UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

INGENIERÍA AGRÍCOLA

"ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD Y DEMANDA HÍDRICA EN EL SISTEMA DE RIEGO PAQUISHAPA"

Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniera Agrícola

AUTORA:

Paola Nicole Maldonado Soto

DIRECTOR:

Ing. Aníbal González G, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2017

Ing. Aníbal González González, Mg. Sc.,

DOCENTE DE LA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CERTIFICACIÓN

En calidad de director de la tesis titulada **"ANALISIS DE LA DISPONIBILIDAD Y DEMANDA HÍDRICA EN EL SISTEMA DE RIEGO PAQUISHAPA"**, de la autoría de la señorita egresada de la carrera de Ingeniería Agrícola: PAOLA NICOLE MALDONADO SOTO, certifico que ha sido dirigida, revisada y aprobada en su integridad, por lo que considero que es pertinente y adecuada, encontrándose dentro del cronograma establecido para su ejecución; autorizando su presentación al respectivo tribunal, para los fines pertinentes.

Loja, 14 de Octubre del 2017

.....

Mg. Sc., Aníbal González González,

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN TRIBUNAL

El Tribunal Calificador de la tesis Titulada **"ANALISIS DE LA DISPONIBILIDAD Y DEMANDA HÍDRICA EN EL SISTEMA DE RIEGO PAQUISHAPA"** de autoría de la señorita egresada de la carrera de Ingeniería Agrícola: PAOLOA NICOLE MALDONADO SOTO, certifica que se han incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto se autoriza a la señorita egresada su publicación y difusión.

Loja, 12 de Diciembre del 2017

Atentamente

Ing. Marco Reinoso Acaro Mg. Sc
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc.
VOCAL DE TRIBUNAL

.....

Ing. Wilman Aldeán Guamán Mg. Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL

.....

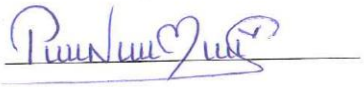
AUTORÍA

Yo, Paola Nicole Maldonado Soto, declaro ser autor del presente trabajo de tesis titulada **"ANALISIS DE LA DISPONIBILIDAD Y DEMANDA HÍDRICA EN EL SISTEMA DE RIEGO PAQUISHAPA"** 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.

Los comentarios, criterios y resultados vertidos en la presente investigación, son responsabilidad exclusiva del autor, excepto los conceptos, citas textuales y referencias, obtenidas de la bibliografía consultada y citada durante el desarrollo de la tesis en la bibliografía correspondiente.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación del presente trabajo investigativo en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Paola Nicole Maldonado Soto

Firma: 

Cedula: 1104211659

Fecha: Loja, 12 de diciembre de 2017

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL Y PUBLICACION ELECTRONICA DEL TECTO COMPLETO

Yo, Paola Nicole Maldonado Soto, declaro ser autor de la tesis titulada **"ANALISIS DE LA DISPONIBILIDAD Y DEMANDA HÍDRICA EN EL SISTEMA DE RIEGO PAQUISHAPA"**, como requisito para optar al grado de Ingeniero 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 en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tengo 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 12 días del mes de dicimbre del dos mil diecisiete, firma el autor:

Firma: _____

Autor: **Paola Nicole Maldonado Soto**
C.I.: **1104211659**
Dirección: **Barrio Daniel Álvarez**
Email: pao48_nik@hotmail.com
Teléfono: **0985172281**

Director de tesis: **Ing.** Aníbal González González, Mg. Sc.
Tribunal de grado: **Ing.** Ing. Marco Reinoso Acaro Mg. Sc
Ing. Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc
Ing. Ing. Wilman Aldeán Guamán Mg. Sc.

Agradecimiento

"Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas." (Josué 1:9 RV). La vida está llena de metas y es una satisfacción saber que se logró cumplirlas; por ello quiero agradecer a Dios por su infinito amor y darme la fuerza necesaria para culminar con una de mis metas.

De igual manera a mis padres queridos Ermel, Patricia y Gustavo por su ejemplo de vida a seguir, a no rendirme en situaciones difíciles, por su apoyo incondicional, y sobre todo su paciencia, a mis abuelitas Rosa y Dina que me han apoyado en todo momento, velando siempre por mi ante todo, a mis hermanos Pablo, Sarai e Isaac, que me dieron el motivo para seguir adelante y superarme, a mi tía María Dolores por su apoyo y sus palabras en el transcurso de mi carrera, a mis tíos, primos, abuelitos y demás familiares que son parte de mi diario crecer como persona.

A la Universidad Nacional de Loja, en especial a la Carrera de Ingeniería Agrícola que me brindaron lo necesario para formarme como profesional, a cada uno de los docentes y personal administrativo que fueron parte de mi pasar por la carrea, por sus palabras de aliento, paciencia y esfuerzo.

Un inmenso agradecimiento al Ingeniero Aníbal González director de la presente investigación, por ofrecerme sus conocimientos, confianza y apoyo para realizar y culminar con el mismo.

Mi gratitud a Caro, Gaby, July, Paulina, Edwin y Darwin, por su apoyo incondicional en este arduo trabajo, por su apoyo, paciencia y motivación que me brindaron de todo corazón.

Agradezco a cada persona que con sus oraciones, y sabios consejos, me han guiado hasta el fin de mi formación profesional. A mis amigos(as) y compañeros(as) por su apoyo y amistad.

Paola Maldonado Soto

Dedicatoria

Con todo mi amor a Dios mi refugio, por haberme dado la vida, salud y fortaleza en todo, momento, por guiarme y sobre todo por permitirme ser parte de su gran obra, y dejarme conocer a su hijo amado, mi salvador Jesucristo.

A Ermel, Paty y Gustavo mis padres queridos por su esfuerzo, y lucha constante para sacarme adelante, por ser el mejor ejemplo a seguir de humildad, perseverancia, respeto, paciencia y honestidad, que día a día me recuerdan que me aman y todo lo puedo lograr con esfuerzo.

A mis queridos hermanos Pablo, Sarai e Isaac por estar en los momentos menos esperados pero precisos, por enseñarme amar y perdonar en nuestras batallas. A mi abuelita Rosa, Dina y Libia que con consejos de sabiduría me impulsaron a seguir a delante, y que la vida es hermosa y hay que aprovecharla segundo a segundo.

A mis primos, tíos, abuelitos y amigos, por compartir conmigo momentos de alegría y de tristezas, y supieron estar incondicionalmente para apoyarme
y levantarme luego de cada caída.

Con mucho amor

Paola...

Índice de contenidos

Agradecimiento ..... **I**

dedicatoria ..... **II**

índice de contenidos ..... **III**

índice de tablas ..... **VII**

índice de figuras ..... **IX**

índice de mapas ..... **X**

índice de anexos ..... **XI**

resumen ..... **XIII**

Summary……..…**xv**

1. Introducción **1**

2. Revisión de literatura **3**

2.1. Aspectos generales sobre planeación de los recursos hidráulicos **3**

2.2. Estimación de la disponibilidad de agua **4**

2.2.1. Cuencas hidrográficas. **4**

2.2.1.1. Características físicas y morfométricas de la cuenca. **5**

2.2.1.2. Precipitación. **5**

2.2.1.3. Escurrimientos. **7**

2.2.1.4. Curva de duración general. **10**

2.2.1.5. Curva de variación estacional. **11**

2.2.1.6. Índice de retención y regulación hídrica (IRH). **12**

2.3. Necesidades hídricas **12**

2.3.1. Evapotranspiración. **13**

2.3.1.1. Evapotranspiración de referencia (ETo) **13**

2.3.1.2. Coeficiente de cultivo (Kc). **16**

2.3.1.3. Evapotranspiración de los cultivos (ETc). **16**

2.3.2. Precipitación efectiva **17**

2.3.3. Patrón de cultivos. **17**

2.3.4. Requerimientos de riego de los cultivos. **18**

2.3.4.1. Lamina neta (Ln) **18**

2.3.4.2. Lamina bruta (Lb) **19**

2.3.5. Programación de riego. **20**

2.3.5.1. Contenido de agua en el suelo. **20**

2.3.5.2. Estado hídrico de la planta. **21**

2.3.5.3. Parámetros climáticos. **21**

2.3.6. Eficiencia de riego (Efa). 22
2.3.7. Frecuencia de riego (Fr) y tiempo de riego (Tr). 22
2.4. Requerimientos de agua para programación de riego 23
2.4.1. Tipos de programación de entrega. 23
2.4.1.1. Riego integral, complementario y suplementario 24
2.5. Sistemas de información geográfica (SIG) 25
3. Materiales y metodología 27
3.1. Materiales de oficina 27
3.2. Materiales de campo. 27
3.3. Ubicación del área de estudio 27
3.3.1. Cuenca de captación ramas 28
3.3.2. Zona de riego 28
3.4. Descripción del sistema de riego paquishapa 28
3.4.1. Obra de toma 29
3.4.1. Características hidráulicas del canal principal 30
3.4.2. Descripción del canal secundario 31
3.4.3. Geología. 33
3.4.4. Geomorfología. 33
3.4.5. Clima. 34
3.4.6. Suelo. 35
3.5. Metodología 35
3.5.1. Estimar la disponibilidad del recurso hídrico de la cuenca que abastece al sistema de riego Paquishapa. 35
3.5.1.1. Análisis morfométrico de la microcuenca. 35
3.5.1.2. Estimación de la precipitación media mensual. 42
3.5.1.3. Estimación de caudales medios mensuales 47
3.5.1.4. Curva de duración general. 51
3.5.1.5. Curva de variación estacional. 51
3.5.1.6. Índice de retención y regulación hídrica (IRH). 52
3.5.2. Análisis de la demanda del recurso hídrico de los cultivos en la zona de riego del sistema de riego Paquishapa. 54
3.5.2.1. Delimitación y catastro de la zona de riego. 54
3.5.2.2. Precipitación media mensual en la zona de riego. 54
3.5.2.3. Temperatura de la zona de riego. 55
3.5.2.4. Evapotranspiración de referencia (ETo) 56

3.5.2.5. Coeficiente de cultivo (Kc). 57
3.5.2.6. Evapotranspiración del cultivo (ETc). 57
3.5.2.7. Precipitación efectiva. 58
3.5.2.8. Requerimientos de riego. 59
3.5.2.9. Índice de aridez (Ia). 59
3.5.2.10. Índice de escasez de agua (IEA) 60
3.5.3. Formular una propuesta preliminar de programación de riego para el sistema de riego Paquishapa. 61
3.5.3.1. Factores para la programación de riego 61
3.5.3.2. Propuesta para el sistema de riego paquishapa. 65
4. Resultados y discusión 66
4.1. Disponibilidad del recurso hídrico de la microcuenca que abastece al sistema de riego Paquishapa. 66
4.1.1. Ubicación de la microcuenca de captación. 66
4.1.2. Morfométria de la microcuenca Ramas. 66
4.1.3. Disponibilidad del recurso hídrico. 69
4.1.3.1. Precipitación media mensual de la microcuenca Ramas. 70
4.1.3.2. Caudal de la quebrada Ramas 74
4.1.3.3. Curva de duración general. 77
4.1.3.4. Índice de retención y regulación hídrica (IRH). 78
4.1.3.5. Curva de variación estacional. 78
4.2. Analizar la demanda del recurso hídrico de los cultivos en la zona de riego del sistema Paquishapa 79
4.2.1. Precipitación media de la zona de riego 79
4.2.2. Patrón de cultivos 81
4.2.3. Evapotranspiración de la zona de riego(ETo) 84
4.2.4. Coeficiente del cultivo (Kc) 85
4.2.5. Evapotranspiración del cultivo (ETc) y precipitación efectiva 85
4.2.6. Necesidades de riego 86
4.2.7. Requerimiento de riego 87
4.2.8. Índice de escasez de agua (IEA) 87
4.2.9. Índice de aridez (Ia) 88
4.3. Formular una propuesta preliminar de programación de riego para el sistema de riego Paquishapa 88
4.3.1. Propuesta de programación de riego para el patrón de cultivos actual 88

4.3.1.1. Lamina neta (Ln) 88
4.3.1.2. Frecuencia de riego (Fr) 89
4.3.1.3. Tiempo de riego (Tr) 90
4.3.1.4. Programación de riego 91
4.3.2. Propuesta de programación de riego. 92
4.3.2.1. Patrón de cultivos 93
4.3.2.2. Coeficiente de cultivo (Kc) 96
4.3.2.3. Evapotranspiración de cultivo (ETc) 96
4.3.2.4. Necesidad de riego 97
4.3.2.5. Requerimientos de riego 98
4.3.2.6. Índice de escasez (IEA) 98
4.3.2.7. Lámina neta (Ln) 98
4.3.2.8. Frecuencia de riego (Fr) 99
4.3.2.9. Tiempo de riego (Tr) 100
4.3.2.10. Propuesta de programación 101
5. Conclusiones 103
6. Recomendaciones 105
7. Bibliografía 106
8. Anexos 110

Índice de tablas

Tabla 1. **Clases de forma de una cuenca hidrográfica** **37**
Tabla 2. **Índice de forma de una cuenca hidrográfica** **38**
Tabla 3. **Densidad de drenaje para cuencas hidrográficas.** **41**
Tabla 4. **Estaciones meteorológicas** **43**
Tabla 6. **Rangos para el índice de aridez (Ia).** **60**
Tabla 7. **Coeficientes para el índice de escasez de agua (IEA).** **61**
Tabla 8. **Relación evapotranspiración-precipitación (ETo/pp).** **75**
Tabla 9. **Estadística de caudales de la quebrada Ramas mediante el método de polinomio ecológico.** **76**
Tabla 10. **Rango de caudales para la elaboración de la curva de duración general.** **77**
Tabla 11. **Precipitación de la zona de riego (mm)** **80**
Tabla 12. **Patrón de cultivos.** **82**
Tabla 13. **Área y fecha de siembra.** **82**
Tabla 14. **Evapotranspiración de la zona de riego (mm/mes)** **84**
Tabla 15. **Valores de Kc para el patrón de cultivos** **85**
Tabla 16. **Valores de evapotranspiración para el patrón de cultivos (mm/día)** **86**
Tabla 17. **Precipitación efectiva en la zona de riego.** **86**
Tabla 18. **Necesidades de riego (mm/día)** **87**
Tabla 19. **Requerimientos de riego** **87**
Tabla 20. **Lamina neta (Ln)** **89**
Tabla 21. **Frecuencia de riego (días)** **89**
Tabla 22. **Número de riegos al mes** **90**
Tabla 23. **Tiempo de riego (minutos)** **90**
Tabla 24. **Programación de riego, para el patrón de cultivos actual.** **92**
Tabla 25. **Propuesta de patrón de cultivos.** **93**
Tabla 26. **Propuesta de cultivos para el sistema de riego.** **96**
Tabla 27. **Valores de Kc para patrón de cultivo propuesto.** **96**
Tabla 28. **Evapotranspiración de cultivo (mm/día)** **97**
Tabla 29. **Necesidades de riego (mm/día)** **97**
Tabla 30. **Requerimiento de riego.** **98**
Tabla 31. **Valores de lámina neta** **99**
Tabla 32. **Frecuencia de riego (días)** **100**
Tabla 33. **Número de riegos al mes** **100**

Tabla 34. **Tiempo de riego (min). 101**

Tabla 35. **Propuesta de programación de riego. 102**

Índice de figuras

Figura 1. **Canal abierto.** **30**
Figura 2. **Canal embaulado** **31**
Figura 3. **Túnel** **31**
Figura 4. **Tipos de curva hipsométrica.** **39**
Figura 5. **Plano cartesiano utilizado en la aplicación del método U.S. National Weather Service.** **44**
Figura 6. **Representación del volumen Vt y Vp, en la curva de duración general** **53**
Figura 7. **Curva Kc del cultivo.** **57**
Figura 8. **Curva hipsométrica de la microcuenca Ramas.** **67**
Figura 9. **Perfil del cauce principal.** **69**
Figura 10. **Histograma de distribución plurianual de la microcuenca ramas** **73**
Figura 11. **Histograma de distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca Ramas.** **73**
Figura 12. **Curva de caudales.** **74**
Figura 13. **Curva de duración general.** **77**
Figura 14. **Curva de variación estacional.** **78**
Figura 15. **Histograma de distribución de la precipitación media mensual de la zona de riego.** **81**
Figura 16. **Relación entre precipitación y evapotranspiración.** **84**

Índice de mapas

Mapa 1. **Mapa de ubicación del área de estudio. 29**

Mapa 2. **Sistema de riego Paquishapa. 32**

Mapa 3. **Mapa geológico de la parroquia Urdaneta 33**

Mapa 4. **Mapa geomorfológico de la parroquia de Urdaneta. 34**

Mapa 5. **Mapa base de la microcuenca Ramas. 68**

Mapa 6. **Estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio pluviométrico. 70**

Mapa 7. **Patrón de cultivos actual en el sistema de riego Paquishapa. 83**

Mapa 8. **Mapa de propuesta modular para el sistema de riego Paquishapa. 94**

Mapa 9. **Propuesta del patrón de cultivos para el sistema de riego Paquishapa. 95**

Índice de anexos

Anexo 1. **Parámetros morfométricos de la microcuenca Ramas. 110**

Anexo 2. **Características geomorfológicas de la microcuenca para la aplicación del método del polinomio ecológico. 111**

Anexo 3. **Números de la curva de escurrimiento para áreas agrícolas cultivadas y zonas urbanas (para cuencas en condición ii: media entre seca y húmeda). 112**

Anexo 4. **Coeficientes de escorrentía. 113**

Anexo 5. **Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH). 113**

Anexo 6. **Estadística de precipitación de las estaciones Saraguro, San Lucas, Oña y Yantzaza. 114**

Anexo 7. **Selección del número de escurrimiento mediante el método del número de curva, para la microcuenca Ramas. 118**

Anexo 8. **Caudales de la quebrada Ramas por medio del número de curva (l/s) 119**

Anexo 9. **Caudales de la quebrada Ramas por medio del método racional (l/s) 120**

Anexo 10. **Mapas de la microcuenca Ramas. 121**

Anexo 11. **Curvas de regresión lineal para la obtención de temperatura. 125**

Anexo 12. **Mapas de temperatura de la microcuenca Ramas. 127**

Anexo 13. **Mapas de evapotranspiración de la microcuenca Ramas. 133**

Anexo 14. **Mapas de precipitación de la zona de riego. 136**

Anexo 15. **Mapas de temperatura de la zona de riego 139**

Anexo 16. **Mapas de evapotranspiración de la zona de riego. 142**

Anexo 18. **Propiedades físicas del suelo. 147**

Anexo 19. **Mapa de la microcuenca ramas generada en SIG. 148**

Anexo 20. **Registro fotográfico. 149**

"Análisis de la disponibilidad y demanda hídrica en el Sistema de Riego Paquishapa"

Resumen

El proyecto de investigación se encuentra ubicado en la parroquia Urdaneta, cantón Saraguro perteneciente a la provincia de Loja; se pretende realizar el análisis de oferta hídrica de la microcuenca Ramas, misma que abastece al sistema de riego Paquishapa, y la demanda existente en la zona de riego y mediante ello poder conocer si la demanda es significativa con respecto a la oferta, y poder generar una propuesta para la optimización del recurso hídrico de manera que este no sea mal utilizado y la agricultura vaya en desarrollo.

Para determinar la disponibilidad hídrica de la microcuenca Ramas se inició con el análisis morfométrico, el mismo que da una visión amplia de las condiciones de la microcuenca Ramas en forma, relieve y densidad de drenaje, cabe resaltar que el presente proyecto se lo desarrolló en gran parte con la aplicación del software SIG aplicado al estudio hídrico. Para la generación de precipitación y caudales se seleccionaron las estaciones meteorológicas de: Saraguro, San Lucas, Oña y Yantzaza; se realizó el respectivo análisis para aplicar métodos empíricos para estimar la precipitación y caudales medios mensuales, además se aplicó el método directo de aforo con molinete en la quebrada Ramas, para corroborar los caudales estimados empíricamente, los aforos se realizaron dos veces por mes durante el periodo que duro el presente proyecto, los métodos empíricos aplicados para determinar los caudales medios mensuales fueron: número de curva, polinomio ecológico, y método racional, mediante la realización del grafico caudal-tiempo, en los que influyen cada uno de los métodos aplicados se seleccionó el método del polinomio ecológico ya que fue el que mejor tendencia tenía con el método directo.

La demanda se la obtuvo mediante el catastro predial de la zona de riego, se determinó el área y cultivos que se desarrollan en esta zona, se obtuvo el índice Kc del cultivo para cada periodo de desarrollo haciendo uso del libro de la FAO 56, en conjunto con la evapotranspiración de

referencia se obtuvo la evapotranspiración de cada cultivo, mediante ello y la precipitación efectiva de la zona de riego se obtuvieron las demandas hídricas del sector. El análisis entre la demanda versus la oferta, señala que la demanda tiene un índice de escasez de 1%, es decir que la demanda es muy baja con respecto a la oferta.

Y se realizó una propuesta general de ampliar la zona de riego en un 500%, es decir de 79 hectáreas actuales a 452 hectáreas, se volvió a determinar cada parámetro que permite conocer la demanda de esta nueva área de riego como son el coeficiente de cultivo, evapotranspiración de cada cultivo y la precipitación efectiva, para conocer la demanda que tienen estos.

Se volvió a analizar la nueva demanda versus la oferta, resultando un índice de escasez del 10%, se a pesar de que se incrementó sigue en la categoría de una demanda muy baja respecto a la oferta. Por lo que se puede considerar que el sistema de riego Paquishapa se encuentra sobredimensionada para la demanda que requiere el lugar de estudio

Summary

The research project is located in the Urdaneta parish, canton Saraguro that belongs to the province of Loja; This project intended to carry out the water supply analysis of the Ramas micro-basin, which supplies the Paquishapa irrigation system, and the existing demand in the irrigation area and thereby be able to know if the demand is significant with respect to the supply, and be able to generate a proposal for the optimization of water resources so that they are not misused and agriculture is developing.

To determine the water availability of the microbasin Ramas, it began with morphometric analysis, which gives a broad view of the conditions of the microbasin Branches in shape, relief and density of drainage, it should be noted that this project was developed in large part with the application of GIS software applied to the water study.

For the generation of precipitation and flows, the meteorological stations of: Saraguro, San Lucas, Oña and Yantzaza were selected; the respective analysis was performed to apply empirical methods to estimate precipitation and average monthly flows, in addition the direct gauging method was applied with the windmill in the Ramas stream, to corroborate the empirically estimated flows, the surveys were performed twice a month during the During this period, the empirical methods applied to determine the average monthly flows were: curve number, ecological polynomial, and rational method, by means of the flow-time graph, in which each of the applied methods influences. selected the ecological polynomial method since it was the one with the best tendency with the direct method.

The demand was obtained through the property cadastre of the irrigation area, the area and crops developed in this area were determined, the Kc index of the crop was obtained for each development period using the FAO book 56, in set with reference evapotranspiration evapotranspiration of each culture was obtained by this precipitation and the effective area of irrigation water demands of the sector were obtained. The analysis between the demand versus the supply, indicates that the demand has a shortage index of 1%, that is to say that the demand is very low with respect to the offer.

And a general proposal was made to expand the irrigation area by 500%, that is, from 79 hectares at present to 452 hectares. Once again, each parameter was determined, which allows us to know the demand of this new irrigation area, such as the cultivation coefficient, evapotranspiration of each crop and effective precipitation, to know the demand that these have.

The new demand versus the supply was analyzed again, resulting in a shortage index of 10%, although it was still in the category of very low demand with respect to supply. So it can be considered that the Paquishapa irrigation system is oversized for the demand that requires the place of study.

1. Introducción

Ecuador es uno de los países con mayor biodiversidad, cuenta con un enorme potencial hídrico. Según Campos (2014), Ecuador consta con 9 demarcaciones hidrográficas, al oeste de la divisoria de vertientes se encuentran 6 demarcaciones, cuyos ríos descargan al océano pacífico, las cuales son: Mira, Esmeraldas, Manabí, Guayas, Jubones y Puyango-Catamayo; y, las 3 demarcaciones restantes: Napo, Pastaza y Santiago, están en la parte oriental del país, y sus ríos perteneces a la vertiente del río Amazonas.

Según SENAGUA (2009), algunas cuencas hidrográficas que conforman las demarcaciones hidrográficas han sido intervenidas con el objeto de conservarlas y mantenerlas debido al conflicto de uso de los recursos tierra y agua, deforestación de áreas protectoras, erosión acelerada con altas tasas de sedimentación, alta presión demográfica, expansión descontrolada de centros urbanos, contaminación de los recursos suelo y agua.

Existen regiones en Ecuador, donde el recurso hídrico no se encuentra distribuido de manera igualitaria; al no contar con un estudio de oferta y demanda hídrica, el recurso tiende a ser desperdiciado, además de la inexistencia de programas óptimos para el desarrollo de la actividad agrícola, es decir la agricultura en el país se lleva a cabo de manera cultural mas no técnica, lo que provoca entre otras cosas, el mal uso y desaprovechamiento del agua.

La cuenca generadora del recurso hídrico, de la cual se abastece el sistema de riego Paquishapa, no está exenta de los problemas antes mencionados; por lo que es importante realizar estudios que promuevan el buen uso del recurso hídrico en esta zona; la cuenca Ramas se encuentra ubicada en la provincia de Loja cantón Saraguro. Según RIDRENSUR (2011), el sistema de riego tiene una concesión de 150 l/s, caudal que se obtiene mediante toma directa en la quebrada Ramas,

el diseño de la obra de toma, como del sistema de conducción de agua, fue realizado sin un estudio preliminar acerca de la demanda hídrica del sector; en la actualidad son 79 hectáreas las que se benefician del sistema de riego.

El sistema de riego en cuestión, no cuenta con una participación activa por parte de los usuarios, lo que conlleva a un total desorden tanto en turnos de riego, así como en el mantenimiento del sistema, por ello es importante tomar en cuenta algunas interrogantes como, ¿cuándo, cuánto y cómo regar?, lo que demanda de un conocimiento preliminar del cultivo que se produce, y sobre todo de la cantidad de agua que demanda para su óptimo desarrollo.

En la mayoría de los casos la labor agrícola desarrollada en el sector, no se enfoca a la comercialización, sino más bien en el sustento diario, provocando que los ingresos de los productores se vean limitados; de manera que, se pretende generar un hábito de agricultura sostenible y rentable para los agricultores de la zona.

El presente proyecto, se enfoca en el análisis de la oferta y demanda del recurso hídrico en el sistema de riego Paquishapa, con la perspectiva de obtener información que promueva el uso eficiente del recurso con fines de riego, y a la vez implementar nuevas áreas para cultivos que generen rentabilidad, para ello se planteó los siguientes objetivos:

- Estimar la disponibilidad del recurso hídrico de la cuenca que abastece al sistema de riego Paquishapa.
- Analizar la demanda del recurso hídrico de los cultivos en la zona de riego del sistema Paquishapa.
- Formular una propuesta preliminar de programación de riego para el sistema de riego Paquishapa.

2. Revisión de literatura

En el presente capitulo se dará a conocer la base teórica de cada uno de los factores que intervienen en el estudio de la disponibilidad y demanda de agua, además de aspectos incluyentes en la programación de riego, con el objeto de tener un concepto claro de cada parámetro que se trabajará.

2.1.Aspectos generales sobre planeación de los recursos hidráulicos

Es fundamental conocer por qué el agua requiere de una gestión y planificación cuidadosa. En primer lugar, el agua dulce es vital para la vida, para la cual no hay sustitutos; de ahí su alto valor. Segundo, es que a pesar de ser un recurso renovable, se puede considerar un recurso finito, lo cual hace que unos tipos de usos puedan afectar a otros. Finalmente, en tercer lugar se debe considerar el agua como un recurso fugaz, lo que dificulta la planificación y el monitoreo de sus usos, así como puede provocar la exclusión de los usuarios no partícipes en su gestión. Al planificar la gestión del recurso, existen muchas interrelaciones por considerar, como la distribución del agua, la prioridad de las necesidades básicas humanas; la priorización de otros usos, de acuerdo con las necesidades sociales y criterios socioeconómicos; utilizar como unidad lógica para la gestión de los recursos hídricos, la cuenca. Y asuntos más delicados, como la privatización, y más aún, el rol del sector privado en la gestión de los recursos hídricos, también el valor del agua (el valor social, económico y ecológico) o la fijación del precio del agua (ponerles precio a las necesidades básicas (Guzmán Arias, 2008).

Cuando se habla de planificación del recurso hídrico, la toma de decisiones y el diseño de estrategias deben ser para alcanzar objetivos predeterminados, además las decisiones deben tomarse por medio de sistemas de decisión participativa establecidos legalmente para que tengan

validez y aceptación. Los planes deben considerarse instrumentos de gestión al servicio de los actores. Deben ser conciliatorios en términos económicos, sociales y ambientales, complementarios a los objetivos de cada actor así como del conjunto de actores y no deben suplantar su poder de decisión. Deben ser flexibles para que puedan reajustarse cada vez que se dispone de nueva información que hace variar las decisiones (Dourojeanni R, 2000).

2.2.Estimación de la disponibilidad de agua

El escurrimiento es el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y q llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre - una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada- sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca (Aparicio Mijares, 1997)

En una cuenca el flujo de un rio está controlado primordialmente por variaciones en la precipitación. Las relaciones entre precipitación y escorrentía y los métodos para distribuir la escorrentía a través del tiempo, son la base para una predicción eficaz de la operación de proyectos hidráulicos, para la extensión de registros de caudal en ríos con estaciones hidrográficas y para la estimación de caudales en ríos sin estaciones de medida (Linsley, Kohler, & Paulhus, 1988).

2.2.1. Cuencas Hidrográficas.

La cuenca es un territorio geográficamente bien definido, cuyas aguas van todas hacia un mismo lago, rio o mar. La cuenca se inicia en el “parte aguas”, o sea las filas que dividen una montaña o una colina hacia uno y otro lado (Orozco, Jiménez, & Cornelis, 2008).

2.2.1.1. Características físicas y morfométricas de la cuenca.

Estas características dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.) estos elementos físicos proporcionan la posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico. Cada cuenca tiene una forma determinada que guarda relación con su comportamiento hidrológico (Carvajal Escobar , Barroso , & Reyes Trujillo, 2015).

La morfología comprende el estudio de las formas superficiales, la cuenca hidrográfica funciona como un gran colector que recibe las precipitaciones y las transforma en escurrimientos. Esta transferencia se realiza con pérdidas y es una función bastante compleja de numerosos factores, entre los que predominan el clima y la configuración del terreno en el cual se desarrollan los fenómenos hidrológicos. A la fecha se ha comprobado la influencia que determinados índices tienen en las respuestas hidrológicas de una cuenca y por ello son punto de partida de los análisis y determinaciones cuantitativas, entre tales parámetros cabe citar área o tamaño de la cuenca, su forma, pendiente, elevación media, las características de su red de drenaje y las el cauce o colector principal (Campos Aranda, 1998).

2.2.1.2. Precipitación.

La humedad siempre está presente en la atmosfera aún en los días de nube, para que ocurra la precipitación, se requiere algún mecanismo que enfrié el aire lo suficiente para que llegue de esta manera a, o cerca del punto de saturación. Los enfriamientos de grandes masas, necesarios para que se produzcan cantidades significativas de precipitación, se logran cuando ascienden las masas de aire. Este fenómeno se lleva a cabo por medio de sistemas convectivos o convergentes que resultan de radiación desiguales las cuales producen calentamiento o enfriamiento de la

superficie de la tierra y la atmosfera, o por barreras orográficas. Sin embargo la saturación necesariamente no conlleva la precipitación (Linsley, Kohler, & Paulhus, 1988).

Para la medición de la precipitación existen métodos directos e indirectos, cuando en la cuenca no existe ninguna red de pluviómetros se opta por realizar la medición o estimación de la precipitación mediante los métodos indirectos.

El directo se lo realiza con medidores conocidos como *pluviómetros,* Linsley (1998), manifiesta que puede utilizarse como pluviómetro cualquier recipiente abierto, cuyos lados sean verticales, sin embargo debido a los efectos de los vientos y el salpicado no son comparables a menos que sean del mismo tamaño y forma y estén expuestos de un modo similar. El pluviómetro estándar del U.S. National Weather Service tiene un colector con un diámetro de 20 cm. La lluvia pasa del colector a un tubo cilíndrico medidor, que está situado dentro del recipiente de vertido. Otro de los métodos directos son los *pluviógrafos*, estos son semejantes a los pluviómetros, con la diferencia que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación. Esté mecanismo está formado por un tambor que gira a la velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado, en l recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla que marca las alturas de precipitación en el papel (Aparicio Mijares, 1997).

Los métodos indirectos de uso generalizado se tienen tres. Según Campos, Ramírez & Sánchez (2012), uno de los métodos usados es el método de *la media aritmética* de las precipitaciones. Es la suma de las alturas registradas de la lluvia en un cierto tiempo de cada una de las estaciones usadas y divididas para el número de estaciones. Este método sólo es aceptable si existen muchas estaciones y se observa que la precipitación es similar en todas ellas.

Otro método para determinar la precipitación sobre una zona es el trazado de mapas de *isoyetas*. A partir de los valores corregidos de la precipitación de cada estación se dibuja las *isoyetas* tomando en cuenta la orografía, la dirección de vientos y orientación de vertientes y el gradiente pluviométrico en regiones montañosas (Nordenson 1968; O.M.M. 1970b; Heras 1972) citados por (Instituto de Hidrología de España y Unesco, 1981)

Entre uno de los métodos más utilizados es el de *los polígonos de Thiessen* que trata de tener en cuenta la no uniformidad de la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos. (Chow, 1988) citado por (González González, 1997).

2.2.1.3. Escurrimientos.

Se define como escorrentía a todo el agua transportada fuera de una cuenca hidrográfica por los cursos superficiales (ríos y arroyos). Parte de esta agua procede de la escorrentía superficial, mientras que otra parte puede haberse originado a partir de la infiltración y el transporte a través del suelo (flujo subsuperficial) hasta su desembocadura en el río. Por su parte, el agua que se infiltra hasta alcanzar el acuífero puede emerger también en los cursos superficiales o manantiales (escorrentía subterránea), aunque su aparición suele ser más tardía (mayor tiempo de residencia) (Ruiz Romera & Martínez Santos, 2015).

Para la determinación de los escurrimientos existen métodos directos e indirectos.

Métodos directos.

Son aquellos que permiten la medición del caudal de forma directa con el río, algunos métodos directos son:

- **Aforo con correntómetro o molinete hidráulico:** mide la velocidad del agua en un punto dado, lo correntómetros más empleados los de hélice, cuanto más grandes sean los caudales o más altas sean las velocidades, mayor deberá ser el tamaño del molinete hidráulico (Linsley, 1988).
- **Aforo con flotadores:** mide la velocidad superficial (v) de la corriente y el área de la sección transversal (A). obtenidos los valores se aplica la ecuación de continuidad: Q = v * A (Villón, 2002).
- **Aforo volumétrico:** Este método consiste en hacer llegar la corriente a un deposito o recipiente de volumen (V) conocido, y medir el tiempo (T) que tarda en llenarse dicho deposito (Villón, 2002).

La determinación de los escurrimientos mediante métodos empíricos se tiene:

Métodos indirectos.

Son aquellos métodos que se aplican de manera empírica, es decir no es necesario tener contacto directo con el afluente entre ellos se tiene:

- **Método del Polinomio Ecológico**

Este método se basa en las características geomorfológicas de regulación natural y ecológica de las cuencas, mediante la adopción de coeficientes típicos de la zona de estudio (Gómez, 1990).

Para un coeficiente de este factor, considera una relación entre evapotranspiración potencial y la precipitación.

$$Q = (k * A^n(0{,}70P_i + 0{,}29P_{i-1} + 0{,}01P_{i-2})^m)$$

Donde:

Q: Caudal (m^3/s)

A: Área de drenaje de la cuenca (km^2)

Pi: Precipitación del mes actual (mm)

Pi-1: Precipitación del mes anterior (mm)

Pi-2: Precipitación del mes tras anterior (mm)

K, m, n: coeficientes típicos de la zona de estudio (Anexo 3)

- **Método del Número de Curva**

El número de curva es un parámetro empírico que se calcula con el método desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos, toma en cuenta las condiciones de humedad del suelo. Se presenta mediante un número adimensional, en curvas estandarizadas, las que varían entre 0 y 100; donde un área con CN = 0 no tiene escurrimiento y otras con CN = 100 es impermeable y toda la precipitación genera escorrentía (Havrylenko, Damiano, & Pizarro).

El número de curva es un coeficiente que depende del uso del suelo, capacidad de infiltración, condiciones de humedad del suelo (Anexo 3); y posterior a su obtención se aplica la siguiente ecuación.

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

Donde:

P: Precipitación mensual

N: Número de curva

- **Método Racional**

Este método está basado en las intensidades máximas de precipitación producida, para estimar el valor del caudal, en este método es un poco complicado seleccionar el coeficiente de escorrentía representativo de la cuenca, ya que este parámetro relaciona todas las características físicas de la cuenca (suelo, topografía, hidrografía, etc.).

Según González (2001), el coeficiente de escorrentía C es la variable menos precisa del método racional, al considerar una relación fija entre la tasa de escorrentía y la tasa de lluvia, lo cual en la realidad no es cierto, se requiere una selección apropiada del coeficiente de escorrentía y lógicamente es función de la experiencia del hidrólogo.

Para realizar este método se debe obtener el coeficiente de escorrentía (Anexo 4), por medio de parámetros como tipo de suelo, pendiente y cobertura del suelo; obtenido el coeficiente de escorrentía se aplicó la siguiente ecuación.

$$Q = \left(\frac{CPA}{360}\right)$$

Donde:

Q: Caudal (m^3/s)

C: Coeficiente de escorrentía

P: precipitación mensual (mm)

A: Área de drenaje (km^2)

2.2.1.4. Curva de duración general.

La curva de duración general es un gráfico de frecuencia acumulada que muestra el porcentaje de tiempo durante el cual una determinada descarga se igualo o se excedió.

Quizás el concepto más simple de la curva de duración es que representa los datos del caudal de un rio a lo largo del tiempo. Para preparar la curva de duración se pueden utilizar datos, semanales, mensuales o del periodo de tiempo que se desea analizar. Esta curva promedia los puntos trazados de descargas contra el porcentaje del tiempo durante el cual ellos fueron igualados o excedidos representado un promedio.

La curva de variación estacional aplica sólo durante el periodo de tiempo para la que generada, no pudiéndose generalizar sus resultados para periodos de tiempo posteriores al que la generó.

Las cuervas de duración general calculadas se pueden utilizar para comparar los caudales entre cuencas vecinas siempre y cuando se tenga una región hidrometeorológica homogénea y las características fisiográficas se utilicen para obtener estimaciones de duración de flujo (Gómez Jara, 1999).

2.2.1.5. Curva de variación estacional.

Proporcionan una información de la distribución de los valores mensuales de los caudales en el año hidrológico de una cuenca, respecto al tiempo, es decir que determinan el régimen climatológico de una zona o el régimen hidrológico de un rio (Cuenca Rosillo, 2015).

Esta curva permite definir el régimen hidrológico de la cuenca en estudio, señala la distribución de las precipitaciones o caudales en función de la probabilidad de que estos valores sean igualados o superados (Loja Lituma, 2011).

2.2.1.6. Índice de retención y regulación hídrica (IRH)

El índice de retención y regulación evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo vegetación con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas de la cuenca. Ese indicador permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto.

Este índice se calcula con base en la curva de duración de caudales medios diarios. Esta curva de frecuencias permite reconocer las condiciones de regulación de la cuenca y los valores característicos de caudales medios y firmes, e interpretar, en forma general, las características del régimen hidrológico de un río, y el comportamiento de la retención y la regulación de humedad en la cuenca (Sánchez et al., 2010).

2.3.Necesidades hídricas

La estimación de la demanda de agua, a través de cualquier sistema de riego, depende en gran medida del conocimiento de la cantidad de agua que consumen los cultivos y del momento oportuno para aplicarla, con el objetivo de no perjudicar su rendimiento.

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que retienen (la que usan para crecimiento y fotosíntesis). En una parcela, es difícil separar la evaporación y la transpiración, cuando se habla de las necesidades de agua en los cultivos, por lo que la suma de ambos procesos se le ha denominado como evapotranspiración.

Por lo tanto, el agua evapotranspirada debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta por estrés hídrico. Diversas metodologías se han propuesto para su determinación, debiendo considerarse siempre que la evapotranspiración depende, entre otros

aspectos, de las condiciones climáticas, tipo y estado de desarrollo del cultivo, así como de la disponibilidad de agua del suelo (Fernandez Reinoso et al.).

2.3.1. Evapotranspiración.

Es el proceso por el cual el agua pasa de fase líquida a fase de vapor, desde la superficie a la atmosfera. El agua puede evaporarse desde una gran variedad de superficies tales como el suelo, lagos, ríos y vegetación húmeda.

Este cambio de fase requiere un aporte de energía, proporcionado fundamentalmente por la radicación solar y, en un menor grado, por el aire que circunda la superficie evaporante (La evapotranspiración: conceptos y métodos para su determinación).

2.3.1.1. Evapotranspiración de referencia (ETo).

Para el cálculo de la ETo, existen métodos directos e indirectos.

Los métodos directos son métodos experimentales de campo los cuales proporcionan directamente el valor del consumo total del agua requerida por las plantas, para lo que se utilizan aparatos e instrumentos en su determinación (Fernández Reinoso et al.).

Los métodos experimentales de campo, son en general costosos, exigiendo precisión en las mediciones, y pueden ser completamente realizados y analizados apropiadamente sólo por personal de investigación suficientemente preparado. A pesar de que estos procedimientos no son apropiados para mediciones de rutina, siguen siendo importantes para la evaluación de las estimaciones de ET obtenidas con otros métodos indirectos (FAO, 2006).

Los métodos indirectos proporcionan directamente el valor del consumo total del agua requerida a través de todo el ciclo vegetativo, a través de fórmulas empíricas; algunos métodos son:

Penman-Monteith, método de la Temperatura, método de la Radiación, y mediante el software *Cropwat 8.0.*

- *Penman-Monteith*: Penman combinó el balance energético con el método de la transferencia de masa y derivó una ecuación para calcular la evaporación de una superficie abierta de agua a partir de datos climáticos estándar de horas sol, temperatura, humedad atmosférica y velocidad de viento (FAO, 2006).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2}$$

Dónde:

ETo: evapotranspiración de referencia (mm/día)

Rn: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m^2/día)

Ra: Radiación extraterrestre (mm/día)

G: flujo del calor de suelo (MJ m^2/día)

T: temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u_2: velocidad del viento a 2 m de altura

e_s: presión de vapor de saturación (kPa)

e_a: presión real de vapor (kPa)

e_s-e_a: déficit de presión de vapor (kPa)

γ: constante psicométrica (kPa/°C)

Δ: pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)

- *Cropwat 8.0*: es el programa informático, utilizado para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, es el paso previo al cálculo hidráulico del riego. Consiste en calcular los turnos, caudales y tiempos de riego basándose en las necesidades de agua del cultivo que viene determinado por el tipo de suelo, clima y cultivo. 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).
- *Método de la radiación:* Según Jensen, et al (1990), citado por S.C.S. (1997), este método fue desarrollado por Doorenbos y Pruitt (1977), depende de los datos de radiación solar y la temperatura del aire.

$$ETo = 0.012 + \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\right) b_r \frac{R_s}{\lambda}$$

Donde:

ETo: evapotranspiración para el pasto podado como cultivo de referencia (cm/d)

Δ: pendiente de la curva de presión de vapor (mb/°C)

ϒ: constante psicométrica (mb/°C)

b_r: factor de ajustes que dependen de la humedad relativa promedio, y la velocidad diurna del viento

R_s: radiación solar entrante (lang/cm)

λ: calor de vaporización del agua (lang/cm)

- *Método de Temperatura*: Este método está basado solamente en la temperatura del aire, esta técnica se hace referencia como el método de FAO Blaney-Criddle citado por S.C.S. (1997).

$$ETo = C_e[a_t + b_t p(0.046\,T + 0.816)]$$

Donde:

ETo: evapotranspiración para pastos podado como cultivo de referencia (cm/d)

p: porcentaje medio diario de las horas anuales con sol

T: temperatura del aire en el período (°C)

A_t y b_t: factores de ajustes basados en datos de clima de la región

C_e: factor de ajustes basados en la elevación sobre el nivel del mar

2.3.1.2. Coeficiente de cultivo (Kc).

En el enfoque del coeficiente único del cultivo, los efectos de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo son combinados en un coeficiente Kc único. Este coeficiente integra las diferencias en la evaporación en el suelo y en la tasa de transpiración del cultivo, entre el cultivo y la superficie del pasto de referencia. Como la evaporación en el suelo puede fluctuar diariamente como resultado de la lluvia o el riego, el coeficiente único del cultivo es solamente una expresión de los efectos promedios en el tiempo (múltiples días), de la evapotranspiración del cultivo (Allen, Pereira, Raes , & Smith, 2006).

2.3.1.3. Evapotranspiración de los cultivos (ETc).

La evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ETo por Kc el cual es un coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia (Allen, 2006).

La mayoría de 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 varia principalmente en función de las características

particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas. Este hecho constituye la razón principal de la aceptación general y utilidad de la metodología del coeficiente del cultivo (FAO, 2006).

2.3.2. Precipitación efectiva.

La precipitación efectiva es la proporción de la precipitación que puede llegar a estar disponible en la zona ocupada por las raíces de las plantas, la que utiliza para satisfacer sus requerimientos de agua (Fernández Reinoso et al.).

2.3.3. Patrón de cultivos.

HELVETAS (2014), menciona que los cultivos se producen en una gran variedad de sistemas productivos; en uno de los extremos del abanico se encuentra el enfoque intervencionista, en el que la mayoría de los aspectos de la producción son controlados mediante intervenciones tecnológicas como la labranza de la tierra, el control preventivo y de mitigación de plagas y malezas con productos agroquímicos y la aplicación de fertilizantes minerales para la nutrición de las plantas. En el otro extremo se encuentran los sistemas de producción que adoptan un enfoque predominantemente ecosistémico y son tanto productivos, como más sostenibles. Estos sistemas agroecológicos suelen caracterizarse por su alteración mínima del ecosistema, por la nutrición de las plantas a partir de fuentes orgánicas e inorgánicas y por el empleo de la biodiversidad natural, gestionada para producir alimentos, materias primas y otros servicios del ecosistema.

Para seleccionar un cultivo en particular se requiere de diversos criterios que en conjunto brindan una pauta a seguir y definir el rubro a explotar.

Las condiciones agroecológicas son las que permiten la adaptación o no adaptación de una especie en particular a una zona determinada. Dentro de las condiciones agroecológicas pueden mencionar las siguientes:

a. Altitud y latitud

b. Precipitación pluvial

c. Temperatura

d. Fotoperiodo

e. Humedad relativa

f. Viento

g. tipos de suelo

2.3.4. Requerimientos de riego de los cultivos.

Los cultivos requieren del agua retenida en el suelo para sus diferentes procesos fisiológicos y biológicos, y ésta 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 (Espinoza M., 1989).

El valor del requerimiento de riego resulta de la diferencia entre la ETc y la precipitación efectiva.

2.3.4.1. Lamina neta (Ln)

La cantidad de agua consumida por la planta, entre dos riegos consecutivos, se llama “agua rápidamente aprovechable o agua fácilmente aprovechable”. Es decir, que para aplicar el próximo riego no debe permitirse un agotamiento total del agua disponible en el suelo, sino cierto porcentaje

(p) el cual depende de la tolerancia del cultivo al estrés de humedad y del criterio de riego o punto óptimo de riego visto (Maldonado Rojas, 2007). Por lo tanto, lamina neta se expresa como:

$$Ln = P * (CC - PMP) * \frac{Da}{DW} * P_{ef} * 10$$

Donde:

Ln: Lamina neta (mm)

P: Porcentaje de agotamiento (decimales)

CC: Contenido de humedad a capacidad de campo (decimales)

PMP: Contenido de humedad a punto marchitez permanente (decimales)

Da: Densidad aparente del suelo (g/cm^3)

Dw: Densidad del agua (g/cm^3)

Pef: Profundidad efectiva de las raíces (cm)

2.3.4.2. Lamina bruta (Lb)

La cantidad total de agua que se entrega por riego ó lámina bruta (Lb), debe considerar las pérdidas que se producen durante la aplicación del agua a la parcela; en riego gravitacional, básicamente las pérdidas por percolación profunda y escurrimiento superficial. Por lo tanto, la Lb estará en función de la eficiencia de aplicación del agua (Efa) (Maldonado Rojas, 2007).

$$Lb = \frac{Ln}{Efa}$$

2.3.5. Programación de riego.

Se refiere a la sistematización del riego en tiempo y frecuencia. Puede reconocer en él una macro programación, a objeto de maximizar producción, y una micro programación orientada a mejorar la calidad del producto final (Peralta , 1990)

La programación del riego es un conjunto de procedimientos técnicos desarrollados para predecir cuánto y cuándo regar. Los métodos de programación del riego se basan en:

2.3.5.1. Contenido de agua en el suelo.

El agua de riego se almacena en el suelo, que actúa como un depósito, para luego ser usada por las plantas. El agua almacenada en el suelo y que puede ser utilizada por el cultivo (agua total disponible), es la diferencia entre la cantidad de agua almacenada a capacidad de campo (CC) contenido de agua a una tensión de humedad del suelo de 1/3 atm) y punto de marchitez permanente (PMP) contenido de agua a una tensión de humedad en el suelo de 15 atm) (Allen et al., 1998). CC es el contenido de agua de un suelo cuando ha sido mojado abundantemente por riego y después se ha dejado drenar libremente hasta que éste sea despreciable, y PMP es el contenido de agua que hay en un suelo cuando la planta se marchita de forma permanente. Sí se parte de un suelo con un contenido de humedad próximo a su CC el cultivo va extrayendo agua sin que se reduzca la ETc, sin embargo, el valor de la ETc empieza a disminuir antes de alcanzar PMP. La reducción de la ETc por debajo de su valor máximo se suele traducir en una reducción de la producción. La fracción del agua total disponible que un cultivo puede extraer del suelo sin que sufra estrés es el agua realmente disponible (Allen et al., 1998).

El nivel de agotamiento permisible (NAP) o porcentaje de agotamiento aceptable por la planta, esta entre el límite superior y el inferior a partir del cual las raíces encuentran mayor

dificultad para extraer el agua, por lo que es considerado como límite para aplicar el próximo riego por medio del cálculo de lámina neta y lámina bruta (Laserna).

Los instrumentos que miden el contenido de agua en el suelo permiten conocer cómo el cultivo va extrayendo el agua del suelo, de forma que el riego puede programarse para mantener un contenido de agua en el suelo entre dos niveles de humedad. El límite superior es fijado para evitar drenajes, y por tanto lavado de fertilizantes, y el límite inferior representaría el punto a partir del cual el cultivo sufre estrés hídrico. Algunos de los instrumentos más utilizados son el *tensiómetro,* TDR (T*ime Domain Reflectometry), enviroscan,* sbib *(Self Balanced Impedance Bridge)* (Fernández, y otros, 2001).

2.3.5.2. Estado hídrico de la planta.

Estos métodos incluyen técnicas que miden directamente las pérdidas de agua de una parte de la planta, de la planta entera o de un grupo de plantas, o miden características relevantes de las plantas que facilitan la estimación de la transpiración. Los avances en electrónica han hecho que el uso de sensores que monitorizan en continuo el estado hídrico de la planta facilite la toma de decisiones en la programación del riego. El estado hídrico del cultivo puede determinarse mediante la utilización de sensores como: *sensores de medida del diámetro de los órganos de la planta, sensores de flujo de savia.* (Fernández et al., 2001).

2.3.5.3. Parámetros climáticos.

Estos métodos se basan en la utilización de parámetros climáticos, que a partir de expresiones matemáticas permiten estimar el volumen de agua consumido por el cultivo. La información que proporcionan los sensores climáticos no puede utilizarse directamente en la gestión del riego y exige que previamente se establezcan relaciones entre el consumo de agua del

cultivo, los parámetros climáticos y el estado de desarrollo del cultivo. El método más utilizado para estimar el consumo de agua de los cultivos o ETc es el recomendado por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977), en el que la ETc se calcula como el producto de la ETo por el (kc) coeficiente de cultivo (Fernández et al., 2001).

2.3.6. Eficiencia de riego.

Es un índice que se utiliza para cuantificar el buen uso del agua derivada con fines de riego a una comunidad, parcela, campo o sistema. La eficiencia de riego incluye:

- Decisiones sobre manejo del agua, que abarcan tiempos y láminas de aplicación (programación de riegos).
- Todas las pérdidas que se presentan en la entrega del agua de riego en el área irrigada.

Los métodos de riego pueden ser por micro aspersión, aspersión, superficial y subsuperficial. En los sistemas de surcos, melgas con pendiente, surcos a nivel y por cajetes, el agua se aplica utilizando el método de riego superficial (Servicios de Conservación de Suelos, 1997)

2.3.7. Frecuencia de riego (Fr) y Tiempo de riego (Tr).

Se refiere al intervalo en días entre los riegos que requiere el cultivo (Valarezo Manosalvas, 2013)

El tiempo de riego es el periodo que comprende la operación completa del riego, en el caso del riego por superficie, se concentran en tres períodos de riego: avance, reposición de agua al suelo y recesión (Maldonado Rojas, 2007).

- Periodo de avance (t1): constituye el tiempo de riego durante el avance del agua desde la cabecera hasta el pie de la melga o surco.
- Periodo de reposición de agua al suelo (t2): representa el tiempo de riego durante el cual se permite reponer al suelo la lámina neta (Ln) o agua rápidamente aprovechable. El período de reposición de agua al suelo se calcula en base a la Ln a reponerse en el extremo del surco o melga.
- Periodo de retiro de agua (t3): concluido T1 y t2, se suspende el agua en la cabecera y ésta se va retirando de la superficie del suelo.

2.4. Requerimientos de agua para programación de riego

S.C.S. (1997), menciona que los requerimientos de agua, se ha enfocado a los campos individuales donde el abastecimiento de agua y otras condiciones no limitaban la operación del sistema de irrigación. Donde se deben manejar campos múltiples, se debe desarrollar un horario para el área a regar. En algunos casos, el área a regar representa todo o una parte del proyecto de riego. En otros, es una sola parcela donde el abastecimiento de agua se debe asignar a campos individuales. En ambos casos se cuenta con una sola fuente de agua y se debe abastecer toda el área de riego.

2.4.1. Tipos de programación de entrega.

Los métodos de programación de entrega varían desde los totalmente rígidos a los totalmente flexibles. Los horarios de riego son más flexibles de manejar por el proveedor del agua, mientras que los horarios totalmente flexibles generalmente producen la mayor eficiencia de uso del agua en la parcela, si el sistema de irrigación en la parcela se maneja bien.

El *sistema de abastecimiento continuo* es el sistema de entrega más sencillo. Con este sistema, un flujo o gasto constante se entrega en la compuerta de la parcela. Para un sistema totalmente continuo, el abastecimiento se entrega desde un momento inicial en la estación y se suspende al final del periodo de crecimiento, sin importar la demanda en la parcela.

El *sistema de entrega rotacional* también es un método de entrega rígido. Proporciona un gasto constante a la parcela durante un periodo constante. Después la parcela no recibe agua durante un periodo llamado intervalo de riego.

El *sistema de demanda,* permite que los usuarios tomen una cantidad no regulada de agua del sistema de distribución a conveniencia del productor. La duración, frecuencia y gasto son totalmente discreción del productor.

El *sistema de entrega concentrado,* varía entre los métodos de entrega rígidos y de demanda pura. Con estos horarios de abastecimiento se pueden concentrar ya sea el gasto, la duración y/o la frecuencia o los tres. (Servicios de Conservación de Suelos, 1997).

2.4.1.1. Riego integral, complementario y suplementario

El desarrollo del riego en Latinoamérica comenzó con el riego integral en Argentina, Chile, México y Perú, en áreas donde no hay posibilidad de agricultura sin su recurso (Grassi, 1990). Mientras que el riego complementario es utilizado para compensar intervalos secos durante la estación de lluvias o para prolongar la estación. Este riego usualmente está basado en el bombeo, ya sea de agua superficial o subterránea. Su conveniencia está dictada por las condiciones climáticas; en regiones donde la estación lluviosa a menudo es irregular, puede jugar un papel esencial en evitar severos daños a los cultivos. La mayor parte del riego es complementario en un grado o en otro, excepto en climas muy áridos y en invernaderos. Este riego puede ser esencial no

sólo para aumentar el volumen de la producción sino también para asegurar la calidad de productos como frutas y hortalizas, ya que permite controlar el calendario del riego (FAO 2, 2004).

El riego suplementario consistente en suministrar agua adicional para estabilizar o incrementar el rendimiento en condiciones in situ en las que un cultivo se puede cultivar normalmente con el agua directa de la lluvia por ser el agua adicional insuficiente para la producción del cultivo. La técnica consiste en compensar los déficits de agua de lluvia en etapas críticas del cultivo para aumentar el rendimiento (FAO 2, 2004).

2.5.Sistemas de información geográfica (SIG)

Estos sistemas, al igual que los de cartografía automática, registran la información de la localización, forma y atributos de las entidades geográficas, pero incluye además la capacidad de analizar las relaciones topológicas entre estas entidades. Esta cualidad es la que hace de los SIG una herramienta capaz de analizar y manipular datos como apoyo para la toma de decisiones en la gestión del medio físico (Mayorga Vela, Fernández Mejuto, & Castaño Fernández).

El conocimiento de la disponibilidad y la distribución de los recursos hídricos son fundamental para llevar a cabo una adecuada planificación y gestión del agua. Su estimación interviene en aspectos de suma importancia como la realización de estudios de inundabilidad y gestión de sequías, la gestión de concesiones de vertidos, la comprobación de la fiabilidad de los modelos de gestión de sistemas de abastecimiento y riego, el establecimiento de los regímenes de caudales ecológicos o el estudio de las necesidades hídricas de lagos y humedales, entre otros.

Realizar este tipo de estudios puede resultar un tarea larga y complicada, por este motivo los SIG se han convertido en una potente herramienta para planificar y gestionar los recursos hídricos gracias a que disponen de múltiples opciones para su análisis y evaluación.

Los SIG nos facilitan la ejecución de operaciones y análisis entre capas de información, nos permiten observar la distribución espacial de los resultados y resultan especialmente útiles a la hora de visualizar y generar cartografía que muestre de forma clara los resultados obtenidos.

Con todas estas características se puede afirmar que los SIG son una tecnología fundamental para la gestión hidrológica, ya que facilitan la realización de cálculos que hasta hace años se llevaban a cabo manualmente, lo que suponía una mayor inversión en tiempo y en muchas ocasiones, una menor precisión en lo resultados (Benayas Polo, 2017).

3. Materiales y metodología

3.1.Materiales de oficina

- Hardware (Computador)
- Software: Arc Map 10.1, Idrisi Selva, Microsoft Word, Excel y Power Point.
- Carta IGM Escala 1:50.000 de Saraguro
- Mapas de uso y cobertura vegetal y de textura del suelo, del área de estudio.
- Catastro predial de la parroquia Urdaneta
- Base de datos de precipitación mensual y temperatura media anual de las estaciones Saraguro, San Lucas, Oña y Yanztaza.
- Base de datos de aforos mensuales de la quebrada Ramas
- Imagen ortofoto del Cantón Saraguro
- Calculadora, lápiz, papel, etc.

3.2.Materiales de Campo.

- GPS Navegador
- Molinete hidráulico
- Cámara fotográfica
- Cinta métrica

3.3.Ubicación del área de estudio

La presente investigación se realizó en el sistema de riego Paquishapa, se encuentra localizado en la parroquia de Urdaneta perteneciente al cantón Saraguro provincia de Loja. La parroquia de Urdaneta se encuentra a 10 km de la cabecera cantonal de Saraguro y a 80 km de

distancia de la ciudad de Loja, políticamente limita al norte con las parroquias de San Antonio de Cumbe, El Tablón y San Felipe de Oña, al sur con la parroquia de Imbana, al este con la parroquia San José de Yacuambi y al oeste con la parroquia de Saraguro.

El estudio consta del análisis de la disponibilidad de agua de la cuenca de la quebrada Ramas, y la demanda del recurso en la zona de riego beneficiaria del sistema en estudio.

3.3.1. Microcuenca de Captación Ramas

La microcuenca posee un área de 15.17km^2 y una elevación media de 2896 msnm, pertenece a la demarcación hidrográfica del rio Jubones, y se encuentra ubicada (mapa 1) en la zona geográfica 17S, entre las coordenadas planas 9604116.81 m y 9599196.16 m al Norte y 703270.84 m y 707926.92 m al Este.

3.3.2. Zona de Riego

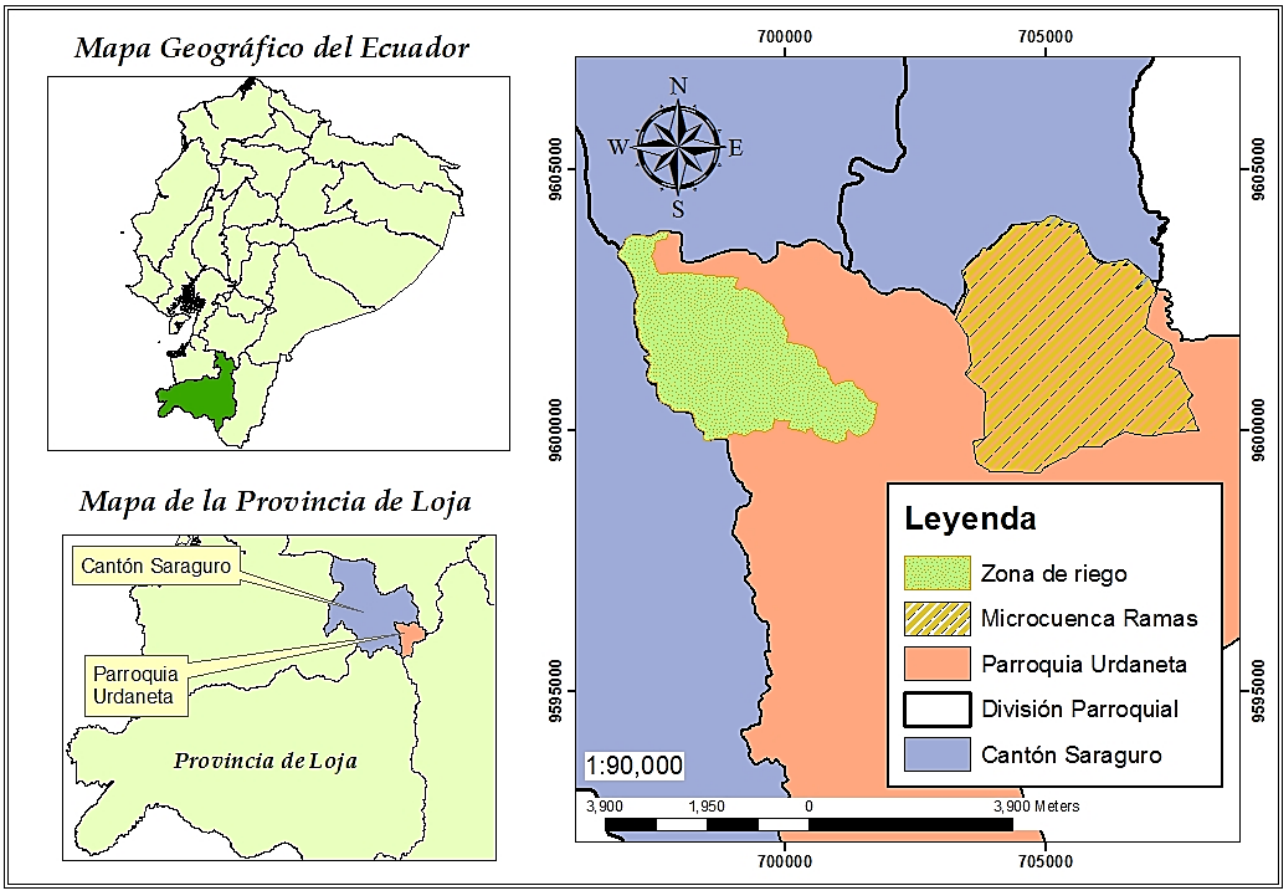
La zona de riego se encuentra ubicada (mapa 1) entre las coordenadas planas 9602626.28 m y 9599714.80 m Norte; y 699292.17 m y 703609.98 m Este, correspondientes al sistema de proyección UTM WGS 84 zona 17 Sur.

3.4. Descripción del sistema de riego Paquishapa

El sistema de riego “Paquishapa”, se inicia con el denominado “Plan Inmediato de Riego de Loja”, que se creó mediante ley en el año de 1970, por parte del Ex Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos INERHI.

El sistema de riego Paquishapa se realizó mediante el simple replanteo topográfico directo, sin considerar los complejos orígenes sociales de las comunidades beneficiarias. La construcción

del sistema de riego inicio en el año de 1980 y entro en funcionamiento en 1988 (SENAGUA, 2016).



Mapa 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

3.4.1. Obra de toma.

La captación, se ubica en la margen derecha de la quebrada Ramas, se trata de una captación de Rejilla de fondo o Caucasiana con los siguientes elementos: El azud que permite interceptar el flujo del río y alojar en su cuerpo la rejilla de fondo con su disipador de energía correspondiente. Luego de la rejilla se dispone directamente el canal hacia el desarenador con sus respectivas compuertas, el desripiador, vertedero de excesos y las compuertas de limpieza y de acceso a la

conducción. Está ubicada a una altitud de 2645 msnm, y en las coordenadas 9 599 824.46 Norte y 703 609.98 Este. El caudal de captación de acuerdo al diseño es de 150 l/s.

3.4.1. Características hidráulicas del canal principal

La conducción principal tiene una longitud total de 6.6 km, está compuesto por canales embaulados, bypass a 425 m de la captación, tramos de tubería de asbesto cemento, y metálica en sitios inestables, dos túneles, y dos acueductos.

El canal abierto tiene forma cuadrada, con una base de 0.80 m, y de altura 0.8 m; el canal embaulado tiene forma rectangular, tiene una altura de 0.70 m, y una base de 0.65 m, la loseta con un largo de 095 m y ancho de 0.65 m y con un espesor de 0.10 m. Tanto el canal abierto como el canal embaulado son revestidos de hormigón, y la loseta del canal embaulado es de hormigón armado (figura 1 y 2). Los túneles son revestidos y con un ancho útil de 1.20 m y una altura hasta el de arco de 1.80 m (figura 3).

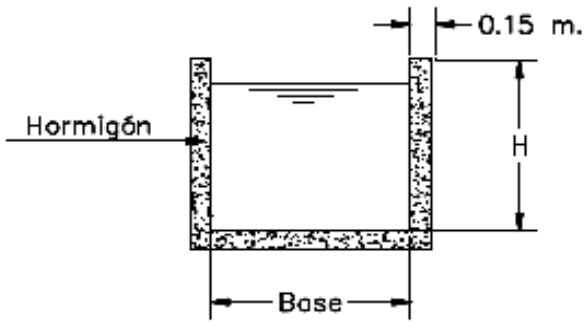


Figura 1. Canal abierto.

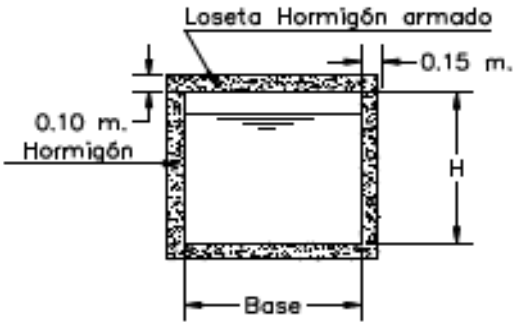


Figura 2. Canal embaulado.

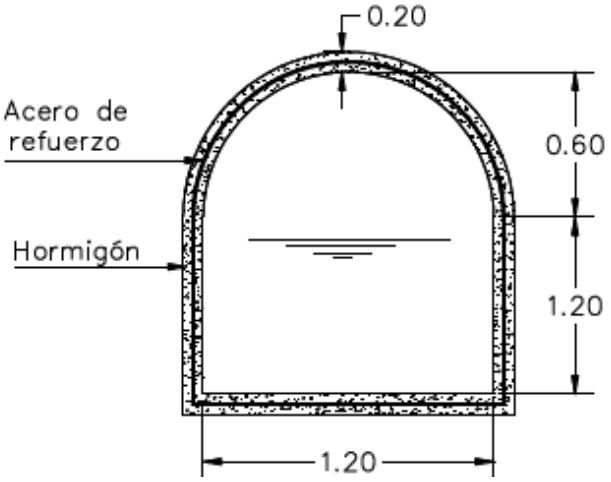
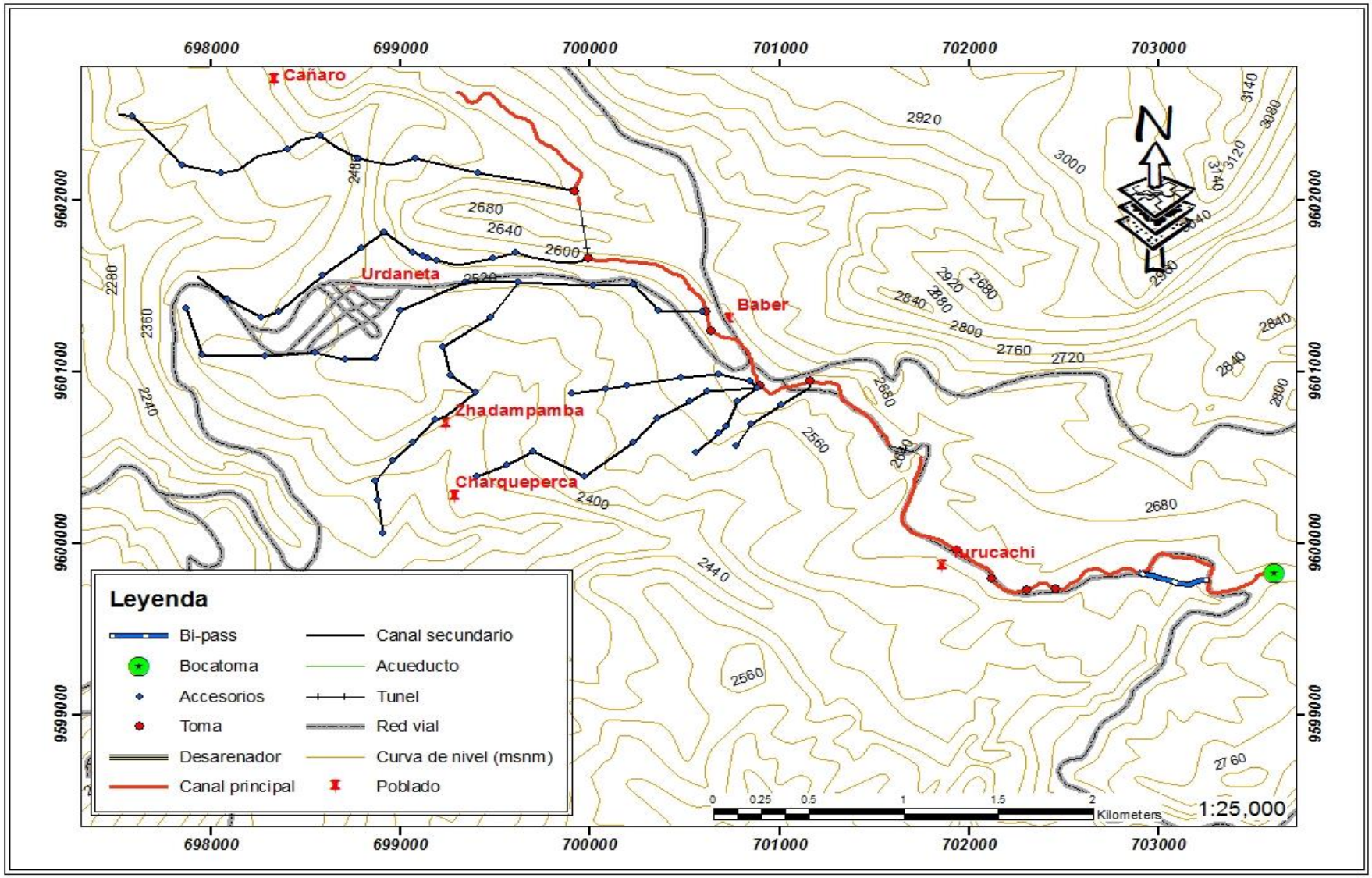


Figura 3. Túnel

3.4.2. Descripción del canal secundario

Conducción secundaria tiene una longitud total de 11.17 km, siendo en su totalidad tuberías de asbesto cemento y PVC, con diámetros variables. Las entregas son dispersas es decir no responden a una modulación técnica, haciéndose en ciertos casos con collarines y en otros con precarias cajas de distribución que en algunos casos cuentan con disipadores de energía. No existen en las redes secundarias tramos de canal abierto.

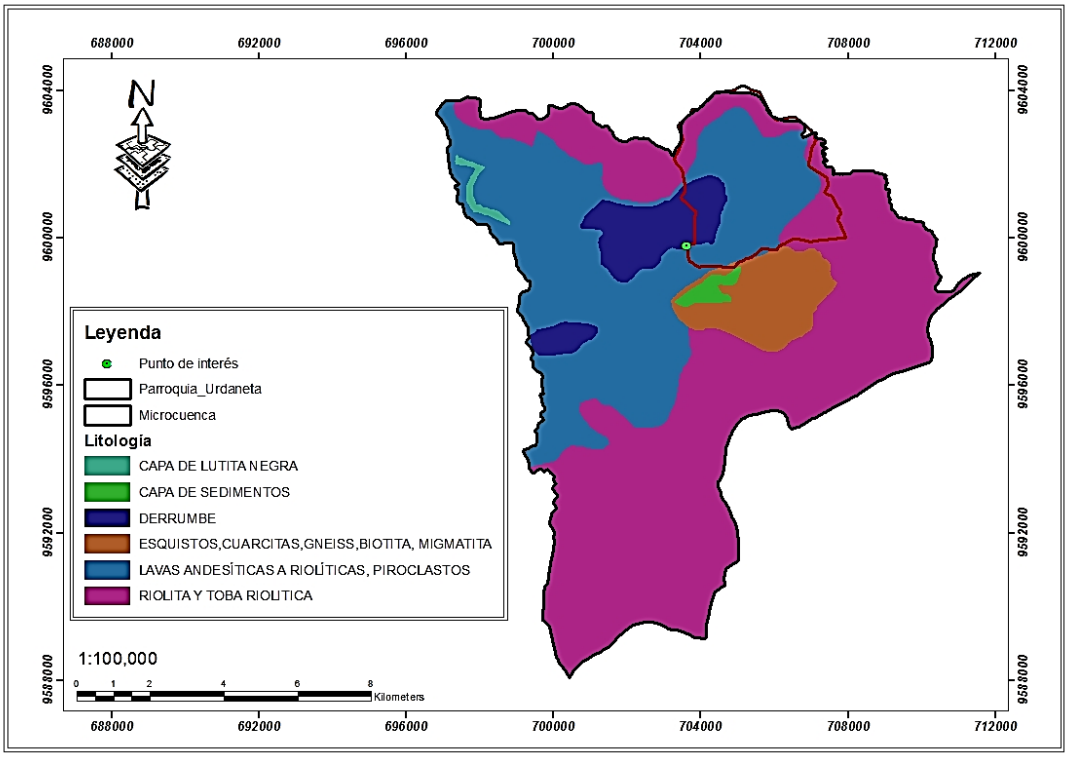
En el canal secundario se encuentran 4 tanques repartidores, 41 tanques rompe presión y repartidores, 2 válvulas de paso, 4 collarines de entrega directa, 3 válvulas de paso de dos unidades, 2 válvulas de paso, 1 válvula de paso de tres unidades.



Mapa 2. Sistema de riego Paquishapa.

3.4.3. Geología.

En cuanto a la geología, la parroquia de Urdaneta está sobre una zona de depósitos aluviales, provenientes de las corrientes de agua de las quebradas que se encuentran en una zona de lavas andesiticas, además se encuentran conformados por rocas ígneas extrusivas llamadas riolitas, esquistos, cuarcitas, migmatitas, lutitas y una parte del lugar se encuentran fallas geológicas donde existen derrumbes y la mayor parte de esas fallas se encuentran en algunos sectores por donde atraviesa el sistema de riego (mapa 3).

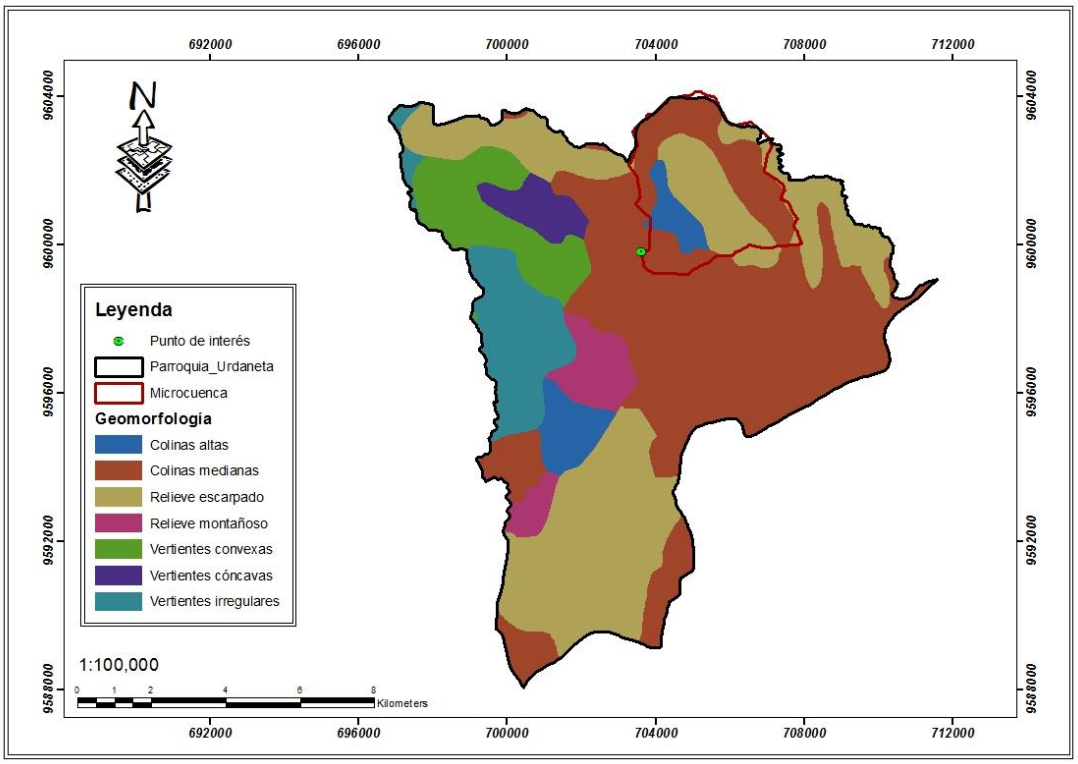


Mapa 3. Mapa geológico de la parroquia Urdaneta

3.4.4. Geomorfología.

Geomorfológicamente (mapa 4), la parroquia Urdaneta, esta sub dividida en siete categorías, en cuanto a la zona de riego está conformada por vertientes convexas (70.51 %), vertientes

cóncavas (22.18 %), relieve escarpado (7.31 %). En cuanto a la cuenca de captación está conformada por colinas medianas (50.2 %), relieve escarpado (38.13 %), colinas altas (11.67 %).



Mapa 4. Mapa geomorfológico de la parroquia de Urdaneta.

3.4.5. Clima.

La precipitación media anual de la cuenca de captación es de aproximadamente 723 mm, los cuales se encuentran distribuidos durante todo el año, respecto a la altitud el lugar de estudio cuenta con un clima Temperado característico de la zona interandina, las temperaturas oscilan entre 12 a 20°C, pero pueden ser inferiores en las vertientes menos expuestas al sol, este clima es común en lugares cuya altitud es entre 1900 a 3000 m.s.n.m. (Maldonado, 2014).

3.4.6. Suelo.

La zona beneficiada por el riego está conformado por suelos de la clase tipo IV que corresponden a franco, franco-limoso, franco-arcilloso, tierras apropiadas para cultivos permanentes, pastos y aprovechamiento forestal. Estos suelos de clase IV ocupan el 12 % de la provincia. Por lo general son tierras que necesitan de prácticas de manejo y conservaciones más cuidadosas e intensivas, si se quiere lograr producciones moderadas a óptimas en forma continua (Armijos, 2011).

3.5. Metodología

La metodología utilizada en la presente investigación corresponde con la literatura citada, considerando que se cumplan las condiciones óptimas para el desarrollo del proyecto y de tal forma obtener buenos resultados.

3.5.1. Estimar la disponibilidad del recurso hídrico de la cuenca que abastece al sistema de riego Paquishapa.

Para cumplir con este objetivo primeramente se hizo el análisis morfométrico de la cuenca para tener un conocimiento general de ella. Al no contar con una información hidrológica de la cuenca se estimó los escurrimientos a través de la precipitación media, para ello se procedió con el cálculo de la misma, y finalmente mediante métodos empíricos se estimaron los escurrimientos medios de la cuenca.

3.5.1.1. Análisis morfométrico de la microcuenca.

La morfométria de una cuenca, es el resultado del estudio de un conjunto de variables, que se sintetizan en la forma, relieve y drenaje.

Parámetros de forma.

Este parámetro es fundamental y determinante para el comportamiento hidrológico de la cuenca. Si una cuenca es de forma redonda presenta mayor riesgo de crecidas mientras que si es una cuenca alargada el tiempo de concentración varia en diferentes puntos de la cuenca haciendo que el agua pueda fluir sin que exista crecidas.

Área y Perímetro de la cuenca.

Se recolectó información básica cartográfica del cantón Saraguro publicada por el Instituto Geográfico Militar (IGM), con la cual se realizó la delimitación de la cuenca tomando como punto de interés la obra de captación de agua del sistema de riego, mediante el empleo del software SIG, de tal manera se delimito la cuenca considerando la línea de cumbre, las curvas de nivel, y los cauces de la red de drenaje; posterior a la delimitación se determinó el perímetro y la superficie.

Forma de la cuenca.

Para obtener la forma de la cuenca se empleó la fórmula del índice de Gravelius o más conocido como coeficiente de compacidad.

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

Dónde: K = coeficiente de compacidad de Gravelius (Tabla 1)

P = Perímetro de la Microcuenca

A = Área de la Microcuenca

Tabla 1. Clases de forma de una cuenca hidrográfica

Forma de la cuenca	Coeficiente de compacidad (Kc)	Tendencia a la crecida
De casi redonda a oval	De 1.00 a 1.25	Alta
De oval redonda a oval oblonga	De 1.25 a 1.50	Media
De oval oblonga a rectangular	De 1.50 a 1.75	Baja

Fuente: Tomado de González (2001).

Cuando el coeficiente de Gravelius se acerca a uno, la cuenca tiende a tener problemas de crecidas debido a que su forma se acerca a una circunferencia.

Índice de Horton

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la cuenca la misma que se mide desde el punto de salida del cauce hasta el punto más largo de la cuenca siempre en línea recta.

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

Dónde: Rf = Índice de forma (tabla 2)

L = Longitud de la cuenca

A = Área de la cuenca

Tabla 2. Índice de forma de una cuenca hidrográfica

Rf	Clases
0.01 – 0.18	Muy poco achatada
0.19 – 0.36	Ligeramente achatada
0.37 – 0.54	Moderadamente achatada

Fuente: Tomado de González (2001).

Parámetros de relieve.

Este parámetro tiene mayor influencia con el proceso hidrológico de la cuenca debido a que a mayor pendiente la escorrentía se produce en menor tiempo.

Pendiente media de la cuenca

La pendiente media de la cuenca es el valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca. Para ello se aplicó la siguiente ecuación:

$$S = \frac{\mathrm{D} * \mathrm{L}}{\mathrm{A}}$$

Dónde: D = Desnivel entre las curvas de nivel

L = Longitud total entre las curvas de nivel

A= Área total de la cuenca

Elevación media de la cuenca

Con ayuda del software SIG se obtiene las curvas de nivel cada 200 metros desde la cota más baja de la cuenca, posteriormente se calculó el área y el porcentaje de área,

finalmente estos resultados son graficados ubicando en el eje de las ordenadas los valores de elevación y en las abscisas el porcentaje de área.

Finalmente obtenida la curva se trazó una perpendicular desde el centro de las abscisas (50% del área), hasta que intercepte con la curva de manera que se proyecta hasta el eje de las ordenadas y el valor obtenido corresponde al valor de la elevación media de la cuenca.

Curva Hipsométrica

Sirve para definir el relieve de una cuenca, es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, que a cada altura le corresponde un respectivo porcentaje del área ubicada por sobre la altura correspondiente (figura 3). Este parámetro se lo obtiene mediante el comando Water Cicle del software Idrisi.

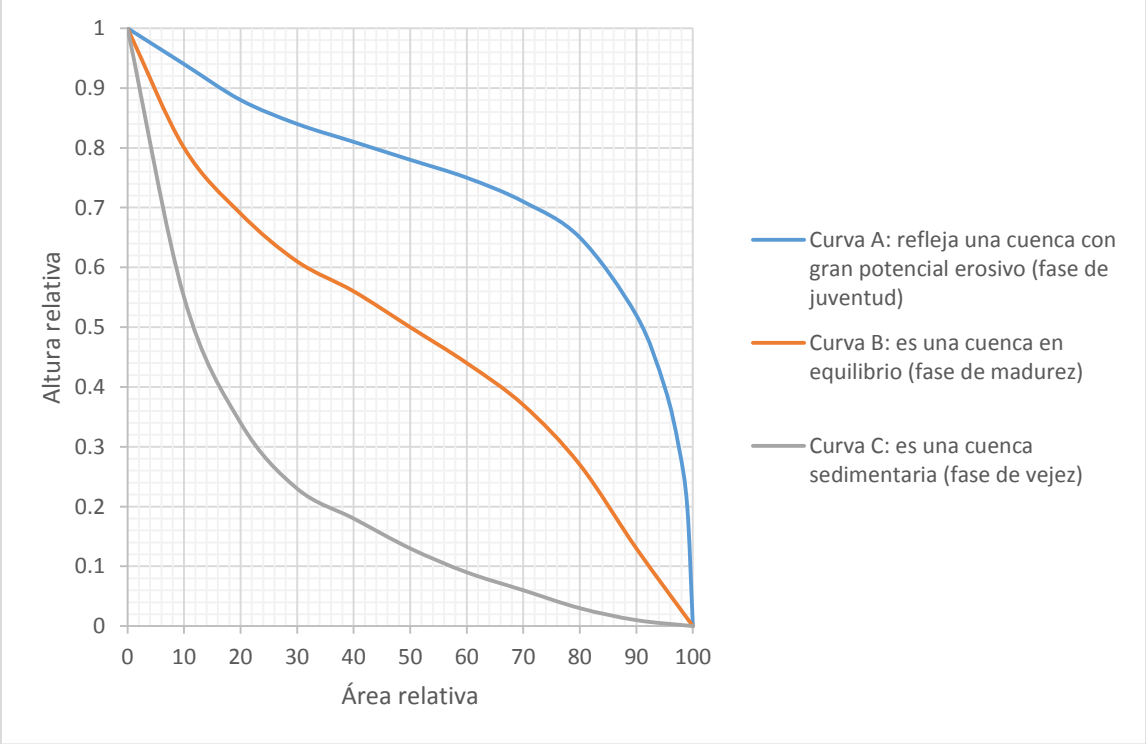


Figura 4. Tipos de curva Hipsométrica.

Parámetros de la red de drenaje.

La red de drenaje es determinante tanto como el parámetro de forma y de relieve, ya que este guarda una relación entre las corrientes naturales existentes en la cuenca, de manera que permite conocer la rapidez que tiene la cuenca para desalojar el agua que recibe.

Pendiente del cauce principal

Existen varios métodos para calcular la pendiente del cauce, en este caso se determinó a través el software Idrisi, mediante el modelo digital de elevación y el comando de wáter cicle, y para corroborar el dato obtenido se calculó nuevamente mediante el método de compensación de área y el método de Taylor y Schwars:

Compensación de área: se trazó una línea recta sobre el perfil del cauce desde la cota más baja de manera que este equitativa hasta llegar al otro extremo, luego se realizó la diferencia entre la cota más baja y la cota más alta según la línea trazada y ese resultado se dividió para la longitud del cauce.

Método de Taylor y Schwars: se dividió en tramos iguales la longitud del cauce, y se obtiene la pendiente de cada tramo mediante la equidistancia entre la elevación que se encuentra al inicio y al final de cada tramo, y posteriormente se aplicó la siguiente ecuación para obtener la pendiente media del cauce:

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \frac{1}{\sqrt{S_3}} + \cdots \ldots \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Dónde: S = Pendiente del cauce

S_1, S_2, S_n = Pendientes de los tramos

n = Número de tramos realizados

Densidad de drenaje

Este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la microcuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas.

$$Dd = \frac{L}{A} \ (km/km^2)$$

Dónde: Dd = Densidad de drenaje (tabla 3)

L = Longitud total de las corrientes

A = Área de la cuenca

Tabla 3. Densidad de drenaje para cuencas hidrográficas.

Características de la cuenca	**Densidad de drenaje**
Regularmente drenada	0<Dd<1.0
Normalmente drenada	1.0<Dd<1.5
Bien drenada	1.5<Dd

Fuente: Tomado de González (2001).

Orden de corrientes

Es una clasificación que proporciona el orden de bifurcación dentro de la cuenca, existen varios tipos de órdenes de corrientes; una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene solo tributarios de primer orden, dos corrientes de primer orden forman una de orden 2, una corriente de orden 3 aquellos con dos o más tributarios.

Tiempo de concentración

Es el tiempo que se tarda en llegar a la sección de salida una gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca, mediante la siguiente ecuación:

$$Tc = \left(\frac{0.87 * L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Dónde: Tc: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal (km)

H: Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m)

3.5.1.2. Estimación de la precipitación media mensual..

Para realizar la estimación de la precipitación media mensual de la microcuenca, fue necesario tener datos verídicos y confiables para ellos se realizó la recolección de información, el análisis correspondiente ya sea de relleno o confiabilidad y de tal forma proceder a la estimación de la precipitación media mensual.

Análisis de la confiablidad de los datos

Primeramente se recopiló datos de los anuarios meteorológicos del INAMHI, de estaciones que rodean la zona de estudio, ya que no cuenta con ninguna estación hidrométrica.

Se estructuró una base de datos, extraídos de los anuarios de cuatro estaciones que rodean la cuenca en estudio: Saraguro, San Lucas, Oña y Yanztaza (tabla 4) durante un periodo de 29 años (1979-2008).

Tabla 4. Estaciones meteorológicas

Estaciones	**Coordenadas Planas**		**Elevación (msnm)**
	Norte (m)	*Este (m)*	
Saraguro	9600208	695925	2525
San Lucas	9586943	692844	2573
Oña	9616502	704816	2320
Yantzaza	9577415	748491	830

Fuente: Anuarios meteorológicos

Posteriormente se procedió a realizar el relleno de datos faltantes de las estaciones mediante métodos establecidos como la media aritmética, método de la razón normal, método de la US National Weather Service, método de la correlación lineal simple.

- ✓ Media Aritmética: consiste en observar si las estaciones a usar cuentan con condiciones climáticas similares, y el método consiste en obtener el dato faltante mediante el simple promedio aritmético de los valores registrados.
- ✓ Método de la razón normal: se consideró que existan al menos 3 estaciones y que haya una similitud entre los datos, y únicamente se consideró los años con registros completos, y la ecuación a aplicarse es:

$$Px = \frac{1}{3}\left(\frac{Nx}{Na}Pa + \frac{Nx}{Nb}Pb + \frac{Nx}{Nc}Pc\right)$$

$$Nx = \sum total/\#\ estaciones$$

Dónde:

Px = Precipitación a encontrar

Nx = Precipitación normal anual de la estación para la cual se está rellenando la información

Na,Nb,Nc = Precipitaciones normales anuales de las estaciones circundantes consideradas

Pa,Pb,Pc = Precipitación de cada estación

- ✓ *Método U.S. National Weather Service:* Se estimó la precipitación en un punto de la cuenca como un promedio ponderado de 4 estaciones las mismas que se ubicaron en cada cuadrante, y se escogió las estaciones que estén más cercanas a la estación faltante.

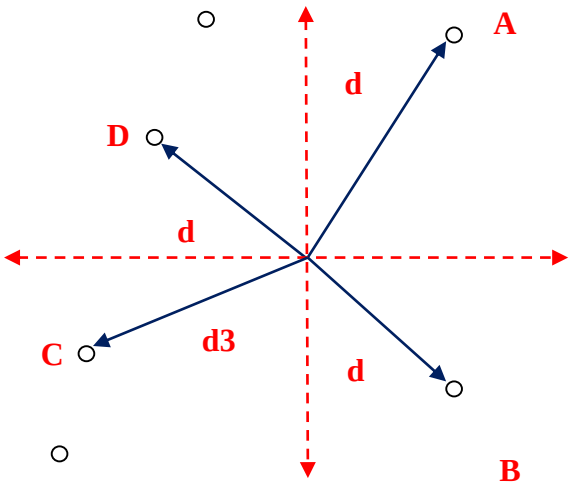


Figura 5. Plano cartesiano utilizado en la aplicación del Método U.S. National Weather Service.

Posteriormente se utiliza la ecuación siguiente:

$$Px = \left\{ \frac{Pa\left(\frac{1}{d_1^2}\right) + Pa\left(\frac{1}{d_2^2}\right) + Pa\left(\frac{1}{d_3^2}\right) + Pa\left(\frac{1}{d_4^2}\right)}{\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \frac{1}{d_3^2} + \frac{1}{d_4^2}} \right\}$$

Dónde: Px = Precipitación faltante

Pa,Pb,Pc,Pd = Precipitaciones de las estaciones

D = Distancia desde el centro de gravedad hasta cada una de las estaciones

- ✓ *Método de la correlación lineal simple:* Este método establece relaciones lineales entre dos estaciones, tomando en cuenta que deben tener características orográficas similares, una de ellas fue la estación base con una estadística confiable y la otra la estación por rellenar, hay que tomar en cuenta que la estación base tuvo estadística que a la otra estación tenía como faltante.

Posteriormente se determinó que estación estaría en la variable (x) y cual en (y) se ubicó los datos en dos columnas, la ecuación de la correlación lineal simple es:

$$Y = a + bX$$

a y b se determinan de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N}$$

$$a = N\sum xy - (\sum x)(\sum y)$$

$$b = N\sum x^2 - (\sum x)^2$$

$$c = N\sum y^2 - (\sum y)^2$$

N = número de pares de valores que intervienen en la correlación

Seguidamente se calculó el coeficiente de correlación (r):

$$r = \frac{a}{\sqrt{b * c}}$$

Cuanto más cercano a 1 se el valor del coeficiente mayor sea la confiabilidad.

Precipitación media mensual en la cuenca de captación.

Para la estimación de la precipitación media mensual de la cuenca de captación se analizó mediante el método de las isoyetas; primeramente se realizó una estadística sobre la precipitación media mensual de cada estación mediante Microsoft Excel, para trabajar dichos datos con el software SIG, a través del comando Interpolación Spline, el cual permite obtener capas raster de precipitación de cada mes, y mediante una extracción por mascara para el área de la cuenca, se obtuvo la precipitación de la cuenca para cada mes.

Se consideró los datos completos de 29 años de la estación de Saraguro, que es la más cercana a la cuenca, en conjunto con los valores obtenidos de precipitación mediante las isoyetas, se procedió a la aplicación de la siguiente ecuación.

$$pp_c = \left(\frac{pp_{iso}}{pp_{sb}}\right) * pp_{msb}$$

Donde:

pp_c = Precipitación mensual de la cuenca

pp_{iso} = Precipitación media anual por el método de la interpolación

pp_{sb} = Precipitación media anual de la estación base

pp_{msb}= Precipitación de cada mes de cada año de la estación base

Realizada esta ecuación para cada mes de cada año se obtuvo la estadística para los 29 años de información y posteriormente se obtiene la precipitación media mensual y media anual.

3.5.1.3. Estimación de caudales medios mensuales.

Para realizar la estimación de los caudales se lo hizo mediante varios métodos indirectos que han sido utilizados con anterioridad en diversos trabajos y han dado buenos resultados, así también mediante uno de los métodos directos como el aforo con molinete hidráulico, sin embargo si este método es aplicado por un corto tiempo, existe la limitación de que los datos obtenidos no generaliza que sean constantes durante varios periodos.

Métodos indirectos.

Son aquellos métodos que son aplicables mediante ecuaciones y no existe la necesidad de realizar aforos directos en la quebrada Ramas, pero llevan a una estimación aproximada o representativa del cauce.

Método del número de curva

Este método es adecuado para cuencas medianas y pequeñas, el número de curva va entre 0 y 100, si el valor obtenido está cercano a 0 tiene una permeabilidad alta, y si está cerca de 100 tiene condiciones de impermeabilidad. El número de curva es un coeficiente que depende del uso del suelo, capacidad de infiltración, condiciones de humedad del suelo (Anexo 3); y posterior a su obtención se aplica la siguiente ecuación.

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

Donde:

P: Precipitación mensual

N: Número de curva

Polinomio ecológico

Está basado en las características geomorfológicas de regulación natural y ecológicas de las cuencas, para ello es necesario adoptar coeficientes que simulan las condiciones de la microcuenca.

Este método considera la relación entre evapotranspiración potencial y la precipitación del lugar de estudio, así también es necesario coeficientes según características del lugar (Anexo 2). Luego de ello se aplica la siguiente ecuación:

$$Q = (k * A^n(0{,}70P_i + 0{,}29P_{i-1} + 0{,}01P_{i-2})^m)$$

Donde:

Q: Caudal (m^3/s)

A: Área de drenaje de la cuenca (km^2)

Pi: Precipitación del mes actual (mm)

Pi-1: Precipitación del mes anterior (mm)

Pi-2: Precipitación del mes tras anterior (mm)

K, m, n: coeficientes típicos de la zona de estudio (Anexo 2)

Método racional

Este método es uno de los más usados para la estimación de caudales asociado con la precipitación, este método tiene la ventaja de no requerir datos hidrométricos.

Para realizar este método se debe obtener el coeficiente de escorrentía (Anexo 4), por medio de parámetros como tipo de suelo, pendiente y cobertura del suelo; obtenido el coeficiente de escorrentía se aplicó la siguiente ecuación.

$$Q = \left(\frac{CPA}{360}\right)$$

Donde:

Q: Caudal (m^3/s)

C: Coeficiente de escorrentía

P: precipitación mensual (mm)

A: Área de drenaje (km^2)

Método directo.

El método directo es aquel que se trabaja directamente en el río o quebrada, mediante la medición de la sección del río o quebrada y la velocidad del agua.

Aforo de la quebrada Ramas

El aforo es un método directo, se lo realizó con el objeto de tener una estadística de caudales en el lugar, y realizar una comparación entre los valores obtenidos tanto por métodos indirectos y directos.

El aforo se lo realizo mediante el uso del molinete hidráulico, mediante el método de los dos puntos al 40% y 60% cuando en las secciones transversales del río o quebrada se tiene

una altura mayor a 0.40 m, y cuando la altura es menor a 0.40 m se aplicó el método de un solo punto al 60%.

- ✓ Primero se ubicó el lugar de aforo tomando en cuenta que sea una sección estable y de fácil acceso.
- ✓ Se dividió la quebrada en secciones transversales de izquierda a derecha.
- ✓ Se realizó el aforo con el molinete en cada sección transversal.
- ✓ Cada medición se lo realizó tres veces para mayor confiabilidad y se hace un promedio de cada medición.

Se aplicó las siguientes ecuaciones:

Cuando n es ≤ 3.328

$$V = 0.007 + 0.3345 * n$$

Cuando 3.388 < n < 7.084

$$V = -0.013 + 0.3403 * n$$

Cuando 7.084 < n < 15.000

$$V = 0.004 + 0.3380 * n$$

Donde:

V: velocidad del agua en m/s

n: número de revoluciones por segundo

Se calculó el área de cada sección transversal de la quebrada Ramas para calcular el caudal del río con la siguiente ecuación:

$$Q = A * V$$

Donde:

Q: Caudal en m^3/s

A: área de las secciones transversales de la quebrada (m^2)

V: velocidad del agua (m/s)

3.5.1.4. Curva de duración general.

Para la elaboración de la curva de duración general se procedió de la siguiente manera:

- Se estableció la estadística de caudales.
- Se realizó intervalos de clase de los caudales.
- Se determinó el porcentaje de ocurrencia o frecuencia de los datos de caudales, y seguidamente se obtuvo el valor acumulado.
- Finalmente se graficó la curva de duración general tomando en cuenta que en el eje de las (Y) va el valor del caudal correspondiente; y en el eje de las (X) el porcentaje acumulado de ocurrencia haciendo uso del Microsoft Excel.

3.5.1.5. Curva de variación estacional.

La curva de variación estacional se la elaboró de la siguiente manera:

- De la estadística de caudales mensuales, se ordenó los valores de mayor a menor de forma descendente.
- Se determinó la probabilidad de ocurrencia con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{2m - 1}{2n}$$

Dónde:

P = probabilidad

m = número de orden

n = número de años

- Posterior a esto se realizó una estadística con valores seleccionados de probabilidad y con los caudales ocurrentes en los mismos.
- Finalmente se graficó las curvas de variación estacional cada tres meses y considerando en el eje de las ordenadas (Y) los caudales y en el eje de las abscisas (X) las probabilidades.

3.5.1.6. Índice de retención y regulación hídrica (IRH)

Para obtener el índice de retención y régimen hídrico, se hizo uso de la curva de duración general, su estimación resulta de la relación entre volúmenes encontrados en dicha curva.

El volumen Vp se encuentra por debajo de la línea de caudal medio y el volumen total Vt que se encuentra por debajo de la curva de duración de caudales como se lo observa en la figura 6.

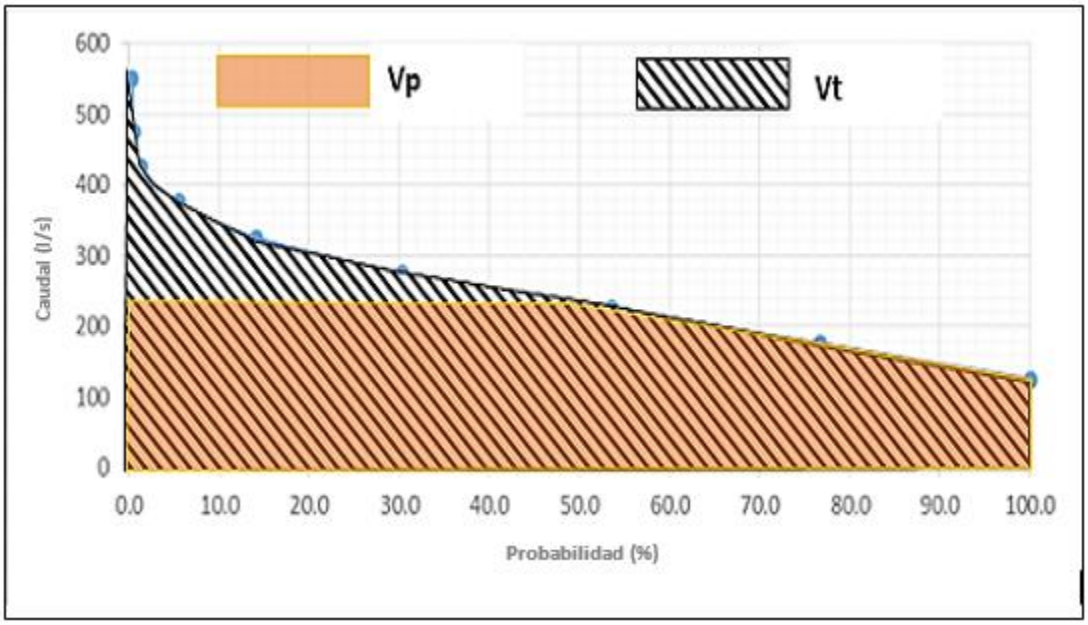


Figura 6. Representación del volumen Vt y Vp, en la curva de duración general.

Luego de haber obtenido los valores correspondientes se aplicó la siguiente ecuación:

$$IRH = \frac{VP}{VT}$$

Donde:

IRH: Índice de retención y regulación hídrica (Anexo 5)

Vp: Volumen representado que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio

Vt: Volumen total representado bajo la curva de duración de caudales

3.5.2. Análisis de la demanda del recurso hídrico de los cultivos en la zona de riego del sistema de riego Paquishapa.

Para el análisis de la demanda, se recolecto información en diferentes instituciones públicas y la corroboración mediante un recorrido por sitio de estudio.

3.5.2.1. Delimitación y catastro de la zona de riego.

Para realizar el análisis de la demanda primeramente se realizó la delimitación de la zona de riego mediante el software SIG, haciendo uso de la carta topográfica de Saraguro, ortofotos, y una geo referencia de los límites de la zona de riego.

Posteriormente se realizó un registro sobre los usuarios, cultivos y áreas cultivadas, mediante el uso del catastro obtenido de la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) y el Municipio de Saraguro.

3.5.2.2. Precipitación media mensual en la zona de riego.

Con la estadística de la precipitación media mensual de cada estación se aplicó el método de las isoyetas usando el software SIG a través del comando Interpolación Spline, se obtiene las capas raster de precipitación de cada mes, y mediante una extracción por mascara para la zona de riego, se obtuvo la capa de precipitación de la zona de riego para cada mes (Anexo 14).

Luego se aplicó la siguiente ecuación para obtener la precipitación media mensual.

$$pp_c = \left(\frac{pp_{iso}}{pp_{sb}}\right) * pp_{msb}$$

Donde:

pp_c = Precipitación mensual de la cuenca

pp_{iso} = Precipitación media anual por el método de la interpolación

pp_{sb} = Precipitación media anual de la estación base

pp_{msb}= Precipitación de cada mes de cada año de la estación base

3.5.2.3. Temperatura de la zona de riego.

Para obtener los datos de temperatura media mensual de la zona de riego se realizó una regresión lineal de estaciones circundantes (tabla 5), haciendo la referencia de temperatura versus altitud, teniendo como resultado un valor denominado "r".

Tabla 5. Estaciones meteorológicas usadas para la obtención de temperaturas.

Estaciones	Norte (m)	Este (m)	Altura (msnm)
Argelia	9553261	699469	2160
Saraguro	9600208	695925	2525
San Lucas	9586943	692844	2573
Oña	9616502	704816	2320
Zaruma	9590667	653970	1100
Girón	9650846	705405	2130

Con el valor "r" obtenido se lo aplico en la ecuación presentada de Temperatura determinada; y con el uso del software SIG se obtuvo los mapas de temperatura de toda la zona de estudio y se generó mapas de temperatura tanto de la cuenca (Anexo 13), como de la zona de riego (Anexo 16).

$$T_{det} = T_{men} + (r(Z_{det} - Z_{est}))$$

Donde: Tdet: Temperatura determinada

Tmen: Temperatura de cada mes

r: Valor obtenido de la regresión lineal

Zdet: Altitud estándar (2000 m)

Zest: Altitud de la estación

3.5.2.4. Evapotranspiración de referencia (ETo).

Con la base de datos de temperatura de la zona de riego se procedió a calcular la evapotranspiración de referencia (ETo), con la ecuación de Thornthwaite, la cual se aplicó mediante el software SIG, y se obtuvo los mapas de evapotranspiración de referencia de toda la zona de estudio y mediante la extracción de mascara (extract by mask) se obtuvo la evapotranspiración mensual de la zona de riego (Anexo 17).

$$Et_o = 16\left(\frac{10 * T}{I}\right)^a$$

$$I = \sum i_1 + i_2 + i_3 + \ldots\ldots\ldots i_n$$

$$i = \left(\frac{T_a}{5}\right)^{1.514}$$

$$a = 0.000000675I^3 - 0.0000771I^2 + 0.0179I + 0.492$$

Donde:

ETo: Evapotranspiración de referencia

I: sumatoria de 12 índice mensuales

T: Temperatura media mensual (°C)

i: Índice mensual

3.5.2.5. Coeficiente de cultivo (Kc).

El factor Kc se lo calcula para obtener la evapotranspiración del cultivo, es necesario determinar el kc de cada cultivo durante 4 fases de crecimiento: inicio, desarrollo, mediados de temporada, y final de la etapa, estipuladas en el documento de la FAO 56, el mismo que considera tipo de cultivo y condiciones climáticas locales, posterior a ello se graficó una curva por medio del software Excel donde se ubicó los valores del kc en el eje de las ordenadas (Y), y los valores de su etapa fenológica en el eje de las abscisas (X) (Figura 6), y así obtener los valores de kc para cada mes.

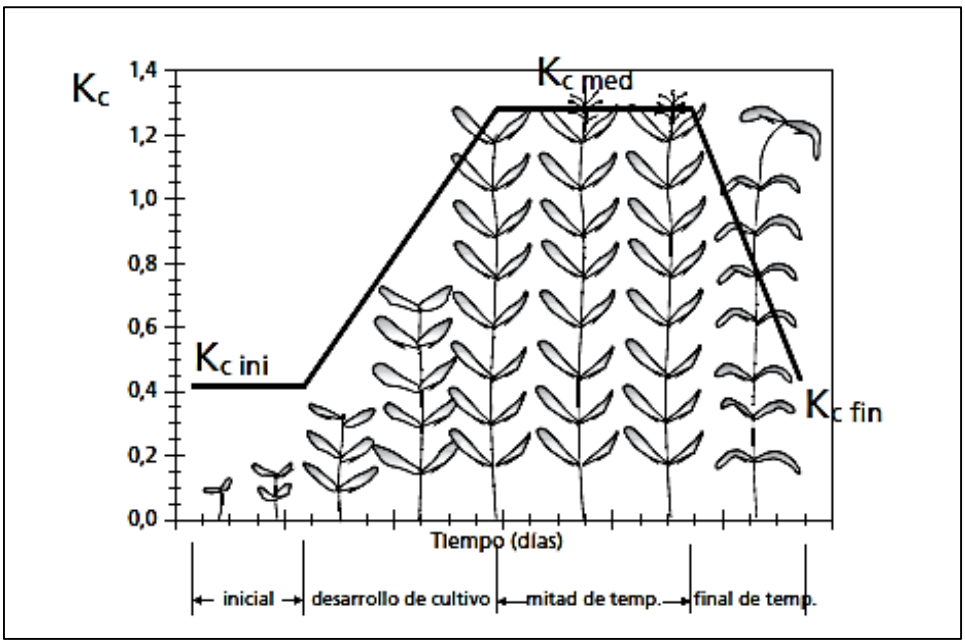


Figura 7. Curva Kc del cultivo. Tomado de FAO 56.

3.5.2.6. Evapotranspiración del cultivo (ETc).

La evapotranspiración del cultivo se obtuvo del resultado de la multiplicación del coeficiente de cultivo (kc) y la evapotranspiración de referencia (ETo).

$$ETc = Kc * ETo$$

Donde:

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Kc: Coeficiente del cultivo

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

3.5.2.7. Precipitación efectiva.

Ya obtenida la precipitación media que cae sobre la zona de riego se aplicó la ecuación de la USDA Soil Conservation Service, para obtener la precipitación que puede ser usada para contribuir en el desarrollo de la planta, conocida como precipitación efectiva, para lo cual se aplicó las ecuaciones que se presentan a continuación; y dichos valores fueron determinados mediante software Cropwat 8.0.

Precipitaciones totales mayores a 250 mm

$$P_{efec} = P_{tot} * \frac{125 - 0.2 * P_{tot}}{125}$$

Precipitaciones totales menores a 250 mm

$$P_{efec} = 125 + 0.1 * P_{tot}$$

Donde:

P_{tot}: Precipitación total de cada mes (mm)

P_{efec}: Precipitación efectiva (mm)

3.5.2.8. Necesidades de riego.

Para obtener los requerimientos de riego se aplicó la siguiente ecuación:

$$NRn = Etc - P_{efec}$$

Donde:

NRn: Necesidad de riego neta (mm)

ETc: Evapotranspiración de cultivo (mm)

Pefec: Precipitación efectiva (mm)

Para obtener el volumen de agua mensual para regar los cultivos, se procedió a seleccionar el mes con mayor requerimiento de riego, de tal forma se obtiene el caudal continuo por hectárea, y considerando el método de riego se obtiene el caudal característico, y finalmente este valor multiplicado por el número de hectáreas, para por medio de ello obtener el valor total del volumen a irrigar en toda la zona de riego, cabe recalcar que hay q tener en cuenta que 1 mm es igual a 10 m^3/ha.

3.5.2.9. Índice de aridez (Ia).

Representa el mayor o menor grado de insuficiencia de los volúmenes precipitados para mantener la vegetación in situ.

$$Ia = \frac{ETo - ETc}{ETo}$$

Donde:

Ia: Índice de aridez (Tabla 6.)

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm)

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm)

Tabla 6. Rangos para el índice de aridez.

Categorías	**índice**
Cuenca altamente deficitaria de agua	>60
Cuenca deficitaria	0.5 – 0.59
Cuenca entre normales y déficit	< 0.40 – 0.49
Cuenca normales	0.3 – 0.39
Cuenca con excedentes	< 0.15

Fuente: Tomado de IDEAM (2010)

3.5.2.10. Índice de escasez de agua

Este índice es la relación porcentual entre la demanda potencial de agua y la oferta disponible en la fuente abastecedora, para conocer si la demanda es significativa o no, con respecto a la oferta, para ello se aplicó la siguiente ecuación.

$$IEA = \frac{Dem * 100}{Ofer}$$

Donde:

IEA: Índice de escasez de agua (%) (Tabla 7)

Dem: Demanda (m^3)

Ofer: Oferta (m^3)

Tabla 7. Coeficientes para el índice de escasez de agua.

Categoría	Índice de escasez	Características
No significativa	< 1 %	Demanda no significativa, con relación a la oferta
Mínimo	1 – 10 %	Demanda muy baja respecto a la oferta
Medio	11 – 20 %	Demanda baja respecto a la oferta
Medio Alto	21 – 50 %	Demanda apreciable
Alto	>50 %	Demanda alta con respecto a la oferta

Fuente: Tomado de IDEAM (2010)

3.5.3. Formular una propuesta preliminar de programación de riego para el sistema de riego Paquishapa.

La programación de riego está determinada por las preguntas de cuándo regar y cuánta agua aplicar, la aplicación moderna se basa en el balance del agua en el suelo. La programación debe considerar la predicción para anticiparse a las necesidades futuras de agua (SCS, 1967).

Para la programación es necesario conocer las características del suelo de la zona de riego, por lo que en presente punto de estudio se recabó información acorde a las necesidades propuestas, y se estableció un patrón de cultivos acorde a las condiciones del sitio, para poder generar una programación eficaz.

3.5.3.1. Factores para la programación de riego

Para realizar la programación de riego se consideró algunos parámetros fundamentales.

Uno de ellos es el patrón de cultivos que se lo realizo según los cultivos que se producen en la parroquia en mayor cantidad; la zona de riego está sectorizada, contando con

los sectores de: Cañaro, Shadampamba, Centro Parroquial, y Baber; los cultivos que se producen en los sectores son: Maíz choclo asociado con fréjol, arveja, papa, hortalizas y pasto. Otros parámetros considerados son: la frecuencia de riego, tiempo de riego y el caudal de diseño.

Lámina neta (Ln)

Para calcular la lámina neta se aplicó la siguiente ecuación:

$$Ln = P * (CC - PMP) * \frac{Da}{DW} * P_{ef} * 10$$

Donde:

Ln: Lamina neta (mm)

P: Porcentaje de agotamiento (decimales)

CC: Contenido de humedad a capacidad de campo (decimales)

PMP: Contenido de humedad a punto marchitez permanente (decimales)

Da: Densidad aparente del suelo (g/cm^3)

Dw: Densidad del agua (g/cm^3)

Pef: Profundidad efectiva de las raíces (cm)

Los valores de capacidad de campo y de marchitez permanente se los obtuvo a partir de información facilitada por medio de la Prefectura de Loja en el departamento de Riego y Drenaje (RIDRENSUR) y SIGTIERRAS, y mediante la tabla sobre las propiedades físicas del suelo según la textura de Israelsen y Hansen (Anexo 18), para determinar de lámina neta de los cultivos actuales se utilizó los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente del sector de Cañaro, y para la propuesta se trabajó con datos de capacidad de

campo y punto de marchitez permanente representativos de cada módulo, con respecto a los valores de profundidad efectiva radicular y el porcentaje de agotamiento se los obtuvo a partir del documento FAO 56.

Lámina bruta (Lb)

La lámina bruta se obtuvo a partir de la lámina neta y la eficiencia de riego considerada para el riego por gravedad.

$$Lb = \frac{Ln}{Efa}$$

Donde:

Ln: Lámina neta

Efa: eficiencia de riego (50% riego superficial)

Frecuencia de riego

Hace referencia al tiempo o lapso de tiempo, después del cual debe aplicarse nuevamente el riego, para ello se procede con la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{Ln}{NRn}$$

Donde:

Fr: frecuencia de riego (días)

Ln: Lamina neta (mm)

NRn: Necesidad de riego (mm/día)

Tiempo de riego (Tr)

Cuando se tiene un riego por gravedad o superficial se toma en cuenta que existen tres periodos de riego: avance (tiempo que va el riego desde la cabecera hasta el pie del surco o melga), reposición de agua al suelo (tiempo de riego que permite reponer al suelo la lámina neta) y recesión (tiempo en el que el agua se suspende en la cabecera y el agua se va retirando de la superficie del suelo); por lo tanto el resultado del tiempo de riego dio de la sumatoria de los tres tiempos.

$$Tr = t1 + t2 + t3$$

El tiempo de avance (t1) es de 1/3 a 1/4 del tiempo de reposición (t2).

$$t1 = \frac{t2 * 1}{4}$$

Donde:

t1: Tiempo de avance

t2: Tiempo de reposición de agua al suelo

El tiempo de reposición (t2), se lo calculó mediante la siguiente formula.

$$t2 = \left(\frac{Ln}{2.41}\right)^{1.695}$$

Donde:

t2: Tiempo de reposición de agua al suelo

Ln: Lamina neta

Y el tiempo de recesión (t3) es un tiempo adicional t3 = 30 minutos

3.5.3.2. Propuesta para el sistema de riego Paquishapa.

En la actualidad existen 79 hectáreas que son beneficiadas del sistema de riego, a pesar de que el sistema de riego fue diseñado para más de 400 hectáreas, por lo que se realizó la propuesta de riego para 452.5 hectáreas, considerando 8 tipos cultivos (trigo, haba, hortalizas, frutales, arveja, papa, maíz choclo, fréjol), realizando el balance entre fechas de siembra, con los meses de lluvia, de manera que el agua lluvia sea aprovechada, y aquellos meses en el que el agua no es abundante en cuanto a precipitación, se haga uso del sistema de riego; se dividió la zona de riego en 8 módulos, cada módulo representa un cultivo.

4. Resultados y discusión

En el presente capítulo se observara los resultados obtenidos para cada objetivo planteado con su respectivo análisis e interpretación con el fin de que exista una mayor comprensión de los valores obtenidos.

4.1. Disponibilidad del recurso hídrico de la microcuenca que abastece al sistema de riego Paquishapa.

Se presenta los resultados, de la ubicación de la cuenca de captación, el análisis morfométrico debido a que es un factor primordial para el comportamiento de la cuenca, y los diversos métodos aplicados para obtener la disponibilidad hídrica.

4.1.1. Ubicación de la microcuenca de captación.

Inicialmente se ubicó el punto de interés el mismo que se encuentra en la bocatoma cuyas coordenadas son 9599791 Norte y 703621 Este, unidades correspondientes al sistema UTM WGS84 zona 17 Sur. Posterior a ello se realizó la delimitación de la cuenca utilizando el software SIG, para proceder con el cálculo de los parámetros morfométricos y el mapa base de la cuenca de la quebrada Ramas (mapa 5).

4.1.2. Morfométria de la microcuenca Ramas.

La cuenca de captación tiene una superficie de 15.17 km^2, según Villón (2002), se clasifica como una **cuenca pequeña,** según INEFAN (1995) y CIDIAT (1978), la clasifica como **microcuenca**, en tanto Aguirre (2007), la clasifica como una **Minicuenca**; posee un perímetro de 21.01 km. el índice de compacidad de Gravelius tiene un valor de 1.52, según González (2001) se clasifica como una cuenca con tendencia **oval oblonga a rectangular**,

el factor de forma que tiene un valor de 0.23, según González (2001) es **ligeramente achatada**, por lo que la lluvia que se presenta es distribuida de manera uniforme sobre la microcuenca; por lo tanto tiene poca tendencia a crecidas, además del tiempo de concentración que es de 60 minutos, a diferencia de lo que menciona Juela (2011), en su investigación en la Cuenca Alta del Río Catamayo "Es una cuenca grande, con tendencia a ser ovalada – redonda con un coeficiente de compacidad de 1.36, esta es propensa a tener crecidas violentas o rápidas y de gran magnitud".

La microcuenca posee una pendiente baja (21.23 %), lo cual genera velocidades de infiltración altas, ya que el escurrimiento es bajo debido a la pendiente.

Con respecto a la curva Hipsométrica (Figura 8), y haciendo referencia a la figura 3 (tipos de curva hipsométrica), la cuenca se encuentra en una etapa de equilibrio y representa una cuenca geológicamente madura.

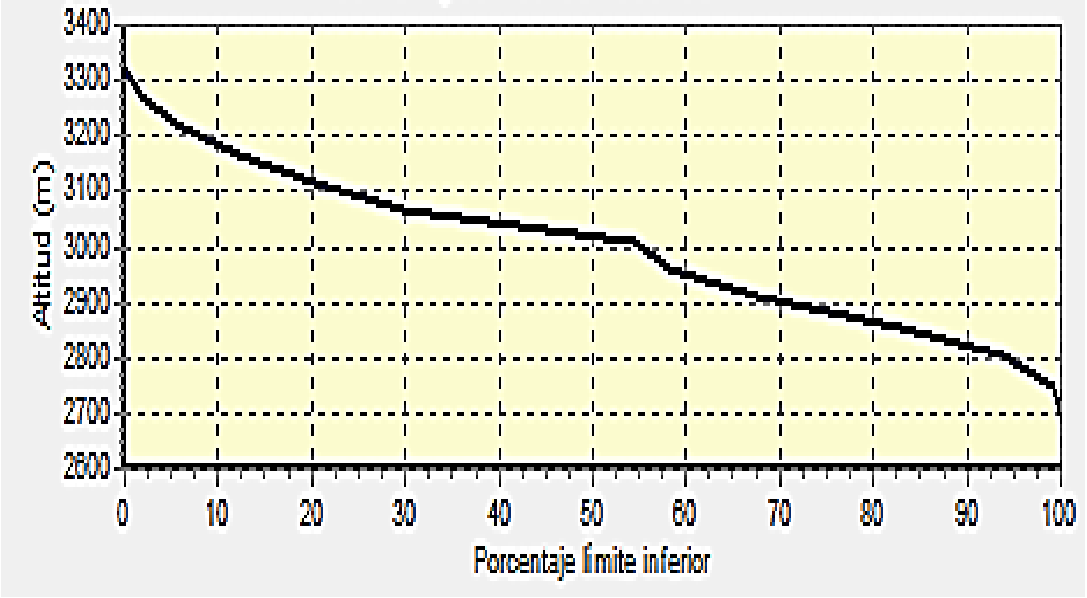
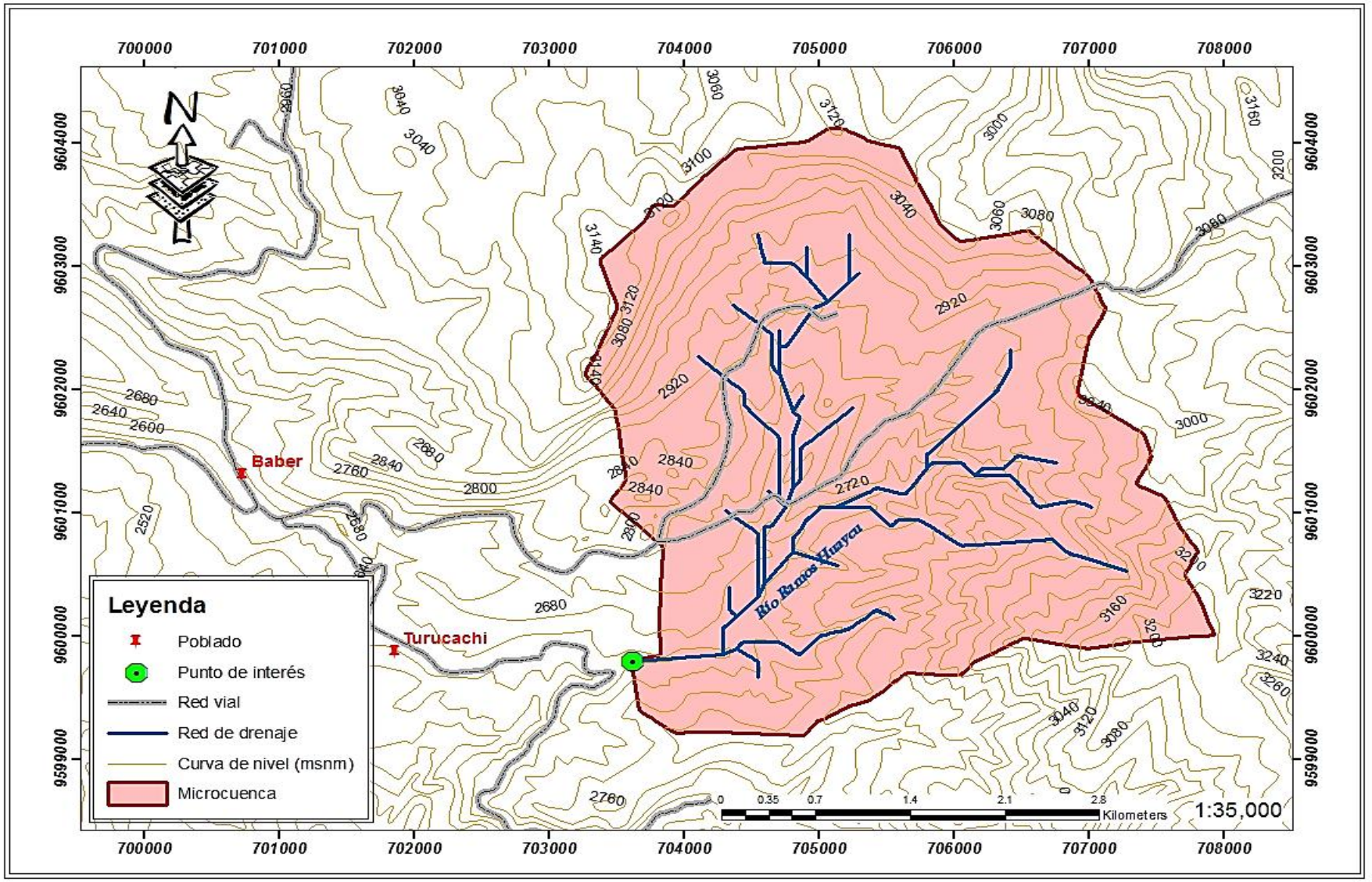


Figura 8. Curva hipsométrica de la microcuenca Ramas.



Mapa 5. Mapa base de la microcuenca Ramas.

El cauce principal posee una longitud de 5.51 km, con pendiente de 6.8 % (Figura 9), lo que concuerda con la pendiente baja de la cuenca, además de ello tiene un orden de corriente de 3 (Anexo 10), Mapa de numero de orden de corriente), lo que hace referencia a que la red principal cuenta con un elevado número de tributarios, ya que la longitud total de la red de drenaje es 19.84 km concordando con la densidad de drenaje, que posee un valor de 1.31 y según González (2001), describe a la microcuenca como normalmente drenada (tabla 3).

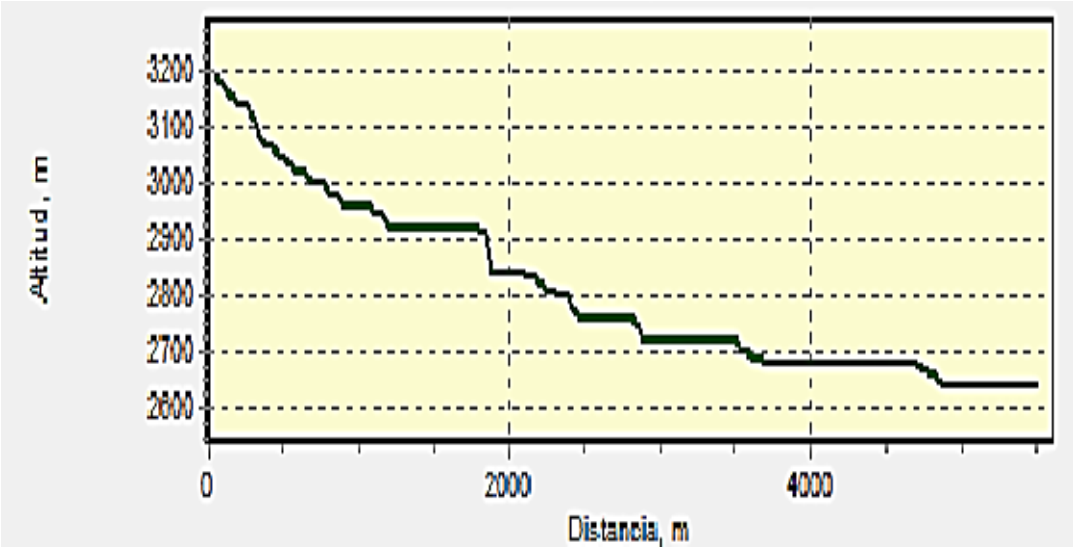


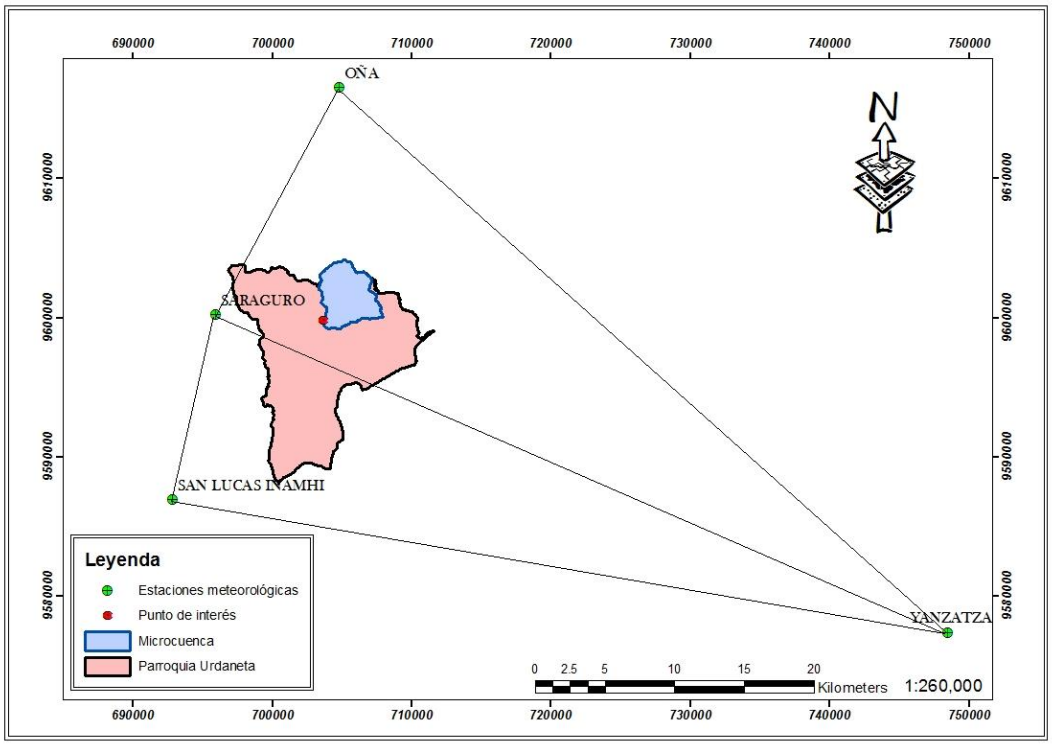
Figura 9. Perfil del cauce principal.

4.1.3. Disponibilidad del recurso hídrico.

Se determinó la disponibilidad del agua mediante métodos empíricos como el número de curva, polinomio ecológico, método racional; de todos ellos se seleccionó el método que más se aproximó a los valores obtenidos mediante el método directo (aforo mediante molinete hidráulico).

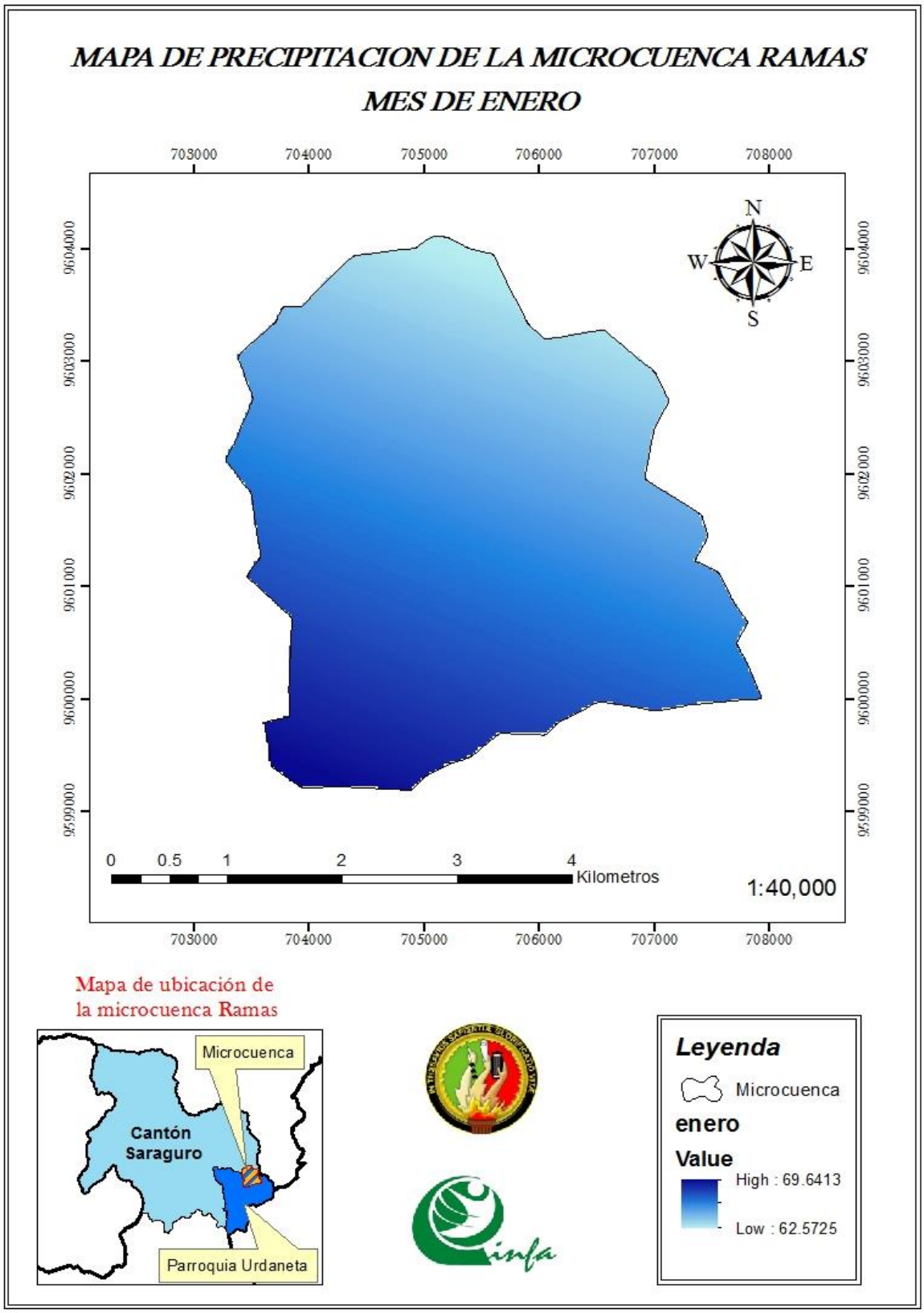
4.1.3.1. Precipitación media mensual de la microcuenca Ramas.

Se obtuvo la información pluviométrica de las estaciones meteorológicas que se encuentran circundantes (mapa 6) de la microcuenca en estudio, las estaciones seleccionadas son: San Lucas, Oña, Saraguro y Yantzaza.



Mapa 6. Estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio pluviométrico.

Se procedió a determinar la precipitación mediante el software SIG usando el comando de Interpolación, Spline; generando mapas de precipitación mensual de la microcuenca; en el mapa 7, se observa la precipitación media mensual correspondiente al mes de enero, de igual manera se generaron los mapas pluviométricos de los meses restantes (anexo 12). Con los datos de precipitación media mensual obtenidos mediante el software, se dividió dicho valor para la precipitación media mensual de la estación base (Saraguro), y finalmente multiplicando este valor por la precipitación de cada mes correspondiente a cada periodo de la estación base, se obtuvo la estadística de precipitación de la microcuenca de captación (tabla 7).



Mapa 7. Precipitación del mes de enero de la microcuenca Ramas

Tabla 7. Precipitación de la microcuenca Ramas (mm).

Año / Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1979	28.1	48.0	118.8	124.1	54.1	10.9	22.9	69.1	57.2	11.2	12.9	51.2	608.4
1980	93.7	184.6	75.5	111.1	27.3	31.3	23.3	23.1	60.0	64.2	49.0	41.0	784.4
1981	55.1	64.7	139.8	69.5	33.1	30.2	38.6	19.4	8.5	49.0	60.9	85.5	654.2
1982	103.1	51.9	91.1	58.5	103.6	12.5	37.0	28.7	26.1	62.1	60.8	150.2	785.6
1983	136.9	46.5	86.5	79.0	77.1	4.4	7.0	16.0	40.4	72.8	10.5	134.8	712.0
1984	46.1	183.5	96.9	137.6	69.5	26.6	74.2	15.4	42.4	64.2	79.2	35.1	870.6
1985	117.5	60.3	50.2	43.5	93.1	49.3	59.5	45.3	42.3	47.1	35.0	114.1	757.5
1986	30.9	84.1	150.4	89.5	29.2	24.7	33.0	18.3	39.8	37.2	47.1	32.2	616.3
1987	24.8	31.4	94.3	96.3	57.7	13.3	57.0	38.5	27.3	33.6	58.8	34.7	567.8
1988	96.8	105.9	24.6	138.9	49.7	32.5	36.3	20.5	10.6	59.1	70.7	67.0	712.6
1989	70.8	144.2	180.2	26.2	74.8	23.4	21.0	31.8	22.5	99.6	8.5	34.3	737.2
1990	58.1	65.8	86.1	106.5	71.1	107.2	7.7	33.6	9.3	111.8	43.3	60.6	761.1
1991	29.0	54.1	83.1	26.4	47.8	30.6	37.4	29.0	17.7	45.3	75.8	83.2	559.3
1992	34.5	91.3	51.9	62.3	12.0	57.2	49.4	32.4	68.9	18.4	39.0	38.4	555.6
1993	69.2	160.8	269.5	128.4	20.5	22.4	30.3	13.8	34.6	58.1	58.6	138.4	1004.7
1994	119.4	76.4	115.8	130.0	30.6	59.8	25.9	84.0	53.7	38.3	58.2	69.6	861.8
1995	12.4	69.1	62.9	109.3	43.7	21.2	52.1	8.4	23.3	32.2	130.3	96.0	661.0
1996	68.0	88.6	67.1	61.7	48.3	66.8	59.7	15.4	29.0	88.4	25.9	41.6	660.6
1997	129.6	98.3	71.9	55.6	56.5	21.2	35.8	32.0	35.7	44.5	79.4	72.6	732.9
1998	35.4	60.2	124.8	73.2	88.8	10.6	35.2	29.5	29.1	75.1	40.5	37.6	640.0
1999	116.7	228.1	105.1	57.6	112.1	70.6	48.9	73.5	61.6	31.6	21.9	159.1	1086.7
2000	72.1	113.5	97.5	79.0	59.7	63.0	13.0	56.8	136.4	18.6	8.0	89.7	807.5
2001	87.9	74.4	81.5	39.8	61.3	56.3	19.3	27.4	23.0	26.4	69.8	59.1	626.3
2002	19.5	64.6	45.6	88.5	82.9	57.7	62.3	37.4	7.0	46.0	177.7	103.5	792.6
2003	23.9	43.6	79.7	89.8	53.7	30.6	47.2	14.0	45.6	38.9	57.6	70.3	594.9
2004	46.0	46.2	37.2	95.8	49.8	61.6	19.6	4.5	40.9	53.2	84.2	66.5	605.6
2005	43.4	93.4	145.4	75.5	36.5	30.1	12.9	7.0	27.2	33.6	6.5	132.8	644.4
2006	58.8	89.1	85.5	62.1	10.3	67.5	15.8	15.9	10.7	40.0	109.0	74.0	638.7
2007	95.7	37.7	56.9	111.4	44.3	41.7	18.0	49.7	21.9	61.6	57.8	104.3	701.0
2008	52.7	132.9	103.7	106.3	83.2	48.8	26.8	71.2	29.9	157.8	94.4	55.4	963.1
MAX	136.9	228.1	269.5	138.9	112.1	107.2	74.2	84.0	136.4	157.8	177.7	159.1	1086.7
MED	65.9	89.8	96.0	84.5	56.1	39.5	34.2	32.1	36.1	54.0	57.7	77.8	723.5
MIN	12.4	31.4	24.6	26.2	10.3	4.4	7.0	4.5	7.0	11.2	6.5	32.2	555.6
DESV	36.1	48.6	48.1	31.8	25.9	23.5	17.7	21.0	25.2	30.4	37.8	37.5	132.5
CV (%)	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.6	0.7	0.5	0.2

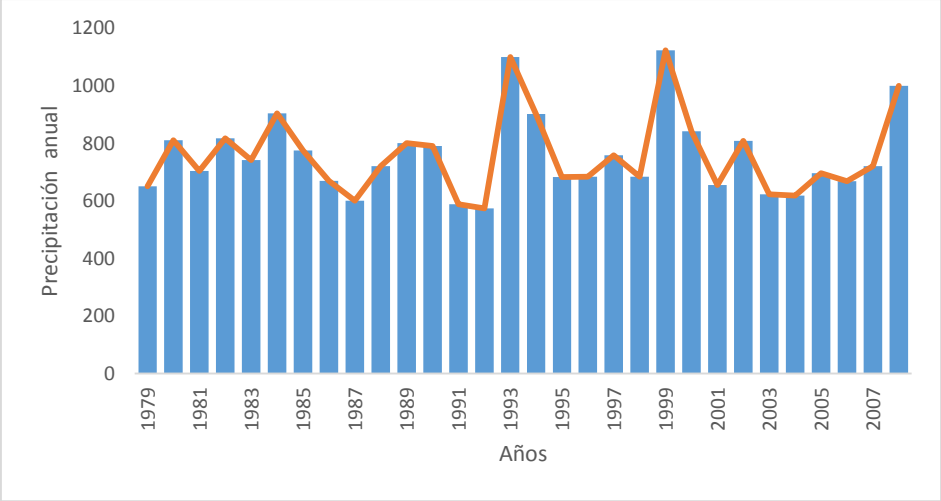


Figura 10. Histograma de distribución plurianual de la microcuenca Ramas

La precipitación del periodo 1979 – 2008 sobre la microcuenca, muestra lluvias de mayor intensidad en los años de 1993, 1999, y 2008, mientras que el periodo con lluvias de menor intensidad se da durante los años de 1987, 1991 y 1992.

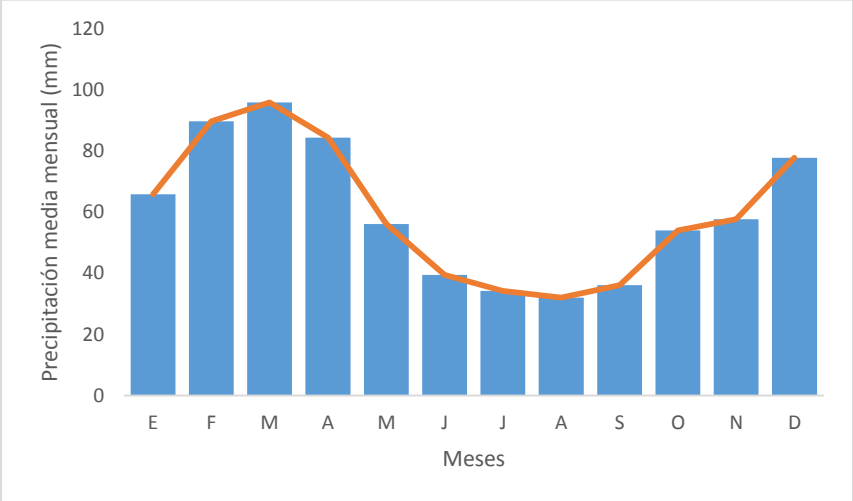


Figura 11. Histograma de distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca Ramas.

El análisis de la precipitación permite observar la distribución anual en la microcuenca, los meses más lluviosos son desde octubre hasta mayo con una precipitación que va de 54 mm a 96 mm, mientras que el periodo menos lluvioso, se representa en los meses de junio a septiembre con

precipitaciones de 32.1 mm a 39.5 mm, se observa que existe una precipitación distribuida durante todo el año (Figura 11), a diferencia de lo mencionado por Juela (2011), en su trabajo investigativo en la cuenca Alta del Río Catamayo hasta el Arenal,… (La parte baja de esta o sea las zonas de Malacatos, Quinara, El tambo, Catamayo tienen escasa precipitación, con excepción de los primeros meses del año, por tal razón se puede afirmar que en este sector existe deficiencia total de agua durante todo el año, a excepción de los meses de invierno).

4.1.3.2. Caudal de la quebrada Ramas

Para estimar el caudal medio de la quebrada Ramas se aplicó varios métodos empíricos, además de realizar aforos en el punto de interés, (Figura 12), mediante ello se procedió con la selección del método que más se ajuste a los valores de aforo, siendo en este caso el método del **polinomio ecológico**.

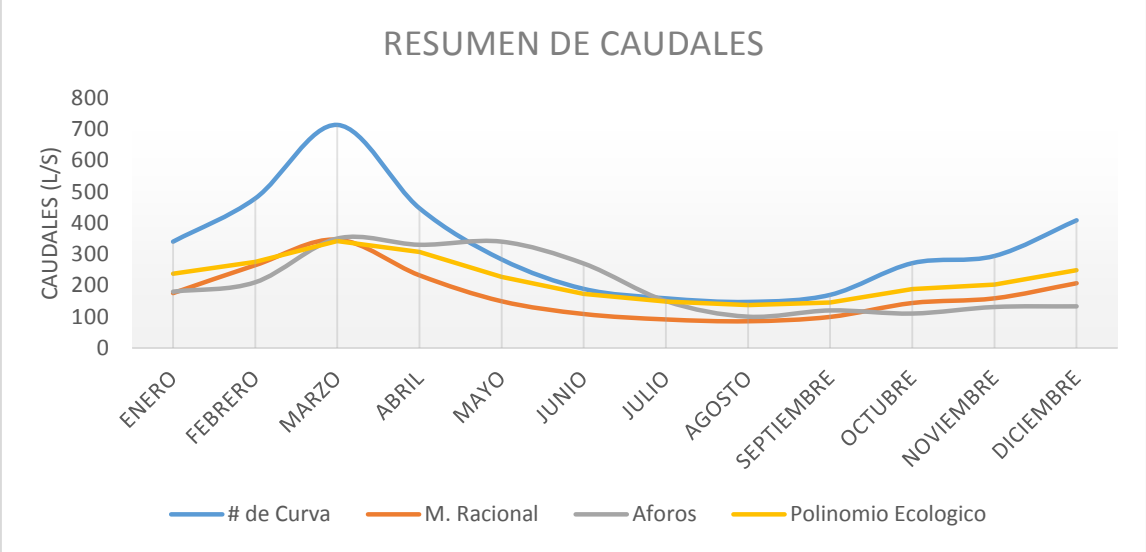


Figura 12. Curva de caudales.

Para la aplicación del método del **polinomio ecológico**, es indispensable la selección de algunos coeficientes propios de la zona de estudio, que resultan de la relación entre la evapotranspiración y precipitación de la zona (tabla 8).

Tabla 8. Relación Evapotranspiración-precipitación (ETo/pp).

Eto	64.1	67.2	70.4	65.1	65.3	62.6	60.6	60.9	59.9	66.1	70.3	67.0
pp	65.9	89.8	96.0	84.5	56.1	39.5	34.2	32.1	36.1	54.0	57.7	77.8
Relación Eto/pp	*0.97*	*0.75*	*0.73*	*0.77*	*1.16*	*1.59*	*1.77*	*1.90*	*1.66*	*1.22*	*1.22*	*0.86*

Mediante los valores indicados en la tabla 8 se procedió a la selección de los factores m y n los cuales demanda este método para su aplicación; una ves obtenidos estos factores se aplicó la ecuacion señalada en la metodologia del presente método y se obtuvo la estadistica de caudales (tabla 9).

Mediante el método polinomio ecológico se estableció una estadística completa de caudales, la cual establece que la quebrada Ramas posee un caudal medio de 214.01 l/s, mientras que mediante aforo con molinete hidráulico, el caudal medio es 202 l/s (los aforos se realizaron durante los meses que duro el proyecto), aunque la concesión que posee el sistema de riego Paquishapa es 150 l/s.

Tabla 9. Estadística de caudales de la quebrada Ramas mediante el método de polinomio ecológico.

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1979	160.1	188.2	311.2	353.4	249.5	122.6	105.6	192.9	208.5	128.7	86.1	177.4
1980	260.8	413.5	330.0	316.9	200.6	140.9	123.5	114.8	184.0	222.6	202.9	187.6
1981	231.6	237.2	347.8	294.4	182.9	142.1	151.6	120.2	78.9	162.2	210.5	266.2
1982	331.4	249.9	276.3	248.8	279.0	162.7	137.2	136.5	128.7	197.6	218.9	350.4
1983	362.5	262.7	266.9	276.4	255.0	127.6	56.6	82.0	145.1	223.0	140.0	305.5
1984	183.2	389.9	355.4	361.1	277.4	164.6	206.2	140.5	150.1	211.3	247.3	199.4
1985	330.4	270.9	218.0	196.1	256.1	213.6	199.1	180.7	171.0	184.3	166.7	291.0
1986	151.1	250.7	370.2	327.2	190.7	128.7	137.1	113.1	146.5	164.3	180.7	169.0
1987	141.1	151.9	267.0	304.6	237.8	129.8	171.4	167.6	139.4	148.4	197.5	182.7
1988	280.2	321.1	205.8	324.1	250.1	160.7	149.6	120.6	85.9	181.7	231.5	245.1
1989	221.8	355.4	432.8	257.9	222.0	160.1	113.3	130.1	123.5	251.2	157.3	142.2
1990	219.8	240.5	276.4	314.3	262.3	279.0	154.3	125.2	95.1	260.3	223.3	218.4
1991	187.9	200.9	264.3	189.5	176.1	153.0	150.0	137.6	111.3	162.8	230.7	271.6
1992	163.1	264.2	240.1	230.0	135.1	174.2	187.0	153.1	203.9	152.0	152.6	173.9
1993	282.6	376.4	529.4	431.2	205.5	117.6	130.0	100.7	133.1	196.5	213.2	334.9
1994	310.5	294.0	324.5	359.6	218.9	192.4	150.8	216.6	212.4	178.3	200.2	240.7
1995	168.9	215.6	242.4	305.3	224.6	134.3	168.5	108.8	105.2	141.4	296.4	318.6
1996	222.7	280.6	262.6	239.2	201.2	212.4	209.0	130.4	123.8	238.8	180.5	171.6
1997	324.9	329.0	276.8	232.8	210.2	143.0	140.3	141.7	149.4	174.6	235.8	258.4
1998	164.2	215.1	326.0	290.9	268.2	148.7	131.7	136.3	135.2	219.9	195.7	175.1
1999	351.1	471.4	388.4	260.0	289.7	253.6	196.8	215.4	217.9	171.9	128.7	341.2
2000	257.9	318.1	319.9	284.3	230.5	214.1	130.1	168.8	302.3	201.8	84.3	239.2
2001	263.5	272.2	275.5	212.7	207.8	204.4	136.8	120.9	120.7	129.7	210.1	231.7
2002	188.6	213.0	210.8	265.9	267.3	220.4	207.9	170.3	95.4	155.9	357.7	352.2
2003	168.5	177.2	252.5	287.7	227.7	159.0	167.0	116.5	154.2	171.6	199.4	241.4
2004	205.2	198.9	182.2	271.2	224.8	206.4	141.2	67.0	137.6	192.6	247.9	252.6
2005	242.2	274.7	369.0	306.4	193.0	144.7	100.2	64.8	111.3	147.4	93.0	299.9
2006	231.0	276.4	289.4	251.6	132.4	189.8	137.6	93.0	80.2	146.8	273.3	277.9
2007	298.7	221.0	213.0	304.2	226.7	171.9	121.9	160.0	136.9	194.4	213.9	290.7
2008	208.9	332.2	337.9	324.9	278.6	208.1	145.4	199.0	167.5	328.6	316.0	244.5
MAX	362.5	471.4	529.4	431.2	289.7	279.0	209.0	216.6	302.3	328.6	357.7	352.2
MED	237.1	275.4	298.7	287.4	226.1	172.7	148.6	137.5	145.2	188.0	203.1	248.4
MIN	141.1	151.9	182.2	189.5	132.4	117.6	56.6	64.8	78.9	128.7	84.3	142.2
DESV	64.8	74.2	74.0	52.6	39.9	40.4	34.7	39.4	48.4	43.6	62.8	60.1
CV (%)	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2

4.1.3.3. Curva de duración general.

Para elaborar la curva se requirió establecer rangos de caudales y establecer periodos de tiempo, lo que permitió seleccionar cuantas veces se repite cada rango en los periodos de tiempo determinados (tabla 10).

Tabla 10. Rango de caudales para la elaboración de la curva de duración general.

Rango (l/s)	1979-1982	1983-1986	1987-1990	1991-1994	1995-1998	1999-2002	2003-2006	2007-2008	Total	P %	Caudal med.
500-600	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0.3	550
450-500	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0.6	475
400-450	1	0	1	1	0	0	0	0	3	1.4	425
350-400	2	5	1	2	0	4	1	0	15	5.6	375
300-350	5	3	4	3	5	4	1	6	31	14.2	325
250-300	5	9	9	5	6	10	11	3	58	30.3	275
200-250	11	6	10	12	15	15	8	7	84	53.6	225
150-200	11	15	10	16	8	6	12	5	83	76.7	175
100-150	13	10	13	8	14	8	15	3	84	100.0	125

Dependiendo de los valores máximos y mínimos de caudales se procede con la selección del rango tanto de tiempo como de caudales, mientras más cortos sean estos rangos mayor será la exactitud en la elaboración de la curva de duración general.

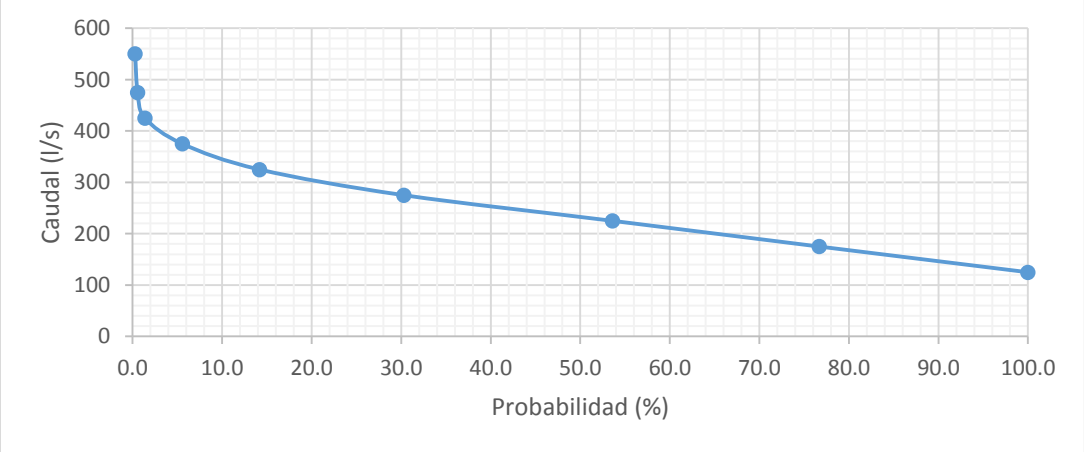


Figura 13. Curva de duración general.

La curva de duración general permite conocer el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales pueden ser: igual, superiores o incluso inferiores, es decir en condiciones óptimas el porcentaje de tiempo seleccionado tendrá disponible el caudal correspondiente en ese caso; en el presente proyecto se optó por trabajar con la *probabilidad del 75% (176 l/s)*, ya que esta probabilidad considera un margen de error considerable, además de incluir el caudal ecológico.

4.1.3.4. Índice de retención y regulación hídrica (IRH).

Este parámetro permite conocer la capacidad de retención de humedad y el mantenimiento de condiciones de regulación hídrica optimas en una cuenca, el valor de IRH es de 0.71 según el IDEAM (2010), representa una clasificación moderada (Anexo 5) lo que quiere decir, que la microcuenca tiene un capacidad media de retención de humedad y regulación; ya que por condiciones de suelo, cobertura vegetal y pendiente no permite que exista una infiltración total.

4.1.3.5. Curva de variación estacional.

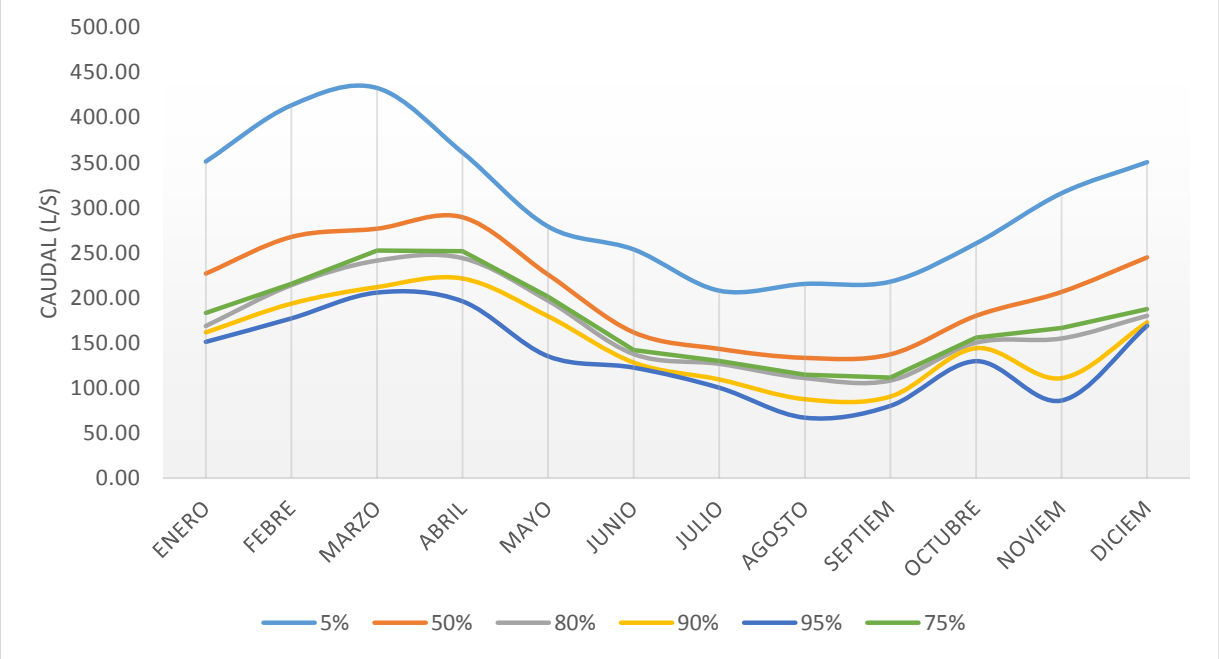


Figura 14. Curva de variación estacional.

La curva de variación estacional permite conocer la probabilidad de ocurrencia de un caudal en la quebrada Ramas, ya que para realizar esta curva fue necesario tener una estadística de varios años de caudales y obtener rangos de probabilidad. En el caso de la quebrada Ramas, se seleccionó una probabilidad del 75%, siendo el caudal existente en condiciones óptimas 176 l/s.

4.2.Analizar la demanda del recurso hídrico de los cultivos en la zona de riego del sistema Paquishapa

Para el análisis de la demanda del recurso hídrico es necesario el análisis de ciertos componentes que se los presentan a continuación.

4.2.1. Precipitación media de la zona de riego

Mediante el comando de interpolación Spline del software SIG, se obtuvo la precipitación media anual de la zona de riego, mediante la estadística de la estación base (Saraguro), y aplicando la misma metodología que se usó para la obtención de la precipitación de la microcuenca; se obtuvo la base de datos de precipitación en la zona de riego (tabla 11).

Tabla 11. Precipitación de la zona de riego (mm)

Año / Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1979	29.7	51.1	166.4	128.2	52.2	9.8	19.2	64.3	56.7	11.9	13.7	54.6	657.6
1980	99.1	196.6	105.8	114.9	26.4	28.1	19.5	21.5	59.5	68.1	52.1	43.7	835.2
1981	58.3	68.9	195.9	71.8	31.9	27.1	32.3	18	8.4	51.9	64.8	91.3	720.4
1982	109	55.3	127.6	60.4	99.9	11.2	30.9	26.7	25.9	65.8	64.6	160.3	837.6
1983	144.7	49.5	121.1	81.7	74.4	4	5.9	14.9	40	77.1	11.2	143.9	768.4
1984	48.8	195.4	135.7	142.2	67	23.8	61.9	14.3	42	68.1	84.2	37.5	921
1985	124.3	64.3	70.3	45	89.9	44.2	49.7	42.2	41.9	49.9	37.2	121.8	780.6
1986	32.6	89.5	210.7	92.5	28.2	22.1	27.5	17.1	39.4	39.4	50.1	34.4	683.5
1987	26.2	33.5	132.1	99.5	55.6	12	47.6	35.8	27	35.6	62.5	37	604.6
1988	102.4	112.8	34.4	143.6	48	29.1	30.3	19.1	10.5	62.6	75.2	71.5	739.4
1989	74.8	153.6	252.4	27.1	72.1	21	17.5	29.6	22.3	105.6	9	36.6	821.6
1990	61.4	70.1	120.6	110.1	68.6	96.2	6.5	31.2	9.2	118.5	46	64.7	803
1991	30.6	57.6	116.4	27.3	46.1	27.4	31.2	26.9	17.6	48.1	80.5	88.8	598.6
1992	36.4	97.3	72.7	64.3	11.6	51.3	41.2	30.1	68.3	19.5	41.4	41	575.1
1993	73.2	171.3	377.6	132.7	19.8	20.1	25.3	12.8	34.3	61.6	62.2	147.7	1138.6
1994	126.2	81.4	162.1	134.4	29.5	53.6	21.7	78.1	53.2	40.6	61.9	74.3	917
1995	13.1	73.6	88.1	113	42.2	19	43.5	7.9	23.1	34.1	138.5	102.4	698.5
1996	71.9	94.4	94	63.8	46.6	59.9	49.9	14.3	28.7	93.7	27.6	44.4	689.1
1997	137	104.7	100.7	57.5	54.5	19	29.9	29.8	35.3	47.1	84.4	77.5	777.3
1998	37.4	64.1	174.9	75.7	85.6	9.5	29.4	27.4	28.9	79.7	43	40.1	695.7
1999	123.4	242.9	147.2	59.5	108.2	63.3	40.8	68.3	61	33.5	23.2	169.8	1141.2
2000	76.2	120.9	136.6	81.7	57.6	56.5	10.9	52.8	135.1	19.8	8.5	95.7	852.3
2001	92.9	79.2	114.1	41.2	59.2	50.5	16.1	25.5	22.8	28	74.2	63.1	666.8
2002	20.7	68.8	63.9	91.4	80	51.7	52	34.8	7	48.7	188.9	110.4	818.3
2003	25.3	46.5	111.7	92.9	51.8	27.4	39.4	13	45.2	41.2	61.2	75	630.5
2004	48.6	49.2	52.1	99.1	48.1	55.2	16.4	4.2	40.6	56.4	89.5	70.9	630.3
2005	45.9	99.5	203.7	78.1	35.2	27	10.8	6.5	26.9	35.6	6.9	141.7	717.9
2006	62.2	94.9	119.7	64.2	10	60.6	13.2	14.8	10.6	42.4	115.9	79	687.3
2007	101.2	40.2	79.7	115.2	42.8	37.4	15	46.2	21.7	65.3	61.4	111.3	737.3
2008	55.7	141.5	145.3	109.9	80.3	43.8	22.3	66.2	29.6	167.2	100.3	59.1	1021.4
SUM	2088.9	2868.3	4033.8	2618.7	1623.3	1061.7	857.7	894.3	1072.5	1717.2	1840.2	2489.4	23166
MAX	144.7	242.9	377.6	143.6	108.2	96.2	61.9	78.1	135.1	167.2	188.9	169.8	1141.2
MED	69.6	95.6	134.5	87.3	54.1	35.4	28.6	29.8	35.8	57.2	61.3	83	772.2
MIN	13.1	33.5	34.4	27.1	10	4	5.9	4.2	7	11.9	6.9	34.4	575.1
DESV	38.2	51.8	67.3	32.9	25	21.1	14.8	19.5	25	32.2	40.2	40	143.7
CV (%)	0.55	0.54	0.5	0.38	0.46	0.6	0.52	0.65	0.7	0.56	0.66	0.48	0.19

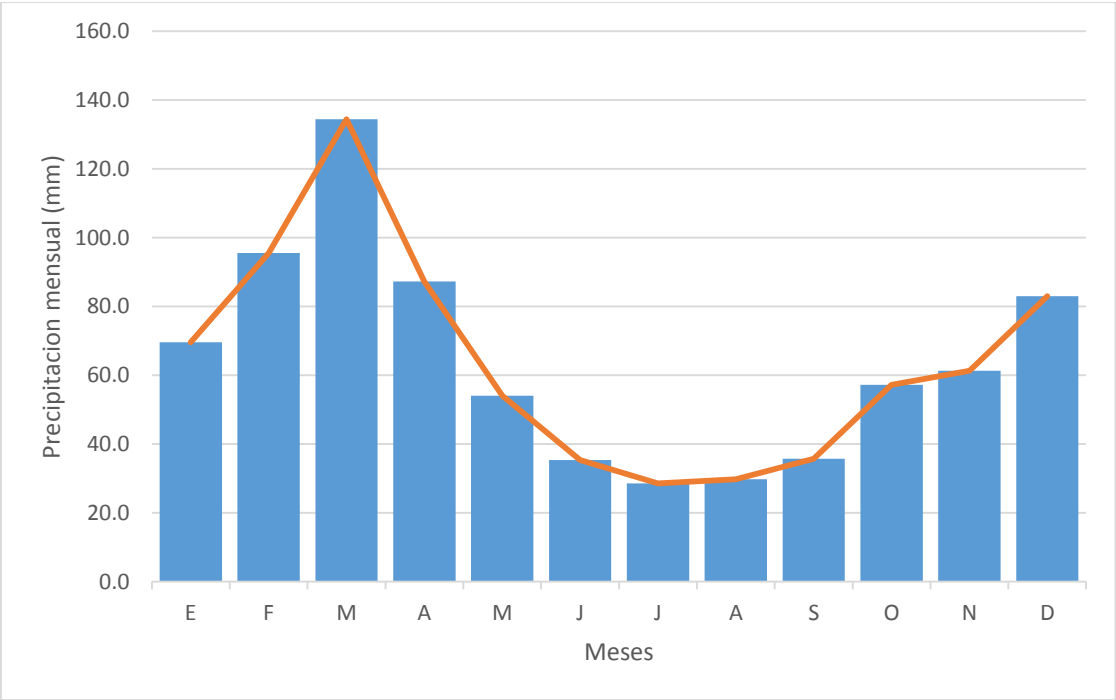


Figura 15. Histograma de distribución de la precipitación media mensual de la zona de riego.

El análisis de precipitación permite conocer la distribución mensual de lluvia en la zona de riego, definiendo épocas de verano e invierno. Los meses menos lluviosos van desde el mes de junio a septiembre con una precipitación de 28.6 mm a 35.8 m, mientras que la meses con mayor precipitación son de octubre a mayo con una precipitación de 54.1 mm a 134.5 mm. En el histograma (Figura 15) se observa que durante todo el año existe lluvia, ya sea en menor o mayor grado.

4.2.2. Patrón de cultivos

Mediante información brindada por los agricultores de la zona, y realizando el reconocimiento del sector, se determinó los cultivos que se producen en la zona, ciclo del cultivo, el área de cada uno de ellos, y fecha de siembra (Mapa 7, Tabla 12 y 13).

Tabla 12. Patrón de cultivos.

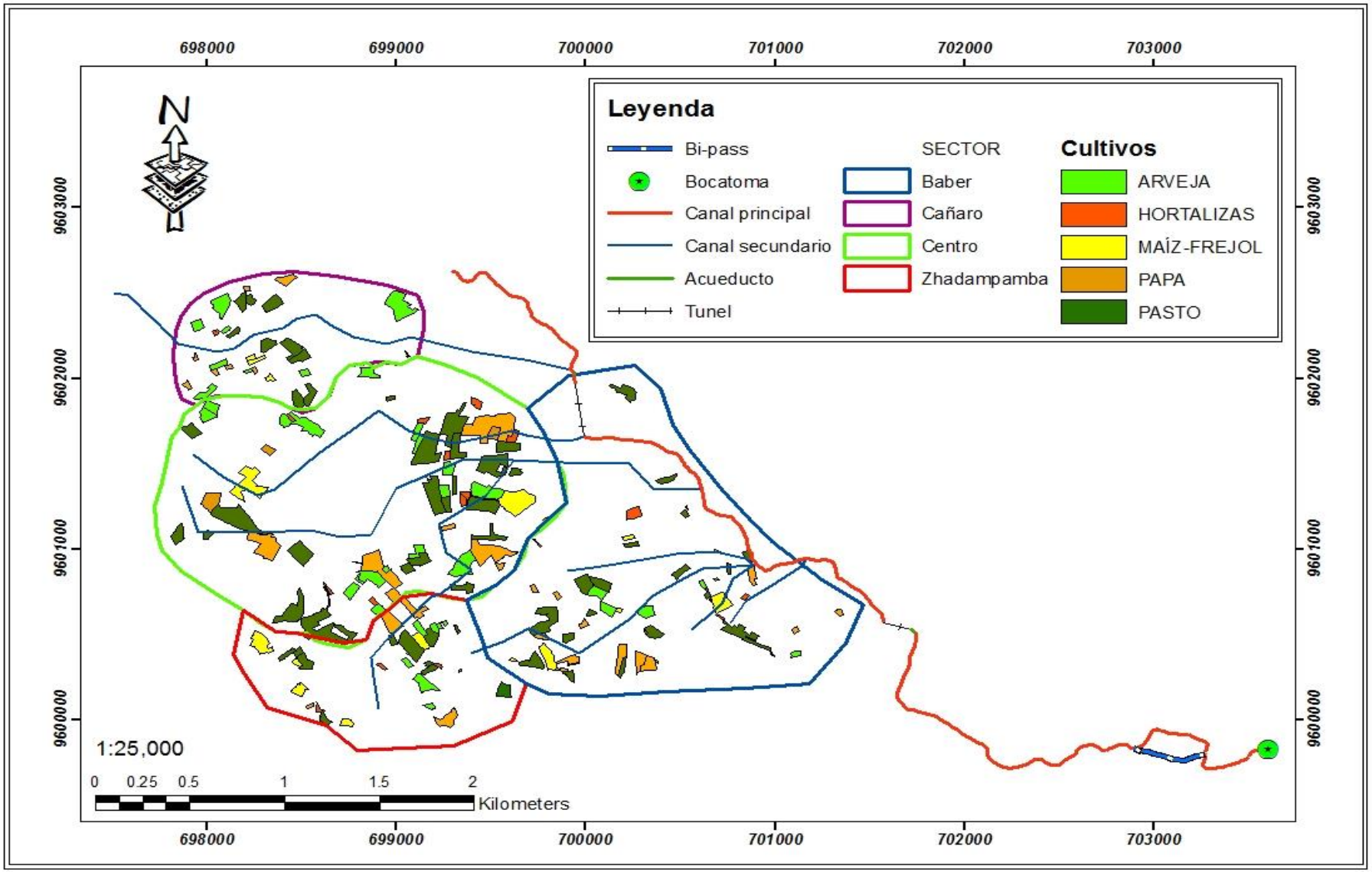
Cultivos/Mes	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
Maíz/fréjol												
Arveja												
Papa												
Hortalizas												
Pasto												

En la tabla 12 se presentan los meses en los cuales los terrenos involucrados estarán en fase de producción, así mismo aquellos meses en los cuales el terreno ingresa a fase de descanso, siendo estos preparados para la próxima fase productiva.

Tabla 13. Área y fecha de siembra.

Cultivos/Mes	Área (ha)	% área	Ciclo del cultivo (días)	Fecha siembra
Maíz/fréjol	7.9	10	215	Octubre
Arveja	16	20.2	100	Diciembre-Junio
Papa	15.9	20.1	95	Octubre-mayo
Hortalizas	2.7	3.4	80	Octubre
Pasto	36.5	46.2	365	Octubre
TOTAL	**78.9**	**100**		

Los cultivos que se presentan son aquellos que se encuentran produciendo actualmente en la zona de riego del sistema de riego Paquishapa, con sus respectivas áreas, además se observa en la tabla 13 que el cultivo predominante actualmente en el sector es el pasto, copando el 46.2% de la superficie actualmente cultivada, lo que da una visión clara que actualmente la producción pecuaria es la predominante, mas no la agrícola.



Mapa 8. Patrón de cultivos actual en el sistema de riego Paquishapa.

El área de riego cuenta con 78.9 hectáreas distribuidas de manera que el pasto es el cultivo con mayor área cultivada, ocupando el 46% del área total, la papa y la arveja 22%, el maíz y fréjol van asociados y cuenta con 10%, mientras que el 3% restante se encuentra ocupado por el cultivo de hortalizas.

4.2.3. Evapotranspiración de la zona de riego

Mediante el método de Thornthwaite se obtuvo la evapotranspiración de la zona de riego, para ello se utilizó los datos de precipitación y temperatura media; mediante el software SIG utilizando el comando de Map Algebra (Raster Calculator), se obtuvo la evapotranspiración de la zona de riego (Anexo 17).

Tabla 14. Evapotranspiración de la zona de riego (mm/mes)

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ETo	63.3	66.0	72.2	64.9	64.5	59.5	56.5	60.0	60.8	64.2	68.8	66.9

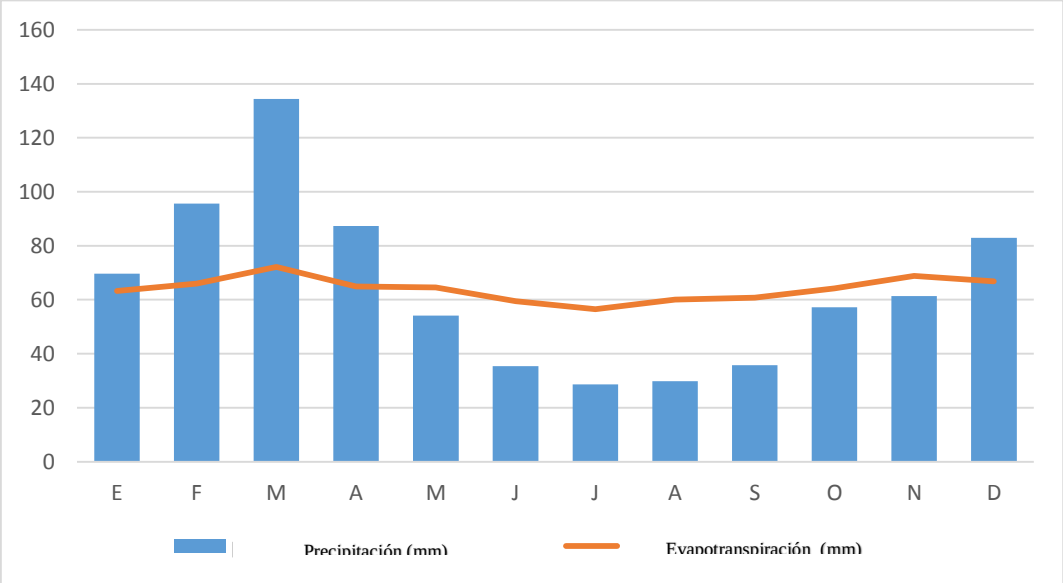


Figura 16. Relación entre precipitación y evapotranspiración.

Como se puede observar en la figura 16, la evapotranspiración es inferior en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril, ya que estos son los meses con mayor precipitación alrededor de 69.6 a 134.5 mm; mientras que la evapotranspiración es superior en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, donde existen lluvias de menor intensidad.

4.2.4. Coeficiente del cultivo (Kc)

El coeficiente del cultivo permite calcular el consumo de agua del cultivo, es decir es un factor que permite obtener la cantidad de agua que hay que reponer para que el cultivo se desarrolle en óptimas condiciones. En la tabla 15, se puede observar los valores de Kc para cada cultivo durante todo su ciclo.

Tabla 15. Valores de Kc para el patrón de cultivos

Cultivo/Mes	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
Maíz y fréjol	0.4	0.6	1.01	1.125	1.125	0.95	0.82	0.7	0.5			
Arveja			0.5	0.95	1.15	1.1			0.5	0.95	1.15	1.1
Papa	0.5	0.75	1.15	1.15	0.98			0.5	1.15	1.15		
Hortalizas	0.95	0.7	0.98	0.95	0.7	0.98	0.95	0.7	0.98	0.95	0.7	0.98
Pasto	0.32	0.46	0.58	0.72	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.82	0.8	0.78

Fuente: Documento FAO 56

4.2.5. Evapotranspiración del cultivo y precipitación efectiva

Con los valores de evapotranspiración de referencia multiplicada por el coeficiente Kc del cultivo, se obtienen los valores de evapotranspiración de cultivo para cada mes, este valor dividido para el número de días que corresponde a cada mes, se obtuvo la evapotranspiración diaria de cultivo.

Para la obtención de la precipitación efectiva se hizo uso del método de la USDA Soil Conservation Service, (tabla 17). Existen valores altos de evapotranspiración de cultivo tal como se aprecia en la tabla 16. Debido a que en ciertos meses, el cultivo se encuentra en plena fase de desarrollo, coincidiendo con los meses en los cuales la precipitación no es tan intensa, existiendo mayores pérdidas de agua por parte de la planta.

Tabla 16. Valores de evapotranspiración para el patrón de cultivos (mm/día)

Cultivos/Mes	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
Maíz y fréjol	0.83	1.38	2.18	2.3	2.65	2.21	1.77	1.46	0.99			
Arveja			1.08	1.94	2.71	2.56			0.99	1.73	2.23	2.23
Papa	1.04	1.72	2.48	2.35	2.31			1.04	2.28	2.1		
Hortalizas	1.97	1.61	2.11	1.94	1.65	2.28	2.05	1.46	1.94	1.73	1.36	1.98
Pasto	0.66	1.06	1.25	1.47	2	1.98	1.84	1.77	1.68	1.49	1.55	1.58

Necesita riego

Tabla 17. Precipitación efectiva en la zona de riego.

mm/día	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
Pp.efect.	1.7	1.8	2.3	2.0	2.9	3.4	2.5	1.6	1.1	0.9	0.9	1.1

4.2.6. Necesidades de riego

La tabla 18 muestra aquellos meses en los que determinado cultivo necesita riego, ello permitirá conocer el volumen necesario de agua que demanda el área de riego para suplir las necesidades hídricas de los cultivos que se encuentran produciendo en la actualidad. La necesidad de riego presentada por los cultivos da señales de un riego complementario a suplementario, ya que el agua precipitada en su gran parte abastece la necesidad hídrica del cultivo.

Tabla 18. Necesidades de riego (mm/día)

Cultivos/Mes	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
Maíz y fréjol				0.3								
Arveja										0.9	1.3	1.1
Papa			0.16	0.35					1.17	1.22		
Hortalizas	0.29								0.83	0.85	0.44	0.86
Pasto								0.17	0.57	0.61	0.63	0.46

4.2.7. Requerimiento de riego

Los requerimientos de riego resultan del volumen obtenido a partir de la lámina bruta en cierto periodo de tiempo; el requerimiento de riego anual (tabla 19) para solventar las necesidades hídricas de los cultivos es de 269 397 *metros cúbicos (8.5 l/s).*

Tabla 19. Requerimientos de riego

Cultivo	Área (ha)	RR (m^3/año)	RR (l/s)
Maíz choclo y fréjol	7.95	9325.827	0.3
Arveja	16.05	28241.42	0.9
Papa	16.02	23386.124	0.7
Hortalizas	2.75	3763.5675	0.1
Pasto	36.55	204680	6.5
TOTAL	**79.32**	**269396.94**	**8.5**

4.2.8. Índice de escasez de agua (IEA)

El índice de escasez de agua tiene un valor de 5.7%; según el IDEAM (2010) determina un rango mínimo, es decir que la demanda es muy baja con respecto a la oferta, por lo que se puede

incrementar área de riego, y tratar que la demanda sea apreciable con respecto a la oferta, que es de 150 l/s, caudal que abastece la quebrada Ramas, al sistema de riego Paquishapa.

4.2.9. Índice de aridez (Ia)

El valor de índice de aridez es de 0.15, y según el IDEAM (2010) representa a una cuenca con excedentes de agua, satisface de manera normal a la vegetación; como ya se mencionó anteriormente la lluvia en la zona se encuentra bien distribuida durante todo el año, por lo que la vegetación existente no demanda en gran parte del recurso hídrico para su desarrollo.

4.3. Formular una propuesta preliminar de programación de riego para el sistema de riego Paquishapa

Para la formulación de una propuesta de optimización del agua en el sistema de riego es necesario el cálculo de ciertos factores influyentes en este proceso, los cuales se presentan a continuación.

4.3.1. Propuesta de programación de riego para el patrón de cultivos actual

Actualmente se encuentran produciendo 79 ha distribuidas en el patrón de cultivos que se presentan en la tabla 12, por lo que fue necesario formular una propuesta de optimización del agua para dicho patrón de cultivos, para ello se realizó el cálculo de varios factores.

4.3.1.1. Lamina neta (Ln)

La lámina neta se calculó para cada cultivo mediante el uso de parámetros como la capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad el agua, densidad aparente del

suelo, la profundidad efectiva radicular y el porcentaje de humedad en el suelo (% de agotamiento de la planta) considerado como base para aplicar el próximo riego.

Tabla 20. Lamina neta

Cultivo	CC	PMP	Da (g/cm^3)	Dw (g/cm^3)	% Agotam	Prof. Efect. Rad (cm)	LARA Ln (mm)
Maíz choclo	0.27	0.13	1.33	1	0.45	70	58.7
Arveja	0.27	0.13	1.33	1	0.45	35	29.3
Papa	0.27	0.13	1.33	1	0.35	28	18.2
Hortalizas	0.27	0.13	1.33	1	0.3	25	13.7
Pasto	0.27	0.13	1.33	1	0.6	80	56

4.3.1.2. Frecuencia de riego

La frecuencia de riego se obtuvo para cada cultivo y mes correspondiente, según este lo demande; haciendo referencia a la tabla 21, la frecuencia de riego en días da la pauta para conocer el número de riegos (tabla 22), que se deben realizar durante el mes y cultivo correspondiente.

Tabla 21. Frecuencia de riego (días)

Cultivos/Mes	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
Maíz y fréjol				195								
Arveja										34	22	27
Papa			115	52					16	15		
Hortalizas	47								17	16	31	16
Pasto								640	195	182	176	245

Tabla 22. Número de riegos al mes

Cultivos/Mes	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
Maíz y fréjol				1								
Arveja										1	1	1
Papa			1	1					1	2		
Hortalizas	1								1	1	1	1
Pasto								1	1	1	1	1

4.3.1.3. Tiempo de riego

La sumatoria de los tres tiempos que corresponden al riego por gravedad: avance (tiempo que va el riego desde la cabecera hasta el pie del surco o melga), reposición de agua al suelo (tiempo de riego que permite reponer al suelo la lámina neta) y recesión (tiempo en el que el agua se suspende en la cabecera y el agua se va retirando de la superficie del suelo), dan como resultado los valores que se presentan en la tabla 23 que corresponde al tiempo que se debe regar, cada vez que el cultivo lo demande.

Tabla 23. Tiempo de riego (minutos)

Cultivos/Mes	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
Maíz y fréjol				310								
Arveja										116	116	116
Papa			69	69					69	69		
Hortalizas	54								54	54	54	54
Pasto								289	289	289	289	289

4.3.1.4. Programación de riego

Una vez determinados los datos para la programación, se tomó como referencia el mes de julio por la razón de que cuatro de los cinco cultivos necesitan riego, en la Tabla 24 se observa la programación de riego para los sectores: A (Centro Parroquial), sector B (Baber), sector C (Cañaro), y el sector D (Zhadampamba), los subsectores corresponden a los cultivos que existen en cada sector, siendo 1 el cultivo de Maíz y fréjol, el 2 arveja, 3 papa, 4 hortalizas y 5 el cultivo de pasto.

Identificados los sectores y los subsectores se procedió a realizar la programación, estableciendo la hora de inicio de los riegos para cada usuario, se inicia con el riego a las 7 de la mañana, a esto se sumó cada tiempo de riego para obtener la hora final, y se incrementó 10 minutos de imprevistos.

En el mes de julio el maíz no requiere riego, por lo que el primer cultivo en regarse es la arveja empezando la labor a las 07h00 y se termina de regar a las 09h00, el cultivo de papa se empezará a regar a las 09h10 y terminará a las 10h20, las hortalizas se regaran a partir de las 10h30 y termina a las 11h25. El pasto cuenta con un tiempo de riego de 289 minutos, se empezará a regar a las 11h35 y terminará a las 16h25.

Se realizará el mismo proceso para los demás sectores, en diferente, tal y como muestra la tabla 24.

Tabla 24. Programación de riego, para el patrón de cultivos actual.

SECTOR	SUBSECTOR	FR (DIAS)		Tr (min)	DIA 1 (fecha)				
					Tr (h:min:seg)	Hora Inicio	Hora fin		Tiempo adic.
		a	b	c	d	e	f	g	h
					c/1440		e+d	f redondeado	
Centro Parroquial (A)	1a								
	2a	34	31	116	1:56:00	7:00:00	8:56:00	9:00:00	0:10:00
	3a	15	15	69	1:09:00	9:10:00	10:19:00	10:20:00	0:10:00
	4a	16	16	54	0:54:00	10:30:00	11:24:00	11:25:00	0:10:00
	5a	182	31	289	4:49:00	11:35:00	16:24:00	16:25:00	0:10:00
	DIA 2								
Baber (B)	1b								
	2b	34	31	116	1:56:00	7:00:00	8:56:00	9:00:00	0:10:00
	3b	15	15	69	1:09:00	9:10:00	10:19:00	10:20:00	0:10:00
	4b	16	16	54	0:54:00	10:30:00	11:24:00	11:25:00	0:10:00
	5b	182	31	289	4:49:00	11:35:00	16:24:00	16:25:00	0:10:00
	DIA 3								
Cañaro ©	1c								
	2c	34	31	116	1:56:00	7:00:00	8:56:00	9:00:00	0:10:00
	3c	15	15	69	1:09:00	9:10:00	10:19:00	10:20:00	0:10:00
	4c	16	16	54	0:54:00	10:30:00	11:24:00	11:25:00	0:10:00
	5c	182	31	289	4:49:00	11:35:00	16:24:00	16:25:00	0:10:00
	DIA 4								
Zhadampamba (D)	1d								
	2d	34	31	116	1:56:00	7:00:00	8:56:00	9:00:00	0:10:00
	3d	15	15	69	1:09:00	9:10:00	10:19:00	10:20:00	0:10:00
	4d	16	16	54	0:54:00	10:30:00	11:24:00	11:25:00	0:10:00
	5d	182	31	289	4:49:00	11:35:00	16:24:00	16:25:00	0:10:00

Inicio del riego Fin del riego Sin riego

4.3.2. Propuesta de programación de riego.

Se propone modificar los sectores de riego; extender el área a 452 hectáreas y distribuir los cultivos de tal manera que se dividan en 8 módulos de riego (Mapa 9), cada módulo tendrá un cultivo diferente, con fin de facilitar la labor de riego y diversificar la producción; además de

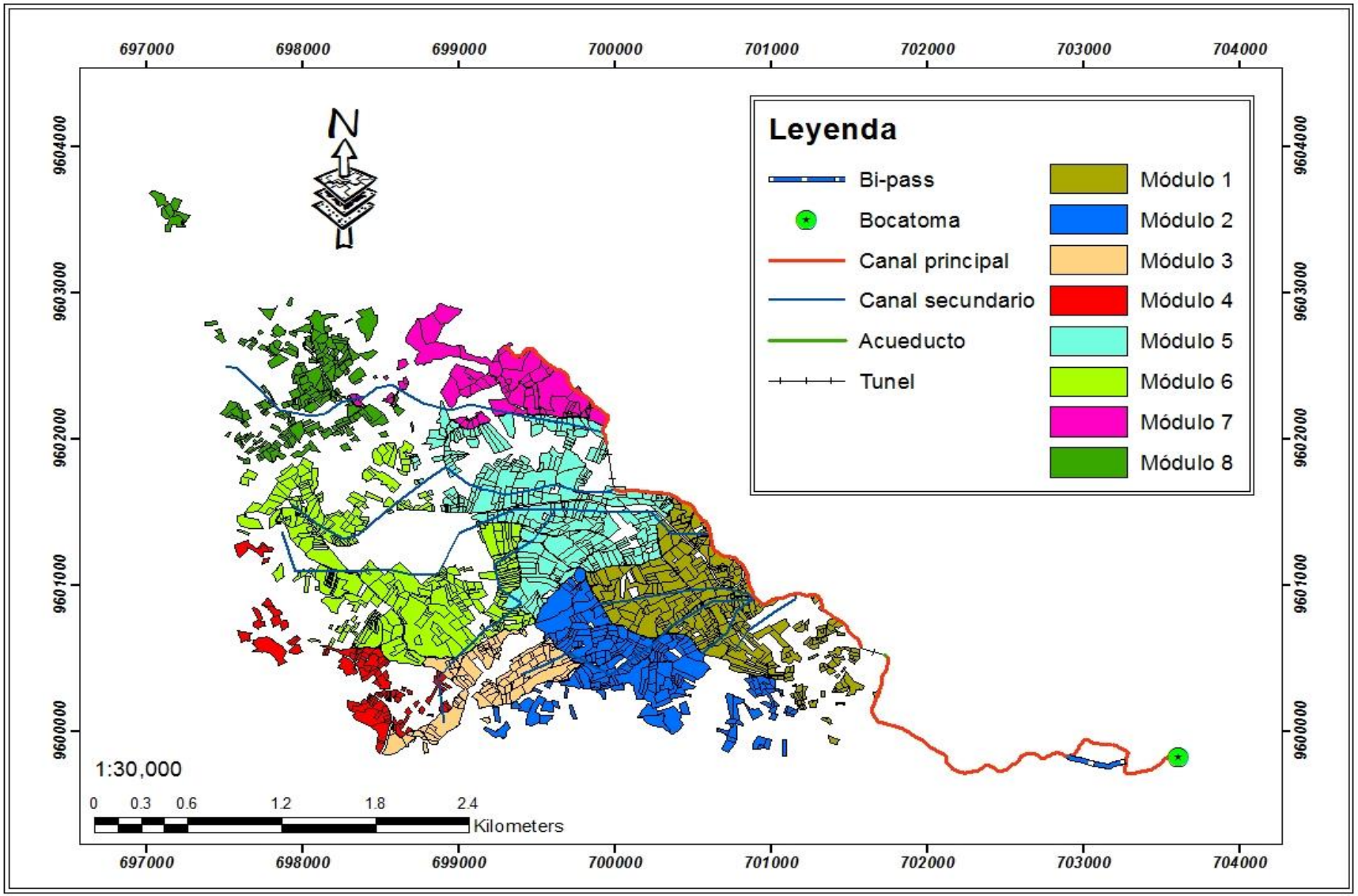
modificar la fecha de siembra de tal manera que esta coincida con aquellos meses en los que la precipitación es de menor intensidad.

4.3.2.1. Patrón de cultivos

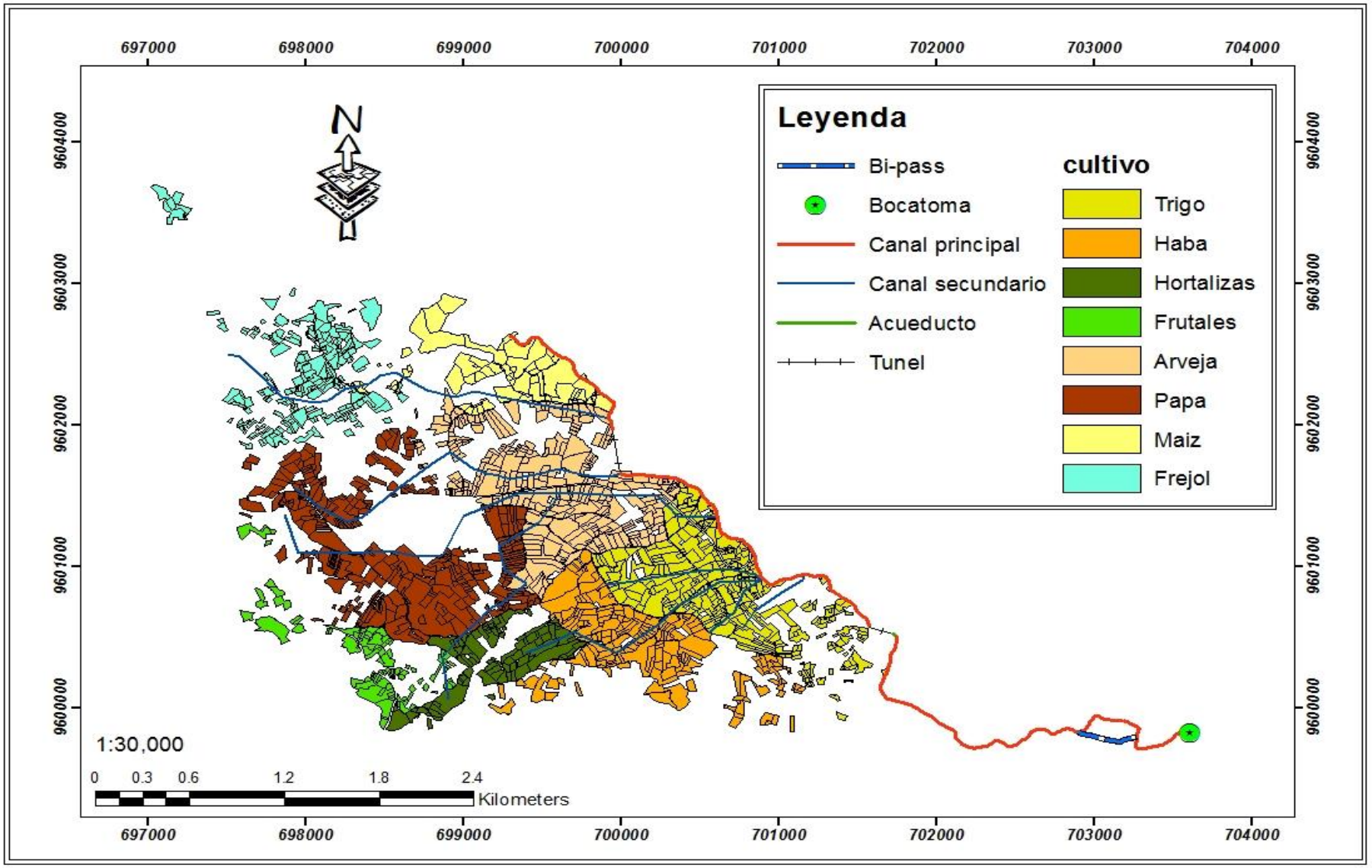
Se seleccionaron ocho cultivos para toda el área propuesta (Mapa 10), la siembra se realizará en el mes con menor precipitación, además para los cultivos que se siembran dos veces al año, se dejará descansar al suelo un lapso de dos meses (tabla 25). El cultivo con mayor área de siembra es la papa con 21.1 % del área total, seguida de la arveja con un 19.9 %, el trigo con un 16.8 % y el haba con 14 % y con menor superficie se encuentran los frutales con 4.6 %, seguido de las hortalizas 6.3 %, el maíz choclo 8.5 % y el fréjol con 8.7 % (tabla 26).

Tabla 25. Propuesta de patrón de cultivos.

CULTIVO	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Trigo												
Haba												
Hortalizas												
Frutales												
Arveja												
Papa												
Maíz choclo												
Fréjol												



Mapa 9. Mapa de propuesta modular para el sistema de riego Paquishapa.



Mapa 10. Propuesta del patrón de cultivos para el sistema de riego Paquishapa.

Tabla 26. Propuesta de cultivos para el sistema de riego.

Cultivo	Área (ha)	% área	Ciclo del cultivo (días)	Fecha siembra
Trigo	75.9	16.8	190	Agosto
Haba	63.6	14	110	Agosto-Febrero
Hortalizas	28.6	6.3	80	Agosto
Frutales	20.9	4.6	365	Agosto
Arveja	90	19.9	110	Agosto-febrero
Papa	95.6	21.1	115	Agosto-marzo
Maíz choclo	38.6	8.5	265	Agosto
Fréjol	39.2	8.7	95	Agosto-febrero
TOTAL	452.4	100.0		

4.3.2.2. Coeficiente de cultivo (Kc)

Mediante el coeficiente Kc del cultivo, obtenido del documento de la FAO 56, se determinó este coeficiente para cada etapa de desarrollo del cultivo (Anexo 18), mediante este proceso se obtuvieron los valores presentados en la tabla 27.

Tabla 27. Valores de kc para patrón de cultivo propuesto.

Cultivo	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Trigo	0.7	0.88	1.1	1.15	1.15	0.95	0.45					
Haba	0.5	0.75	1.15	0.85			0.5	0.75	1.15	0.85		
Hortalizas	0.95	0.7	0.98	0.95	0.7	0.98	0.95	0.7	0.98	0.95	0.7	0.98
Frutales	0.6	0.65	0.68	0.72	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.72	0.7	0.68
Arveja	0.5	0.95	1.15	1.1			0.5	0.95	1.15	1.1		
Papa	0.5	0.75	1.15	1.15	0.98			0.5	1.15	1.15		
Maíz choclo	0.3	0.5	0.9	1.1	1.1	1	0.82					
Fréjol	0.15	0.95	1.1	0.25			0.15	0.95	1.1	0.25		

4.3.2.3. Evapotranspiración de cultivo ETc

Para obtener este parámetro hay que tomar en cuenta que la evapotranspiración real obtenida anteriormente, se la multiplicó por el coeficiente Kc del cultivo, y mediante ello se

obtuvo la evapotranspiración de cultivo que permitió conocer la cantidad de agua evapotranspirada. (Tabla 28).

Tabla 28. Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

Cultivo	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Trigo	1.4	1.8	2.3	2.6	2.5	1.9	1.1					
Haba	1.0	1.5	2.4	2.0			1.2	1.7	2.5	1.8		
Hortalizas	1.8	1.4	2.0	2.2	1.5	2.0	2.2	1.6	2.1	2.0	1.4	1.8
Frutales	1.2	1.3	1.4	1.7	1.6	1.5	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2
Arveja	1.0	1.9	2.4	2.5			1.2	2.2	2.5	2.3		
Papa	1.0	1.5	2.4	2.6	2.1			1.2	2.5	2.4		
Maíz choclo	0.6	1.0	1.9	2.5	2.4	2.0	1.9					
Fréjol	0.3	1.9	2.3	0.6			0.4	2.2	2.4	0.5		

4.3.2.4. Necesidad de riego

Los valores que representan la necesidad de riego fueron obtenidos mediante la resta de la evapotranspiración (ETc) y la precipitación efectiva, para de este modo conocer aquellos meses en los que la precipitación no abastece a la necesidad hídrica del cultivo, y es necesario riego complementario y suplementario para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

Tabla 29. Necesidades de riego (mm/día)

Cultivo	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Trigo	0.44	0.66	0.60	0.79	0.16							
Haba	0.05	0.40	0.71	0.11						0.17		
Hortalizas	0.92	0.29	0.35	0.34		0.01				0.38	0.27	0.91
Frutales	0.25	0.09								0.03	0.43	0.54
Arveja	0.05	0.80	0.71	0.68						0.69		
Papa	0.05	0.40	0.71	0.79						0.80		
Maíz choclo			0.19	0.68	0.05	0.05						
Fréjol		0.80	0.60									

4.3.2.5. Requerimientos de riego

Para la propuesta planteada el requerimiento de riego anual es *2 111 067 metros cúbicos (66.9 l/s);* el mismo que se obtuvo a partir del análisis de la lámina bruta en un periodo de tiempo determinado (tabla 30).

Tabla 30. Requerimiento de riego.

Cultivo	Área (ha)	RR (m^3/Año)	RR(l/s)
Trigo	75.93	607440.0	19.3
Haba	63.56	260958.9	8.3
Hortalizas	28.64	79991.5	2.5
Frutales	20.93	223689.4	7.1
Arveja	90.01	480990.9	15.3
Papa	95.59	174428.8	5.5
Maíz choclo	38.59	230961.2	7.3
Fréjol	39.24	52606.7	1.7
TOTAL	**452.49**	**2111067.4**	**66.9**

4.3.2.6. Índice de escasez

El valor del índice de escasez es de 47.8 %, y según el IDEAM (2010) representa una demanda apreciable con respecto a la oferta, comparado con el índice de escasez actual de la zona de riego, el índice de la propuesta planteada, es mayor, esto se debe al incremento en el área de riego, además de la diversificación de los cultivos.

4.3.2.7. Lámina neta

La lámina neta se calculó para los cultivos propuestos mediante el uso de parámetros de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad el agua, densidad aparente

del suelo correspondiente a cada módulo de riego, la profundidad efectiva radicular y el porcentaje de agotamiento según el documento FAO 56.

Tabla 31. Valores de lámina neta

Cultivo	CC	PMP	Da (g/cm3)	Dw (g/cm^3)	% Agotam	Prof. Efect. Rad (cm)	LARA Ln (mm)
Trigo	0.36	0.17	1.25	1	0.55	70	80
Haba	0.27	0.13	1.33	1	0.45	49	41.1
Hortalizas	0.36	0.17	1.25	1	0.3	24.5	17.5
Frutales	0.36	0.17	1.25	1	0.5	90	106.9
Arveja	0.36	0.17	1.25	1	0.45	50	53.4
Papa	0.27	0.13	1.33	1	0.35	28	18.2
Maíz choclo	0.36	0.17	1.25	1	0.45	70	74.8
Trigo	0.27	0.13	1.33	1	0.45	40	33.5

4.3.2.8. Frecuencia de riego

Debido al clima del lugar de estudio, los cultivos no requieren riego continuo lo que se ve reflejado en la frecuencia de riego (tabla 32), la frecuencia de riego, permite conocer el número de riegos que deben aplicarse durante el mes (tabla 33).

Tabla 32. Frecuencia de riego (días)

Cultivo	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Trigo	182	121	133	101	503							
Haba	785	104	58	387						235		
Hortalizas	19	59	49	52		3354				46	64	19
Frutales	435	1168								3712	247	197
Arveja	1021	67	76	79						77		
Papa	349	46	26	23						23		
Maíz choclo			400	110	1465	1625						
Fréjol		42	56									

Tabla 33. Número de riegos al mes

Cultivo	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Trigo	1	1	1	1	1							
Haba	1	1	1	1						1		
Hortalizas	1	1	1	1		1				1	1	1
Frutales	1	1								1	1	1
Arveja	1	1	1	1						1		
Papa	1	1	1	1						1		
Maíz choclo			1	1	1	1						
Fréjol		1	1									

4.3.2.9. Tiempo de riego

Representa el tiempo durante el cual se debe aplicar riego (tabla 34), se tomó en cuenta el tiempo que recorre el agua desde la cabecera hasta el pie del surco, el tiempo de riego permite reponer a la planta la cantidad de agua que pierde, y que esta necesita para su óptimo desarrollo.

Tabla 34. Tiempo de riego (min).

Cultivo	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Trigo	503	503	503	503	503							
Haba	183	183	183	183						183		
Hortalizas	66	66	66	66		66				66	66	66
Frutales	803	803								803	803	803
Arveja	269	269	269	269						269		
Papa	69	69	69	69						69		
Maíz choclo			453	453	453	453						
Fréjol		138	138									

4.3.2.10. Propuesta de programación

Se propone la implementación de ocho cultivos distribuidos en módulos (Mapa 9), de manera que la producción se concentre en ciertos sectores de la parroquia y no exista una competencia desmedida entre los productores.

En la Tabla 35 se puede observar cada módulo con tiempo y frecuencia de riego establecido para el mes de octubre, una vez terminado el riego se añadirán 10 minutos adicionales por algún imprevisto que se presente; la programación de riego se encuentra diseñada para el mes de octubre, se inicia el riego en el módulo 1 correspondiente al cultivo de trigo, el mismo que requiere un tiempo de 503 minutos de riego, y frecuencia de 31 días; se iniciará el turno de riego a las 07h00 y se terminará a las 15h25, a las 15h35 se iniciará el riego para el módulo 2 (cultivo de haba), a las 18h40.

Al siguiente día se continuara con el módulo 3 (hortalizas), el riego empezará a las 07h00 y terminara a las 08h10, el módulo 4 no requiere de riego según sus necesidades en el mes de octubre, el módulo 5 (arveja) se empezará a regar las 08h20, hasta las 12h50; el módulo 6 (papa) empezará el riego a las 13h00 y terminará a las 14h10.

El módulo 7 se lo realizara al día siguiente, iniciara el riego a las 07h00 y finaliza a las 14h35, el módulo 8 (fréjol) se empezará a regar a las 14h45 y terminará a las 17h05, tal como muestra la tabla 35.

Tabla 35. Propuesta de programación de riego.

SUBSECTOR	FR (DIAS)		Tr (min)	Tr (h:min:seg)	Hora Inicio	Hora fin		tiempo adic.
	a	b	c	d	e	f	g	h
				c/1440		e+d	f redondeado	
DIA 1								
m1	133	31	503	8:23:00	7:00:00	15:23:00	15:25:00	0:10:00
m2	58	31	183	3:03:00	15:35:00	18:38:00	18:40:00	0:10:00
DIA 2								
m3	49	31	66	1:06:00	7:00:00	8:06:00	8:10:00	0:10:00
m4								
m5	76	31	269	4:29:00	8:20:00	12:49:00	12:50:00	0:10:00
m6	26	31	69	1:09:00	13:00:00	14:09:00	14:10:00	0:10:00
DIA 3								
m7	400	31	453	7:33:00	7:00:00	14:33:00	14:35:00	0:10:00
m8	56	31	138	2:18:00	14:45:00	17:03:00	17:05:00	0:10:00

Inicio del riego Fin del riego Sin riego

Respecto a lo analizado y calculado para la elaboración de la propuesta, actualmente el sistema de riego se encuentra sobredimensionado, con la propuesta se trata de que la demanda sea mayor, y de esta manera procurar que el sistema de riego cumpla su función y que no represente una construcción obsoleta y poco útil, sobre todo en cuestiones de desperdicio de agua.

5. Conclusiones

- La microcuenca de la quebrada Ramas tiene un área de 1 517 hectáreas, la misma que se encuentra en etapa de equilibrio, representa una cuenca geológicamente madura, oblonga y ligeramente achatada, la pendiente del cauce es moderadamente inclinado ya que su pendiente es de 21.23%, con poca probabilidad de crecidas.

- El clima del lugar haciendo referencia la temperatura se define como templado, demarcando dos épocas: invierno (octubre - mayo) y verano (junio - septiembre) aunque en esta época existen precipitaciones.

- Mediante el método del polinomio ecológico, el caudal medio de la quebrada Ramas es 176 l/s (75% de probabilidad), mientras que la concesión para el sistema de riego Paquishapa es 150 l/s.

- La demanda actual de agua para irrigar 78 hectáreas es 8.5 l/s, haciendo referencia a la oferta, representa una demanda demasiado baja (Índice de escasez: 5.7 %), por lo que existe un desperdicio de agua, y en si un total desaprovechamiento del sistema de riego existente.

- Al ampliar el área de riego a 452 hectáreas, la demanda de agua incremento a 66.9 l/s, de esta manera se logra que la demanda sea apreciable para la oferta (Índice de escasez: 44.6 %).

- Actualmente se utiliza solo el 5.6 % del agua que oferta el sistema de riego, mientras que con la propuesta se incrementara este valor al 44.6%; representa un incremento de aproximadamente un 500 % en el incremento del área cultivable, lo que da una referencia clara sobre el sobredimensionamiento del sistema de riego en la actualidad.

- La propuesta de programación de riego planteada, permitirá a los usuarios del sistema de riego Paquishapa, operar el sistema de manera técnica, mediante horarios de riego establecidos en el calendario, con el fin de aprovechar de mejor manera el recurso hídrico, y entregarle al cultivo la cantidad adecuada de agua, para su óptimo desarrollo.

6. Recomendaciones

- Implementar una estación meteorológica y limnimétrica en la zona, con el objeto de obtener información real para un estudio futuro, ya que en el sector no existen estaciones meteorológicas que se encuentren funcionando, más aun en este sitio ya que cuanta con una gran variedad de cultivos, además de contar con las condiciones hidrológicas y climáticas para desarrollarlos de la mejor manera.

- Realizar trabajo en conjunto por parte de las instituciones que intervengan en el riego, además de los usuarios, de manera que el trabajo que generen sea de beneficio, por lo que en la actualidad cada departamento tiene información diferente y con un grado de confiabilidad bastante bajo, existiendo gran variabilidad en los datos.

- Realizar cursos, charlas instructivo-técnicas sobre el cuidado y mantenimiento del sistema de riego por parte de los departamentos públicos encargados y llevarlo a la práctica con continuidad.

- Extender el área de riego e implementar diversos cultivos que se den en la región y zonificar por cada tipo de cultivo de manera que ayude y se facilite la labor de riego.

- Realizar trabajos similares al presente, presentando variables como, cambio de sistema de riego, variabilidad en métodos agrícolas como implementación de invernaderos etc., además de un estudio de mercado, para contar con una base verídica de los cultivos los cuales demanda el sector, y mediante ello poder implementarlos y generar rentabilidad de ellos.

7. Bibliografía

(s.f.).

Allen, R., Pereira, L., Raes , D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiracióm del Cultivo. Guia para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos* (Vol. Estudio Fao Riego y Drenaje 56). Roma. Obtenido de ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf

Aparicio Mijares, F. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie.* Mexico: Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.

Armijos, J. (2011). *Plan de captación para el fortalecimiento de las juntas generales de usuarios del sistema de riego de la provincia de Loja.* Loja.

Beltran, G. (2007). Folleto de Manejo de Cuencas. Ibarra, Ecuador.

Benayas Polo, R. (26 de Octubre de 2017). *Blog del Agua*. Obtenido de http://blogdelagua.com/actualidad/aplicacion-de-los-sistemas-de-informacion-geografica-en-la-gestion-hidrologica/

Campos Aranda, D. F. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrologico.* San Luis Potosí, Mexico: Universitaria Potosina.

Campos Cedeño, A. F. (2014). *Disponibilidad de los recursos hidricos en el Ecuador.* Portovirjo: Universidad Tecnica de Manabí.

Campos Guerra, C. I., Ramirez Giraldo, J. I., & Sanchez Neglia, D. A. (2012). *Métodos para determinar la precipitación promedio en una cuenca hidrográfica-Analisis de consistencia de los datos de precipitación.* Chimbote-Peru.

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

Carvajal Escobar , Y., Barroso , F., & Reyes Trujillo, A. (2015). Estudio morfometrico de la cuenca del rio Azul, afluente del rio Calima, departamento del valle del Cauca. 15. Bogota, Colombia. Obtenido de file:///D:/PDF%20CONSULTAS/MorenoGrandeFredyAlberto2015.pdf

Cuenca Rosillo, A. D. (2015). Analisis de la Disponibilidad Hidrica de la Cuenca del rio Catamayo, hasta la Estacón en Pte. Vicin, con fines de Aprovechamiento y Conservación. Loja, Ecuador.

Dourojeanni R, A. (2000). *Desafios para la gestión integrada de los recursos hídricos.* Policy and Institutions for Inntegrated Water Resources Management - International Water Resources Association (IWRA) -.

Espinoza M., H. (1989). *Balance Hidrico de agua para los Cultivos mas Importantes en la Cuenca del Rio la Cienega Vallegrande, Santa Cruz, Bolivia.* Vallegrande, Bolivia. Obtenido de http://www.fao.org/docrep/field/009/ar841s/ar841s.pdf

Facultad de Agronomia. (s.f.). *Agua en el suelo.* Universidad de la Republica.

FAO 2. (2004). *Políticas de desarrollo agrícola.* Roma.

FAO. (2006). *Evapotranspiración del Cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.* Roma Italia: FAO Riego y Drenaje N° 56 .

FAO. (s.f.). *Softwariego: programas y cursos de riego*. Obtenido de http://www.softwariego.com/diseno-agronomico-de-riego-con-cropwat/

Fernandez Reinoso, D., Martinez Menes, M., Tavarez Espinosa, C., Castillo Vega, R., & Salas Martinez, R. (s.f.). *Estimación de las Demandas de Consumo de Agua.* México. Obtenido de http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_DEMANDAS%20DE%20AGUA.pdf

Fernández, M., Orgaz, F., Fereres, E., López , J., Céspedes , A., Pérez, J., . . . Gallardo , M. (2001). *Programación del Riego de Cultivos Hortícolas bajo Invernadero en el Sudeste Español.* Barcelona: CAJA MAR (Caja Rural de Almeria y Málaga.

Fierro, D., & Jiménez, L. (2011). Caracteristicas de la Microcuenca del rio Manzano, Cantón Alausí, Provincia de Chimboraso y Propuesta de Plan de Manejo, Utilizando Herramientas SIG. *Tesis de grado*, 237. Sangolqui, Ecuador. Obtenido de repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4531/1/T-ESPE-032673.pdf

Gaspari, F., Senisterra , G., Delgado , M., Rodriguez , A., & Basteiro , S. (2010). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas.* La Plata - Argentina.

Geomorfología de una Cuenca Hidrográfica. (s.f.). Obtenido de file:///D:/PDF%20CONSULTAS/GEOMORFOLOG_GEOMORFOLOGI_IA_DE_UNA_CUENC.pdf

Gómez Jara, J. (1999). *Regionalizacion de curvas de duración.* San Jóse.

Gómez, F. (1990). *Observación y Medición de Caudales en Cuencas de la Zona A ndina del Ecuador.* Quito-Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI).

González , R. (2001). *Hidrología en Cuencas.* Loja: Universidad Nacional de Loja.

González Fuertes, M. (2014). Análisis de los coeficientes de escorrentia y su realción con el cambio de cobertura vegetal de la cuenca superior del río Catamayo. *Tesis de pregrado*. Loja: Universidad Nacional de Loja.

González González, A. (1997). Planeación de los recursos hidraulicos con fines de riego, en la zona Andina del Ecuador. *Tesis de Maestria en Ciencias*. Montecillo, Mexico: Instituto de Enseñanzas e Investigación en Ciencias Agricolas.

González González, A. E. (1997). *Planeación de los Recursos Hidraulicos, con fines de riego, en la zona Andina del Ecuador.* Montecillo-Mexico.

Grassi, C. (1990). *El manejo de la irrigación en América Latina.* International irrigation management institute. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=ujpNRBWDgGAC&pg=PA2&dq=riego+integral,+complementario+y+suplementario&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwibqM7K3YPYAhWU14MKHQjJDXIQ6AEIJTAA#v=onepage&q=riego%20integral%2C%20complementario%20y%20suplementario&f=false

Guzmán Arias, I. (2008). *Recursos Hidricos en América Latina: planificación ..... es la estrategia.*

Havrylenko, S. B., Damiano, F., & Pizarro, M. J. (s.f.). *Estimación del Número de Curva en la Cuenca del Río Arrecifes (Provincia de Buenos Aires.* Buenos Aires. Obtenido de http://geointa.inta.gov.ar/publico/POSTERS/HAVRYLENKO_Estimacion_del_numero_de_curva_en_la_cuenca_del_rio_arrecifes_UU01.pdf

HELVETAS. (2014). *Establecimiento y Manejo de Cultivos I.* Honduras.

Instituto de Hidrología de España y Unesco. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico.* A.A. Sokolov yT.G. Chapman.

Juela Sivisaca , O. (2011). Estudio hidrológico y balance hídrico de la cuenca alata del río Catamayo hasta la estación el arenal en el sitio el Boquerón, Provincia de Loja. *Tesis de pregrado*. Loja: Universidad Nacional de Loja.

La evapotranspiración: conceptos y métodos para su determinación . (s.f.).

Laserna, S., Laserna Arcas , S., & Laserna Arcas , J. (11 de 12 de 2017). *AgroEs.es*. Obtenido de http://www.agroes.es/agricultura/agua-riegos-regadios/330-el-agua-del-suelo-en-relacion-con-el-riego-agricultura

Linsley, R., Kohler, M., & Paulhus, J. (1988). *Hidrologia para ingenieros.* Mexico D.F.: segunda edición McGraw-Hill/Interamericana de Mexico, S.A. DE C.V.

Loja Lituma, M. A. (2011). *Estudio Hidrologica, Diseño del Alcantarillado Pluvial y Corrección Hidrológica de las Quebradas que Atraviesan la Cabecera Parroquial de Pachicutza, Cantón el Panqui.* Loja - Ecuador.

Maldonado Rojas, T. (2007). *Diseño de métodos de riego superficial por gravedad.* Loja.

Maldonado, N. (16 de enero de 2014). *Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamin Carrión Núcleo de Loja"*. Obtenido de http://casadelaculturaloja.gob.ec/archives/250

Mayorga Vela, A., Fernández Mejuto, M., & Castaño Fernández , S. (s.f.). *La Información Grografica y los SIG.* Castilla - La Mancha.

Moreno Grande, F. A., & Esquivel Jimenez , J. R. (2015). Estudio Morfométrico de la Cuenca del rio Azul, Afluente del Rio Calima, Departamento del valle Cauca. *Trabajo de grado*. Bogota. Obtenido de file:///D:/PDF%20CONSULTAS/MorenoGrandeFredyAlberto2015.pdf

Orozco, P., Jiménez, F., & Cornelis, J. (2008). La congestion de cuencas abastecedoras de agua para consumo humano. *Serie Técnica. Boletin Técnico / CATIE N° 28*. Turrialba, Costa Rica.

Peralta , J. M. (1990). Programación de Riego. En R. Rerreyra, J. Marchioni, L. Ortega , I. Maldonado, J. M. Peralta, & J. Sandoval, *Tecnificación del Riego en la Zona Sur* (págs. 68-90). Traiguen: Instituto de Investigraciones Agropecuarias Estacion Experimental Carillanca.

Reinoso Acaro, M. (2012). *Cuencas Hidrográficas.* Loja, Ecuador.

Rivera, H. G., Dominguez Calle, E., Marin Ramirez, R., & Vanegas, R. (2004). *IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.* Obtenido de https://luisaraujo.wikispaces.com/file/view/METODOLOG%C3%8DA+C%C3%81LCULO+INDICE+ESCASEZ+(IDEAM).pdf

Ruiz Romera, E., & Martínez Santos, M. (2015). Hidrologia Aplicada. En O. C. Ware (Ed.). Obtenido de https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/4576/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_5.pdf

Sánchez, F. D., García, M., Jaramillo, O., & Verdugo, N. (2010). *Agua Superficial, Caracterización y Ánalisis de la Oferta.*

SENAGUA. (2016). *Informa de la Situación del Riego, Inventario y Diagnóstico de la Infraestructura del Sistema de Riego Paquishapa, DH Jubones* . Quito - Ecuador.

Servicios de Conservación de Suelos. (1997). *Requrimientos de Agua para Riego.* México: Camara Nacional de la Industria Mexicana.

Valarezo Manosalvas, L. (2013). *Siatemas de Riego por Presión.* Loja.

Villón, M. (2002). *Hidrología.* Lima: Editorial Villón.

Vivero Silva, P., & Heredia Montesinos, L. (2016). *Informe de la situacion del riego, inventario y diagnostico de la infraestructura del Sistema de Riego Paquishapa, DH Jubones.*

8. Anexos

Anexo 1. Parámetros morfométricos de la microcuenca Ramas.

Descripción	Unidad	Valor
Parámetros de forma		
Área	Km	15.17
Perímetro	Km	21.01
Coeficiente de Gravelius (Cg)		1.52 (oblonga)
Factor de forma (Rf)		0.23 (ligeramente achatada)
Centroide		
Coordenada Norte	M	9601550
Coordenada Este	m	705344
Parámetros de relieve		
Pendiente de la cuenca	Grados (°)	11.66
	%	21.23
Cota		
Máx.	m.s.n.m	3200
Min	m.s.n.m	2640
Med	m.s.n.m	2896.82
Parámetros relativos a la red de drenaje		
Orden de Corriente	U	3
Longitud de curso principal	km	5.51
Longitud de la red de drenaje	Km	19.84
Pendiente media del cauce principal	%	6.8
Densidad de drenaje		1.31 (Normalmente drenada)
Densidad de corrientes	Km/km^2	0.2
Tiempo de Concentración		
Kirpich	Horas	0.59
California Highways	Horas	0.6

Anexo 2. Características geomorfológicas de la microcuenca para la aplicación del método del polinomio ecológico.

Características geomorfológicas de la cuenca	**Exponente m**
Área 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 subandina	0,50
Región Andina	0,40
Región nival	0,30

Tabla de coeficientes ecológicos "K"

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

Fuente: Tomado de González (2001).

Anexo 3. Números de la curva de escurrimiento para áreas agrícolas cultivadas y zonas urbanas (Para cuencas en condición II: media entre seca y húmeda).

Uso del terreno	Tratamiento o practica	Condición hidrológica	N según tipo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Surco recto	Pobre	77	86	91	94
Cultivos en surco	Surco recto	Pobre	72	81	88	91
	Surco recto	Buena	67	78	85	89
	Surco o nivel	Pobre	70	79	84	88
	Surco o nivel	Buena	65	75	82	86
	Surco o nivel y terraza	Pobre	66	74	80	82
	Surco o nivel y terraza	Buena	62	71	78	81
Cereales finos	Surco recto	Pobre	65	76	84	88
	Surco recto	Buena	63	75	83	87
	Surco o nivel	Pobre	63	74	82	85
	Surco o nivel	Buena	61	73	81	84
	Surco o nivel y terraza	Pobre	61	72	79	82
	Surco o nivel y terraza	Buena	59	70	78	81
Legumbres (sembradas con maquinaria)	Surco recto	Pobre	66	77	85	89
	Surco recto	Buena	58	72	81	85
	Surco o nivel	Pobre	64	75	83	85
	Surco o nivel	Buena	55	69	78	83
	Surco o nivel y terraza	Pobre	63	73	80	83
	Surco o nivel y terraza	Buena	51	67	76	80
Pradera natural o pastizal		Pobre	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Surco o nivel	Pobre	47	67	81	88
	Surco o nivel	Regular	25	59	75	83
	Surco o nivel	Buena	6	35	70	79
Pradera permanente		Buena	30	58	71	78
Bosque		Pobre	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Cascos de hacienda			59	74	82	86
Caminos de terracería			72	82	87	89
Caminos con pavimentos duros			74	84	90	92
Superficie Impermeable			100	100	100	100
Los tipos de suelo a partir de los cuales se obtiene "N", pueden ser 4 de acuerdo a la velocidad con que se infiltra el agua: A (alta), B (moderada), C (baja) y D (muy baja).						

Fuente: Tomado de González (2001), citado por SARH (1982), Maidment (1993)

Anexo 4. Coeficientes de escorrentía.

Cobertura del suelo	Tipo de suelo	Pendiente (%)				
		> 50	**20 a 50**	**5 a 20**	**1 a 5**	**0 a 1**
Sin vegetación	Impermeable	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
	Semipermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Permeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
Cultivos	Impermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Semipermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Permeable	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
	Semipermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Permeable	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15
Hierba	Impermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Semipermeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
	Permeable	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Semipermeable	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25
	Permeable	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05

Fuente: Tomado de Monguil (2004); según Benítez et al (1980), citado por Lemus y Navarro (2003).

Anexo 5. Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH).

Rango IRH	Clasificación	Descripción
> a 0.85	Muy alta	Muy alta retención y regulación de humedad
0.75 a 0.85	Alta	Alta retención y regulación de humedad
0.65 a 0.75	Moderada	Media retención y regulación de humedad
0.50 a 0.65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
< a 0.50	Muy baja	Muy baja retención y regulación de humedad

Fuente: Tomado de IDEAM (2010)

Anexo 6. Estadística de precipitación de las estaciones Saraguro, San Lucas, Oña y Yantzaza.

Estación : Saraguro					Latitud : 03°37'14"S					Altitud : 2525 m.s.n.m			
Código : M-142					Longitud : 79°13'56"W								
Año/mes	**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	**TOTAL**
1979	31.0	53.4	178.1	134.5	54.4	10.3	19.9	67.1	58.7	12.6	14.6	57.8	692.4
1980	103.6	205.6	113.2	120.5	27.5	29.6	20.2	22.4	61.6	72.4	55.6	46.3	878.5
1981	60.9	72.0	209.6	75.3	33.3	28.5	33.5	18.8	8.7	55.2	69.1	96.6	761.5
1982	113.9	57.8	136.5	63.4	104.2	11.8	32.1	27.9	26.8	70.0	68.9	169.7	883.0
1983	151.3	51.8	129.6	85.7	77.6	4.2	6.1	15.5	41.4	82.0	11.9	152.3	809.4
1984	51.0	204.3	145.2	149.2	69.9	25.1	64.3	14.9	43.5	72.4	89.8	39.7	969.3
1985	129.9	67.2	75.2	47.2	93.7	46.6	51.6	44.0	43.4	53.1	39.7	128.9	820.5
1986	34.1	93.6	225.5	97.0	29.4	23.3	28.6	17.8	40.8	41.9	53.4	36.4	721.8
1987	27.4	35.0	141.4	104.4	58.0	12.6	49.4	37.4	28.0	37.9	66.7	39.2	637.4
1988	107.0	117.9	36.8	150.6	50.0	30.7	31.5	19.9	10.9	66.6	80.2	75.7	777.8
1989	78.2	160.6	270.1	28.4	75.2	22.1	18.2	30.9	23.1	112.3	9.6	38.7	867.4
1990	64.2	73.3	129.0	115.5	71.5	101.3	6.7	32.6	9.5	126.0	49.1	68.5	847.3
1991	32.0	60.2	124.6	28.6	48.1	28.9	32.4	28.1	18.2	51.1	85.9	94.0	632.1
1992	38.1	101.7	77.8	67.5	12.1	54.0	428.2	31.4	70.7	20.7	44.2	43.4	989.8
1993	76.5	179.1	404.0	139.2	20.6	21.2	26.3	13.4	35.5	65.5	66.4	156.3	1204.0
1994	131.9	85.1	173.5	141.0	30.8	56.5	22.5	81.5	55.1	43.2	66.0	78.6	965.7
1995	13.7	77.0	94.3	118.5	44.0	20.0	45.2	8.2	23.9	36.3	147.7	108.4	737.2
1996	75.2	98.7	100.6	66.9	48.6	63.1	51.8	14.9	29.7	99.6	29.4	47.0	725.5
1997	143.2	109.5	107.7	60.3	56.8	20.0	31.0	31.1	36.6	50.1	90.0	82.0	818.3
1998	39.1	67.0	187.1	79.4	89.3	10.0	30.5	28.6	29.9	84.7	45.9	42.5	734.0
1999	129.0	254.0	157.5	62.4	112.8	66.7	42.4	71.3	63.2	35.6	24.8	179.7	1199.4
2000	79.7	126.4	146.2	85.7	60.1	59.5	11.3	55.1	139.9	21.0	9.1	101.3	895.3
2001	97.1	82.8	122.1	43.2	61.7	53.2	16.7	26.6	23.6	29.8	79.2	66.8	702.8
2002	21.6	71.9	68.4	95.9	83.4	54.5	54.0	36.3	7.2	51.8	201.5	116.9	863.4
2003	26.4	48.6	119.5	97.4	54.0	28.9	40.9	13.6	46.8	43.8	65.3	79.4	664.6
2004	50.8	51.4	55.8	103.9	50.1	58.2	17.0	4.4	42.0	60.0	95.5	75.1	664.2
2005	48.0	104.0	218.0	81.9	36.7	28.4	11.2	6.8	27.9	37.9	7.4	150.0	758.2
2006	65.0	99.2	128.1	67.3	10.4	63.8	13.7	15.4	11.0	45.1	123.6	83.6	726.2
2007	105.8	42.0	85.3	120.8	44.6	39.4	15.6	48.2	22.5	69.4	65.5	117.8	776.9
2008	58.2	148.0	155.5	115.3	83.7	46.1	23.2	69.1	30.7	177.8	107.0	62.6	1077.1
SUM	2183.8	2999.1	4316.2	2746.9	1692.5	1118.5	1276.0	933.3	1110.7	1825.8	1963.0	2635.2	24801.0
MAX	151.3	254.0	404.0	150.6	112.8	101.3	428.2	81.5	139.9	177.8	201.5	179.7	1204.0
MED	72.8	100.0	143.9	91.6	56.4	37.3	42.5	31.1	37.0	60.9	65.4	87.8	826.7
MIN	13.7	35.0	36.8	28.4	10.4	4.2	6.1	4.4	7.2	12.6	7.4	36.4	632.1
DESV	39.9	54.2	72.0	34.5	26.1	22.2	74.4	20.4	25.9	34.2	42.9	42.4	149.3
CV (%)	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	1.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.5	0.2

Estación : San Lucas					Latitud : 03°43'55"S							Altitud : 2525 msnm.	
Código : M-432					Longitud : 79°15'41"W								
Año/mes	**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	**TOTAL**
1979	102.7	64.3	167.6	116.2	47.7	44.7	64.6	45.8	53.4	26.1	32.5	68.3	833.9
1980	111.8	143.5	135.1	189	55.8	75.8	57.3	39.4	91.4	127.4	93.9	45	1165.4
1981	108.2	87.0	126.3	99.2	22.2	32.0	65.1	30.2	3.9	43.2	56.9	95.7	769.9
1982	64.6	83.8	88	31.1	89.7	9.1	80.6	60.6	23.6	39.6	113.4	125.2	809.3
1983	128.5	44.6	168.2	155.2	86.1	23.9	32.4	58.8	51.1	151.3	46.7	140.9	1087.7
1984	26.4	217.2	167.8	137.8	51.7	55.6	87.5	24.4	53.9	134.8	83.9	44.7	1085.7
1985	86.1	49	48.5	70.4	117.9	132.2	94.9	90.5	37.2	81.3	64.3	103.9	976.2
1986	84.3	60	80.7	30.6	47.7	26	58.9	21.2	72.5	32.5	122.4	46	682.8
1987	61.2	74.2	103.7	52.6	116.2	58.2	50.1	51	11.6	27.5	66.8	52	725.1
1988	60.7	56.4	30.4	93.1	52.4	50.9	41.7	58.4	70.4	145.2	92.5	89.5	841.7
1989	83.1	87.9	125.3	116.2	86.7	149.7	90.7	126.8	67.0	117.8	71.7	84.7	1207.6
1990	81.8	87.9	125.3	116.2	86.7	106.7	25.5	60.6	45.1	123.3	71.7	84.7	1015.5
1991	114.5	95.5	227.5	134.2	250.1	58.1	274.9	122.2	68.7	32.2	145	39.4	1562.3
1992	64.3	89.3	247.1	84	88.1	216.4	326	54.6	27.7	267.1	229.8	258	1952.4
1993	93.7	167.2	256.4	142.5	58.3	63.1	40.4	29.8	21.5	139.4	83.3	228.7	1324.3
1994	111.3	102.2	117	69.6	212	156.6	103.3	71.3	114.4	32.5	84.8	81.3	1256.3
1995	83.4	75.3	77.3	220.4	81.6	133.7	25.6	17.8	19.0	29.0	71.7	127.4	962.2
1996	189.5	209.6	149.5	104.4	144	96.4	144.1	73	113.9	105.6	58.5	70.3	1458.7
1997	39.3	86.4	111.0	134.6	132.6	10.7	114.3	103	54.9	78.4	173.9	239.6	1278.7
1998	94.5	113.7	164.3	140.6	117.7	45.4	134.8	242	68.7	32.2	145	39.4	1338.3
1999	136.6	207.4	121.4	308.2	188.4	178.8	81.5	86.6	116	22.8	36.4	143.1	1627.2
2000	99.1	124.6	284.1	178.8	197.2	114	114.5	75.7	132.6	52.8	12.3	106.7	1492.4
2001	103.9	156.9	97	92.7	94.1	210.6	115.9	166.4	86.3	55.2	111	135.6	1425.6
2002	84.2	98.1	101.9	183.6	211.8	103.3	84.8	63.1	9.8	103.5	173.9	79.4	1297.4
2003	92.8	118.2	139.8	198.6	75	91.3	66.2	68.2	33.5	98.6	46.9	240.1	1269.2
2004	39.1	57.2	227	172.6	120.4	267.7	153.4	47.9	114.2	163.1	142	204.4	1709.0
2005	76	262.4	422.6	243.6	217.2	239.8	149.7	91.9	55.5	85.6	25.1	121.2	1990.6
2006	83.1	172	99.5	83.9	45.7	81.5	13.8	4	46.1	87.3	80.5	182.3	979.8
2007	65.6	55.9	103.7	114.7	96.7	147.4	27.2	72.9	68.2	55.2	190.3	121.3	1119.1
2008	81.4	222.3	204.2	167	108.2	75.6	203.3	85.1	59.3	158	160.9	104.5	1629.8
SUM	2651.7	3470.0	4518.2	3981.6	3299.9	3055.3	2923.0	2143.2	1791.4	2648.5	2888.0	3503.3	36874.0
MAX	189.5	262.4	422.6	308.2	250.1	267.7	326.0	242.0	132.6	267.1	229.8	258.0	1990.6
MED	88.4	115.7	150.6	132.7	110.0	101.8	97.4	71.4	59.7	88.3	96.3	116.8	1229.1
MIN	26.4	44.6	30.4	30.6	22.2	9.1	13.8	4.0	3.9	22.8	12.3	39.4	682.8
DESV	31.7	59.8	79.9	62.3	60.0	69.2	71.3	47.4	34.6	57.1	53.5	64.0	347.4
CV (%)	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.3

Estación : Oña					Latitud : 03°27'52"S						Altitud : 2320 msnm.		
Código : M-421					Longitud : 79°09'15"W								
AÑO/MES	**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	**TOTAL**
1979	21.9	43.5	83.5	39.5	33.7	0.0	5.5	9.5	27.0	6.6	9.0	0.1	279.8
1980	28.4	50.3	25.5	98.3	16.8	12.3	7.8	3.2	39.9	32.8	41.3	41.4	398.0
1981	20.7	61.0	39.5	49.4	33.0	20.2	22.0	12.9	0.0	44.1	7.5	69.2	379.5
1982	53.5	26.0	29.8	63.6	62.0	9.3	6.9	1.3	19.4	24.4	36.0	121.3	453.5
1983	26.0	14.0	80.8	90.6	69.8	6.6	1.1	5.5	9.5	55.2	12.0	40.9	412.0
1984	11.6	256.6	127.3	9.7	42.5	20.3	22.3	7.3	20.0	50.7	50.9	36.3	655.5
1985	48.6	5.2	31.8	38.7	92.6	21.0	13.3	17.0	35.0	18.9	40.0	102.9	465.0
1986	60.5	74.3	42.1	94.6	22.9	2.5	15.8	29.1	34.9	45.5	14.8	12.5	449.5
1987	37.0	29.1	68.3	67.9	12.6	0.0	26.3	8.8	15.5	52.2	6.5	13.7	337.9
1988	67.6	64.6	20.2	99.5	21.5	16.8	36.6	11.9	29.7	15.6	17.7	47.1	448.8
1989	175.1	173.4	131.8	12.9	1.1	21.7	6.7	2.2	3.9	49.9	7.4	15.2	601.3
1990	33.5	50.9	38.3	96.2	44.1	16.5	7.4	7.7	4.8	67.7	59.0	28.9	455.0
1991	19.7	36.8	64.2	25.8	35.6	22.6	17.2	29.9	20.8	15.9	19.8	20.3	328.6
1992	2.1	24.9	32.5	34.7	34.9	27.1	6.6	19.0	32.4	15.3	17.7	5.8	253.0
1993	47.6	91.1	104.0	55.8	21.8	3.7	14.0	7.7	31.8	32.1	27.0	72.8	509.4
1994	78.5	70.2	91.7	48.6	34.3	29.2	40.5	67.9	5.9	6.2	11.2	38.5	522.7
1995	5.5	66.6	60.8	69.1	40.7	40.2	30.0	17.6	7.7	7.1	74.7	133.8	553.8
1996	179.9	229.4	119.0	70.9	79.0	8.5	60.1	50.9	49.6	35.6	28.8	17.7	929.4
1997	26.3	65.7	114.0	64.1	16.4	50.2	23.6	23.1	50.8	76.3	54.6	50.1	615.2
1998	31.5	75.8	53.7	115.9	77.9	9.3	74.9	26.4	21.8	44.5	84.1	153.0	768.8
1999	112.3	75.3	104.1	86.8	92.6	88.3	76.6	65.1	110.6	23.8	17.7	108.1	961.2
2000	75.8	119.8	133.3	57.6	22.3	60.4	22.7	48.8	78.4	21.1	1.9	24.5	666.6
2001	78.2	24.2	125.7	9.8	36.3	24.5	26.7	24.4	43.7	10.9	27.0	30.9	462.3
2002	8.9	63.2	30.5	47.4	18.1	33.2	6.4	25.2	27.9	3.2	6.1	37.1	307.2
2003	7.2	0.0	60.1	23.4	33.8	10.5	20.4	11.3	23.2	1.3	39.5	5.6	236.3
2004	10.7	7.0	13.1	14.8	41.2	5.1	3.4	2.4	8.6	9.9	7.7	2.5	126.4
2005	3.2	15.6	17.4	16.7	4.9	8.7	2.7	1.2	0.1	10.2	2.3	14.7	97.7
2006	16.4	10.9	11.8	8.6	9.6	8.3	5.4	12.3	9.8	15.7	134.6	92.8	336.3
2007	85.4	19.5	65.3	122.3	26.7	49.3	3.3	24.1	16.4	43.0	40.7	70.4	566.4
2008	36.6	87.5	91.8	69.0	51.1	29.7	16.7	42.8	21.0	104.4	64.3	39.1	654.1
SUM	1410.2	1932.5	2011.9	1702.2	1129.8	656.0	622.9	616.5	800.1	940.1	961.8	1447.2	14231.2
MAX	179.9	256.6	133.3	122.3	92.6	88.3	76.6	67.9	110.6	104.4	134.6	153.0	961.2
MED	47.0	64.4	67.1	56.7	37.7	21.9	20.8	20.6	26.7	31.3	32.1	48.2	474.4
MIN	2.1	0.0	11.8	8.6	1.1	0.0	1.1	1.2	0.0	1.3	1.9	0.1	97.7
DESV	45.2	61.3	39.4	33.5	24.6	19.8	19.9	18.3	23.5	24.4	29.6	41.5	203.6
CV (%)	1.0	1.0	0.6	0.6	0.7	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.4

Estación : Yantzaza					Latitud	: 03º50'15'"S					Elevación	: 830 msnm	
Código : M-190					Longitud	: 78º45'01"W							
AÑO	**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	**TOTAL**
1979	40.5	38.5	43.6	39.6	33.3	27.5	33.3	23.5	27.7	19.8	56.3	28.0	56.3
1980	149.4	163.5	286.4	160.3	206.1	193.5	176.9	141.7	83.8	165.3	129.3	190.5	170.6
1981	134.6	212.6	190.6	323.2	133.8	180.0	165.5	165.5	95.2	135.8	153.0	260.5	179.2
1982	113.2	128.3	217.0	183.4	299.0	172.5	186.3	165.2	144.3	163.6	181.5	216.6	180.9
1983	192.1	294.6	186.3	300.8	288.7	159.5	184.4	157.5	129.9	182.2	179.9	181.3	203.1
1984	53.5	168.7	146.3	220.9	108.2	218.0	182.4	179.1	115.5	200.7	178.3	58.6	152.5
1985	76.1	102.0	106.2	158.2	229.6	274.0	177.2	200.7	114.6	181.0	223.2	181.5	168.7
1986	108.7	288.7	146.3	117.6	29.9	168.7	26.8	17.4	30.2	20.0	112.8	89.6	96.4
1987	64.8	100.8	98.7	116.8	65.4	210.3	87.3	135.8	36.1	51.4	2.4	107.5	89.8
1988	71.4	233.3	177.2	115.9	100.8	94.1	147.8	85.1	72.0	233.1	227.4	160.7	143.2
1989	220.0	222.6	200.9	202.7	239.2	189.6	199.3	88.0	146.5	269.7	208.7	74.8	188.5
1990	216.0	162.6	240.5	260.8	94.8	337.1	250.7	90.9	76.5	316.2	261.5	313.0	218.4
1991	81.1	117.6	227.9	149.1	355.5	264.2	204.8	143.2	134.9	285.7	185.9	220.5	197.5
1992	96.9	178.7	268.2	264.3	196.6	191.3	158.8	195.5	193.3	146.6	110.2	134.5	177.9
1993	112.7	239.8	308.4	379.4	214.3	172.6	256.4	175.6	204.9	154.8	135.5	188.4	211.9
1994	160.9	147.1	227.3	237.8	281.5	190.8	151.7	135.8	188.4	171.4	159.1	224.5	189.7
1995	160.1	179.3	165.6	159.6	412.6	189.6	128.1	89.2	159.6	183.0	178.3	190.3	182.9
1996	136.8	163.5	163.5	117.6	288.7	191.3	150.2	65.6	160.4	203.5	110.6	178.6	160.8
1997	149.7	89.9	94.9	148.9	196.4	241.6	172.2	41.9	161.1	224.1	118.9	181.5	151.8
1998	137.8	194.8	160.3	135.2	119.6	220.9	167.2	59.3	50.4	188.9	180.9	190.9	150.5
1999	195.4	222.6	234.4	326.9	108.2	131.4	130.9	179.1	171.8	108.7	163.4	167.4	178.3
2000	168.5	239.8	308.4	260.4	229.6	216.3	137.2	184.9	158.7	89.9	145.9	181.7	193.4
2001	239.2	140.6	180.4	300.8	65.4	189.6	143.6	180.6	145.7	110.6	180.4	190.4	172.3
2002	220.0	222.6	113.2	260.1	100.8	168.4	200.5	192.5	164.3	154.8	161.5	107.5	172.2
2003	260.6	162.6	192.1	158.2	355.5	191.3	225.6	204.3	193.3	172.8	213.2	149.9	206.6
2004	178.6	117.6	164.6	149.1	160.9	103.8	250.7	190.0	159.6	190.8	193.9	192.3	171.0
2005	145.8	178.7	181.7	237.8	222.9	209.9	180.2	175.6	137.1	146.6	174.6	178.3	180.8
2006	220.8	145.3	162.9	117.6	180.0	186.6	148.8	79.3	114.6	160.8	179.1	189.4	157.1
2007	210.5	147.1	180.8	185.0	150.0	240.6	130.1	137.4	190.9	110.6	170.6	181.3	169.6
2008	180.5	130.9	192.8	200.9	220.7	160.5	220.8	195.5	188.4	181.0	174.7	167.4	184.5
SUM	4455.7	5096.2	5523.6	5949.2	5654.6	5658.0	4942.2	4052.0	3922.0	4903.5	4794.6	5049.4	5000.1
MAX	260.6	294.6	308.4	379.4	412.6	337.1	256.4	204.3	204.9	316.2	261.5	313.0	218.4
MED	149.9	171.2	185.6	199.6	189.6	189.5	165.9	135.8	131.7	164.1	161.7	169.2	168.5
MIN	40.5	38.5	43.6	39.6	29.9	27.5	26.8	17.4	27.7	19.8	2.4	28.0	56.3
DESV	59.3	58.4	61.8	79.1	98.8	56.5	53.8	57.0	51.9	67.8	51.0	58.0	35.3
CV (%)	0.4	0.3	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2

Anexo 7. Selección del número de escurrimiento mediante el método del número de curva, para la microcuenca Ramas.

CUBIERTA DEL SUELO		*TIPO DE SUELO*				Porcentaje de la superficie	Número de escurrimiento "N"
Clase	Condiciones hidrológicas para la infiltración	A	B	C	D		
Bosques forestales	Regulares			70		0.0499	3.49
Cultivos alineados	Malas				91	0.0015	0.14
Prados permanentes	Malas				83	0.0794	6.59
Prados permanentes	Regulares			73		0.2087	15.24
Prados permanentes	Buenas		55			0.0483	2.66
Prados permanentes	regular			71		0.0299	2.12
Prados permanentes	mala (SIN SUELO)				83	0.0634	5.26
Pastizales	Malas				89	0.1522	12.02
Pastizales	Regulares			79		0.228	18.01
Pastizales	Buenas		61			0.0081	0.49
Pastizales	regular			75		0.0008	0.06
Pastizales	mala (SIN SUELO)				89	0.1273	11.33
Caseríos	---				86	0.0026	0.22
						1.00	**77.64**

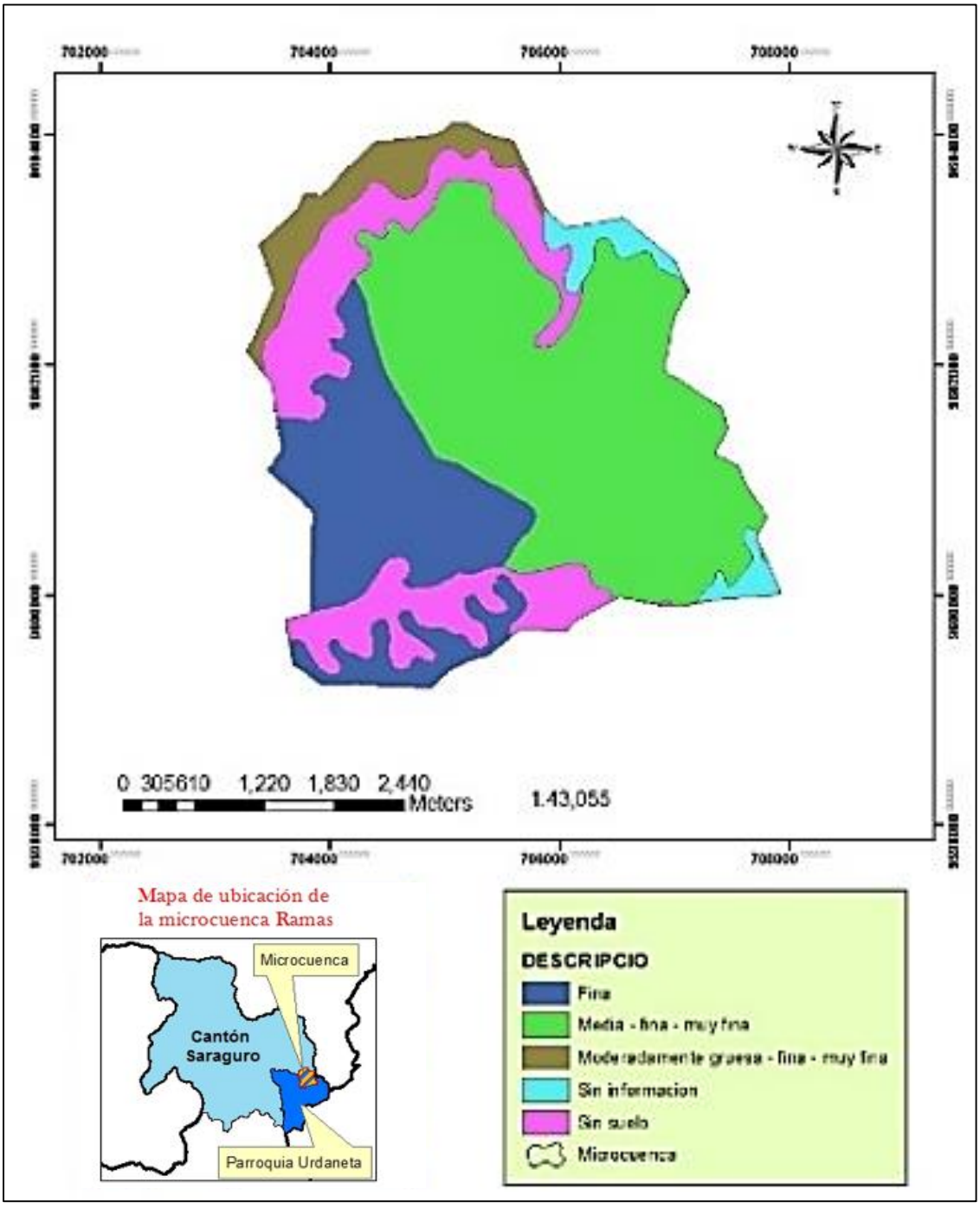
Anexo 8. Caudales de la quebrada Ramas por medio del Número de curva (l/s)

Año / Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1979	122.0	235.1	893.7	677.1	270.4	31.1	93.8	357.5	288.5	32.4	40.7	253.6	3048.7
1980	500.4	1030.9	551.0	601.8	118.1	140.4	95.7	94.5	304.8	329.0	241.3	195.2	4046.6
1981	276.3	331.5	1060.2	359.3	150.4	133.9	181.8	74.4	20.1	241.0	310.0	452.5	3300.3
1982	554.7	257.8	673.9	295.7	557.7	38.8	172.6	125.9	111.3	316.7	309.0	829.9	4055.0
1983	752.1	226.9	637.5	414.9	403.9	5.1	14.1	56.5	191.6	378.4	29.2	739.9	3670.6
1984	224.7	1024.0	719.9	756.2	359.5	113.8	386.5	53.3	203.3	329.0	415.8	162.0	4546.7
1985	639.1	306.5	351.1	209.8	496.9	243.0	301.7	220.1	202.7	230.3	161.2	619.1	3878.2
1986	137.7	444.0	1144.3	475.5	128.6	103.2	149.7	68.9	188.3	173.5	230.2	145.4	3076.3
1987	104.0	141.0	699.8	515.2	291.0	43.0	287.0	181.2	117.8	153.4	297.7	159.4	2794.7
1988	518.3	571.1	151.5	763.7	245.2	147.0	168.7	80.5	29.8	299.3	366.7	345.1	3638.0
1989	366.8	794.8	1380.3	111.7	390.0	96.2	83.1	143.3	91.5	534.7	20.0	156.9	3794.2
1990	293.5	338.2	634.3	574.9	368.7	578.9	16.9	153.2	23.5	605.6	208.4	308.2	3925.9
1991	127.1	270.2	611.1	112.7	234.3	136.2	174.6	127.1	65.7	220.1	395.8	439.2	2741.8
1992	158.2	486.4	364.7	317.6	36.5	288.1	243.2	146.2	356.2	69.0	183.8	180.6	2723.5
1993	357.9	891.8	2089.0	702.4	80.4	91.0	134.8	45.4	158.9	293.6	296.2	760.6	5340.3
1994	649.6	399.7	869.4	712.0	136.4	303.4	110.3	443.6	268.2	180.0	294.2	360.0	4486.3
1995	38.3	357.5	451.5	591.0	210.9	84.1	259.1	20.0	95.7	145.3	713.3	513.3	3350.0
1996	351.1	470.7	484.6	314.4	237.2	343.8	303.0	53.3	127.1	469.1	110.2	198.7	3324.3
1997	709.3	527.1	522.0	279.2	284.1	84.1	165.4	144.4	165.0	215.0	416.8	377.5	3741.2
1998	163.3	305.5	941.3	381.2	471.5	29.6	162.1	130.0	128.2	392.3	192.3	176.0	3213.6
1999	634.3	1284.9	784.8	290.4	607.6	365.9	240.5	382.6	313.8	141.9	87.9	881.6	5797.9
2000	374.7	615.6	725.1	414.9	303.1	321.8	41.5	285.9	749.0	70.5	18.2	476.8	4194.3
2001	466.2	387.7	597.9	188.7	312.3	283.2	73.8	118.5	94.1	113.1	361.6	299.5	3127.6
2002	75.3	331.0	315.5	469.6	437.4	291.2	317.7	174.8	14.0	223.7	990.4	557.2	4104.0
2003	99.0	210.4	584.2	477.7	268.1	136.2	230.6	46.4	221.7	183.1	290.6	364.1	2946.7
2004	223.7	224.8	249.7	512.6	245.7	313.8	75.7	5.3	194.9	265.5	445.0	342.1	3022.9
2005	209.2	498.4	1104.7	394.6	169.5	133.3	40.9	14.0	117.3	153.4	12.1	728.1	3272.6
2006	297.7	473.3	629.6	316.5	28.5	348.1	55.6	55.9	30.3	189.6	589.3	385.7	3222.8
2007	512.0	176.6	404.1	603.4	214.4	199.3	67.1	244.9	88.3	313.6	291.6	561.8	3559.6
2008	262.2	728.7	774.3	573.8	439.1	239.9	114.8	369.4	132.5	873.8	504.0	278.1	5075.1
SUM	10198.9	14342.1	21401.2	13408.3	8497.3	5667.6	4762.2	4416.8	5094.1	8136.0	8823.7	12248.1	111019.4
MAX	752.1	1284.9	2089.0	763.7	607.6	578.9	386.5	443.6	749.0	873.8	990.4	881.6	5797.9
MED	340.0	478.1	713.4	446.9	283.2	188.9	158.7	147.2	169.8	271.2	294.1	408.3	3700.6
MIN	38.3	141.0	151.5	111.7	28.5	5.1	14.1	5.3	14.0	32.4	12.1	145.4	2723.5
DESV	213.0	283.6	389.4	187.0	150.2	137.2	100.9	112.2	147.4	137.2	220.7	222.2	766.0
CV (%)	0.63	0.59	0.55	0.42	0.53	0.73	0.64	0.76	0.87	0.51	0.75	0.54	0.2

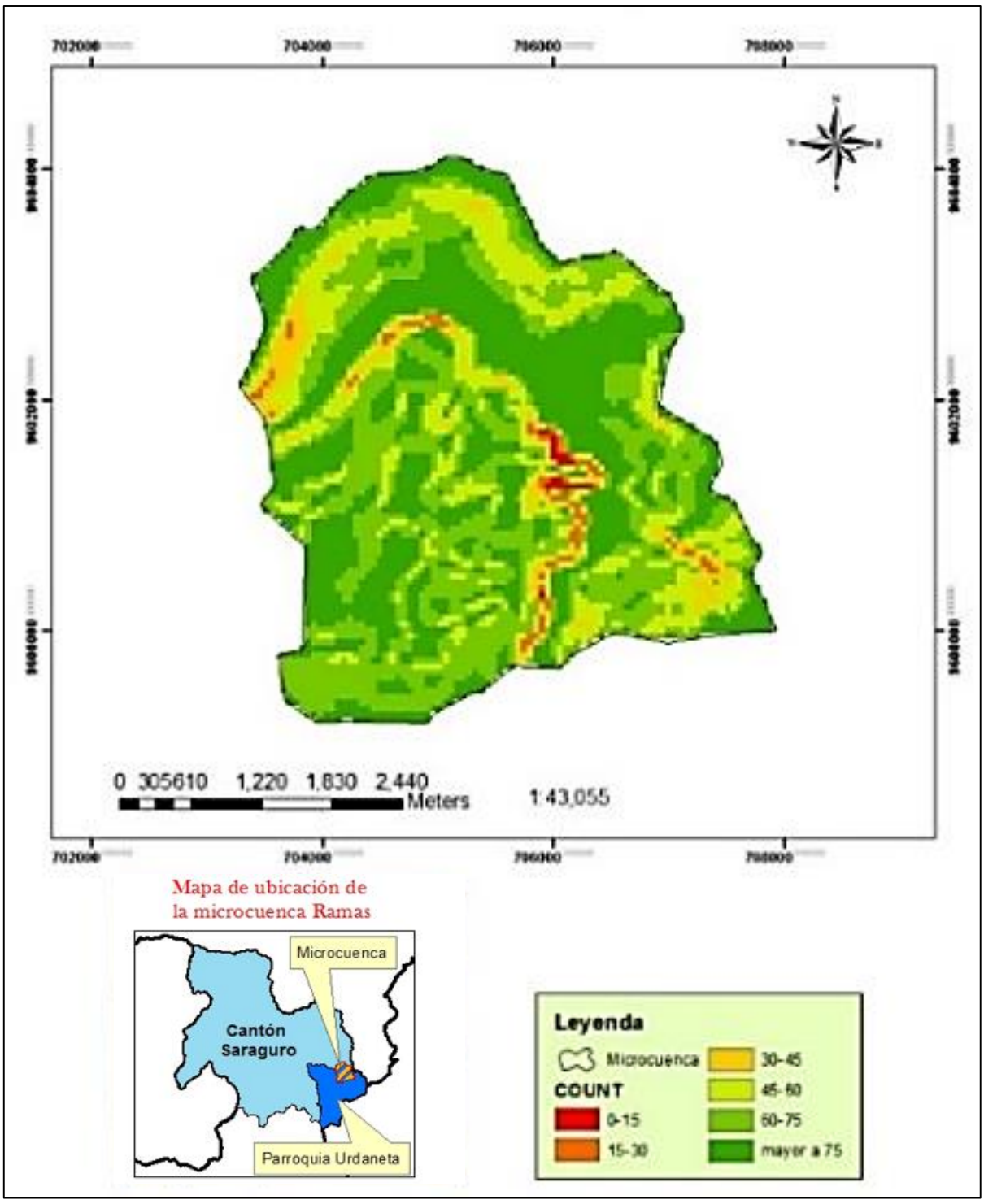
Anexo 9. Caudales de la quebrada Ramas por medio del método racional (l/s)

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1979	74.7	141.3	316.3	341.2	144.0	30.0	61.1	184.1	157.4	29.8	35.4	136.2	1651.4
1980	249.5	544.2	201.0	305.7	72.8	86.2	62.0	61.4	165.2	171.0	134.9	109.1	2163.0
1981	146.7	190.6	372.3	191.0	88.1	83.0	102.8	51.6	23.3	130.4	167.6	227.6	1775.0
1982	274.4	153.0	242.4	160.8	275.7	34.4	98.5	76.5	71.9	165.3	167.1	399.9	2120.0
1983	364.4	137.1	230.2	217.4	205.4	12.2	18.7	42.5	111.0	193.7	28.9	358.9	1920.4
1984	122.8	540.7	257.9	378.5	185.0	73.1	197.4	40.9	116.6	171.0	217.9	93.6	2395.3
1985	312.9	177.9	133.6	119.7	248.0	135.7	158.4	120.7	116.4	125.4	96.3	303.8	2048.7
1986	82.1	247.7	400.5	246.1	77.8	67.8	87.8	48.8	109.4	99.0	129.5	85.8	1682.4
1987	66.0	92.6	251.1	264.9	153.5	36.7	151.7	102.6	75.1	89.5	161.8	92.4	1537.8
1988	257.7	312.0	65.4	382.1	132.3	89.4	96.7	54.6	29.2	157.3	194.6	178.4	1949.7
1989	188.4	425.1	479.7	72.1	199.0	64.3	55.9	84.8	61.9	265.2	23.3	91.2	2010.8
1990	154.6	194.0	229.1	293.0	189.2	294.9	20.6	89.4	25.5	297.6	119.1	161.4	2068.5
1991	77.1	159.3	221.3	72.6	127.3	84.1	99.5	77.1	48.8	120.7	208.4	221.5	1517.6
1992	91.8	269.2	138.2	171.3	32.0	157.2	131.4	86.1	189.6	48.9	107.2	102.3	1525.1
1993	184.3	474.0	717.5	353.2	54.5	61.7	80.7	36.8	95.2	154.7	161.1	368.3	2742.0
1994	317.7	225.2	308.1	357.7	81.5	164.5	69.1	223.6	147.7	102.0	160.1	185.2	2342.6
1995	33.0	203.8	167.5	300.6	116.4	58.2	138.8	22.5	64.1	85.7	358.3	255.5	1804.4
1996	181.1	261.2	178.7	169.7	128.6	183.7	159.0	40.9	79.6	235.2	71.3	110.8	1799.9
1997	344.9	289.8	191.3	153.0	150.3	58.2	95.2	85.3	98.1	118.3	218.3	193.2	1996.1
1998	94.2	177.3	332.3	201.4	236.3	29.1	93.6	78.4	80.2	200.0	111.4	100.2	1734.5
1999	310.7	672.3	279.7	158.3	298.5	194.2	130.2	195.6	169.5	84.1	60.2	423.5	2976.6
2000	192.0	334.5	259.7	217.4	159.0	173.2	34.7	151.1	375.1	49.6	22.1	238.7	2207.2
2001	233.9	219.1	216.9	109.6	163.3	154.9	51.3	73.0	63.3	70.4	192.1	157.4	1705.1
2002	52.0	190.3	121.5	243.3	220.7	158.7	165.8	99.6	19.3	122.3	488.8	275.5	2157.8
2003	63.6	128.6	212.2	247.1	142.9	84.1	125.6	37.3	125.5	103.4	158.4	187.1	1615.9
2004	122.4	136.0	99.1	263.6	132.6	169.5	52.2	12.1	112.6	141.7	231.7	177.0	1650.4
2005	115.6	275.3	387.2	207.8	97.1	82.7	34.4	18.7	74.8	89.5	18.0	353.5	1754.4
2006	156.6	262.5	227.5	170.7	27.5	185.8	42.1	42.2	29.5	106.5	299.8	197.0	1747.8
2007	254.8	111.2	151.5	306.5	118.0	114.7	47.9	132.2	60.3	163.9	158.9	277.6	1897.6
2008	140.2	391.7	276.2	292.5	221.5	134.2	71.2	189.5	82.3	419.9	259.6	147.5	2626.4
SUM	5260.3	7937.6	7665.6	6969.0	4478.9	3256.6	2734.0	2559.8	2978.5	4312.3	4762.1	6210.1	59124.8
MAX	364.4	672.3	717.5	382.1	298.5	294.9	197.4	223.6	375.1	419.9	488.8	423.5	2976.6
MED	175.3	264.6	255.5	232.3	149.3	108.6	91.1	85.3	99.3	143.7	158.7	207.0	1970.8
MIN	33.0	92.6	65.4	72.1	27.5	12.2	18.7	12.1	19.3	29.8	18.0	85.8	1517.6
DESV	98.3	143.6	131.0	88.7	69.8	66.8	48.0	53.3	71.3	63.7	106.1	101.9	364.6
CV (%)	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7	0.4	0.7	0.5	0.2

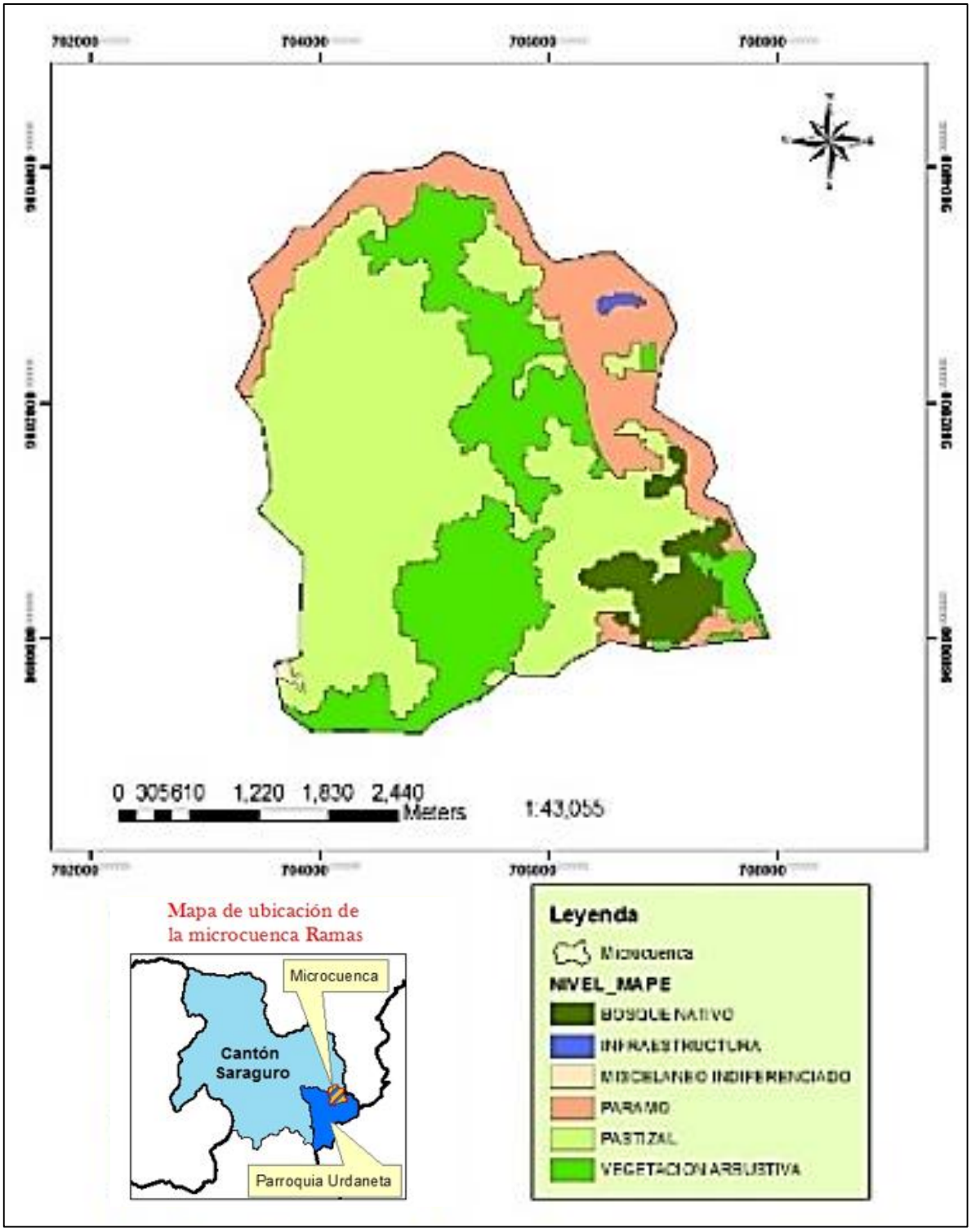
Anexo 10. Mapas de la microcuenca Ramas.



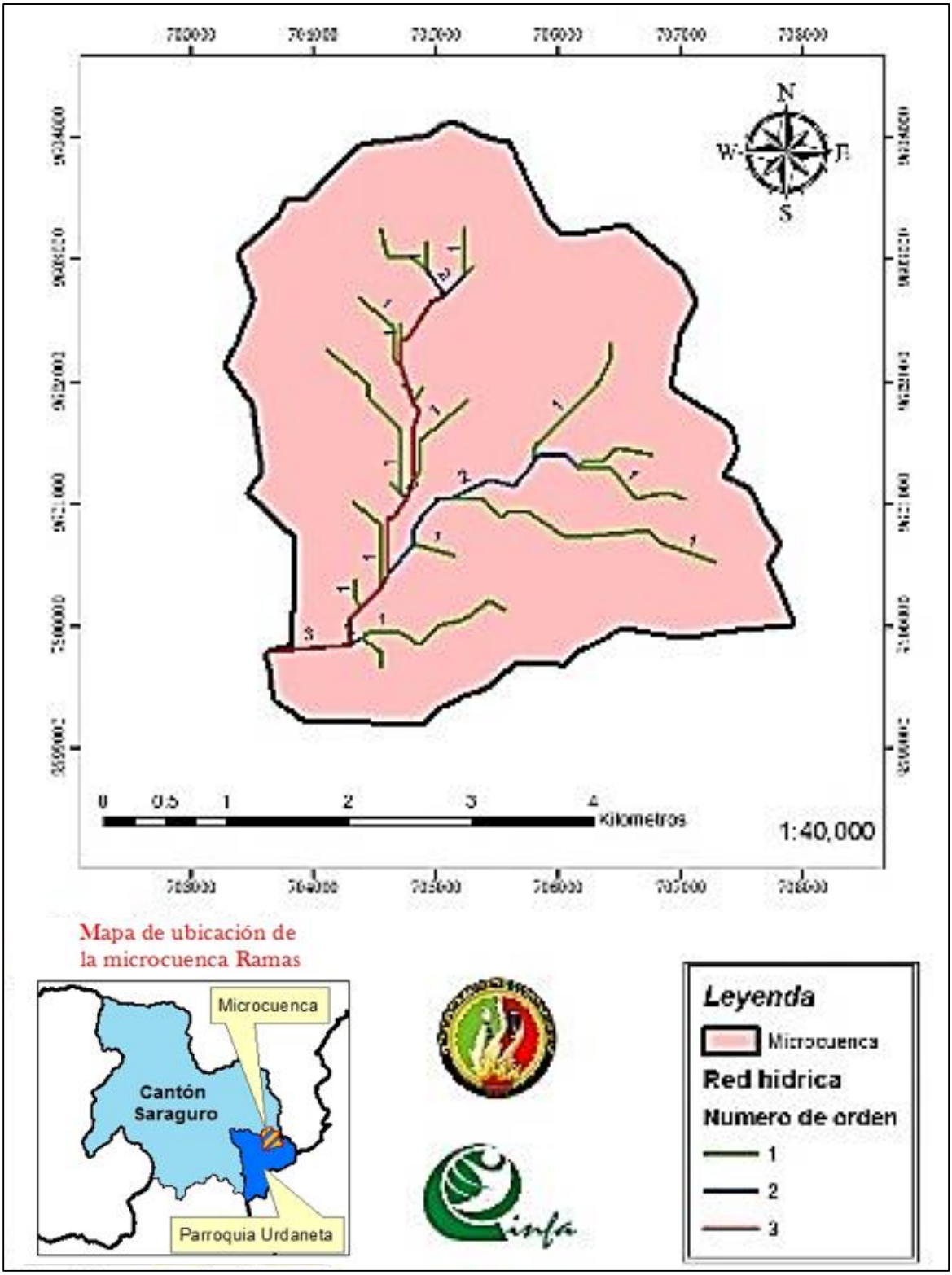
Mapa de textura de la microcuenca Ramas



Mapa de pendiente de la microcuenca Ramas

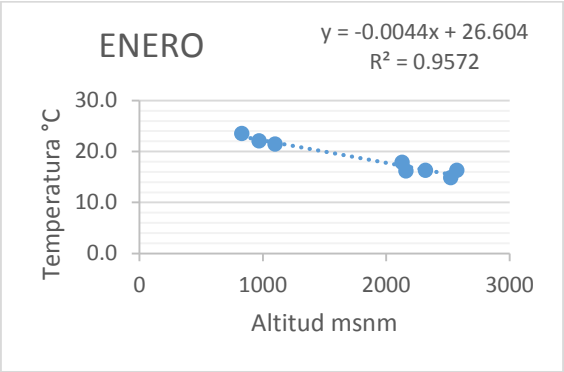


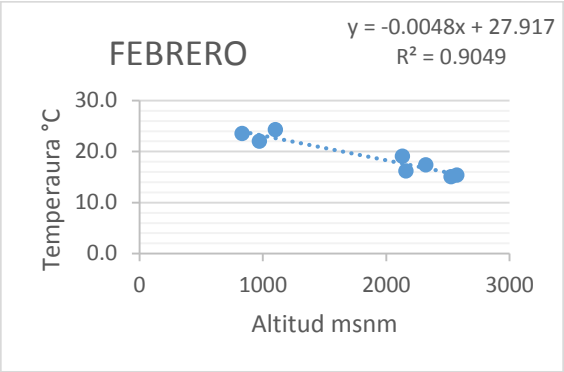
Mapa de uso y cobertura de la microcuenca Ramas

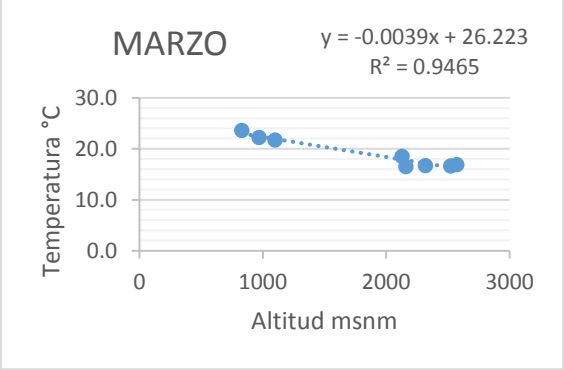


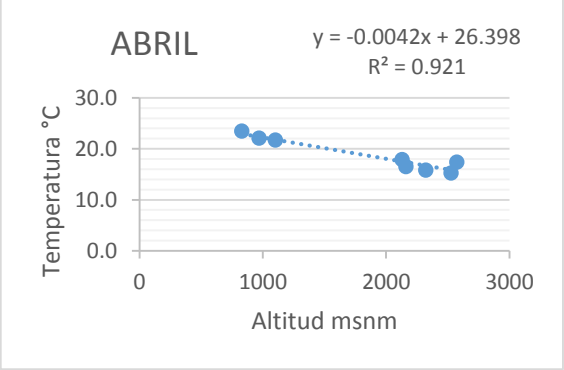
Mapa de orden de corriente de la microcuenca Ramas

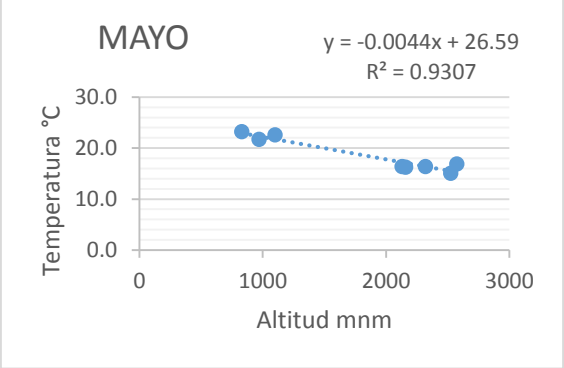
Anexo 11. Curvas de regresión lineal para la obtención de temperatura.

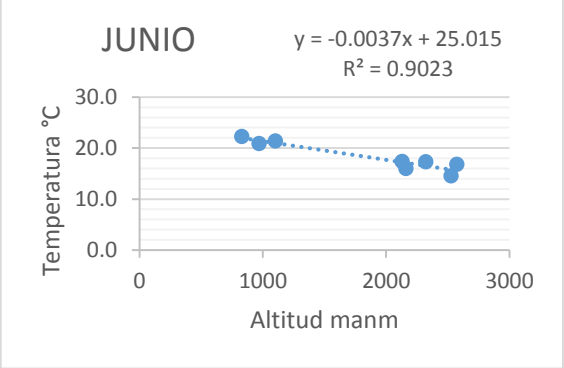


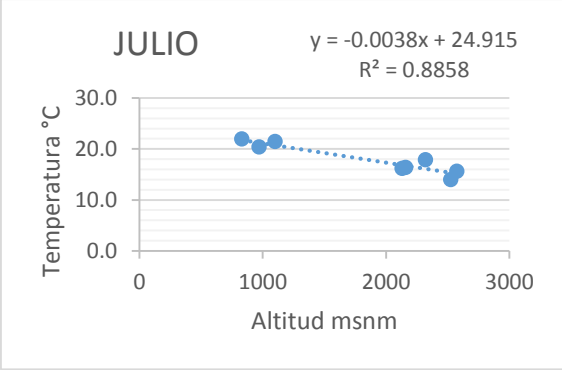


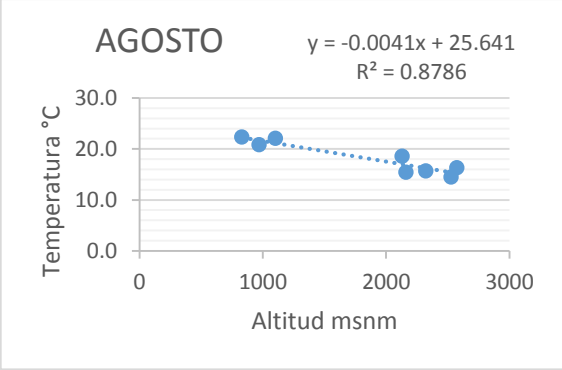


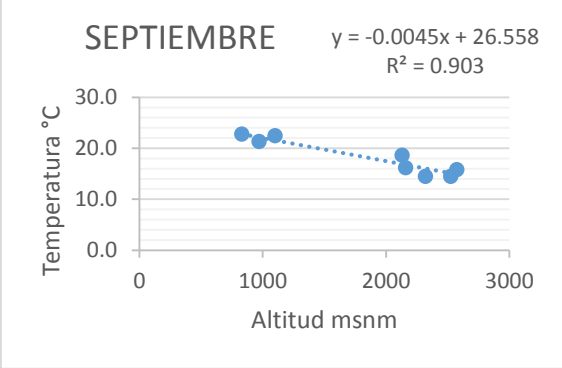


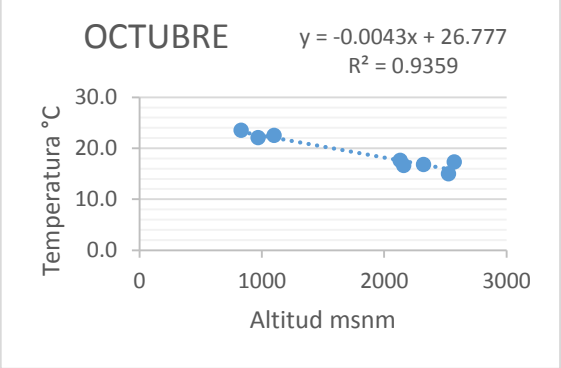


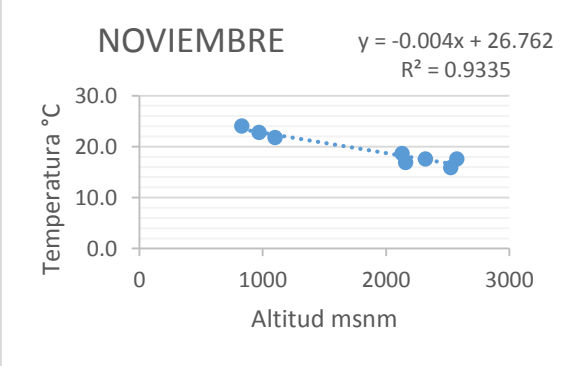


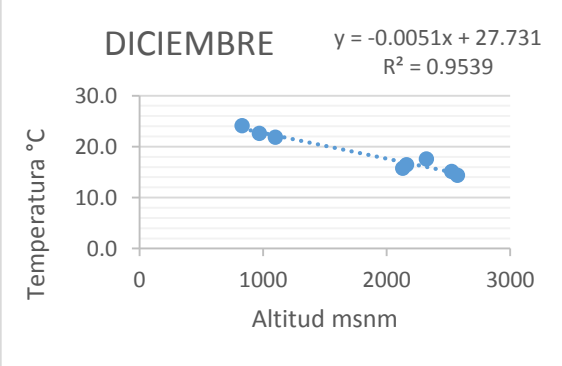

JULIO
y = -0.0038x + 24.915
R² = 0.8858
Temperatura °C
30.0
20.0
10.0
0.0
0
1000
2000
3000
Altitud msnm


AGOSTO
y = -0.0041x + 25.641
R² = 0.8786
Temperatura °C
30.0
20.0
10.0
0.0
0
1000
2000
3000
Altitud msnm

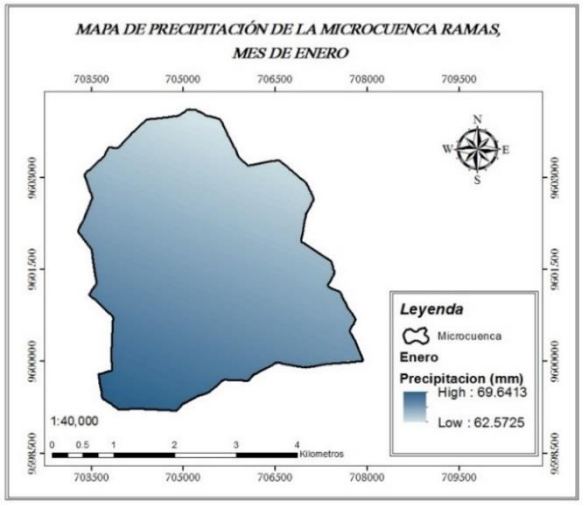

SEPTIEMBRE
y = -0.0045x + 26.558
R² = 0.903
Temperatura °C
30.0
20.0
10.0
0.0
0
1000
2000
3000
Altitud msnm

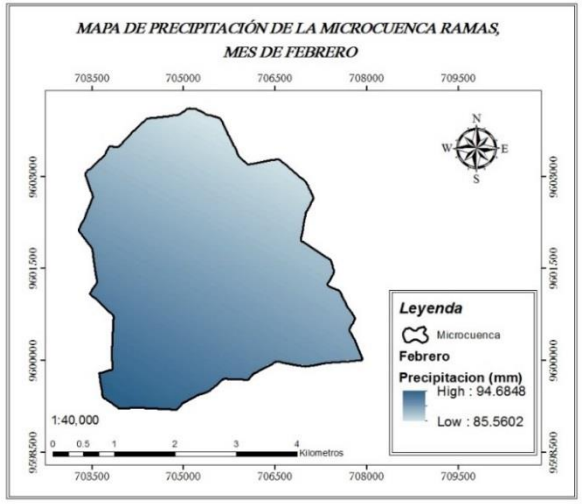

OCTUBRE
y = -0.0043x + 26.777
R² = 0.9359
Temperatura °C
30.0
20.0
10.0
0.0
0
1000
2000
3000
Altitud msnm

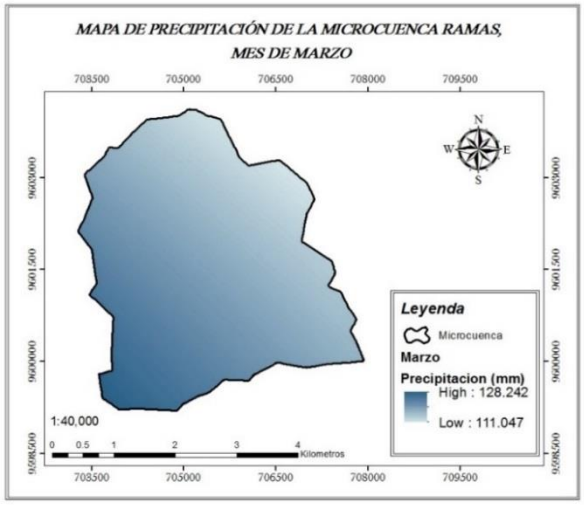

NOVIEMBRE
y = -0.004x + 26.762
R² = 0.9335
Temperatura °C
30.0
20.0
10.0
0.0
0
1000
2000
3000
Altitud msnm

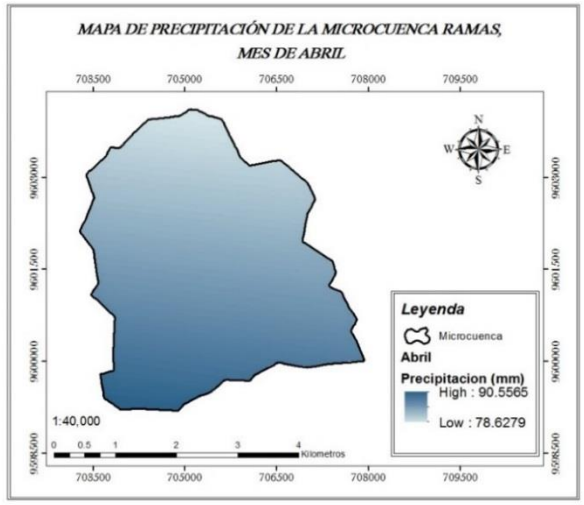

DICIEMBRE
y = -0.0051x + 27.731
R² = 0.9539
Temperatura °C
30.0
20.0
10.0
0.0
0
1000
2000
3000
Altitud msnm

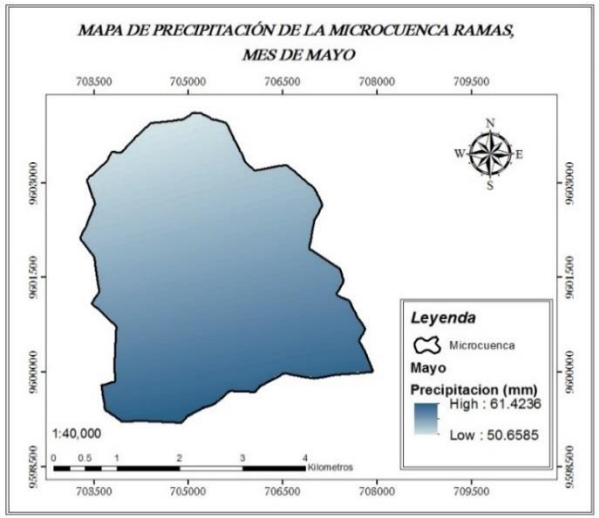
Anexo 12. Mapas de precipitación de la microcuenca Ramas.

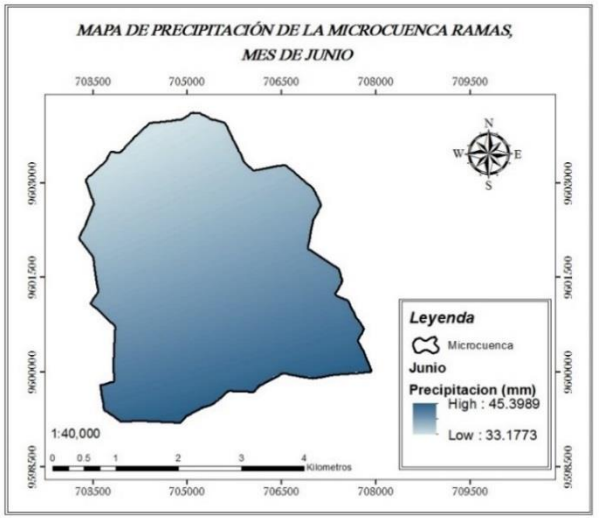


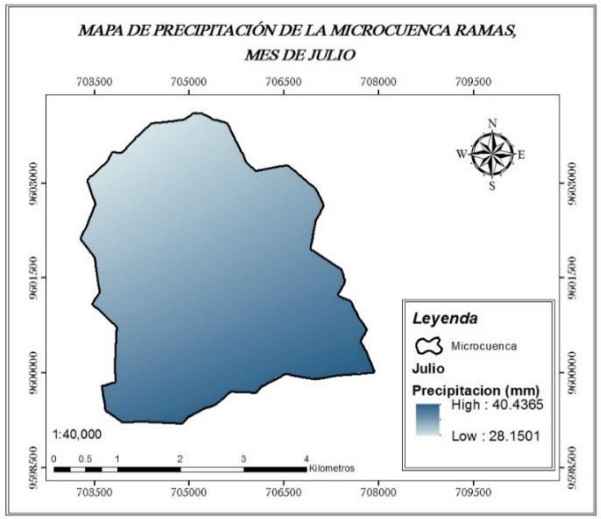


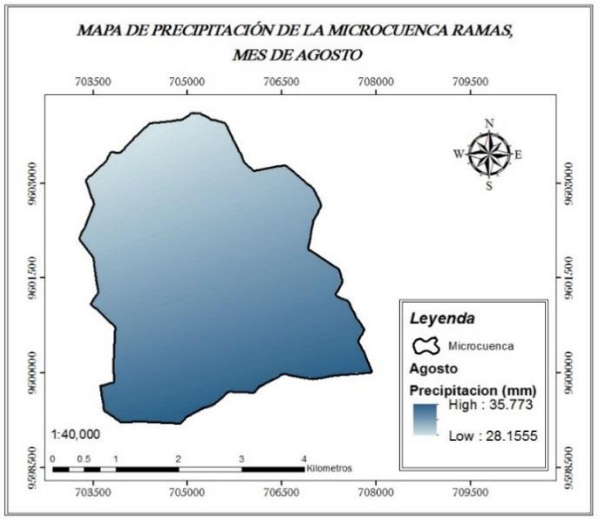


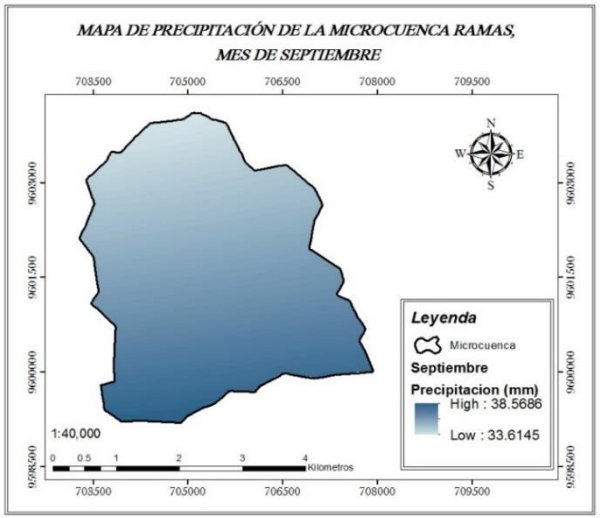


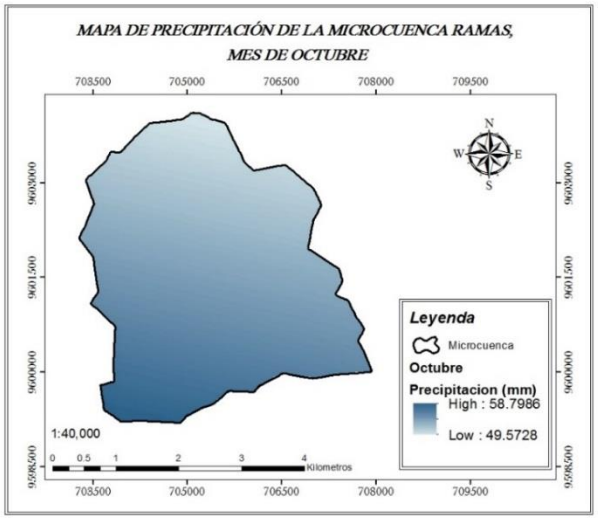

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE MAYO
708500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Mayo
Precipitacion (mm)
High : 61.4236
Low : 50.6585
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

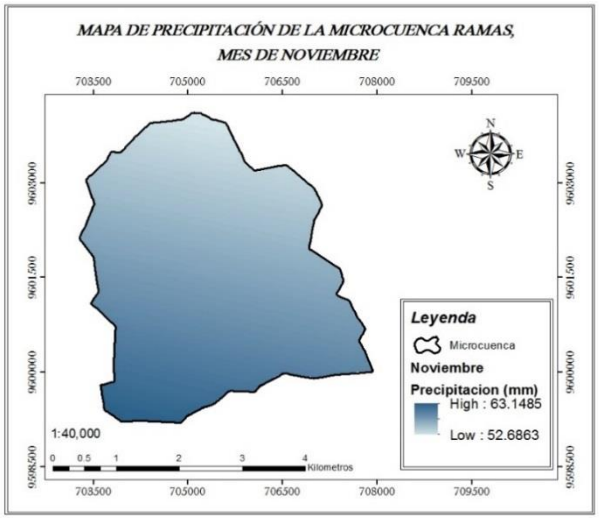

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE JUNIO
708500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Junio
Precipitacion (mm)
High : 45.3989
Low : 33.1773
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

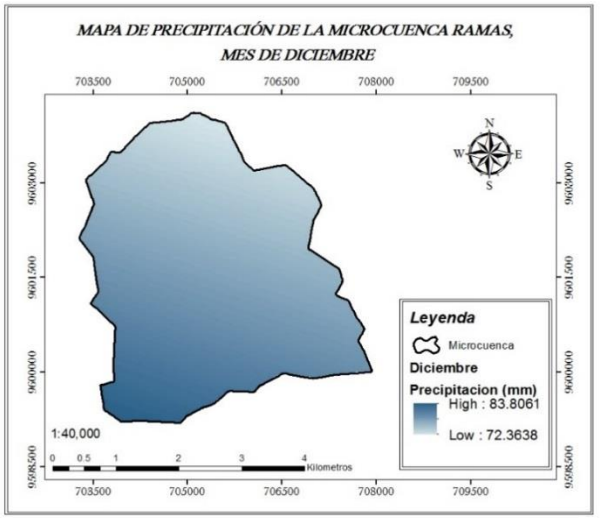

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE JULIO
708500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Julio
Precipitacion (mm)
High : 40.4365
Low : 28.1501
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros


MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE AGOSTO
708500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Agosto
Precipitacion (mm)
High : 35.773
Low : 28.1555
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

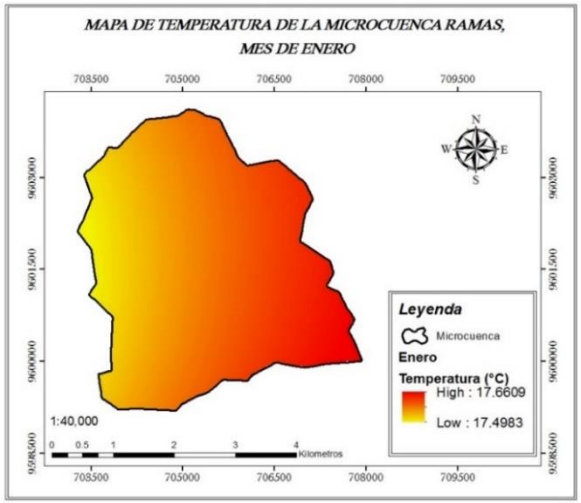

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE SEPTIEMBRE
703500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Septiembre
Precipitacion (mm)
High : 38.5686
Low : 33.6145
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

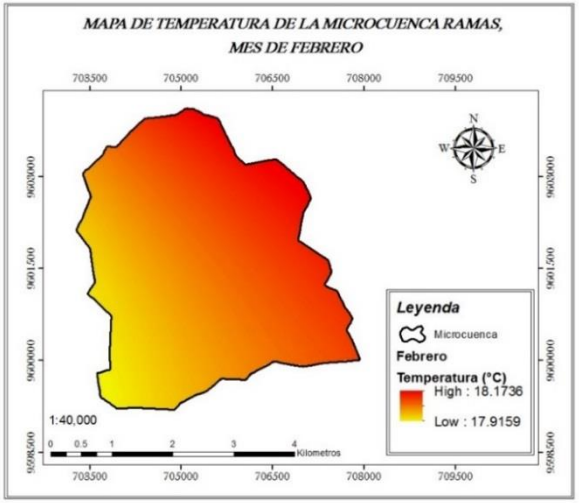

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE OCTUBRE
703500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Octubre
Precipitacion (mm)
High : 58.7986
Low : 49.5728
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

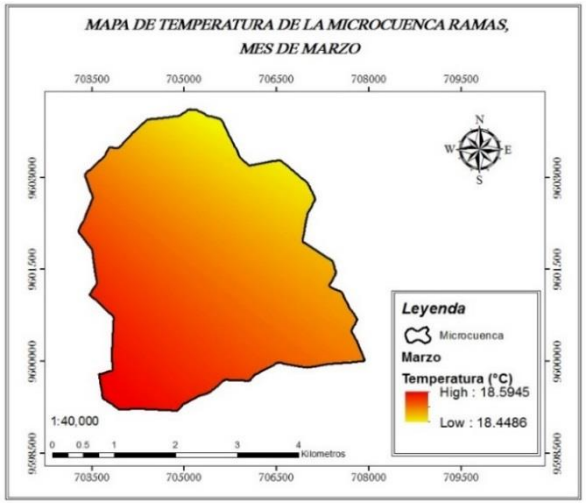

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE NOVIEMBRE
703500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Noviembre
Precipitacion (mm)
High : 63.1485
Low : 52.6863
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

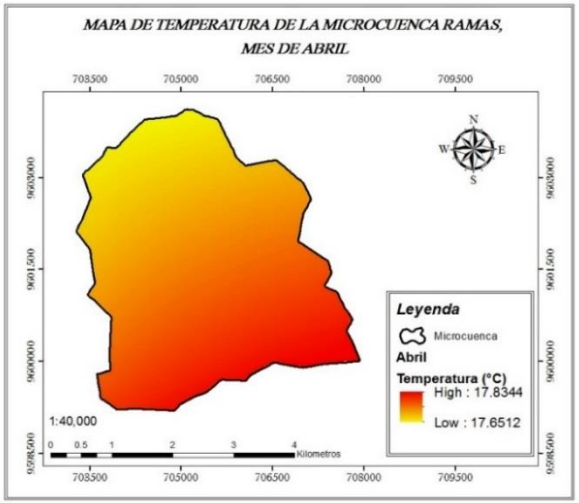

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE DICIEMBRE
703500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Diciembre
Precipitacion (mm)
High : 83.8061
Low : 72.3638
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

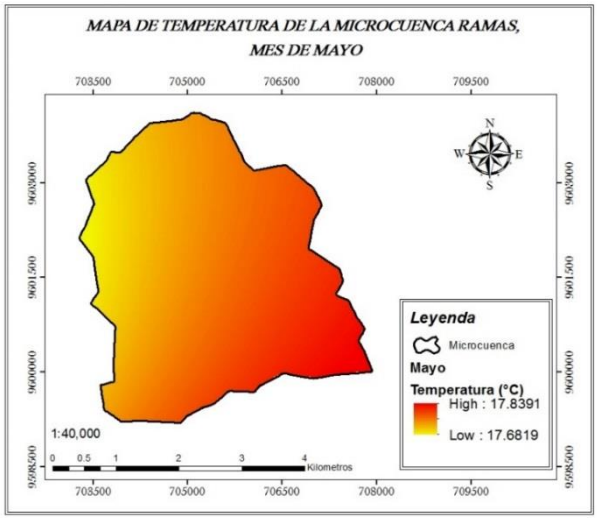
Anexo 13. Mapas de temperatura de la microcuenca Ramas.

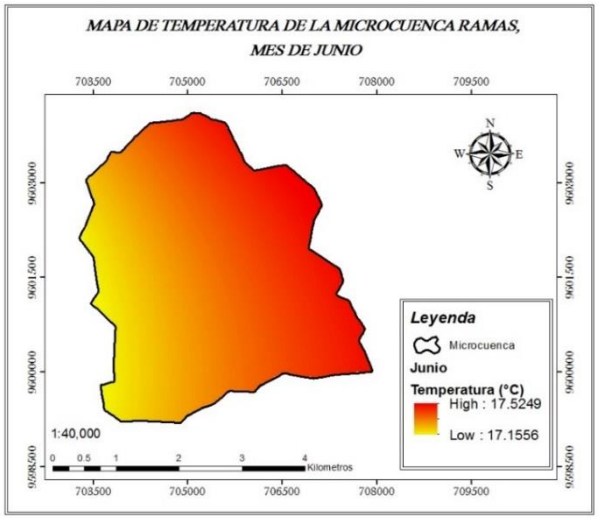


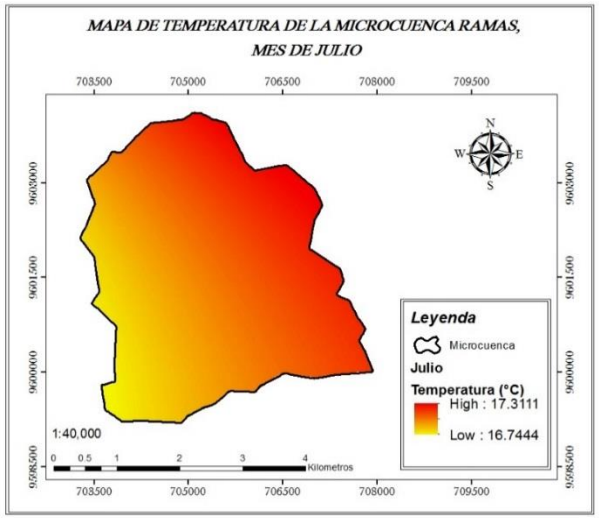


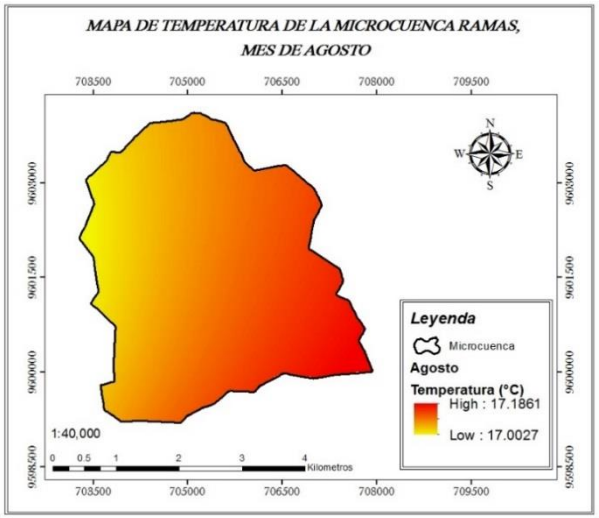


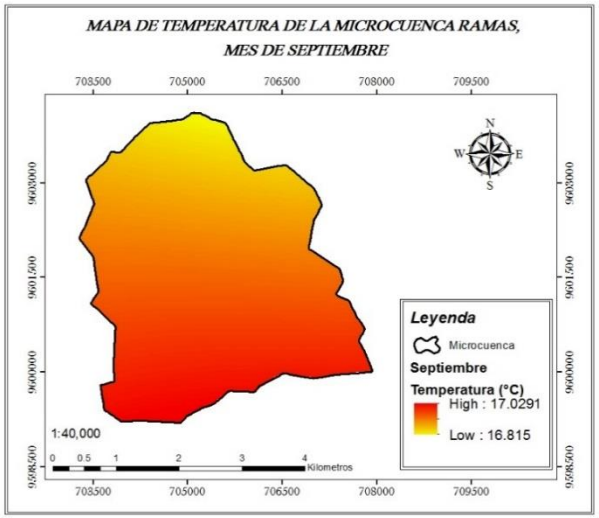


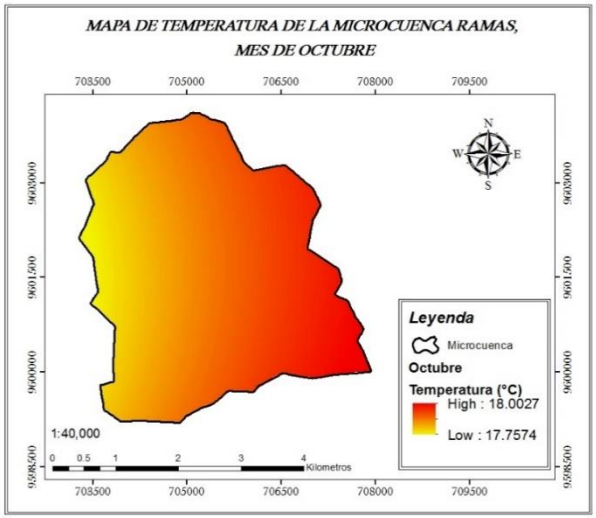

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE MAYO
703500
705000
706500
708000
709500
9602000
9601500
9601000
9600500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Mayo
Temperatura (°C)
High : 17.8391
Low : 17.6819
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

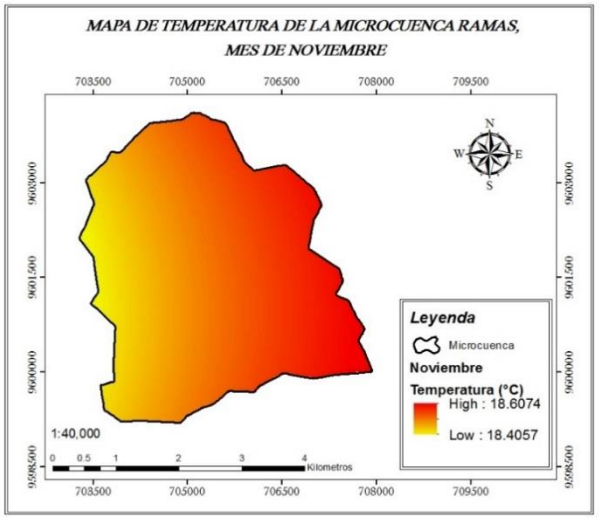

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE JUNIO
703500
705000
706500
708000
709500
9602000
9601500
9601000
9600500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Junio
Temperatura (°C)
High : 17.5249
Low : 17.1556
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

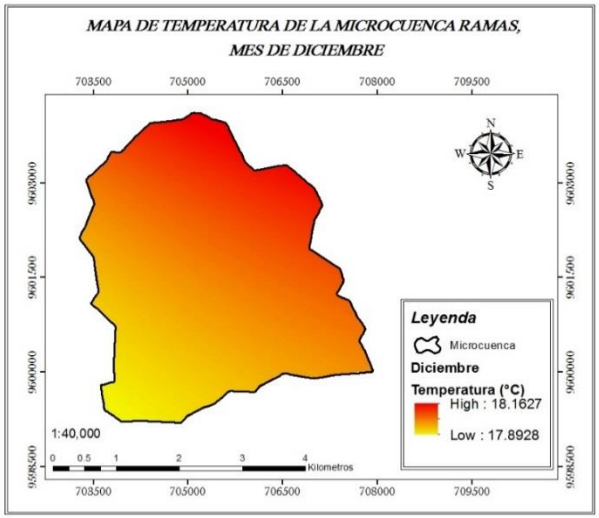

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE JULIO
703500
705000
706500
708000
709500
9602000
9601500
9601000
9600500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Julio
Temperatura (°C)
High : 17.3111
Low : 16.7444
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros


MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE AGOSTO
703500
705000
706500
708000
709500
9602000
9601500
9601000
9600500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Agosto
Temperatura (°C)
High : 17.1861
Low : 17.0027
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

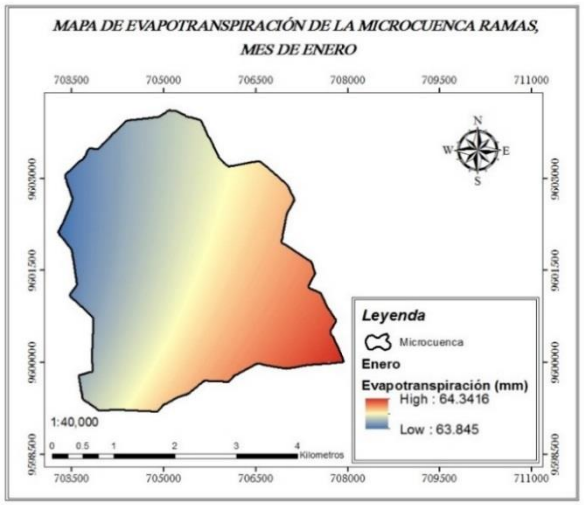

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE SEPTIEMBRE
708500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Septiembre
Temperatura (°C)
High : 17.0291
Low : 16.815
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

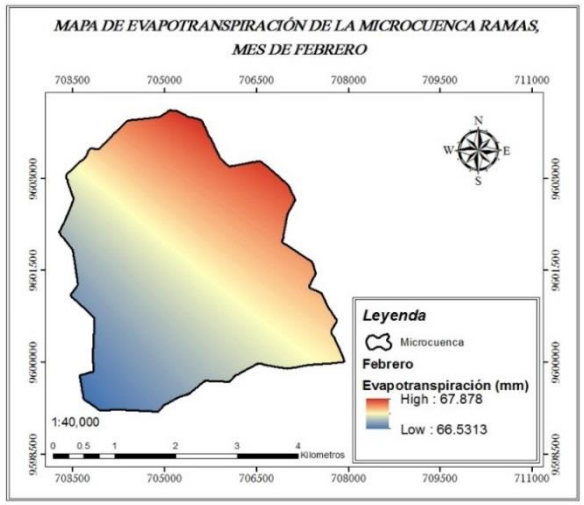

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE OCTUBRE
708500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Octubre
Temperatura (°C)
High : 18.0027
Low : 17.7574
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

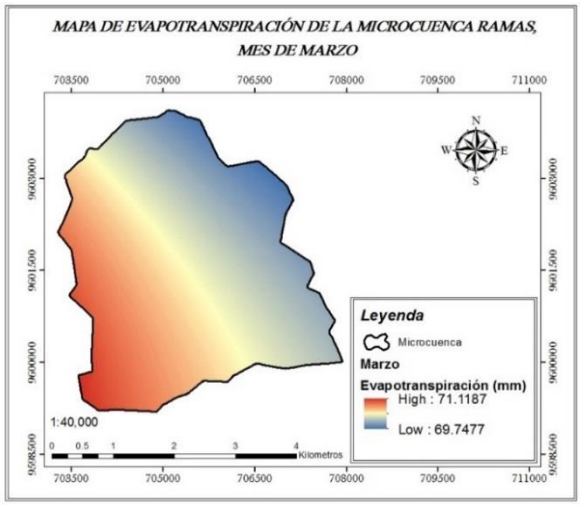

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE NOVIEMBRE
708500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Noviembre
Temperatura (°C)
High : 18.6074
Low : 18.4057
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

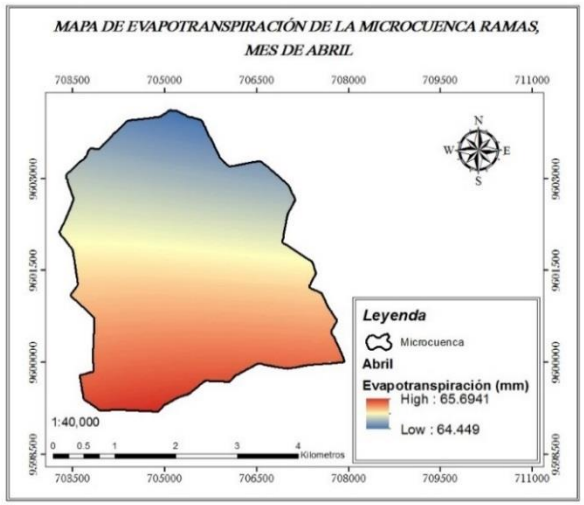

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE DICIEMBRE
708500
705000
706500
708000
709500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Diciembre
Temperatura (°C)
High : 18.1627
Low : 17.8928
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

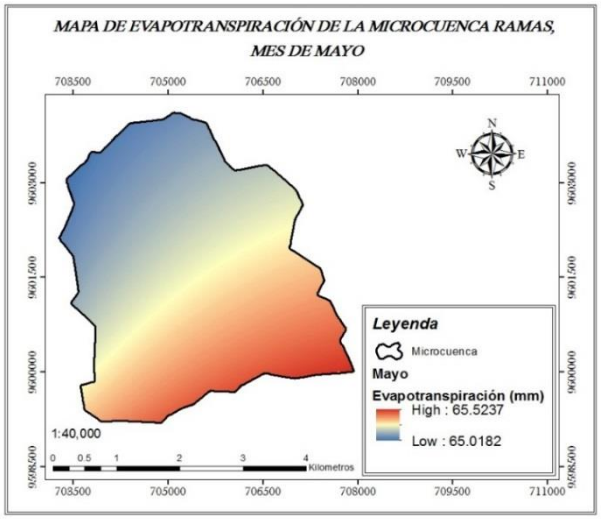
Anexo 14. Mapas de evapotranspiración de la microcuenca Ramas.

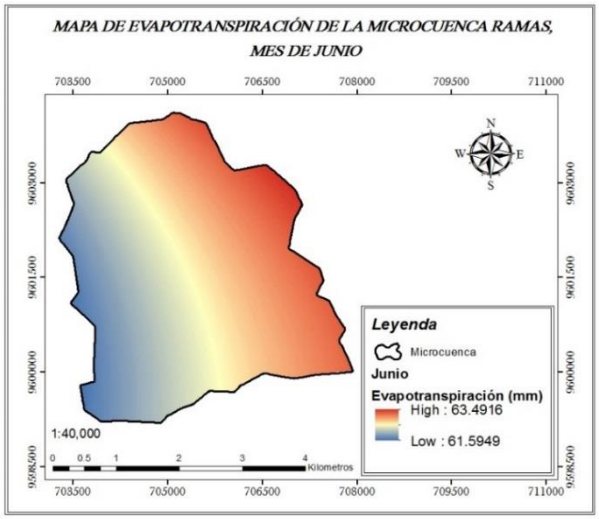


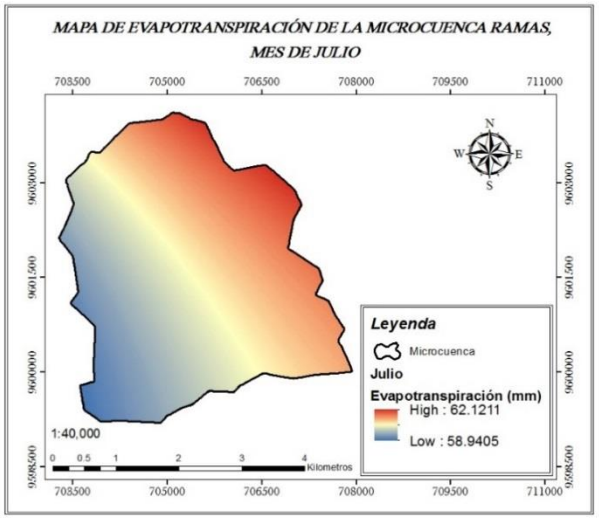


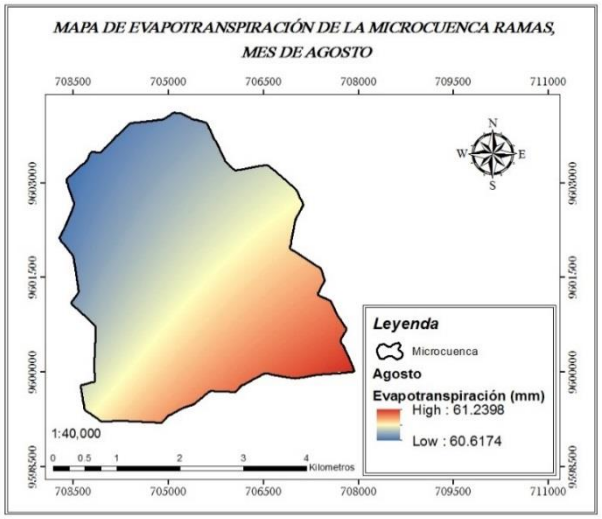


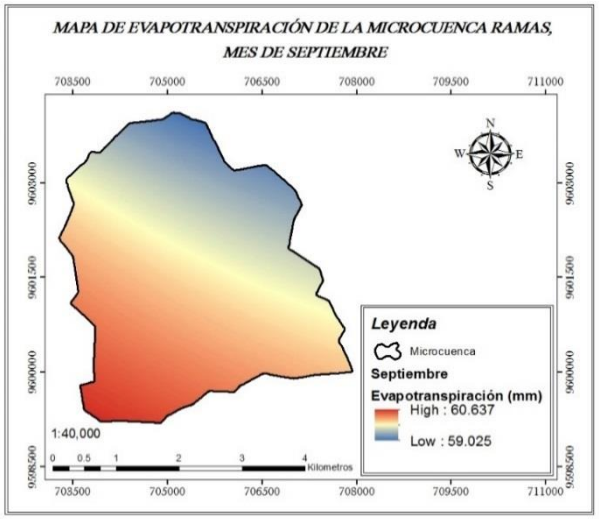


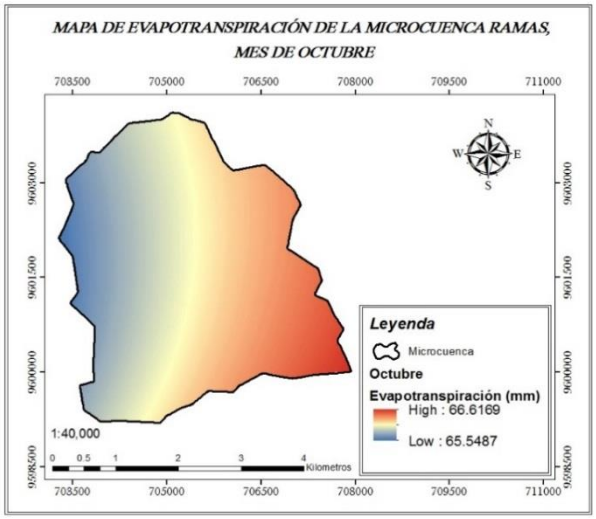

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS, MES DE MAYO
708500
705000
706500
708000
709500
711000
9602000
9601500
9601000
9600500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Mayo
Evapotranspiración (mm)
High : 65.5237
Low : 65.0182
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

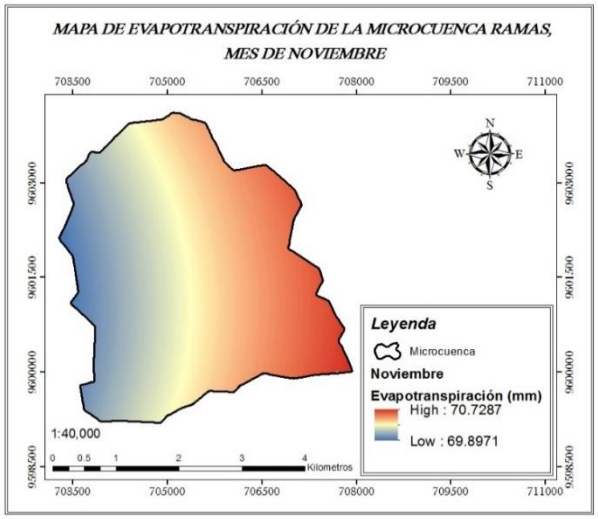

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS, MES DE JUNIO
708500
705000
706500
708000
709500
711000
9602000
9601500
9601000
9600500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Junio
Evapotranspiración (mm)
High : 63.4916
Low : 61.5949
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

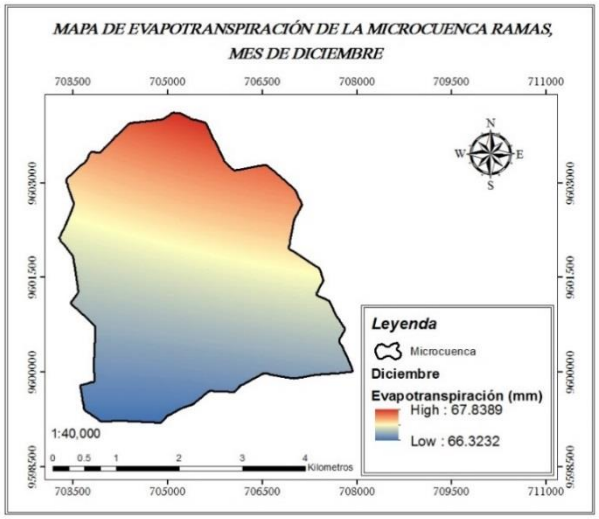

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS, MES DE JULIO
708500
705000
706500
708000
709500
711000
9602000
9601500
9601000
9600500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Julio
Evapotranspiración (mm)
High : 62.1211
Low : 58.9405
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros


MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS, MES DE AGOSTO
708500
705000
706500
708000
709500
711000
9602000
9601500
9601000
9600500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Microcuenca
Agosto
Evapotranspiración (mm)
High : 61.2398
Low : 60.6174
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

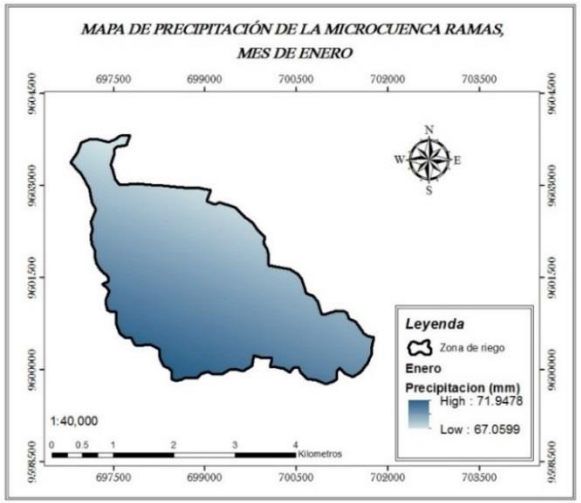

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE SEPTIEMBRE
Leyenda
Microcuenca
Septiembre
Evapotranspiración (mm)
High : 60.637
Low : 59.025
1:40,000
Kilometros

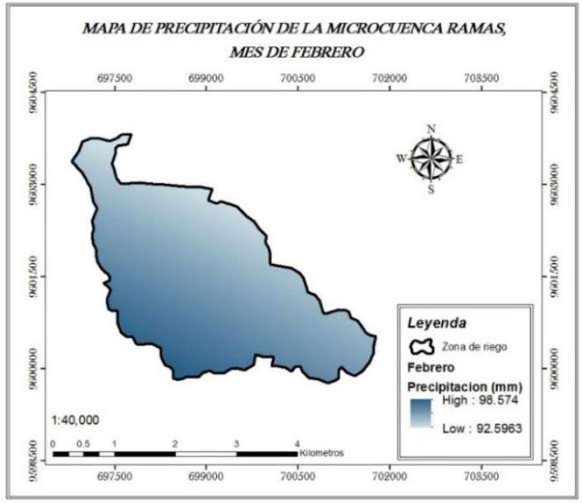

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE OCTUBRE
Leyenda
Microcuenca
Octubre
Evapotranspiración (mm)
High : 66.6169
Low : 65.5487
1:40,000
Kilometros

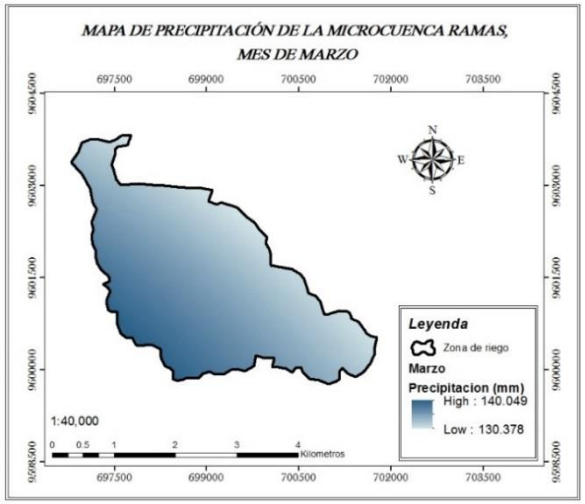

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE NOVIEMBRE
Leyenda
Microcuenca
Noviembre
Evapotranspiración (mm)
High : 70.7287
Low : 69.8971
1:40,000
Kilometros

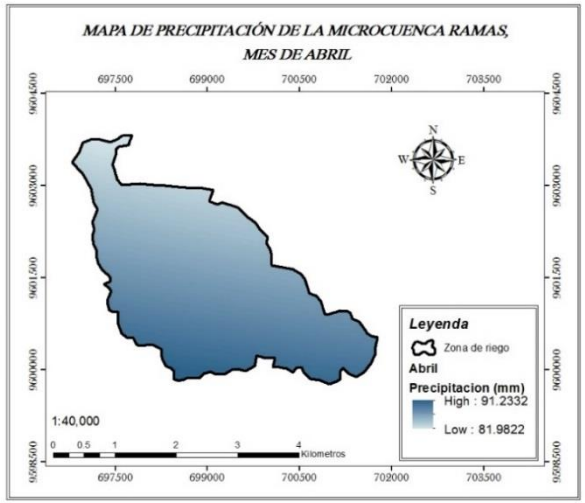

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE DICIEMBRE
Leyenda
Microcuenca
Diciembre
Evapotranspiración (mm)
High : 67.8389
Low : 66.3232
1:40,000
Kilometros

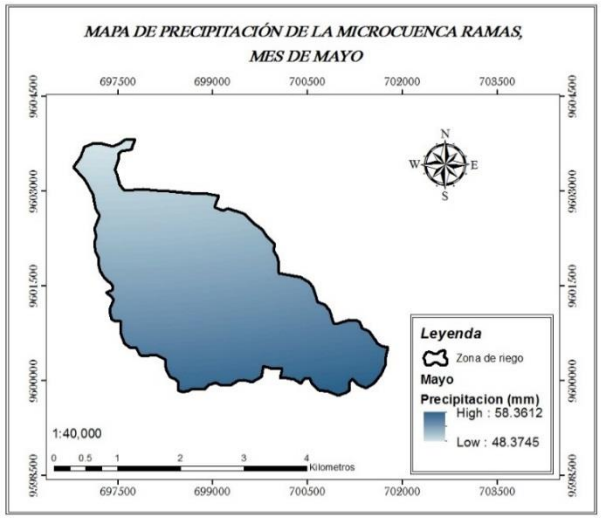
Anexo 15. Mapas de precipitación de la zona de riego.

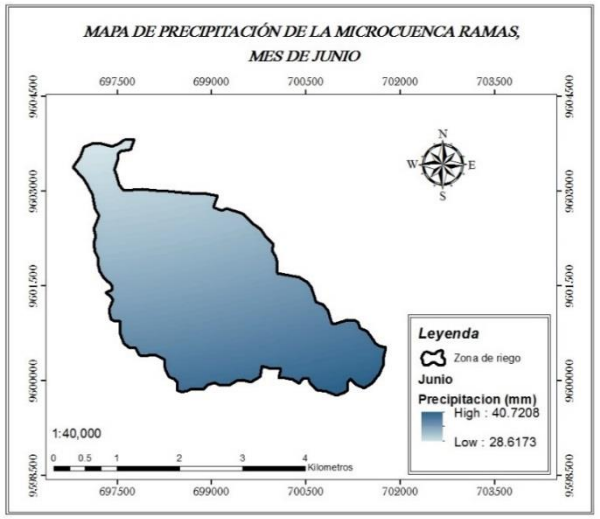


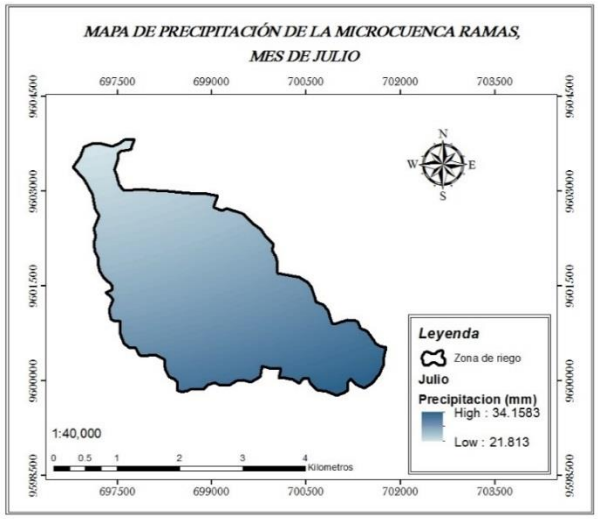


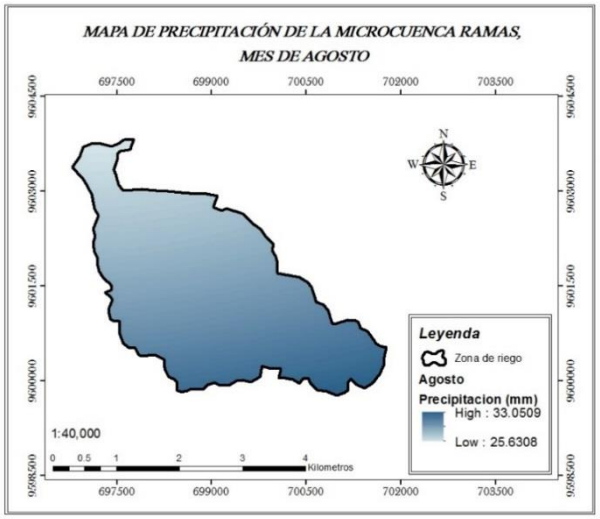


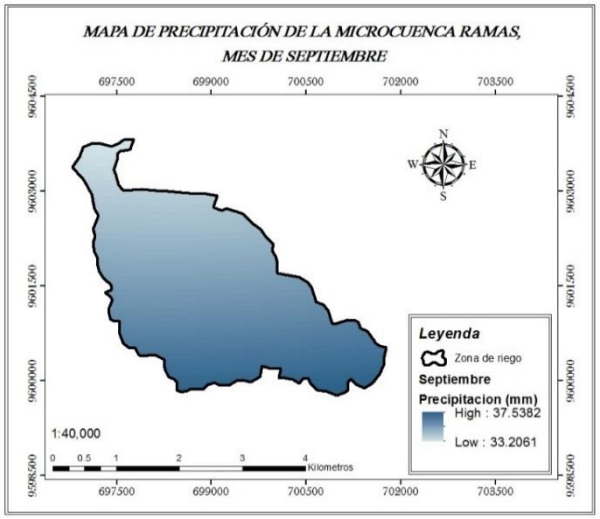


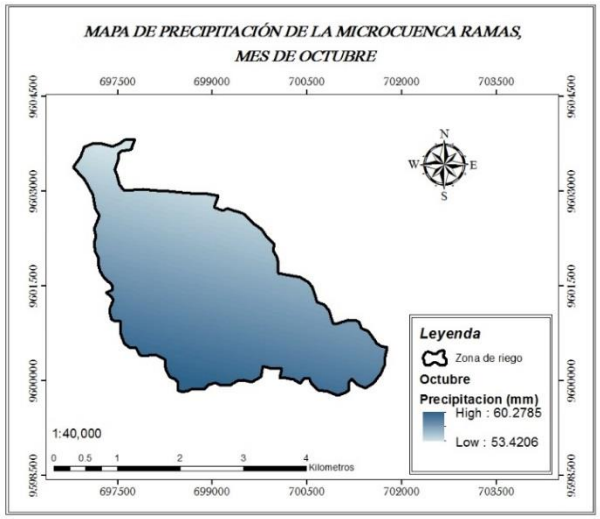

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE MAYO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Mayo
Precipitacion (mm)
High : 58.3612
Low : 48.3745
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

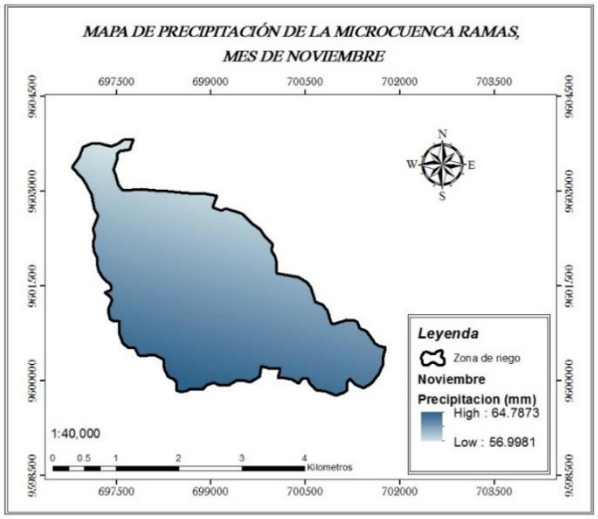

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE JUNIO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Junio
Precipitacion (mm)
High : 40.7208
Low : 28.6173
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

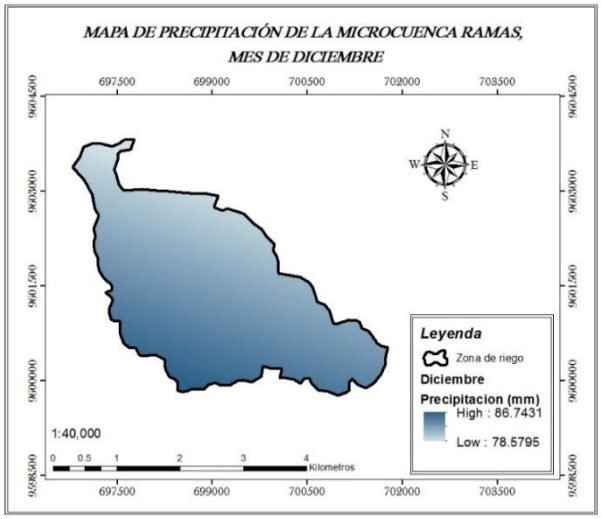

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE JULIO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Julio
Precipitacion (mm)
High : 34.1583
Low : 21.813
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros


MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE AGOSTO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Agosto
Precipitacion (mm)
High : 33.0509
Low : 25.6308
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

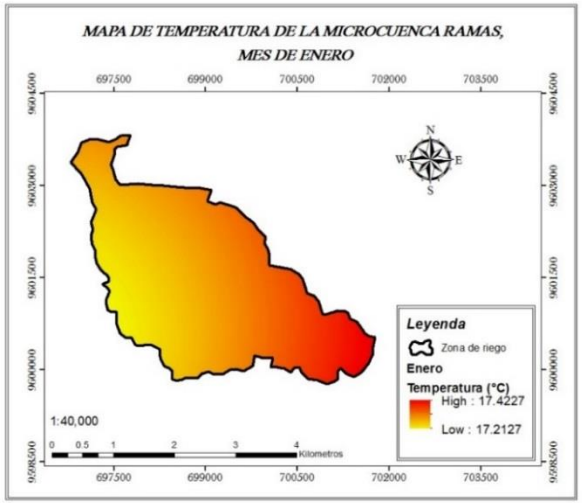

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE SEPTIEMBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Septiembre
Precipitacion (mm)
High : 37.5382
Low : 33.2061
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

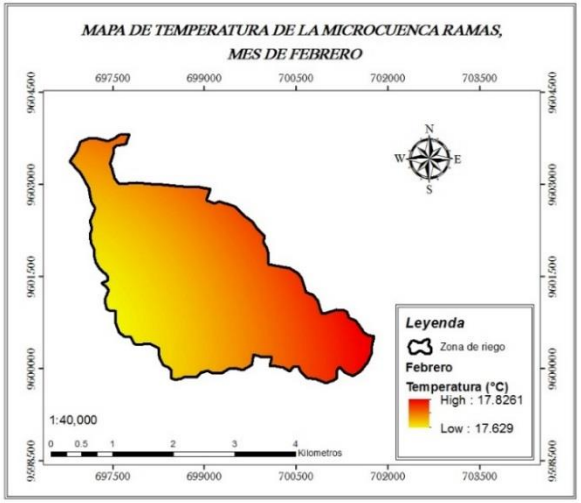

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE OCTUBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Octubre
Precipitacion (mm)
High : 60.2785
Low : 53.4206
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

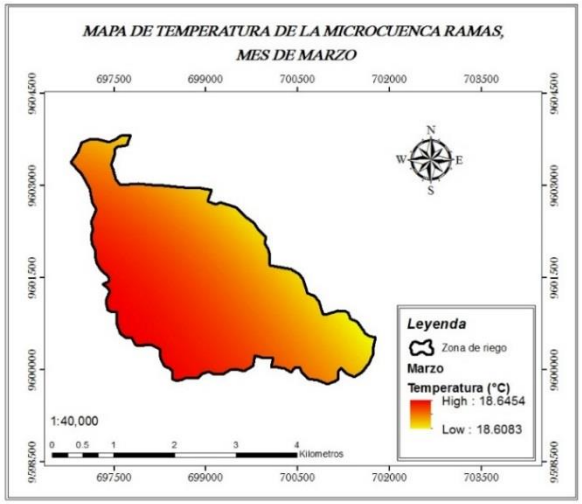

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE NOVIEMBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Noviembre
Precipitacion (mm)
High : 64.7873
Low : 56.9981
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

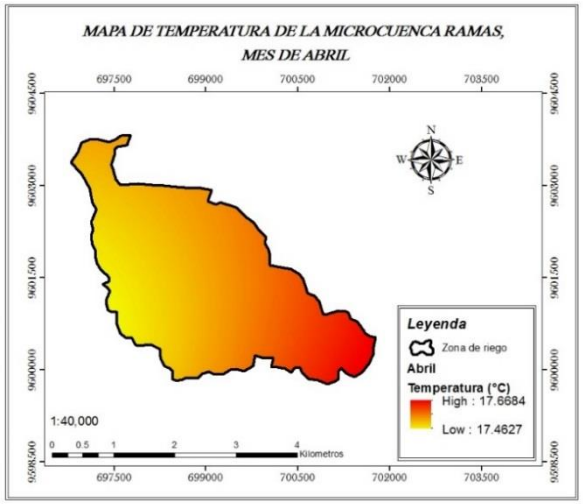

MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE DICIEMBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Diciembre
Precipitacion (mm)
High : 86.7431
Low : 78.5795
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

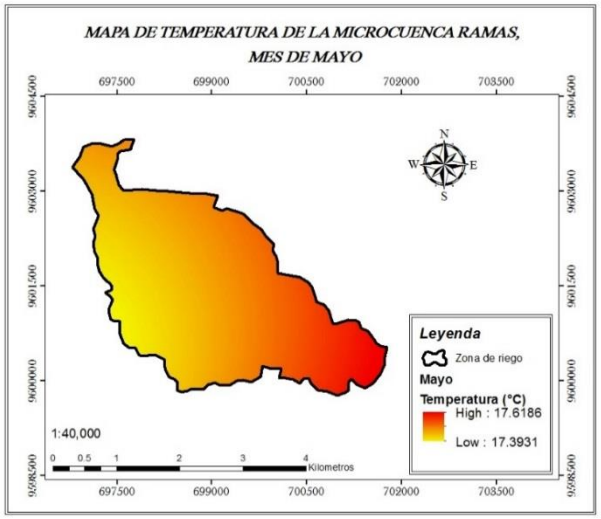
Anexo 16. Mapas de temperatura de la zona de riego

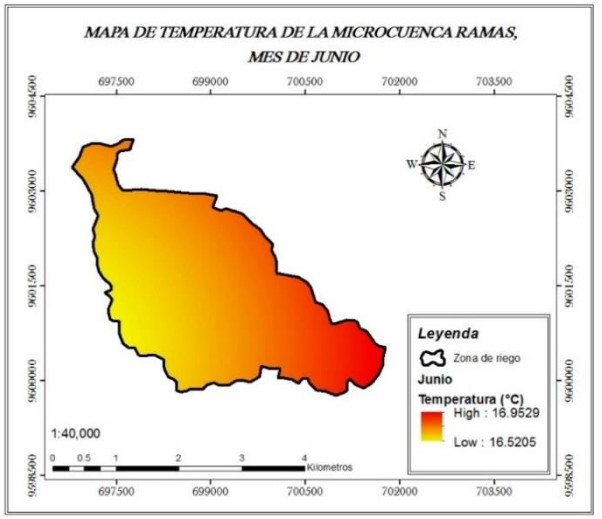


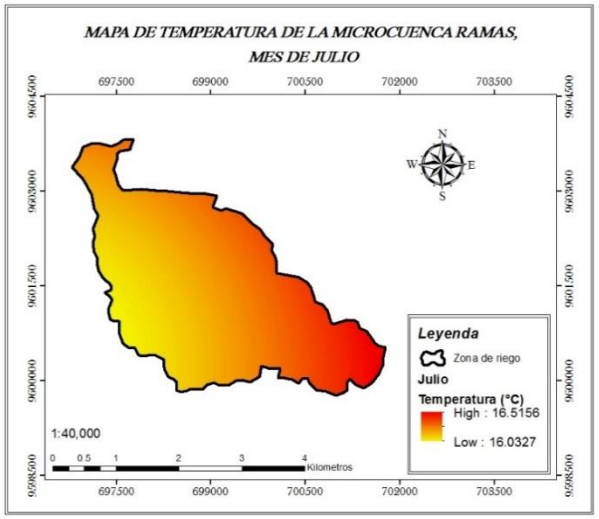


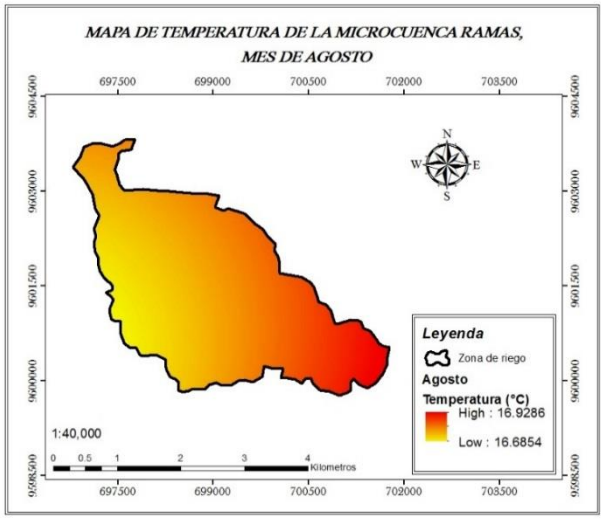


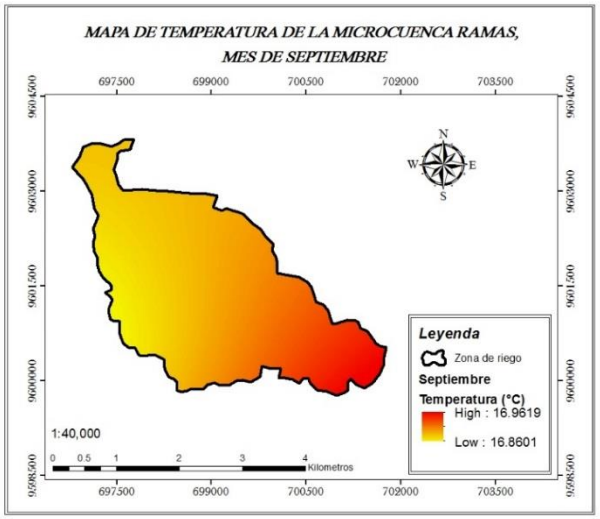


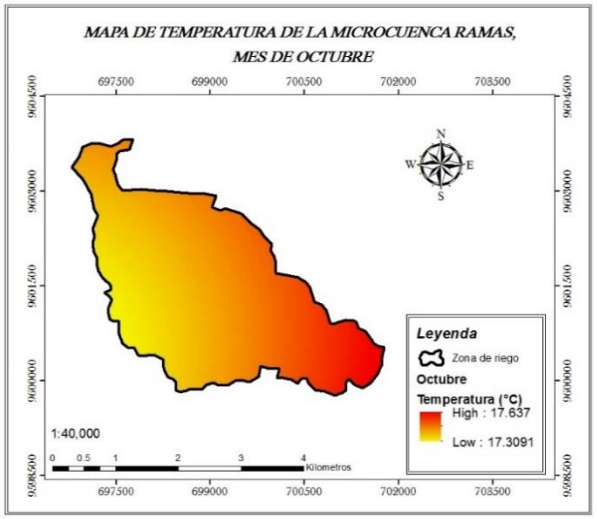

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE MAYO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Mayo
Temperatura (°C)
High : 17.6186
Low : 17.3931
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

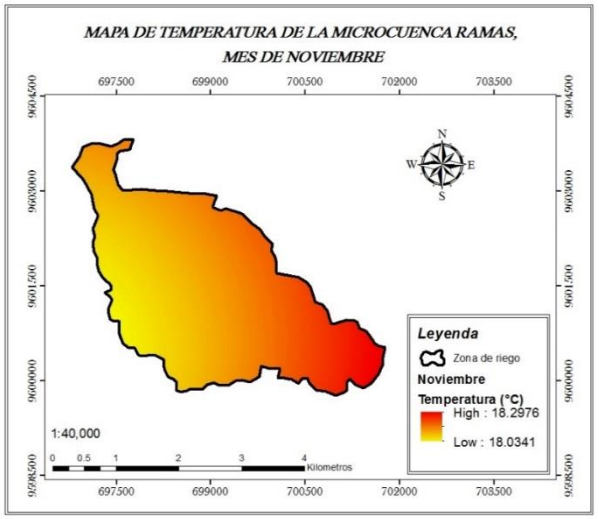

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE JUNIO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Junio
Temperatura (°C)
High : 16.9529
Low : 16.5205
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

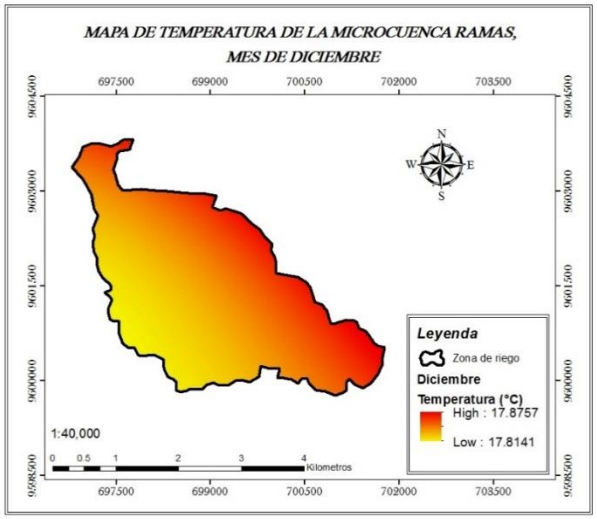

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE JULIO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Julio
Temperatura (°C)
High : 16.5156
Low : 16.0327
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros


MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE AGOSTO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Agosto
Temperatura (°C)
High : 16.9286
Low : 16.6854
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

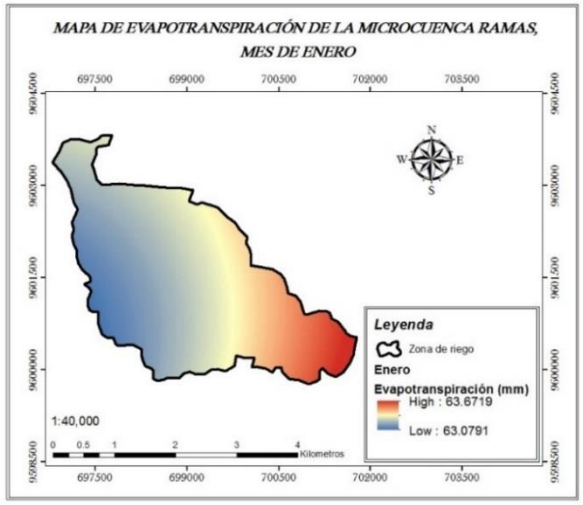

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE SEPTIEMBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Septiembre
Temperatura (°C)
High : 16.9619
Low : 16.8601
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

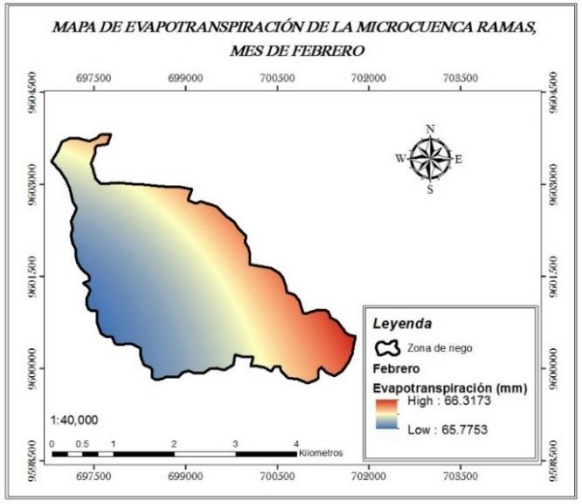

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE OCTUBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Octubre
Temperatura (°C)
High : 17.637
Low : 17.3091
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

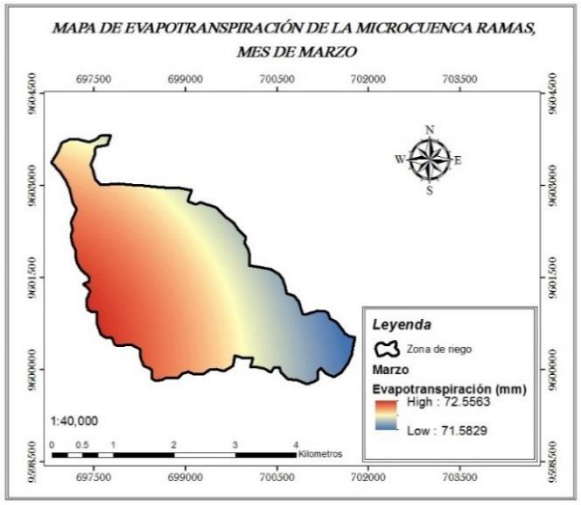

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE NOVIEMBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Noviembre
Temperatura (°C)
High : 18.2976
Low : 18.0341
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

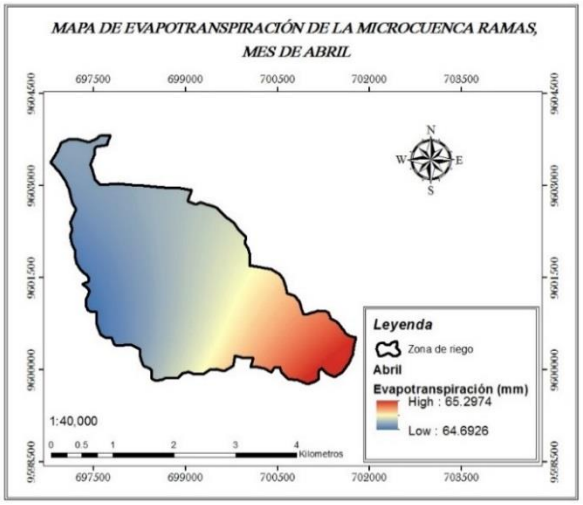

MAPA DE TEMPERATURA DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE DICIEMBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Diciembre
Temperatura (°C)
High : 17.8757
Low : 17.8141
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

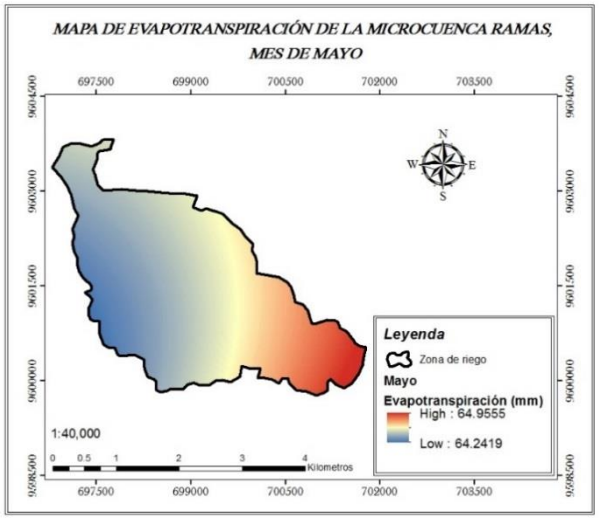
Anexo 17. Mapas de evapotranspiración de la zona de riego.

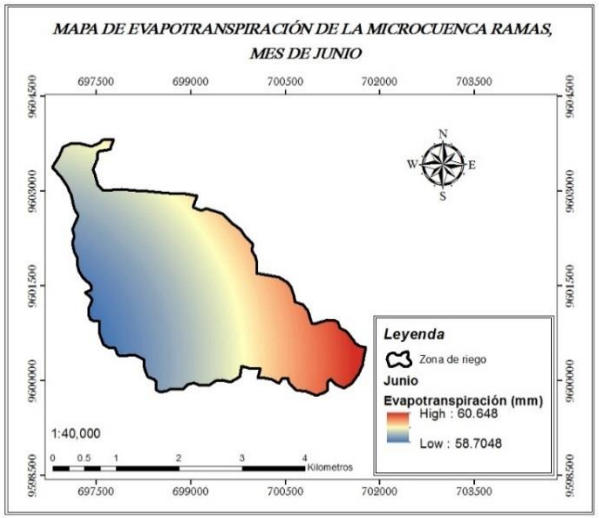


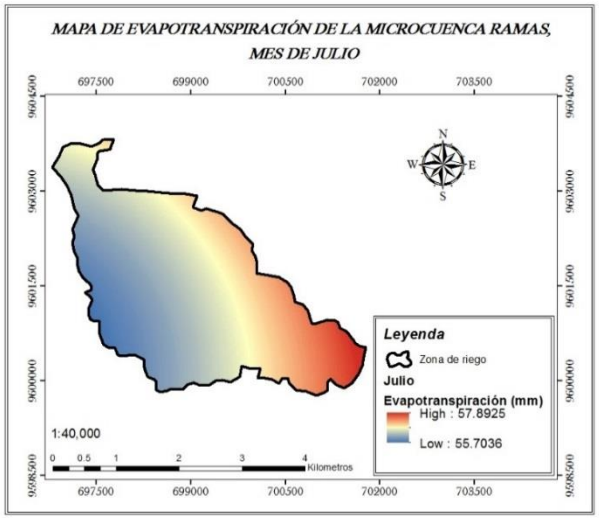


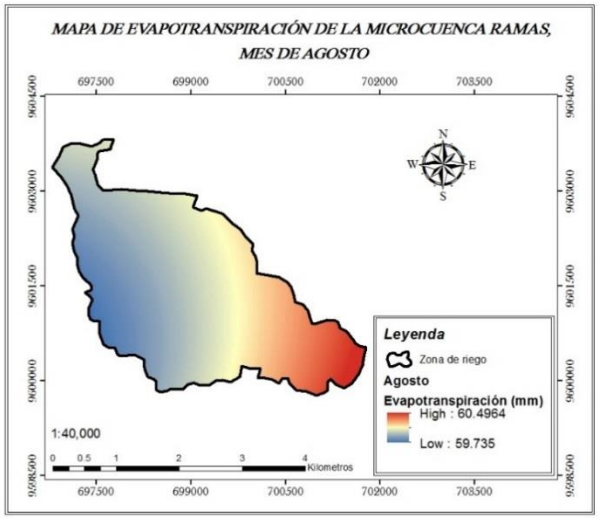


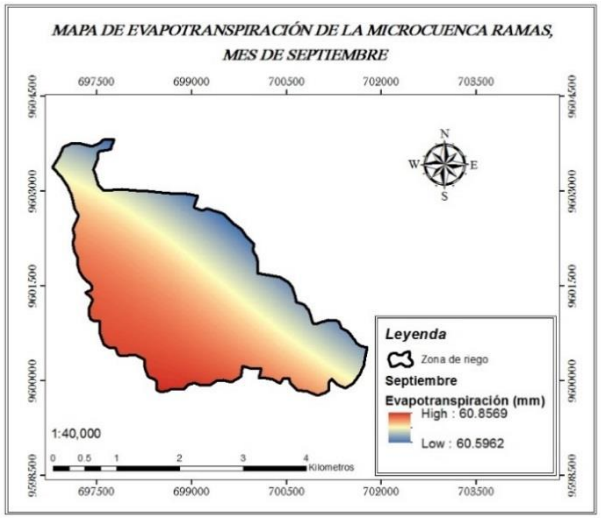


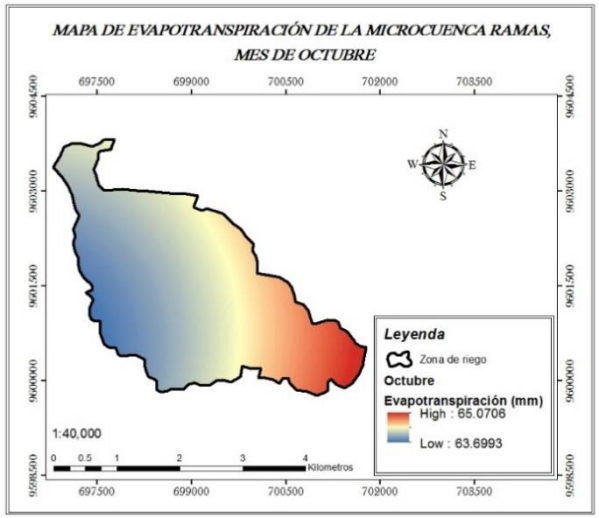

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS, MES DE MAYO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Mayo
Evapotranspiración (mm)
High : 64.9555
Low : 64.2419
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

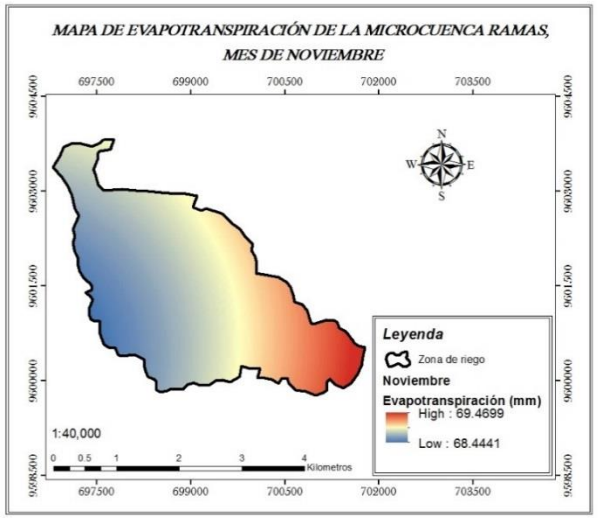

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS, MES DE JUNIO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Junio
Evapotranspiración (mm)
High : 60.648
Low : 58.7048
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

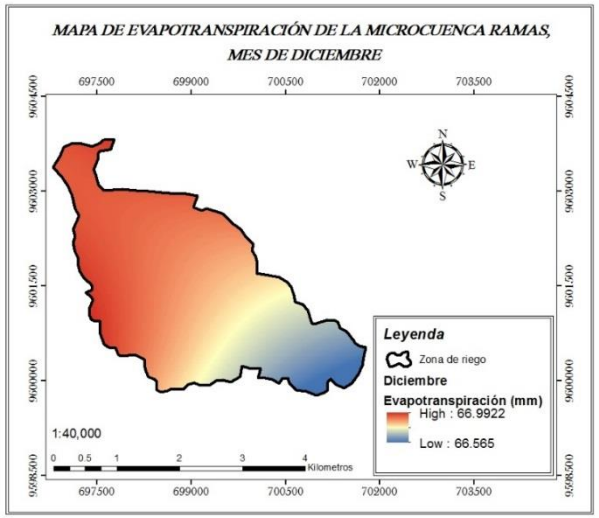

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS, MES DE JULIO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Julio
Evapotranspiración (mm)
High : 57.8925
Low : 55.7036
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros


MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS, MES DE AGOSTO
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Agosto
Evapotranspiración (mm)
High : 60.4964
Low : 59.735
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

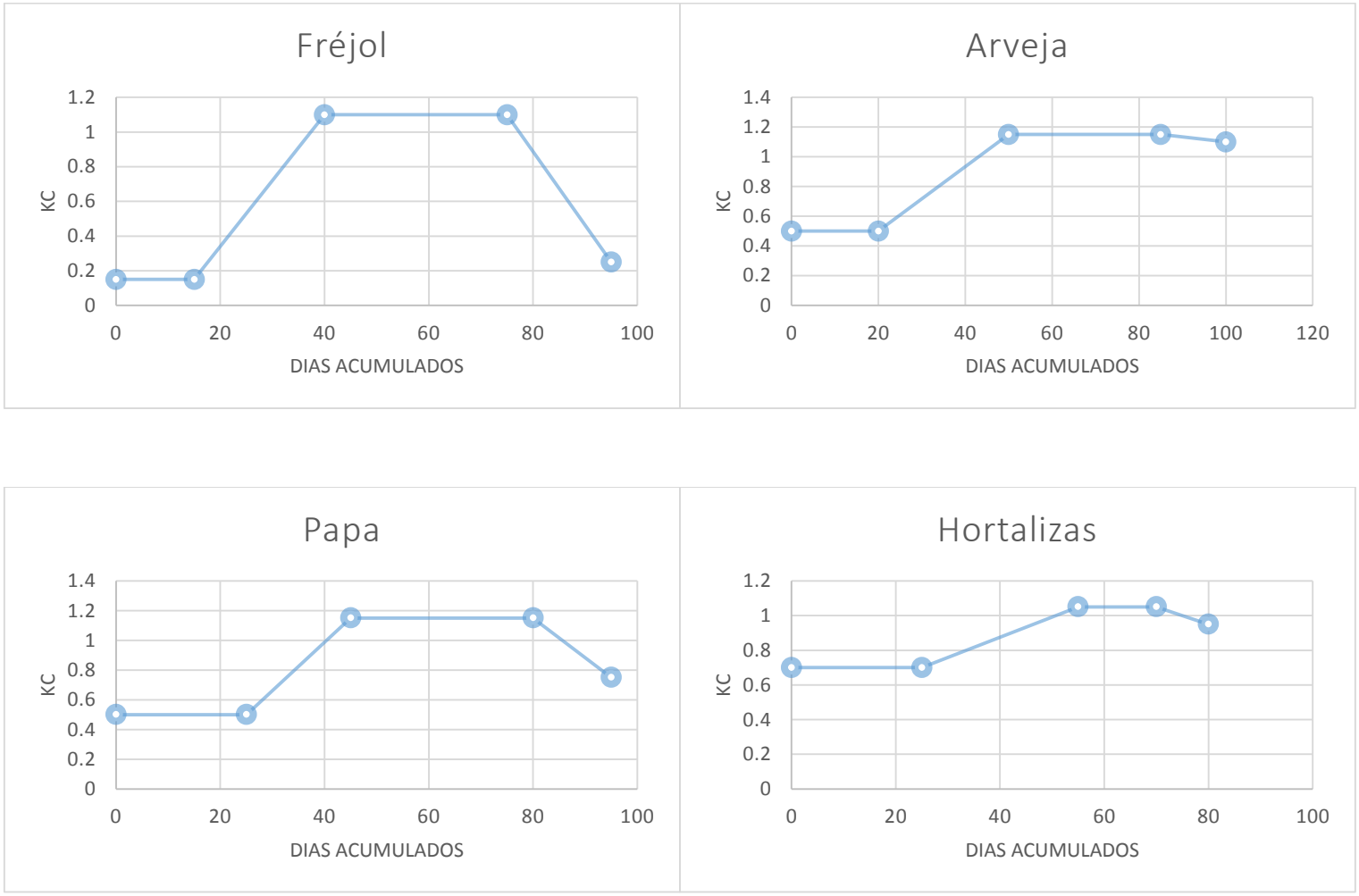

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE SEPTIEMBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Septiembre
Evapotranspiración (mm)
High : 60.8569
Low : 60.5962
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros


MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE OCTUBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Octubre
Evapotranspiración (mm)
High : 65.0706
Low : 63.6993
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

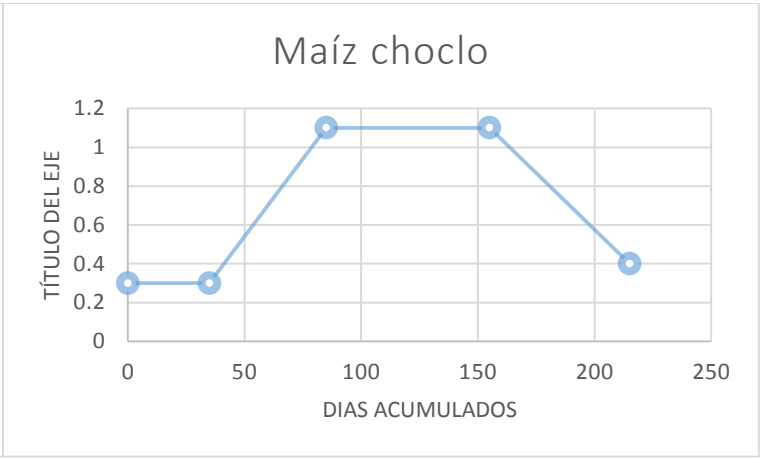

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE NOVIEMBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Noviembre
Evapotranspiración (mm)
High : 69.4699
Low : 68.4441
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

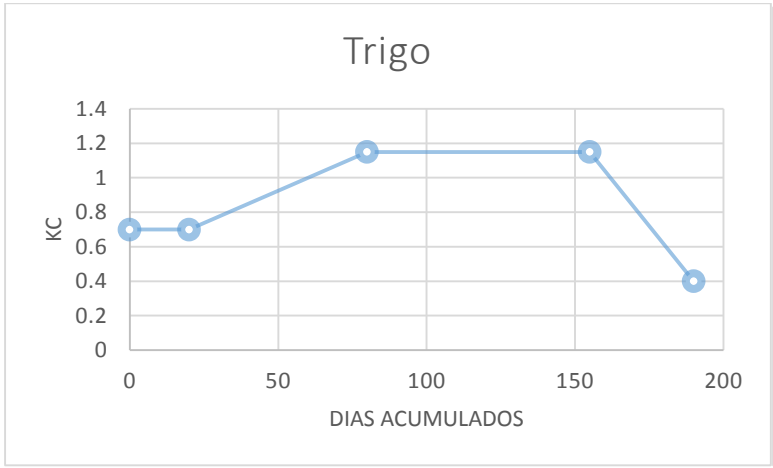

MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA MICROCUENCA RAMAS,
MES DE DICIEMBRE
697500
699000
700500
702000
703500
9604500
9603000
9601500
9600000
9598500
N
W
E
S
Leyenda
Zona de riego
Diciembre
Evapotranspiración (mm)
High : 66.9922
Low : 66.565
1:40,000
0 0.5 1 2 3 4
Kilometros

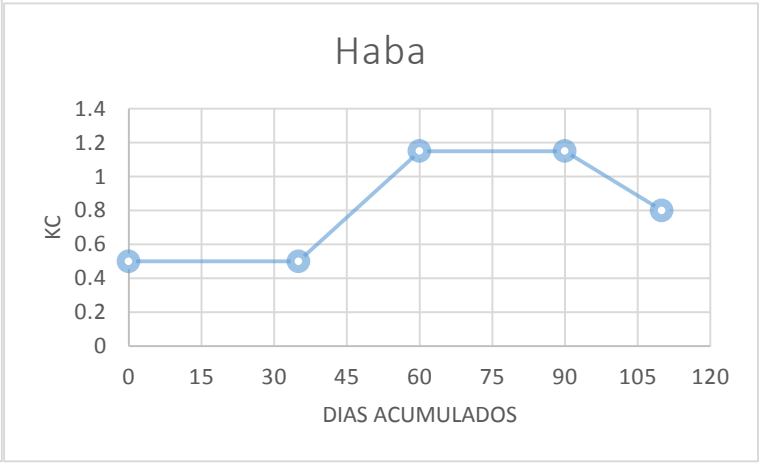
Anexo 18. Curvas del coeficiente Kc del cultivo



Pasto
KC
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
100
200
300
400
DIAS ACUMULADOS


Maíz choclo
TÍTULO DEL EJE
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
50
100
150
200
250
DIAS ACUMULADOS


Trigo
KC
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
50
100
150
200
DIAS ACUMULADOS

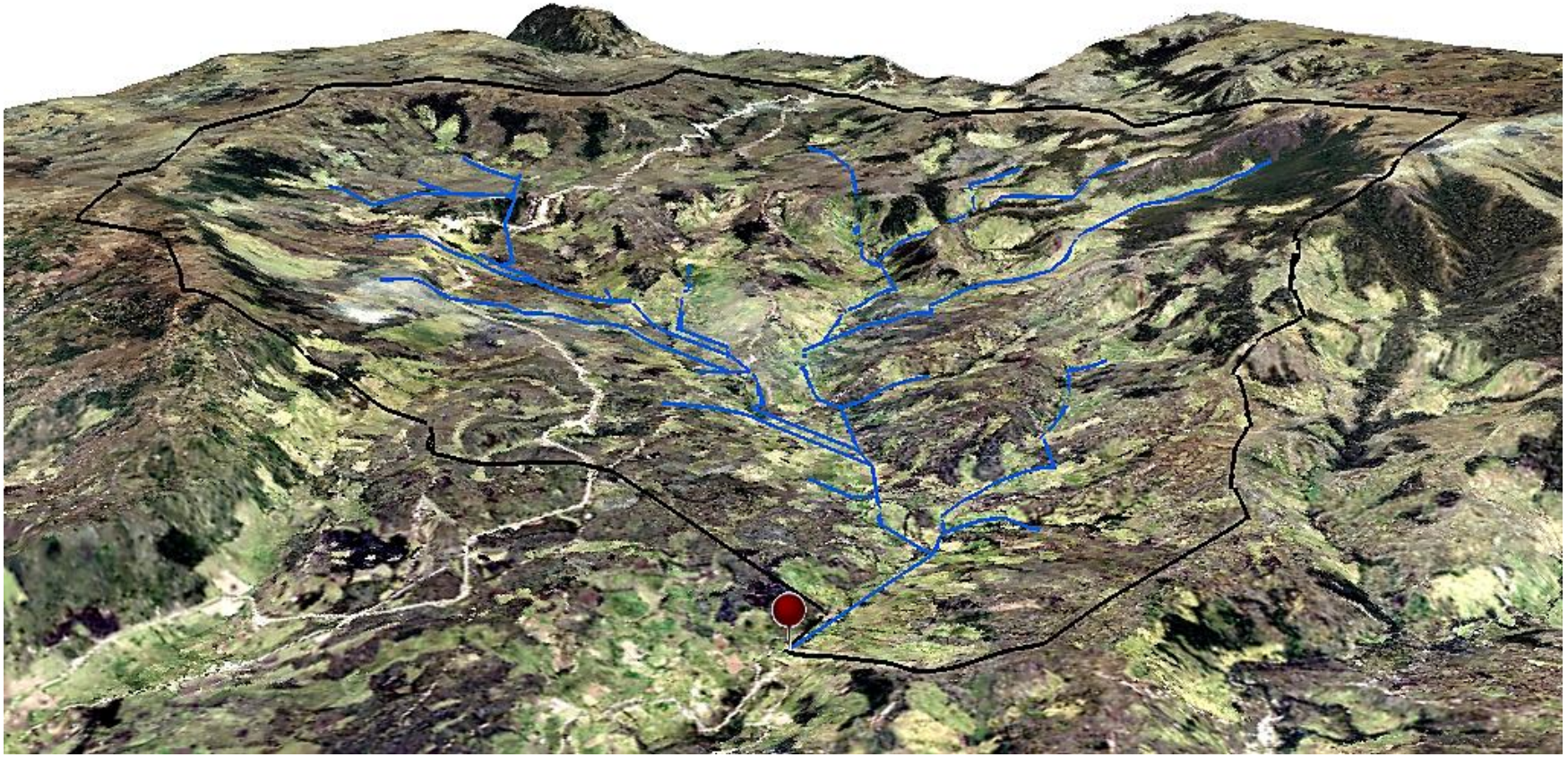

Haba
KC
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
15
30
45
60
75
90
105
120
DIAS ACUMULADOS

Anexo 19. Propiedades físicas del suelo.

Textura	**Da (g cm^{-3})**	**CC %**	**PMP %**
Arenoso	1.65 (1.55-1.8)	9 (6-12)	4 (2-6)
Franco-arenoso	1.5 (1.4-1.6)	14 (10-18)	6 (4-8)
Franco	1.4 (1.35-1.5)	22 (18-26)	10 (6-10)
Franco Arcilloso	1.33 (1.3-1.4)	27 (23-31)	13 (12-15)
Arcillo-arenoso	1.3 (1.25-1.35)	31 (27-35)	15 (14-18)
Arcilloso	1.25 (1.2-1.3)	36 (31-39)	17 (16-20)

Fuente: Israelsen y Hansen, 1979. Mencionado por Fagro

Anexo 20. Mapa de la microcuenca Ramas generada en SIG.



Anexo 21. Registro fotográfico.

Recorrido por el sistema de riego Paquishapa (tanques de repartición).	Obra de toma del sistema de riego Paquishapa.
Canal de riego del sistema de riego Paquishapa	Realización de los aforos en la quebrada Ramas
Primera visita técnica al sitio del proyecto.	Lotes beneficiarios del sistema de riego Paquishapa.