales presentan un aumento de kc de 1, durante en su etapa de avance en su desarrollo.

Tabla 15.

Coeficientes Kc de los Cultivos

Cultivo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maíz	0,60	1,09	0,74			0,39	1,09	1,09	0,74			0,39
Caña	0,15	0,57	1,13	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,17	0,95	0,49	
Frutales	1,54	1,56	1,58	1,61	1,64	1,65	1,64	1,64	1,60	1,59	1,58	1,58
Guineo	1,00	1,02	1,04	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,00	1,00	1,00
Pastos	0,52	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,47
Yuca	0,73	1,15	1,58	2,00	2,00	1,82	1,39	0,97	0,54	0,30	0,30	0,30
Hortaliza	1,09	1,09	0,74			0,39	1,09	1,09	0,74			0,39
Café	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	1,08	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,08

Nota: Curvas de Kc elaboradas para los cultivos de la zona de riego.

La diferencia entre los valores de Kc, determinados para cada uno de los cultivos evidencian lo mencionado por FAO, 1994 en su documento introducción a la evapotranspiración del cultivo donde expresa que, debido a las diferencias en albedo, altura del cultivo, propiedades aerodinámicas, así como características de los estomas y hojas de las plantas, se presentarán diferencias entre valores de Kc. Tabla 15

6.1.10. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc)

Según en cuanto a la evapotranspiración del cultivo (tabla 16), los resultados indican que la mayor pérdida de agua la presentan los frutales con 2 430 mm al año. Lo que se justifica, pues el 61% (1 485 mm), de la perdida ocurre entre los meses de mayo a diciembre, donde el cultivo presenta los mayores valores de Kc, es decir experimenta las fases fenológicas de desarrollo y madurez, y además está expuesto a los mayores valores de temperatura en la zona (Tabla 16).

Tabla 16

Evapotranspiración del Cultivo (mm/mes)

Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Maíz	139	121	90	0	0	49	137	146	99	0	0	51	832
Caña	19	63	138	137	145	148	151	160	156	132	68	0	**1 317**
Frutal	198	173	193	184	198	204	206	219	213	221	217	205	**2 430**
Guineo	128	38	42	40	42	43	44	47	47	46	46	43	606
Pasto	67	78	85	53	85	87	88	93	93	97	96	60	982
Yuca	93	128	192	228	242	225	175	129	72	42	41	39	**1 604**
Hortaliza	139	121	90	0	0	49	137	146	99	0	0	51	832
Café	128	111	122	114	125	134	138	147	147	153	150	140	**1 609**

La tabla 16 representa la variación en el Kc, también se muestra en otras investigaciones similares como las realizadas por Cañar, 2016, Luna, 2017, y Nero, 2020, donde indican que los cultivos expuestos a mayores valores de temperatura son los que presentan un valor mayor de Kc y evapotranspiración como frutales con un valor mayor de 2 430 mm/mes, y menor tal como el guineo con un valor de 606 mm/mes.

6.1.11. Requerimientos de riego

En la tabla 17, se evidencia un requerimiento hídrico de 5 307 613 m^3 al año necesario para suplir la demanda hídrica de los cultivos identificados en las 660,50 ha de la zona de riego, sobre todo en el mes de agosto donde existe mayor valor y marzo es el menor requerimiento hídrico, Esto si se considera una eficiencia del 100% en la conducción del canal principal, redes de distribución y aplicación de riego en la parcela, lo que evidentemente no es posible. Referirse al Anexo 13.

Por esta razón se incorporó eficiencias de aplicación de riego de 60, 75 y 90%, que

corresponden a los métodos de riego por gravedad, aspersión y goteo respectivamente. Mientras que para las redes de conducción principal y redes de distribución se consideró una eficiencia del 80%, pues es la eficiencia conseguida tras la rehabilitación del canal principal en el 2018, según Consulsur, 2018.

Tabla 17

Requerimientos de Riego para cada cultivo (m^3)

Mes	Maíz	Caña	Frutal	Guineo	Pasto	Yuca	Hortaliza	Café	Anual
Ene	5459	0	78693	20970	6159	2214	5459	150015	**268 970**
Feb	1798	0	46569	5055	0	2874	1798	30993	**89 086**
Mar	0	21030	50806	5398	0	8170	0	24420	**109 824**
Abr	0	42800	61805	12864	0	14642	0	76084	**208 196**
May	0	87210	98967	32746	50296	20595	0	228617	**518 429**
Jun	2161	107361	115338	41792	77235	20910	2161	310491	**677 449**
Jul	9871	112616	119550	44078	83505	16138	9871	332883	**728 513**
Ago	11093	125371	130900	94450	96889	11962	11093	372394	**809 152**
Sep	6057	111017	118832	44331	80913	4954	6057	335806	**707 968**
Oct	0	54982	97773	27836	35732	0	0	238068	**454 391**
Nov	0	22918	99216	29522	41834	0	0	249456	**442 946**
Dic	0	0	82153	20716	11416	0	0	178402	**292 687**
Total	**36 440**	**685 306**	**1 100 602**	**334 759**	**483 980**	**102 458**	**36 440**	**2 527 628**	**5 307 613**

Tomando en cuenta la eficiencia incorporada en la red de conducción principal y de distribución, el nuevo requerimiento seria de 6 369 136 m^3 al año, o lo que sería 202 l/s. Comparando este valor demandado con la oferta determinada del sector (Fig11), misma que es de 1 320 l/s y 1 240 l/s a una probabilidad de ocurrencia del 75 y 80% respectivamente, se puede aseverar que la oferta cubre la demanda hídrica de los cultivos.

Con respecto al mayor requerimiento hídrico mensual, este se presenta en agosto, el mismo

que expresado como caudal continuo equivalente es de 604.2 l/s, y se consideró las eficiencias incorporadas para la aplicación del riego que son de 60, 75 y 90%, se tiene un caudal característico por hectárea de 1,52; 1,22 y 1,02 l/s/ha respectivamente. Mismos que aplicados a las 667,5 ha que irrigarían, nos dan un caudal de diseño de 1 007.01 l/s, 805,61 l/s y 671,34 l/s.

Como se puede evidenciar el caudal para irrigar la zona de riego, decrece según se incrementa el porcentaje de eficiencia de aplicación del agua. Esta tendencia, también se presenta en los trabajos realizados por Cañar, 2016, Luna, 2017, y Nero, 2020, en las microcuencas Campana, San Agustín, San Ignacio y La Vega respectivamente, donde aun siendo diferentes los requerimientos de riego, el caudal de diseño decrece conforme incrementa la eficiencia de aplicación del agua.

6.2.Análisis entre la oferta y la demanda de agua

Como se ha señalado en los ítems anteriores, la oferta hídrica de 1 320 l/s que proporciona la microcuenca Uchima, cubre la demanda de la zona de riego la misma que corresponde a 1, 007.01l/s, lo que posibilita abastecer nuevas áreas potencialmente regables. Sin embargo, deducir que llegar con el agua de riego a nuevas áreas solucionara completamente las necesidades de los agricultores, sería un error, pues se analizó otras variables importantes como la citada en el PDOT de San Pedro de Vilcabamba, 2016, en la que se menciona que existe una notable participación de personas adultas mayores en las actividades productivas, consecuencia del poco interés de los jóvenes para afrontar la producción agropecuaria en un contexto poco favorecedor, marcado por la baja productividad y rentabilidad de la actividad agraria.

En este contexto, mejorar la eficiencia al momento de irrigar los cultivos permitirá disminuir el desperdicio de recurso hídrico y entre otras cosas mejorar la productividad de los

cultivos e incrementar la producción de los mismos. Pues al permitir un ahorro del recurso hídrico, este puede ser usado en otras áreas potencialmente agrícolas.

Así, se evidencia en la información que presenta en la tabla 18 y figura 21, donde el caudal disponible de 1 320 l/s, se puede incrementar: ya sea 105 ha de riego por gravedad con una eficiencia de 60%; o 214 ha de riego por aspersión con una eficiencia de 75%; o 281 ha de riego por goteo con una eficiencia de aplicación de 90%.

Esta forma de aprovechar el excedente hídrico, en labores de irrigación, ha resultado ser la más provechosa, ya que Cañar, 2016, Luna, 2017, y Nero, 2020, también, lograron incorporar nuevas Áreas de riego, al mejorar la eficiencia de aplicación del agua.

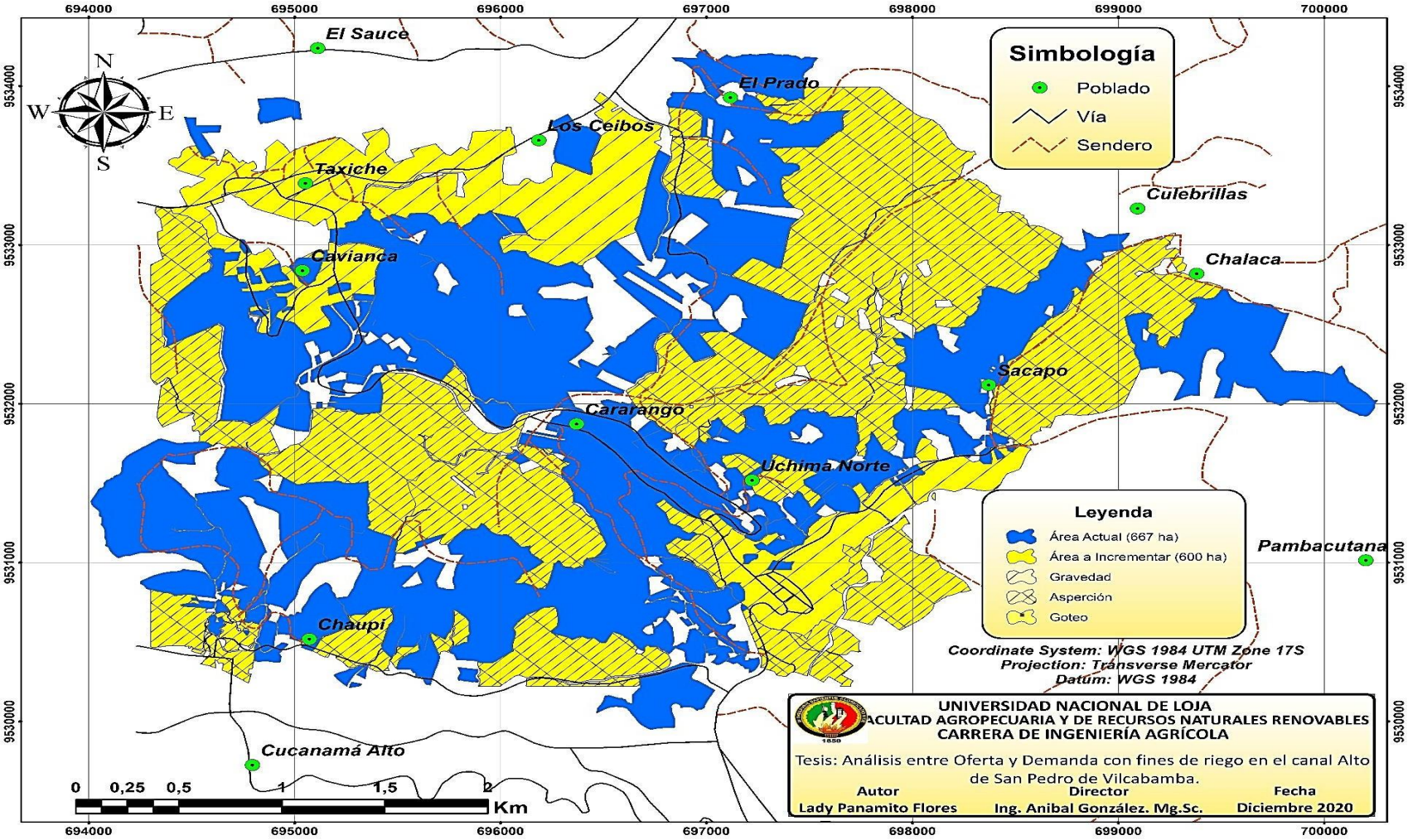
Tabla 18

Análisis entre Oferta y Demanda Hídrica.

Caudal Disponible(l/s)	**Método de Riego**	**Eficiencia de Aplicación (%)**	**Área a Incrementar(ha)**
1 320	Gravedad	60	105
	Aspersión	75	214
	Goteo	90	281

Figura 21

Áreas de Riego Actual y Superficies Agrícolas a Incrementar



7. Conclusiones

- Se clasifica el Río Uchima como una microcuenca, debido a que el tamaño de la superficie que ocupa es pequeño, de forma oval y con cauce corto, con un tiempo de concentración de 81 minutos, además presentan pendientes mayores al 31 % y la precipitación se distribuye mayoritariamente para los meses de diciembre a abril, lo cual es muy común para la zona andina del Ecuador.

- El método del polinomio ecológico se adaptó mejor para la obtención de las condiciones geomorfológicas de la microcuenca Uchima, presentó un comportamiento puntualmente en el período de estiaje similar a los aforos realizados.

- La microcuenca Uchima dispone de un caudal medio de 1,32 m^3/s durante el año con 75% de probabilidad, lo cual, con un caudal característico de 1 l/seg/ha se podría regar 1 320 ha.

- El coeficiente de escorrentía para la microcuenca Uchima es aproximadamente del 41%.

- Los valores máximos de la Evapotranspiración del cultivo en el área de estudio bordean a los 6 mm/día para los meses de agosto y julio, siendo los meses de menor precipitaciones. Mientras tanto, los valores mínimos se aproximan a 4 mm/día, coincidiendo con los meses que más precipitaciones se presentan en la zona, febrero y marzo.

- El volumen anual del sistema de riego tiene un estimado de 637 hm^3, lo que permite regar un área de 660,50 ha, siempre y cuando se considere una eficiencia de aplicación del 80%.

- Los valores obtenidos referentes a la adecuación del área de regadío, entre la oferta y demanda de agua, se podría incorporar al sistema 600 ha más, de las cuales, para riego por

gravedad un incremento del 60 %, riego por aspersión con un 75 % y riego por goteo con una probabilidad del 90 %, siempre y cuando que el riego sea tecnificado y adecuado con el cálculo de frecuencias y láminas de riego.

- La microcuenca Uchima es la generadora de agua para el sistema de Riego "Canal alto de San Pedro de Vilcabamba", el cual se beneficia a un total de 483 usuarios, que riegan una superficie aproximada de 660,50 ha.

- Se determinó que 121,4 ha son subutilizadas, las cuales están dedicadas a pastos en las zonas bajas del área de riego y la otra parte destinadas a actividades para infraestructuras vacacionales y recreacionales.

- Es posible aumentar el área de riego, preferiblemente riego presurizado para el área agrícola del sector, debido al caudal de la microcuenca y diferencias de cotas.

8. Recomendaciones

- Monitorear los caudales en la microcuenca de captación, a través de la instalación de una estación hidrométrica, gestionada desde las principales autoridades de la Junta de Riego y del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Parroquial

- Colocar una estación climática en la zona de riego que permita monitorear las demandas de agua de los cultivos, mediante la cooperación interinstitucional de las Universidades, GAP Parroquial e instituciones públicas encargadas del desarrollo agrícola

- Fomentar la asociación entre los productores, con la finalidad de construir vínculos comerciales con los mercados locales, nacionales e internacionales. A fin de permitir a los productores mantener un margen de rentabilidad estable.

- Gestionar ante las instituciones correspondientes, la tecnificación del riego parcelario en la totalidad de la zona de riego, a fin de realizar entregas oportunas y eficientes del recurso hídrico.

- En el caso de buscar ampliar el área de riego actual, se recomienda diseñar, a través del GAD parroquial, políticas territoriales que permitan, al menos a las áreas comprendidas en la zona de riego, usarse exclusivamente para el fin que fueron seleccionadas.

- Requerir la verificación de la utilización del agua para riego en actividades productivas para las que fueron concedidas, mediante monitorios constantes realizados por las entidades encargadas del uso del recurso hídrico.

9. Bibliografía

Aguirre, N. (2007). *Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional de Loja. Loja – Ecuador. 116 pp.

ALLEN, R., PEREIRA, L., RAES, D., & SMITH, M (2006). *Evapotranspiración del cultivo (guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos).* Roma, Italia: publications - sales@fao.org.

Cañar, A. (2016). *Análisis de la disponibilidad y demanda de agua, con fines de riego, en el sistema Campana Malacatos, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG).* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

Cenicaña (2015). *Evapotranspiración del cultivo*. [Blog post]. Recuperado de: https://www.cenicana.org/evapotranspiracion-del-cultivo-etc/#respond.

CNRH (2002). *Informe sobre el estado del medio ambiente.* Recuperado de: https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf

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.

ESRI (Environmental Systems Research Institute), (2020). *Introducción a los sistemas de información geográfica.* Recuperado de: https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/introduccion.

FAO, (1992). *Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Estudio y*

Planificación de Cuencas Hidrográficas. Roma, Italia. 185 pp.

FAO, (1996). *Ecología y enseñanza rural: Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. Recuperado de: http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s05.htm#P5_56.

FAO, (1997). *Zonificación agro-ecológica. Guía general. Servicio de recursos, manejo y conservación de suelos.* Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. 83 pp.

FAO, (2006). *Evapotranspiración del Cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje Nº 56. Roma Italia. 298pp.

FAO, (2018). *"Interpretación de la regulación de flujos de agua a partir de un estudio de caso."* Documentos de Trabajo ECAPMA 2. Recuperado de: https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2953.

FAO, (1994). *Documento introducción a la evapotranspiración del cultivo: Las diferencias y características entre valores de Kc.*

Fattorelli S., Fernandéz P. (2011). *Diseño Hidrológico.* Asociación Española de Geografía, Vol 2, 120 pp.

Gaspari, F. *et al*, (2013). E*lementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas.* Recuperado de: https://core.ac.uk/download/pdf/15784528.pdf

GEOINNOVA (2017), *SIG aplicados a la hidrología. [Blog post]*. Sus usos y aplicaciones. Recuperado de: https://geoinnova.org/blog-territorio/sig-aplicados-a-la-hidrologia/#:~:text=Los%20SIG%20se%20fundamentan%20en,o%20de%20calidad%20del%20agua.

González, A. (2016). *Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorrra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas*. Asociación Española de Geografía, Vol 38, pp-318.

González G, AE. (1997). *Planeación de los Recursos Hidráulicos, con fines de riego, en la zona andina del Ecuador.* Tesis M. Sc. Montecillo, MX, Colegio de Postgraduados.139 p.

Ibañez Uchuari C. F. (2016) Determinación del coeficiente de cultivo kc para maíz zea mays l bajo invernadero en la granja Santa Inés (Trabajo de titulación). UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), (2018). *Validación de las fórmulas de evapotranspiración de referencia (Eto) para Colombia*. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/Evapotranspiracion+de+Referencia+ETo+para+Colombia.pdf/12700c18-c492-40cc-8971-46f48f144824.

INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario), (2016). *Validación y transferencia de tecnología de riego y sistemas productivos en áreas regadas, Sistema Paloma, IV Región (Provaltt – Paloma): Estimación de la Demanda de Agua de los Cultivos.* Coquimbo – Chile. 26p.

Jouravlev, A. (2002). *Recursos naturales e infraestructura: gestión del agua a nivel de cuencas. División de recursos naturales e infraestructura.* Vol. 47. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6407/1/S028593_es.pdf

López A. (2015). *Necesidades de la planeación de los recursos hídricos, en países en vías de desarrollo.* Recuperado. http://www.iagua.es/blogs/agustina-lopez/necesidad-de-la-planificacion- de-los-recursos-hidricos-en-paises-en-vias-de-desarrollo

Luna, A. (2017). *Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema La Era, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.

Maldonado, P. (2017). *Análisis de la disponibilidad y demanda hídrica en el sistema de riego Paquishapa* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja. Loja - Ecuador.

Monge, M. (2019). *Evapotranspiración* y Kc. [Mensaje en un Blog]. IAGUA. Recuperado de: https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/evapotranspiracion-y-kc- parte-ii.

Nero, L. (2020). *Estimación de la disponibilidad y demanda hídrica en la parroquia Sacapalca para su aprovechamiento en el suministro de agua para riego.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja. Loja – Ecuador.

Ordoñez, G. (2011). *Cartilla Técnica; Aguas Subterráneas-Acuíferos*. Sociedad Geográfica de Lima. Vol. 1. 44 pp.

Ortiz, A. et al. (2017). *Panificación y gestión de los recursos hídricos: una revison de la importancia de la variabilidad climática.* Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/5177/517754057010.pdf

PDOT, (2016). *Actualización del proyecto: Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial de San Pedro de Vilcabamba.*

Ramakrishna, B. (1997). *Estrategia de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Conceptos y Experiencias.* San José, IICA/GTZ. Recuperado de:

https://www.redalyc.org/pdf/666/66612867008.pdf

Riego y Drenaje del Sur (RIDRENSUR-EP) (2012), Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Loja. Ed. Digital.

SIAR. (2016). *Calculo de la precipitación efectiva. Valencia España*. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/precipitacionefectiva05_tcm30-82980.pdf.

Sánchez, J. (2018). *Como influye la vegetación en el clima.* Recuperado de: https://www.ecologiaverde.com/como-influye-la-vegetacion-en-el-clima- 1478.html#comentarios

Sánchez y Carvacho. (2017). *Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la región del libertador general Bernardo O´Higgins, Chile.* Revista de Geografía Norte Grande, 50, 171-186. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022011000300010

SENAGUA, (2015). Estrategia nacional de calidad de agua. Recuperado de: https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2015-2030.pdf.

Sela, G. (2020). *Las necesidades hídricas de los cultivos.* Recuperado de: https://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/water-requirements-of-crops/

10. Anexos

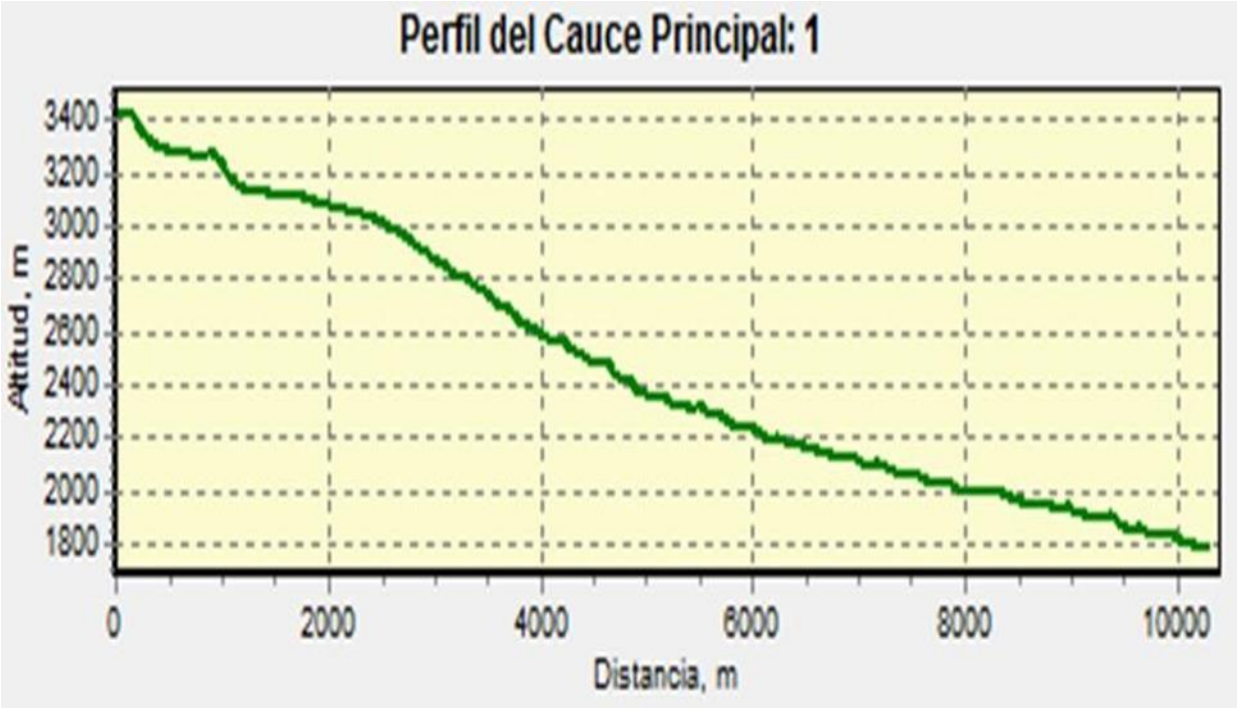
Anexo 1

Parámetros Morfométricos de la microcuenca Uchima

Parámetros de Forma	Valor	Descripción
Área	41.55 Km^2	Cuenca pequeña
Perímetro	28.97 Km	
Factor de forma (Gravelius)	1.27	ovalada
Factor de elongación	0.62	
Parámetros de Relieve	**Valor**	**Descripción**
Pendiente media	64.04%	Pendientes fuertes
Elevación media (Curva hipsométrica)	2807.49 msnm	Cuenca joven (desequilibrio)
Parámetros de Drenaje	**Valor**	**Descripción**
Densidad de drenaje (Horton)	1.32 km/km^2	Baja densidad de drenaje
Densidad de corrientes	1.37corrientes/km^2	
Longitud del cauce	10.29 km	
Pendiente media del cauce	31.37 %	
Tiempo de concentración	81 minutos	

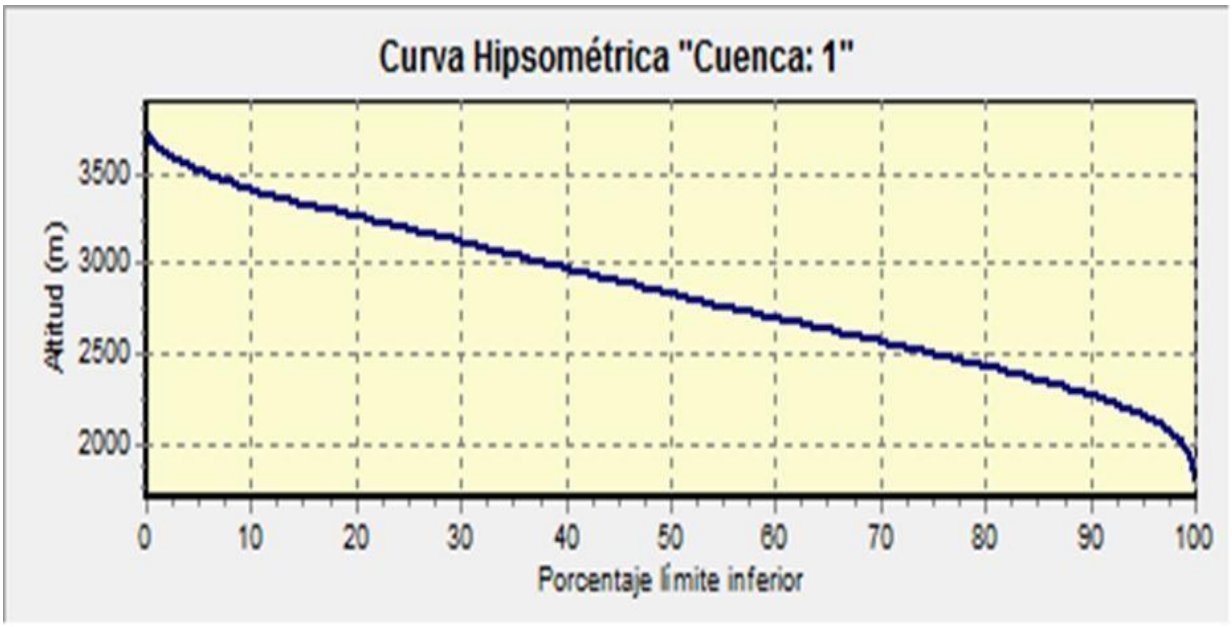
Anexo 2

Perfil del Cauce Principal Generado Mediante el Software Arc Map 10.3



Anexo 3

Curva Hipsométrica de la microcuenca Uchima Generada Mediante el Software Arc Map 10.3



Anexo 4

Estadística Pluviométrica de la Estación La Argelia (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	131,7	161,3	142,8	131,1	77,1	83,0	43,8	33,2	27,1	85,4	107,8	115,0	1139,3
1991	113,1	153,5	197,0	59,6	70,1	64,0	39,2	61,9	30,9	61,0	22,6	66,5	939,4
1992	83,5	125,3	94,1	97,0	57,6	47,7	50,4	15,7	39,4	47,1	103,6	64,5	825,9
1993	85,4	105,4	317,2	93,4	23,4	50,3	62,7	29,2	45,6	91,5	48,0	198,1	1150,2
1994	213,8	77,6	285,5	123,3	54,1	53,8	81,5	69,3	37,0	29,6	42,8	104,6	1172,9
1995	59,8	88,0	93,4	52,8	64,7	10,1	33,6	19,9	22,3	36,8	129,0	121,1	731,5
1996	98,3	126,9	153,2	97,8	30,7	46,5	38,6	34,4	37,1	57,9	13,0	27,0	761,4
1997	68,1	109,2	101,2	69,6	46,2	20,7	50,2	35,2	42,0	59,9	73,9	123,9	800,1
1998	40,4	101,9	136,2	88,5	51,2	75,2	49,5	35,7	31,4	116,7	85,8	39,2	851,7
1999	124,3	299,1	132,2	83,7	120,2	58,9	59,8	50,2	81,7	27,8	48,1	116,7	1202,7
2000	152,1	178,5	192,1	105,5	81,8	86,8	37,1	50,3	67,7	31,6	25,4	57,6	1066,5
2001	82,8	116,6	68,3	69,8	63,7	86,9	81,2	52,1	42,0	33,5	128,8	98,3	924,0
2002	102,0	99,2	53,5	126,7	68,2	39,2	62,8	5,9	18,2	67,7	71,4	70,6	785,4
2003	80,3	113,3	188,0	68,8	92,4	53,9	34,1	6,9	25,0	73,3	56,5	106,8	899,3
2004	48,1	119,0	177,6	198,7	46,5	85,4	47,5	12,1	25,2	125,8	95,3	96,3	1077,5
2005	46,4	134,5	173,6	157,6	33,0	79,0	15,3	13,4	18,1	86,2	62,5	98,3	917,9
2006	138,1	88,8	188,3	82,7	33,6	78,5	33,7	13,2	22,5	37,2	93,1	90,6	900,3
2007	50,1	66,3	93,5	99,1	80,7	120,0	11,3	152,4	55,0	55,7	153,3	77,6	1015,0
2008	62,3	251,0	237,9	137,8	74,6	51,3	89,5	89,7	20,6	136,4	102,9	126,3	1380,3
2009	133,0	90,2	134,4	93,1	43,3	29,8	55,7	61,9	55,6	69,7	26,0	118,4	911,1
2010	59,4	109,6	46,3	75,8	70,7	77,5	31,1	46,2	60,6	34,4	60,0	81,1	752,7
2011	58,2	205,3	131,4	154,5	87,1	56,1	101,0	54,7	89,9	80,9	155,9	163,7	1338,7
2012	147,0	201,6	60,5	97,8	82,1	82,2	16,6	32,0	32,8	116,4	110,1	117,3	1096,4
Total	2178,2	3122,1	3398,2	2364,7	1453,0	1436,8	1126,2	975,5	927,7	1562,5	1815,8	2279,5	22640,2
Media	**94,7**	**135,7**	**147,7**	**102,8**	**63,2**	**62,5**	**49,0**	**42,4**	**40,3**	**67,9**	**78,9**	**99,1**	**984,4**

Fuente: *Anuarios meteorológicos periodo (1990-2012).*

Anexo 5

Estadística Pluviométrica de la Estación Yangana (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	211,5	182,8	152,6	61,7	56,5	24,8	5,5	35,2	127,1	75,4	123,1	477,2	1533,4
1991	73,0	115,6	197,2	90,0	48,4	54,4	21,2	65,9	11,3	64,3	88,5	153,7	983,5
1992	63,6	161,7	112,4	89,0	30,7	86,3	41,6	13,5	58,8	22,3	88,4	69,2	837,5
1993	101,2	153,5	371,0	88,0	31,6	75,6	81,2	26,4	62,4	84,9	103,1	208,0	1386,9
1994	179,0	100,7	200,8	146,6	99,9	86,1	85,9	99,4	76,0	59,8	46,5	65,7	1246,4
1995	41,0	115,6	136,5	82,9	78,4	5,5	41,7	3,9	16,0	72,1	112,0	149,3	854,9
1996	144,5	130,5	225,4	138,7	34,1	41,8	72,0	35,8	35,1	45,2	38,0	25,9	967,0
1997	158,9	63,1	201,1	117,9	72,2	8,2	55,0	72,4	30,6	86,9	58,3	94,1	1018,7
1998	58,9	66,6	159,2	152,1	61,8	63,4	36,4	28,1	16,5	203,6	141,4	130,1	1118,1
1999	188,8	416,8	118,3	101,9	176,6	58,3	62,6	27,1	36,3	15,6	91,4	201,3	1495,0
2000	181,5	294,1	321,6	86,5	114,7	66,3	19,5	47,9	76,5	8,9	7,3	78,4	1303,2
2001	148,7	193,6	127,4	97,4	58,8	240,9	27,9	100,4	47,5	156,9	70,7	87,6	1357,8
2002	57,8	127,6	161,3	165,3	96,5	33,7	55,2	14,5	28,9	127,0	89,6	172,0	1129,3
2003	94,8	89,6	176,9	96,7	178,6	39,3	15,4	3,7	10,2	97,0	129,5	102,5	1034,2
2004	60,5	91,9	147,4	158,5	59,2	68,9	73,1	16,4	24,7	136,2	128,6	187,9	1153,3
2005	63,0	126,0	233,8	120,1	59,8	73,9	15,1	8,1	5,9	286,0	35,6	163,9	1191,2
2006	152,1	326,6	151,1	127,4	32,8	96,0	17,9	9,4	32,4	15,6	42,6	160,0	1163,8
2007	66,7	155,7	142,9	188,4	46,0	118,0	5,9	66,1	58,8	130,8	117,3	100,4	1197,0
2008	194,9	276,0	409,2	126,2	89,1	67,5	69,2	37,0	39,5	106,9	74,4	66,7	1556,6
2009	251,6	239,3	210,7	133,3	62,7	51,1	33,1	48,3	3,2	56,5	127,3	77,9	1295,0
2010	80,8	331,4	67,8	123,7	107,0	78,4	46,2	70,9	16,8	7,7	70,1	82,0	1082,8
2011	126,4	302,3	180,7	149,4	24,5	9,7	243,9	11,2	74,4	95,1	157,9	291,3	1666,8
2012	274,9	291,1	76,7	123,2	28,3	84,4	51,2	38,3	40,4	170,4	179,2	130,3	1488,3
Suma	2974,1	4352,1	4282,0	2764,9	1648,2	1532,5	1176,7	879,9	929,2	2125,1	2120,8	3275,4	28060,7
Media	**129,3**	**189,2**	**186,2**	**120,2**	**71,7**	**66,6**	**51,2**	**38,3**	**40,4**	**92,4**	**92,2**	**142,4**	**1220,0**

Fuente: *Anuarios meteorológicos periodo (1990-2012).*

Anexo 6

Estadística Pluviométrica de la Estación Malacatos (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	105,2	129,4	22,4	279,8	13,2	7,6	21,3	5,7	24,9	78,6	101,9	37,2	827,1
1991	103,2	30,7	233,8	72,6	94,3	0,6	12,1	6,7	51,9	27,4	26,4	15,8	675,5
1992	44,4	22,7	147,2	28,8	17,6	3,3	38,6	12,0	40,8	70,6	52,5	80,1	558,6
1993	64,5	187,7	187,0	68,2	28,5	6,4	48,0	22,4	20,1	134,6	18,9	98,5	884,8
1994	102,2	74,6	78,3	43,0	30,7	8,2	9,6	18,6	4,8	41,8	42,8	63,7	518,3
1995	10,4	81,2	118,5	8,4	2,6	251,8	266,3	6,1	11,3	8,6	62,5	38,8	866,4
1996	38,7	84,1	15,1	41,8	16,2	8,2	9,6	5,8	17,7	68,4	91,1	40,2	436,8
1997	68,1	4,1	40,0	98,6	13,4	7,1	38,4	26,9	18,8	72,1	119,6	41,6	548,8
1998	49,7	136,4	108,6	79,2	10,6	26,1	37,9	27,3	40,7	141,1	78,2	65,5	801,3
1999	95,2	229,0	101,2	64,1	92,0	45,1	45,8	38,4	62,5	21,3	36,8	89,3	920,8
2000	116,4	136,7	147,1	80,8	62,6	66,5	28,4	38,5	51,8	24,2	19,4	44,1	816,5
2001	68,8	47,6	93,9	57,3	67,1	66,5	5,8	39,9	32,2	72,2	19,8	129,4	700,5
2002	44,4	59,1	34,0	154,6	4,5	30,0	7,0	4,5	13,9	118,5	28,2	127,3	626,0
2003	17,6	100,0	108,2	84,7	2,1	41,3	8,1	5,3	19,1	164,8	19,8	27,3	598,3
2004	21,8	29,1	20,4	143,9	31,9	5,1	14,6	7,3	29,4	115,6	151,2	107,4	677,7
2005	21,7	91,4	228,5	41,7	51,4	15,3	17,9	9,3	15,5	103,3	29,2	55,9	681,0
2006	53,3	132,8	222,8	76,9	1,2	38,8	21,1	11,8	1,6	44,2	136,5	136,6	877,6
2007	30,9	53,8	155,2	149,3	46,4	11,6	5,7	14,4	6,2	78,6	142,7	62,2	757,0
2008	45,6	195,7	173,0	83,4	54,1	22,3	5,7	14,7	20,6	162,9	64,5	171,2	1013,7
2009	173,8	164,9	164,0	87,6	58,0	3,8	5,7	6,3	5,3	36,2	8,3	70,0	783,9
2010	3,6	116,5	71,3	80,0	93,3	37,9	25,0	15,9	12,6	46,5	92,2	75,6	670,4
2011	99,8	260,3	109,6	150,8	33,0	19,4	10,1	19,7	52,0	103,3	101,3	116,3	1075,6
2012	234,7	223,7	85,1	154,8	8,5	32,9	31,0	16,3	18,2	72,6	65,6	84,8	1028,2
Suma	1614,0	2591,5	2665,2	2130,3	833,3	755,6	713,7	373,8	571,9	1807,4	1509,5	1778,8	17344,8
Media	**70,2**	**112,7**	**115,9**	**92,6**	**36,2**	**32,9**	**31,0**	**16,3**	**24,9**	**78,6**	**65,6**	**77,3**	**754,1**

Fuente: *Anuarios meteorológicos periodo (1990-2012).*

Anexo 7

Estadística Pluviométrica de la Estación San Francisco (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	281,0	113,3	394,4	167,1	136,4	217,3	220,7	85,5	60,3	102,2	204,3	129,3	2111,8
1991	76,7	173,2	288,8	187,7	196,8	343,8	243,1	177,8	82,6	164,4	90,0	77,5	2102,4
1992	66,5	142,4	183,1	234,6	183,1	227,4	174,8	117,3	206,0	149,6	131,4	133,2	1949,4
1993	166,8	135,3	267,5	186,3	160,9	242,9	155,4	76,8	138,1	182,2	64,9	239,4	2016,5
1994	149,3	69,2	128,5	216,9	141,1	310,7	190,1	198,4	161,4	57,9	81,7	146,2	1851,4
1995	116,0	110,8	138,6	145,2	336,1	168,7	188,7	84,8	103,4	94,5	125,6	157,2	1769,6
1996	56,1	168,8	154,9	208,7	164,0	150,3	239,0	174,8	142,9	173,8	94,7	88,4	1816,4
1997	35,6	212,3	183,8	314,0	371,3	113,2	272,1	201,1	129,6	82,9	150,1	134,7	2200,7
1998	87,3	89,9	150,0	208,0	136,2	320,3	159,7	113,7	82,4	158,6	84,4	113,8	1704,3
1999	199,1	150,0	149,7	347,2	335,5	264,0	288,5	185,2	118,8	84,8	39,1	123,4	2285,3
2000	78,9	127,5	248,4	256,5	361,4	293,0	157,3	220,5	214,7	141,2	90,2	151,6	2341,2
2001	130,0	138,9	118,2	263,9	203,5	485,7	272,5	206,0	175,4	154,0	87,6	114,1	2349,8
2002	75,1	96,6	93,0	294,9	252,7	171,6	384,7	139,6	136,1	123,8	228,1	122,3	2118,5
2003	134,7	110,8	143,4	252,6	517,4	252,8	217,9	124,4	142,6	118,9	85,3	199,2	2300,0
2004	71,5	89,1	266,6	348,8	204,0	477,5	211,5	142,9	119,1	97,4	101,9	146,8	2277,1
2005	94,0	340,4	156,4	444,9	176,7	380,3	190,9	103,7	100,6	122,2	104,8	89,3	2304,2
2006	202,2	213,3	168,9	141,7	222,3	223,5	177,0	141,7	152,2	99,7	109,1	159,7	2011,3
2007	166,5	86,1	181,4	166,7	187,0	507,5	67,3	211,7	180,6	118,3	262,7	100,5	2236,3
2008	106,3	185,3	102,2	151,5	176,9	166,0	308,8	172,6	206,1	211,7	88,3	62,8	1938,5
2009	152,3	157,1	166,9	282,6	210,7	217,8	325,3	222,4	156,0	136,6	111,8	125,6	2265,1
2010	101,0	166,4	136,4	217,2	249,7	424,4	217,0	80,3	190,2	97,4	60,8	65,8	2006,6
2011	145,6	209,8	90,2	229,2	192,2	214,4	403,9	138,4	213,8	84,5	102,6	216,7	2241,3
2012	211,9	154,2	275,0	233,5	307,3	298,0	296,8	205,1	171,7	91,8	155,4	191,9	2592,6
Suma	2904,4	3440,7	4186,3	5499,7	5423,2	6471,1	5363,0	3524,7	3384,6	2848,4	2654,8	3089,4	48790,2
Media	**126,3**	**149,6**	**182,0**	**239,1**	**235,8**	**281,4**	**233,2**	**153,2**	**147,2**	**123,8**	**115,4**	**134,3**	**2121,3**

Fuente: *Anuarios meteorológicos periodo (1990-2012).*

Anexo 8

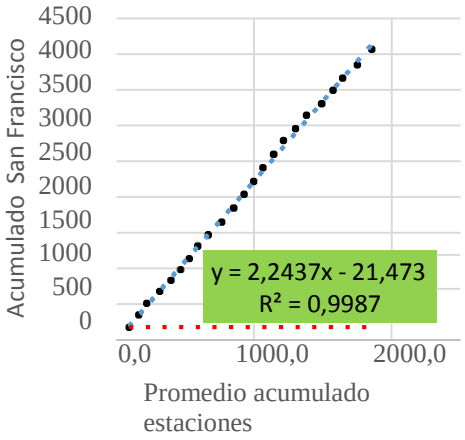
Estadística Pluviométrica de la Estación Quinara (mm)

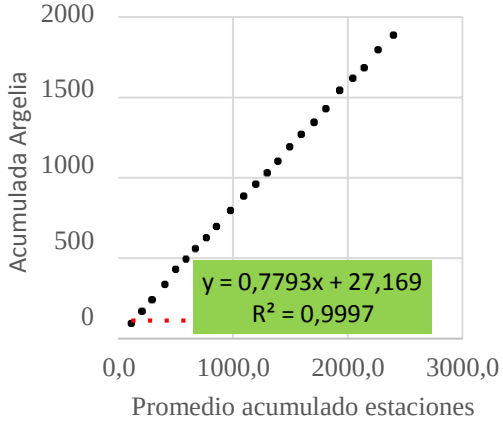
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	104,3	127,8	113,1	103,9	61,1	65,8	34,7	26,3	21,5	67,7	85,4	91,1	902,6
1991	89,6	121,6	156,1	47,2	55,5	50,7	31,1	49,0	24,5	48,3	17,9	52,7	744,2
1992	67,5	78,7	96,4	90,5	38,3	6,2	0,0	5,3	31,2	37,3	82,1	51,1	584,6
1993	165,4	153,3	257,2	83,8	50,9	0,3	2,0	0,0	127,0	135,9	72,5	293,2	1341,5
1994	169,4	61,5	226,2	97,7	42,9	42,6	64,6	54,9	29,3	23,4	33,9	82,9	929,2
1995	30,8	136,2	130,7	107,4	32,6	6,1	4,0	4,2	4,8	74,7	85,7	100,7	717,9
1996	159,0	70,2	193,6	114,1	37,6	59,8	0,8	1,3	2,7	44,8	31,4	21,9	737,2
1997	104,8	102,5	83,1	95,5	9,1	25,7	8,0	6,3	71,1	69,2	125,7	127,0	828,0
1998	32,0	80,7	107,9	70,1	40,6	59,6	39,2	28,3	24,9	92,4	68,0	31,1	674,7
1999	110,1	312,1	181,2	30,4	113,2	9,3	9,3	6,8	50,2	17,6	114,2	154,5	1108,9
2000	131,5	238,5	289,2	87,1	92,1	30,1	2,8	7,6	39,9	3,7	10,8	76,3	1009,6
2001	113,9	99,3	145,5	81,6	41,0	10,3	3,2	0,3	11,0	71,8	18,4	96,7	693,0
2002	79,2	98,8	113,8	126,5	42,8	8,5	2,4	1,2	19,5	100,2	78,0	77,5	748,4
2003	47,1	94,2	220,7	92,8	15,9	3,4	1,5	5,5	28,0	101,9	80,8	73,2	765,0
2004	66,1	91,8	76,3	105,0	34,2	4,4	11,6	9,6	23,7	61,5	162,4	163,3	809,9
2005	31,9	92,6	119,5	108,5	22,7	54,4	10,5	10,6	12,5	59,3	43,0	67,7	633,1
2006	140,4	217,6	271,5	223,1	7,6	68,2	22,6	10,5	2,0	75,0	114,5	167,8	1320,8
2007	64,3	94,0	137,9	114,4	36,2	2,5	11,2	11,0	8,5	81,7	164,8	98,3	824,8
2008	99,8	269,9	268,1	215,9	71,7	23,0	3,1	6,0	7,4	78,6	92,6	113,3	1249,4
2009	136,6	258,2	284,1	120,3	40,6	7,6	8,1	3,1	19,9	24,9	68,3	101,4	1073,1
2010	18,5	161,9	107,7	91,2	50,8	97,7	13,1	9,1	32,4	45,3	107,7	127,2	862,6
2011	119,0	149,5	84,9	207,2	30,2	14,1	16,5	4,0	37,4	103,6	182,0	104,1	1052,5
2012	274,5	281,4	128,7	158,0	13,8	5,1	13,2	25,4	3,0	94,9	261,4	83,8	1343,1
Suma	2355,8	3392,2	3793,3	2572,1	981,3	655,3	313,4	286,2	632,3	1513,8	2101,5	2356,7	20954,0
Media	**102,4**	**147,5**	**164,9**	**111,8**	**42,7**	**28,5**	**13,6**	**12,4**	**27,5**	**65,8**	**91,4**	**102,5**	**911,0**

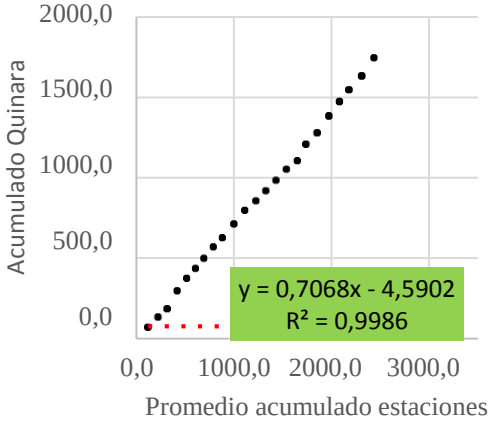
Fuente: *Anuarios meteorológicos periodo (1990-2012)*

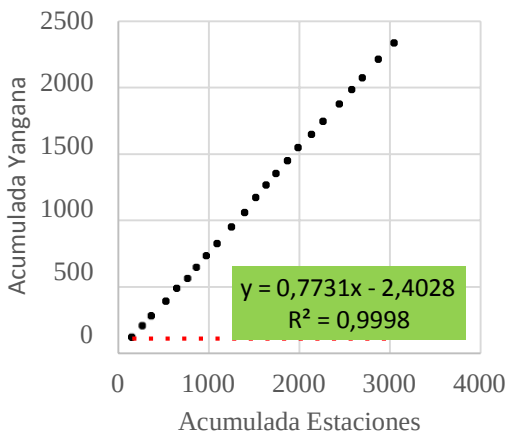
Anexo 9.

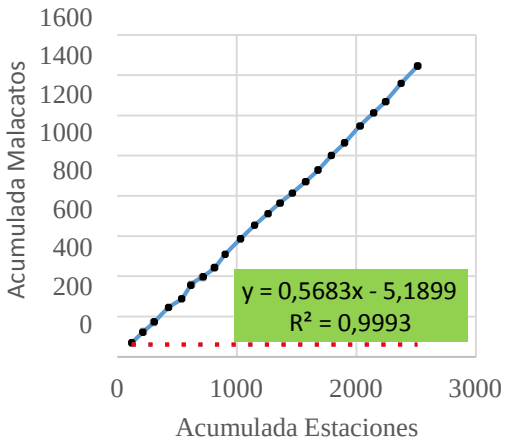
Análisis de Consistencia de Datos








2500
2000
1500
1000
500
0
Acumulada Yangana
y = 0,7731x - 2,4028
R² = 0,9998
0
1000
2000
3000
4000
Acumulada Estaciones


1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Acumulada Malacatos
y = 0,5683x - 5,1899
R² = 0,9993
0
1000
2000
3000
Acumulada Estaciones

Anexo 10

Caudales Medios Generados por el Método Racional para la microcuenca Uchima (m^3/s)

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	1.11	1.34	0.21	2.91	0.28	0.21	0.51	0.17	0.47	0.70	0.89	0.41	**9.20**
1991	1.09	0.32	2.14	0.76	1.98	0.02	0.29	0.20	0.98	0.25	0.23	0.17	**8.41**
1992	0.47	0.24	1.35	0.30	0.37	0.09	0.92	0.36	0.77	0.63	0.46	0.88	**6.82**
1993	0.68	1.95	1.71	0.71	0.60	0.17	1.14	0.67	0.38	1.21	0.16	1.08	**10.46**
1994	1.08	0.78	0.72	0.45	0.64	0.22	0.23	0.55	0.09	0.37	0.37	0.70	**6.20**
1995	0.11	0.84	1.08	0.09	0.05	6.80	6.34	0.18	0.21	0.08	0.54	0.42	**16.76**
1996	0.41	0.87	0.14	0.44	0.34	0.22	0.23	0.17	0.33	0.61	0.79	0.44	**5.00**
1997	0.72	0.04	0.37	1.03	0.28	0.19	0.92	0.80	0.36	0.65	1.04	0.45	**6.84**
1998	0.52	1.42	0.99	0.82	0.22	0.70	0.90	0.81	0.77	1.26	0.68	0.72	**9.83**
1999	1.00	2.38	0.93	0.67	1.93	1.22	1.09	1.14	1.18	0.19	0.32	0.98	**13.02**
2000	1.23	1.42	1.35	0.84	1.31	1.79	0.68	1.15	0.98	0.22	0.17	0.48	**11.61**
2001	0.73	0.49	0.86	0.60	1.41	1.80	0.14	1.19	0.61	0.65	0.17	1.41	**10.04**
2002	0.47	0.61	0.31	1.61	0.09	0.81	0.17	0.13	0.26	1.06	0.25	1.39	**7.17**
2003	0.19	1.04	0.99	0.88	0.04	1.11	0.19	0.16	0.36	1.48	0.17	0.30	**6.91**
2004	0.23	0.30	0.19	1.50	0.67	0.14	0.35	0.22	0.56	1.04	1.32	1.17	**7.67**
2005	0.23	0.95	2.09	0.43	1.08	0.41	0.42	0.28	0.29	0.93	0.25	0.61	**7.98**
2006	0.56	1.38	2.04	0.80	0.03	1.05	0.50	0.35	0.03	0.40	1.19	1.49	**9.82**
2007	0.33	0.56	1.42	1.55	0.97	0.31	0.14	0.43	0.12	0.70	1.24	0.68	**8.45**
2008	0.48	2.03	1.58	0.87	1.13	0.60	0.14	0.44	0.39	1.46	0.56	1.87	**11.56**
2009	1.83	1.71	1.50	0.91	1.22	0.10	0.14	0.19	0.10	0.32	0.07	0.76	**8.86**
2010	0.04	1.21	0.65	0.83	1.95	1.02	0.60	0.47	0.24	0.42	0.80	0.83	**9.06**
2011	1.05	2.70	1.00	1.57	0.69	0.52	0.24	0.59	0.98	0.93	0.88	1.27	**12.43**
2012	2.48	2.32	0.78	1.61	0.18	0.89	0.74	0.48	0.34	0.65	0.57	0.93	**11.97**
Suma	17.02	26.93	24.40	22.17	17.46	20.41	16.99	11.12	10.80	16.19	13.15	19.44	**216.08**
Media	**0.74**	**1.17**	**1.06**	**0.96**	**0.76**	**0.89**	**0.74**	**0.48**	**0.47**	**0.70**	**0.57**	**0.85**	**9.39**
Máxima	2.48	2.70	2.14	2.91	1.98	6.80	6.34	1.19	1.18	1.48	1.32	1.87	**16.76**
Mínima	0.04	0.04	0.14	0.09	0.03	0.02	0.14	0.13	0.03	0.08	0.07	0.17	**5.00**
Desv.M	0.58	0.74	0.61	0.61	0.64	1.39	1.26	0.33	0.33	0.41	0.38	0.43	**2.66**
Cv	0.78	0.64	0.58	0.63	0.84	1.57	1.71	0.69	0.70	0.58	0.67	0.51	**0.28**

Anexo 11

Caudales Medios Generados Mediante el Método del Polinomio Ecológico para la microcuenca Uchima (m^3/s)

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	1.11	1.34	0.21	2.91	0.28	0.21	0.51	0.17	0.47	0.70	0.89	0.41	**9.20**
1991	1.09	0.32	2.14	0.76	1.98	0.02	0.29	0.20	0.98	0.25	0.23	0.17	**8.41**
1992	0.47	0.24	1.35	0.30	0.37	0.09	0.92	0.36	0.77	0.63	0.46	0.88	**6.82**
1993	0.68	1.95	1.71	0.71	0.60	0.17	1.14	0.67	0.38	1.21	0.16	1.08	**10.46**
1994	1.08	0.78	0.72	0.45	0.64	0.22	0.23	0.55	0.09	0.37	0.37	0.70	**6.20**
1995	0.11	0.84	1.08	0.09	0.05	6.80	6.34	0.18	0.21	0.08	0.54	0.42	**16.76**
1996	0.41	0.87	0.14	0.44	0.34	0.22	0.23	0.17	0.33	0.61	0.79	0.44	**5.00**
1997	0.72	0.04	0.37	1.03	0.28	0.19	0.92	0.80	0.36	0.65	1.04	0.45	**6.84**
1998	0.52	1.42	0.99	0.82	0.22	0.70	0.90	0.81	0.77	1.26	0.68	0.72	**9.83**
1999	1.00	2.38	0.93	0.67	1.93	1.22	1.09	1.14	1.18	0.19	0.32	0.98	**13.02**
2000	1.23	1.42	1.35	0.84	1.31	1.79	0.68	1.15	0.98	0.22	0.17	0.48	**11.61**
2001	0.73	0.49	0.86	0.60	1.41	1.80	0.14	1.19	0.61	0.65	0.17	1.41	**10.04**
2002	0.47	0.61	0.31	1.61	0.09	0.81	0.17	0.13	0.26	1.06	0.25	1.39	**7.17**
2003	0.19	1.04	0.99	0.88	0.04	1.11	0.19	0.16	0.36	1.48	0.17	0.30	**6.91**
2004	0.23	0.30	0.19	1.50	0.67	0.14	0.35	0.22	0.56	1.04	1.32	1.17	**7.67**
2005	0.23	0.95	2.09	0.43	1.08	0.41	0.42	0.28	0.29	0.93	0.25	0.61	**7.98**
2006	0.56	1.38	2.04	0.80	0.03	1.05	0.50	0.35	0.03	0.40	1.19	1.49	**9.82**
2007	0.33	0.56	1.42	1.55	0.97	0.31	0.14	0.43	0.12	0.70	1.24	0.68	**8.45**
2008	0.48	2.03	1.58	0.87	1.13	0.60	0.14	0.44	0.39	1.46	0.56	1.87	**11.56**
2009	1.83	1.71	1.50	0.91	1.22	0.10	0.14	0.19	0.10	0.32	0.07	0.76	**8.86**
2010	0.04	1.21	0.65	0.83	1.95	1.02	0.60	0.47	0.24	0.42	0.80	0.83	**9.06**
2011	1.05	2.70	1.00	1.57	0.69	0.52	0.24	0.59	0.98	0.93	0.88	1.27	**12.43**
2012	2.48	2.32	0.78	1.61	0.18	0.89	0.74	0.48	0.34	0.65	0.57	0.93	**11.97**
Suma	17.02	26.93	24.40	22.17	17.46	20.41	16.99	11.12	10.80	16.19	13.15	19.44	**216.08**
Media	**0.74**	**1.17**	**1.06**	**0.96**	**0.76**	**0.89**	**0.74**	**0.48**	**0.47**	**0.70**	**0.57**	**0.85**	**9.39**
Máxima	2.48	2.70	2.14	2.91	1.98	6.80	6.34	1.19	1.18	1.48	1.32	1.87	**16.76**
Mínima	0.04	0.04	0.14	0.09	0.03	0.02	0.14	0.13	0.03	0.08	0.07	0.17	**5.00**
Desv.M	0.58	0.74	0.61	0.61	0.64	1.39	1.26	0.33	0.33	0.41	0.38	0.43	**2.66**
Cv	0.78	0.64	0.58	0.63	0.84	1.57	1.71	0.69	0.70	0.58	0.67	0.51	**0.28**

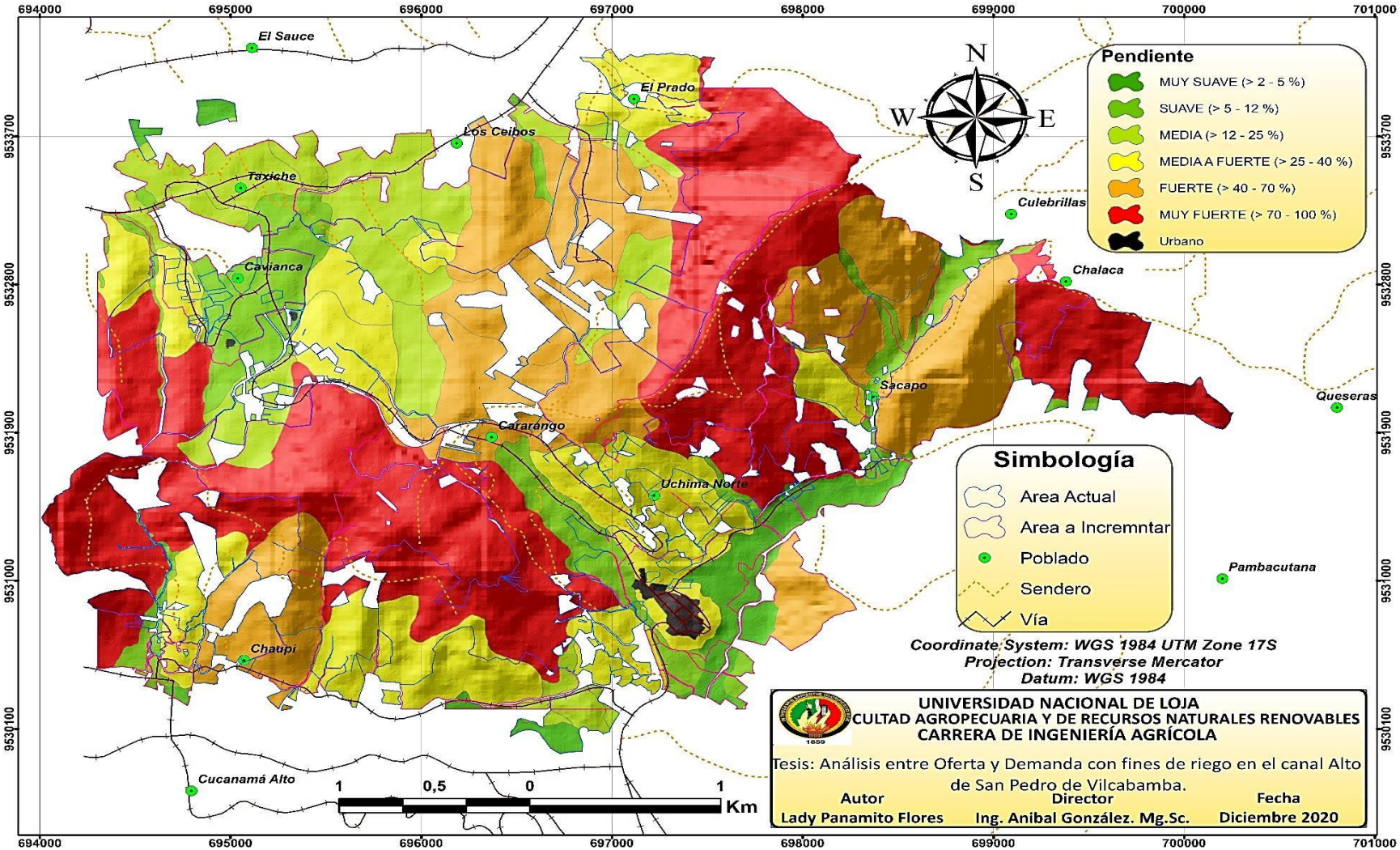
Anexo 12

Caudales Generados Mediante el Criterio del Coeficiente de Escorrentía para la microcuencaUchima (m^3/s)

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	1,2	1,4	1,6	2,3	1.6	2.8	0,1	0,9	0,6	0,6	0,8	1,6	**15,4**
1991	1,7	1,3	2,2	2,6	1,5	2.4	0,1	0,4	1,2	0,4	0,7	1,1	**15,6**
1992	1,0	1,6	2,5	2,2	1,8	2.0	0,2	0,5	0,8	0,5	0,9	0,7	**14,7**
1993	0,6	1,5	1,9	2.6	1,3	2.5	0,2	0,6	0,6	1,0	1,2	0,8	**14,9**
1994	0,9	1,8	1,7	1,7	1.7	2.9	0,0	0,8	0,4	0,8	0,6	0,5	**14,0**
1995	0,7	1,9	1,6	1,1	1,8	1,7	1,2	1,3	0,1	0,5	1,4	0,7	**14,1**
1996	0,3	0,7	0,9	0,7	0,7	1,8	1,6	1,1	1,1	0,6	0,7	0,7	**10,9**
1997	0,6	1,3	0,7	0,8	0,1	0,6	0,7	0,2	1,4	1,3	0,9	1,3	**10,0**
1998	0,4	1,8	1,0	0,6	0,1	0,4	0,5	0,2	0,7	1,5	0,6	1,5	**9,4**
1999	0,8	1,8	0,9	0,5	0,9	0,2	0,2	0,2	0,5	0,6	0,3	0,7	**7,8**
2000	1,0	1,6	1,8	0,7	0,6	0,3	0,1	0,2	0,4	0,5	0,1	0,6	**8,1**
2001	0,6	0,4	0,9	0,5	0,6	0,3	1,4	0,2	0,3	0,9	0,2	1,1	**7,4**
2002	0,4	0,5	0,3	1,3	0,0	0,2	1,7	1,3	0,1	0,8	0,2	1,1	**9,7**
2003	0,6	0,8	1,0	1,7	0,0	0,2	1,3	1,5	0,5	1,4	0,2	0,6	**10,9**
2004	0,9	0,2	1,5	1,2	0,3	1,3	0,5	1,7	0,2	0,8	1,5	0,9	**11,1**
2005	0,4	0,7	2,1	0,3	0,5	0,5	0,8	0,8	0,1	0,7	0,2	1,6	**8,9**
2006	0,5	1,1	2,1	0,6	1,4	0,2	0,6	0,4	0,5	0,5	1,0	1,1	**10,1**
2007	0,3	1,4	1,4	1,2	0,4	0,1	1,2	0,3	0,7	0,6	1,6	1,6	**10,9**
2008	0,4	1,6	1,6	0,7	0,5	0,1	1,8	0,	1,2	1,2	0,7	1,4	**11,8**
2009	1,5	1,3	1,5	0,7	0,5	1,6	1,7	0,4	1,0	0,7	0,1	0,6	**11,7**
2010	1,8	1,9	1,7	0,6	0,9	0,7	0,7	0,3	0,1	0,4	0,7	0,6	**10,5**
2011	1,9	2,1	1,0	1,2	0,7	0,1	0,5	0,7	0,4	0,7	0,8	1,0	**11,1**
2012	2,1	1,8	0,8	1,3	0,1	0,2	0,9	0,3	0,1	0,5	0,5	0,7	**9,8**
TOTAL	20,9	30,4	33,8	27,1	20,4	23.2	3,3	2,3	4,5	12,9	11,4	14,8	**258,7**
MED	0,9	1,3	1,5	1,2	0,9	1,0	0,1	0,1	0,2	0,6	0,5	0,6	11,2
MAX	**2,1**	**2,1**	**2,5**	**2,6**	**1,8**	**2,9**	**1,2**	**0,2**	**0,5**	**1,2**	**1,1**	**1,4**	**15,6**
MIN	0,3	0,2	0,7	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	7,4
DS	0,54	0,54	0,49	0,69	0,53	0,98	0,24	0,07	0,14	0,32	0,33	0,33	2,45
CV	0,60	0,41	0,34	0,59	0,60	0,97	1,71	0,69	0,70	0,58	0,67	0,51	0,21

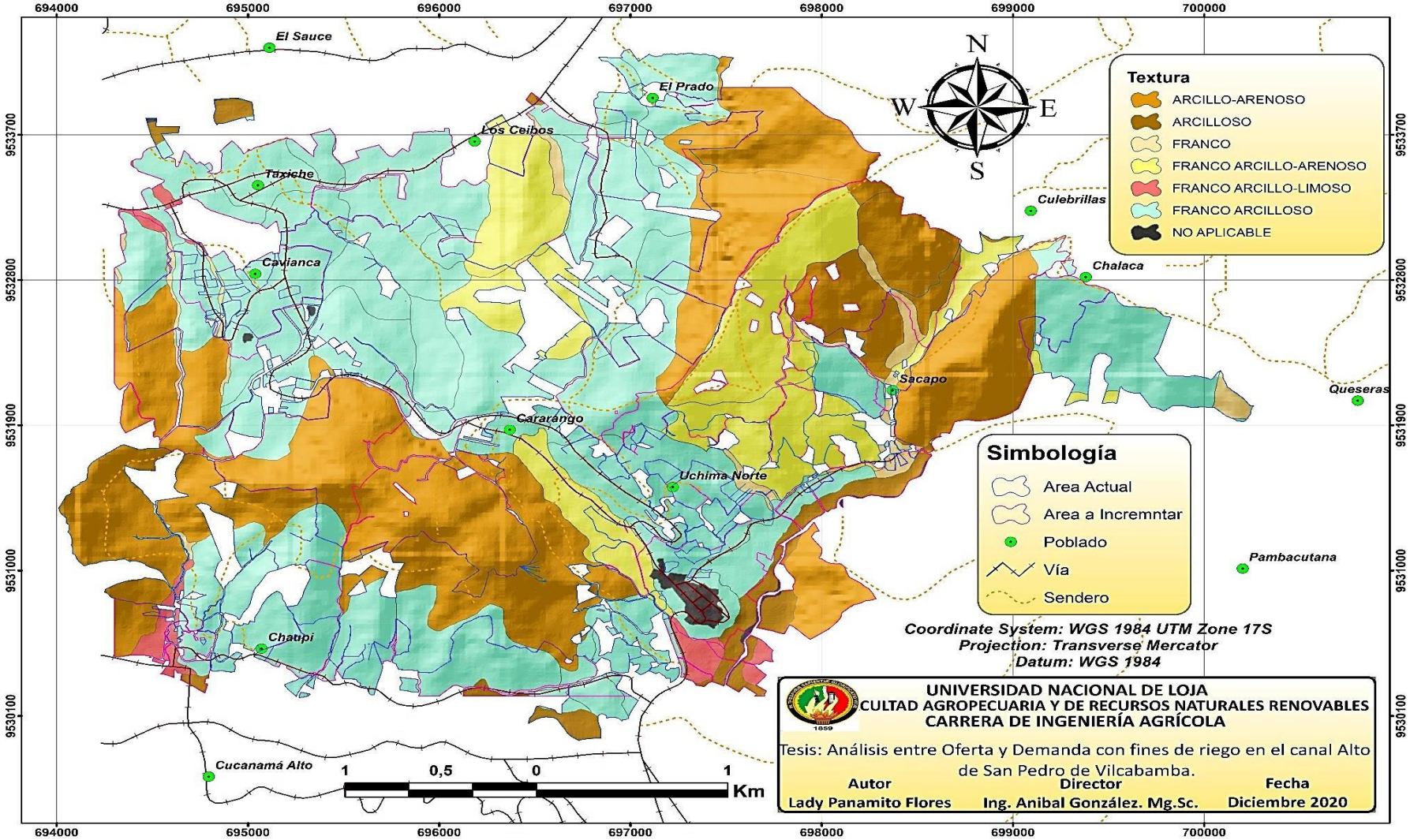
Anexo 13

Distribución Espacial de las Pendientes Encontradas en la Zona de Riego Actual y en el Área Propuesta para Incrementar.



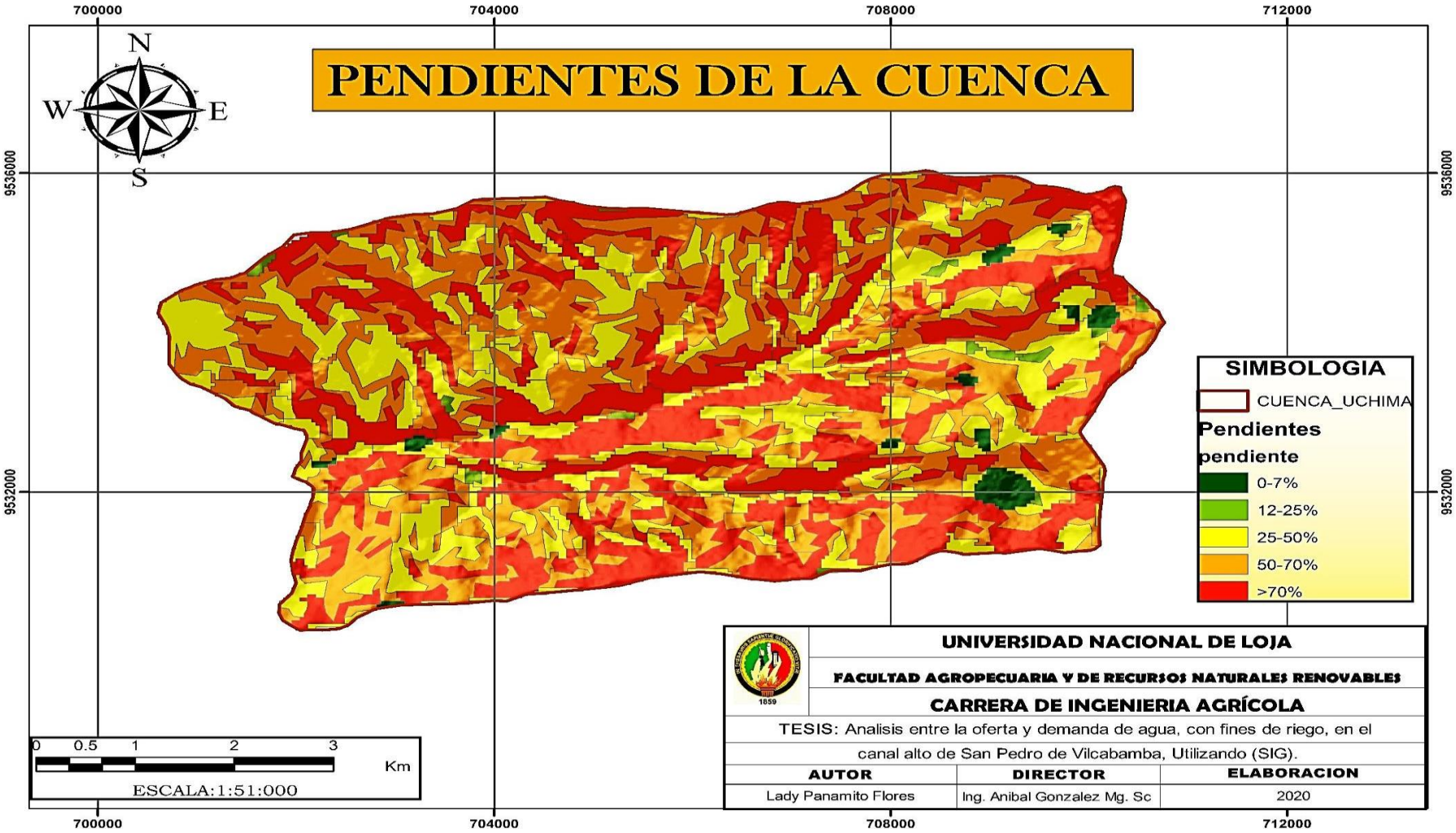
Anexo 14

Distribución Espacial de la Profundidad Efectiva Encontrada en la Zona de Riego



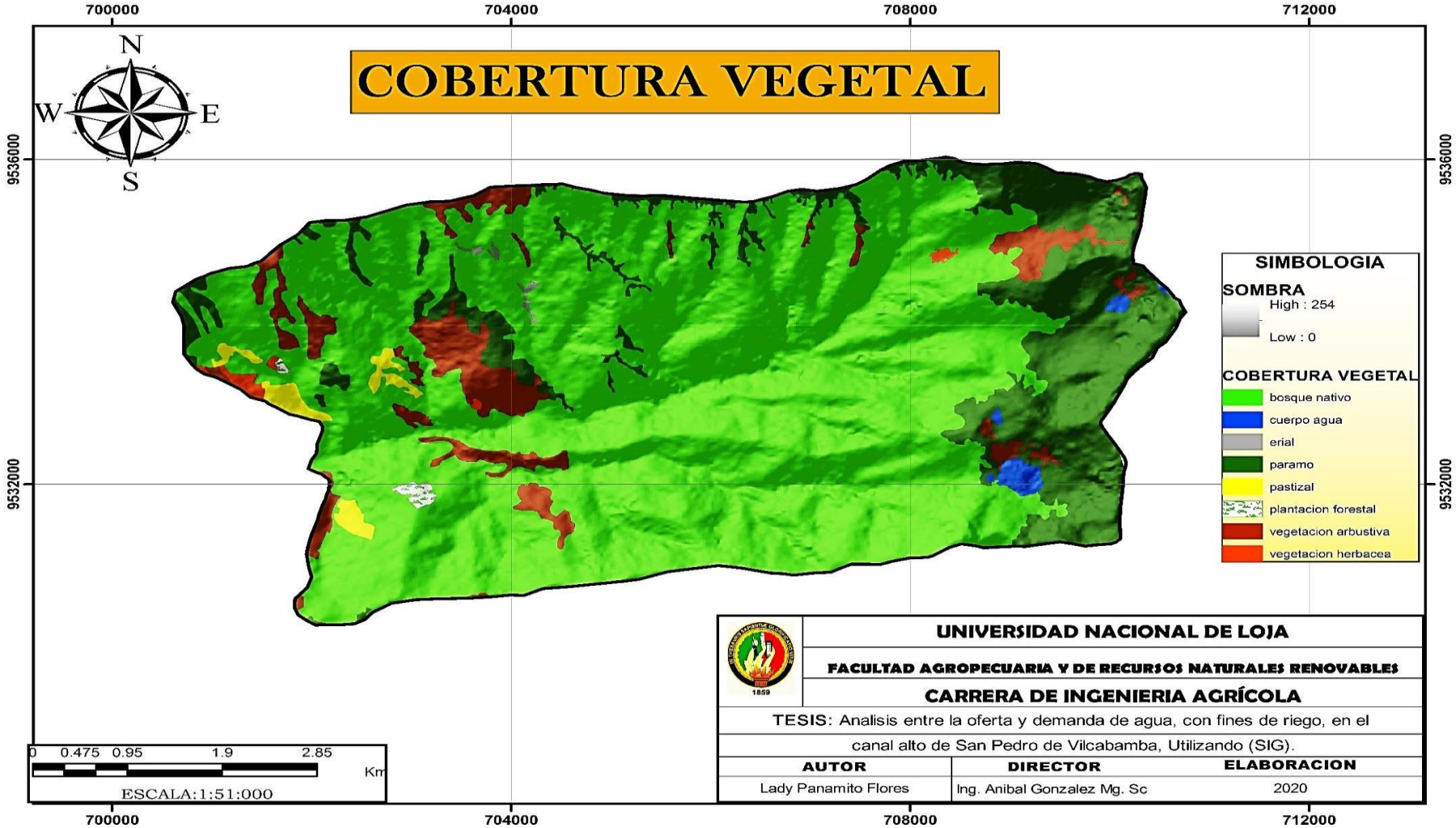
Anexo 15

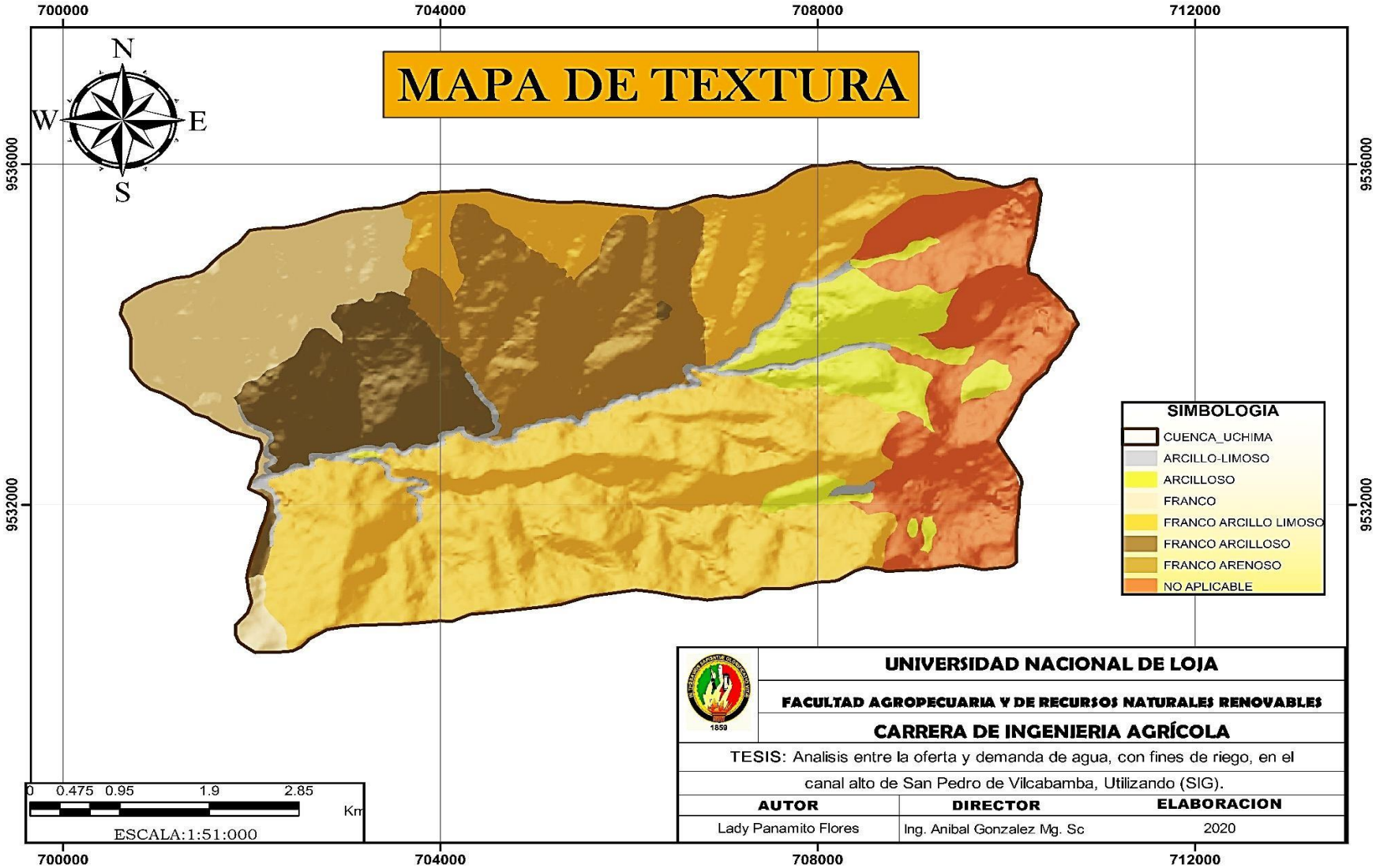
Mapa de Pendientes de la Microcuenca Uchima.



Anexo 16

Mapa de Cobertura Vegetal de la Microcuenca Uchima



Anexo 17

Mapa de Textura de la Microcuenca Uchima.