



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

---

**TÍTULO:**

**“PLANEACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CON  
FINES DE RIEGO, EN EL SISTEMA LA ERA,  
UTILIZANDO LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA (SIG)”**

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

**AUTOR:**

*Ángel Arcecio Luna Chalán*

**DIRECTOR:**

*Aníbal González González Mg. Sc.*

*Loja - Ecuador*

*2017*



Ing. Aníbal González, Mg. Sc.,

**DIRECTOR DE TESIS Y 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 **“PLANEACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, CON FINES DE RIEGO, EN EL SISTEMA LA ERA, UTILIZANDO LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)”**, de la autoría del señor egresado de la carrera de Ingeniería Agrícola, Ángel Arcecio Luna Chalán, ha concluido dentro del cronograma y autorizo que continúe con el trámite de graduación.

Loja, 02 de agosto de 2017

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

## CERTIFICACIÓN

En calidad de tribunal calificador de la tesis titulada, **“PLANEACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CON FINES DE RIEGO, EN EL SISTEMA LA ERA, UTILIZANDO LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)”**, de autoría del señor egresado de la carrera de Ingeniería Agrícola, **Ángel Arcecio Luna Chalán**, certificamos que se ha incorporado al trabajo final de tesis, todas las sugerencias efectuadas por sus miembros, por lo que autorizamos su impresión y publicación.

Loja, 24 de octubre de 2017



.....  
**Ing. Luis Svisaca Caraguay, Mg. Sc.**  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



.....  
**Ing. Miguel Ángel Villamagua, Mg. Sc.**  
VOCAL DEL TRIBUNAL



.....  
**Ing. Pedro Guaya Pauta, Mg. Sc**  
VOCAL DEL TRIBUNAL

## AUTORÍA

Yo, Ángel Arcecio Luma Chalán, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**Autor:** Ángel Arcecio Luma Chalán

**Firma:** .....



**Cédula:** 1105244584

**Fecha:** Loja, 27 de octubre de 2017



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA  
CONSULTA, REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACION  
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**


Yo, Ángel Arcenio Luna Chalán, declaro ser autor de la tesis titulada “PLANEACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS CON FINES DE RIEGO, EN EL SISTEMA LA ERA, UTILIZANDO LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)”, 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 de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

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

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 27 días del mes de octubre de dos mil diecisiete firma el autor.

Firma: .....



Autor: Ángel Arcenio Luna Chalán

Número de cedula: 110573982-3

Dirección: Loja, Av. Eugenio Espejo y ~~Suvaras~~

Correo Electrónico: angelluna23\_06@hotmail.com

Teléfono: 2572466

Celular: 0990437756

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

Director de Tesis: Ing. Anibal González ~~González~~ Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Luis ~~Sirigaca~~ Caraguay Mg. Sc.

Ing. Pedro Guaya Pauta Mg. Sc.

Ing. Miguel Ángel ~~Villamagua~~ Mg. Sc.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de Loja y en especial a la Carrera de Ingeniería Agrícola, con su planta docente por haberme formado, un profesional para la vida.

Mi agradecimiento al Ing. Aníbal González González Mg. Sc. director de la presente investigación por su valioso aporte y orientación.

Gratitud enorme a los Ing. Gonzalo Jaramillo y Vicente Valdivieso por sus palabras de aliento a fin de culminar mi objetivo planteado.

A todos mis amigos y compañeros de promoción, por haber compartido los años de estudio, en los cuales se pudo compartir y aprender muchas cosas de ellos.

**El Autor.**

## DEDICATORIA

En la vida tenemos anhelos importantes y uno de ellos se ve reflejado en la culminación del presente trabajo, el cual lo dedico con cariño y humildad a mi madre *Blanca Chalán* por su apoyo incondicional día a día, a mi padre *Amador Luna* que me guía desde el cielo por el camino correcto, y supo con su ejemplo hacerme una persona firme en valores, a mis *hermanos* que siempre han confiado en mi persona, a todos mis *sobrinos* que con sus ocurrencias nos hacen compartir muchas alegrías en la familia.

**Ángel**

## Índice General

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>CERTIFICACIÓN TRIBUNAL</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORÍA</b> .....	<b>iv</b>
<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice General</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>xii</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Índice de Anexos</b> .....	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
2.1. PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS .....	3
2.2. EL CICLO HIDROLÓGICO .....	4
2.3. ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA .....	4
2.3.1. Cuenca Hidrográfica. ....	4
2.3.2. Características físicas y morfométricas de una cuenca. ....	4
2.3.3. La precipitación como aporte a la escorrentía.....	5
2.3.4. La escorrentía.....	6
2.3.4.1. Método del Número de curva.....	6
2.3.4.2. Método Racional .....	7
2.3.4.3. Método del polinomio ecológico .....	7
2.3.4.4. Curva de duración de caudales.....	8
2.3.4.5. Curva de variación estacional .....	9
2.3.4.6. Índice de retención y regulación Hídrica .....	9
2.4. CAUDALES MÁXIMOS .....	10
2.4.1. Análisis de datos de lluvia y período de retorno .....	11
2.4.2. Métodos de cálculo .....	11
2.4.2.1. Método de Ven Te Chow .....	11
2.4.2.2. Método del Hidrograma unitario triangular (SCS) .....	11
2.5. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS .....	12
2.5.1. Evapotranspiración del Cultivo de referencia (ET <sub>o</sub> ).....	12
2.5.1.1. El método de Penman-Monteith.....	13

2.5.1.2.	Software “CROPWAT 8.0” .....	14
2.5.2.	Coeficiente del cultivo .....	14
2.5.3.	Evapotranspiración de los cultivos (ETc) .....	14
2.6.	PRECIPITACIÓN EFECTIVA .....	15
2.6.1.	Método del soil conservation service.....	15
2.7.	PATRÓN DE CULTIVOS.....	16
2.8.	REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS (IRReq).....	16
2.9.	PROGRAMACIÓN DEL RIEGO .....	17
2.9.1.	Métodos de programación del riego.....	17
2.9.1.1.	Método basado en la Medida del contenido de agua en el suelo .....	17
2.9.1.1.1.	Constantes hidrofísicas de los suelos .....	18
2.9.1.1.2.	Textura del suelo.....	19
2.9.1.2.	Método basado en parámetros climáticos .....	20
2.9.2.	Factores prácticos de riego.....	20
2.9.2.1.	Módulo de riego .....	20
2.9.3.	La distribución .....	21
2.9.3.1.	La distribución por rotación o Turno .....	21
2.9.4.	Los sistemas de información geográfica (SIG) .....	22
2.9.5.	Estudios realizados en los sistemas de riego, utilizando los SIG.....	22
2.9.5.1.	Análisis de la disponibilidad y demanda de agua, con fines de riego, en el sistema campana-malacatos, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG).....	22
2.9.5.2.	Planeación de los recursos hídricos, del sistema de riego campana malacatus, utilizando sistemas de información geográfica (SIG) .....	23
2.9.5.3.	Planificación de los Recursos Hidráulicos con fines de Riego en la zona Andina del Ecuador .....	24
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>25</b>
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO LA ERA .....	25
3.2.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	25
3.2.1.	Obra de toma.....	29
3.2.2.	Canal principal y redes de distribución.....	29
3.2.3.	Geología.....	30
3.3.	MATERIALES .....	30
3.4.	METODOLOGÍA .....	31
3.4.1.	Estimación de la disponibilidad del recurso hídrico en la quebrada San Agustín hasta el sitio de captación del agua, para el sistema de riego La Era. ....	31
3.4.1.1.	Parámetros de forma .....	31
3.4.1.2.	Parámetros de Relieve.....	32
3.4.1.3.	Parámetros de la red de drenaje .....	33



3.4.1.4.	Estimación de la Precipitación Media.....	36
3.4.1.5.	Estimación de los escurrimientos medios superficiales .....	39
3.4.1.6.	Curva de duración general o permanencia de caudales.....	42
3.4.1.7.	Curva de variación estacional .....	42
3.4.1.8.	Índice de retención y regulación hídrica .....	42
3.4.1.9.	Aforo de la corriente en el sitio de captación.....	43
3.4.1.10.	Estimación de caudales máximos.....	44
3.4.1.10.1.	Metodología de Gumbel para determinar precipitación máxima probable en 24 horas .....	44
3.4.1.10.2.	Métodos utilizados para generar caudales máximos .....	45
3.4.1.10.2.1.	Método de Ven Te Chow .....	45
3.4.1.10.2.2.	Hidrograma unitario triangular (SCS).....	46
3.4.2.	Análisis de la demanda de agua de los cultivos en la zona de riego. ....	47
3.4.2.1.	Catastro del sistema de riego.....	47
3.4.2.2.	Selección de las estaciones climáticas consideradas para el estudio.....	47
3.4.2.3.	Precipitación Media Mensual en la zona de riego.....	47
3.4.2.4.	Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) .....	48
3.4.2.5.	Determinación de la evapotranspiración del cultivo (Etc) .....	50
3.4.2.6.	Requerimientos de Riego .....	52
3.4.3.	Elaborar una propuesta preliminar de programación del riego, en base al patrón de cultivos establecido. ....	52
3.4.3.1.	Constantes hidrofísicas de los suelos, mediante la textura.....	52
3.4.3.2.	Estudio de suelos con fines de riego .....	53
3.4.3.2.1.	Serie Casharuro (A 1111).....	53
3.4.3.2.2.	Serie Jorupe (A 1112) .....	54
3.4.3.2.3.	Serie La Era (A 112) .....	55
3.4.3.2.4.	Serie Algarrobillo (A 12) .....	56
3.4.3.2.5.	Serie San Agustín (A 2) .....	57
3.4.3.3.	Factores prácticos utilizados en la programación del riego .....	58
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>61</b>
4.1.	DISPONIBILIDAD DE AGUA, EN LA QUEBRADA SAN AGUSTÍN, HASTA EL SITIO DE CAPTACIÓN PARA EL SISTEMA DE RIEGO LA ERA. ....	61
4.1.1.	Análisis morfométrico de la microcuenca.....	61
4.1.2.	Parámetros de forma .....	61
4.1.3.	Parámetros de relieve .....	62
4.1.4.	Parámetros relativos a la red de drenaje.....	62
4.1.5.	Precipitación media de la cuenca .....	63
4.1.6.	Estimación de los Escurrimientos medios mensuales .....	65

4.1.7.	Curvas de duración general y variación estacional.....	67
4.1.8.	Índice de retención y regulación Hídrica.....	69
4.1.9.	Caudales máximos.....	70
4.2.	<b>ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE AGUA DE LOS CULTIVOS EN LA ZONA DE RIEGO.</b> .....	<b>72</b>
4.2.1.	Catastro del sistema de riego.....	72
4.2.2.	Precipitación media de la zona de riego.....	73
4.2.3.	Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).....	75
4.2.4.	Patrón de cultivos y coeficiente Kc del cultivo.....	78
4.2.5.	Precipitación efectiva en la zona de riego (Pe <sub>eff</sub> ).....	82
4.2.6.	Requerimientos de riego.....	82
4.3.	<b>PROPUESTA PRELIMINAR DE PROGRAMACIÓN DEL RIEGO, EN BASE AL PATRÓN DE CULTIVOS ESTABLECIDO.</b> .....	<b>85</b>
4.3.1.	Clases texturales de los suelos.....	85
4.3.2.	Series de suelos (INERHI-1981).....	87
4.3.3.	Selección del patrón de cultivos.....	89
4.3.4.	Requerimientos de riego.....	91
4.3.5.	Programación del riego.....	94
4.3.6.	Módulos de riego.....	95
4.3.7.	Turnos de riego.....	97
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>100</b>
5.1.	CONCLUSIONES.....	100
5.2.	RECOMENDACIONES.....	101
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>102</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>105</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Coeficiente de escorrentía, según Benitez et al, (1980), citado por Lemus & Navarro (2003).	7
<b>Tabla 2.</b> Para encontrar los Coeficientes k, m y n del polinomio ecológico.	8
<b>Tabla 3.</b> Índice de retención y regulación hídrica.	10
<b>Tabla 4.</b> Contenido de humedad del suelo en porcentaje por volumen en relación a la succión. ...	19
<b>Tabla 5.</b> Organización del sistema de riego.	25
<b>Tabla 6.</b> Clases de forma.	32
<b>Tabla 7.</b> Clases de densidad de drenaje.	34
<b>Tabla 8.</b> Estaciones meteorológicas consideradas.	36
<b>Tabla 9.</b> Datos del cultivo.	50
<b>Tabla 10.</b> Análisis físico de suelos, realizado por el ex INERHI 1981, serie Casharuro.	54
<b>Tabla 11.</b> Análisis físico de suelos, realizado por el ex INERHI 1981, serie Jorupe.	55
<b>Tabla 12.</b> Análisis físico de suelos, realizado por el ex INERHI 1981, serie La Era.	56
<b>Tabla 13.</b> Análisis físico de suelos, realizado por el ex INERHI 1981, serie Algarrobbillo.	57
<b>Tabla 14.</b> Análisis físico de suelos, realizado por el ex INERHI 1981, serie San Agustín.	58
<b>Tabla 15.</b> Criterios de riego.	60
<b>Tabla 16.</b> Factor de corrección, entre el método de las Isoyetas y el método del National Weather Service.	63
<b>Tabla 17.</b> Precipitación media mensual generada para la microcuenca San Agustín (mm).	63
<b>Tabla 18.</b> Caudal medio mensual generado por los métodos empíricos ( $m^3/s$ ).	65
<b>Tabla 19.</b> Aforos realizados en la quebrada San Agustín, en el sitio de captación.	66
<b>Tabla 20.</b> Caudales máximos por los dos métodos empíricos.	71
<b>Tabla 21.</b> Uso actual del suelo.	72
<b>Tabla 22.</b> Distribución por tamaños de propiedades.	73
<b>Tabla 23.</b> Superficie irrigada por juntas sectoriales.	73
<b>Tabla 24.</b> Coeficiente de corrección entre la precipitación estimada por el método de las isoyetas y la precipitación media mensual de la estación de Malacatos.	73
<b>Tabla 25.</b> Precipitación media mensual del área de riego (mm).	74
<b>Tabla 26.</b> Evapotranspiración de referencia, método de Penman-Monteith ( $mm/día$ ).	75
<b>Tabla 27.</b> Evapotranspiración de referencia determinada ( $mm/día$ ).	75
<b>Tabla 28.</b> Evapotranspiración de referencia media mensual ( $mm/día$ ) para la zona de riego, mediante el método de Penman-Monteith.	78
<b>Tabla 29.</b> Superficie Cultivada.	79
<b>Tabla 30.</b> Coeficiente de cultivo $K_c$ .	79
<b>Tabla 31.</b> Precipitación efectiva ( $P_{eff}$ ) del área de riego ( $mm/mes$ ).	82
<b>Tabla 32.</b> Requerimientos de riego por juntas sectoriales ( $m^3$ ).	83
<b>Tabla 33.</b> Requerimientos de riego por juntas sectoriales ( $l/s$ ).	83
<b>Tabla 34.</b> Patrón de cultivos recomendado.	89
<b>Tabla 35.</b> Necesidades de agua de los cultivos seleccionados para el sistema de riego La Era.	91
<b>Tabla 36.</b> Requerimientos de riego por juntas sectoriales en $l/s$ .	93
<b>Tabla 37.</b> Determinación de láminas y frecuencias.	94
<b>Tabla 38.</b> Usuarios del módulo 1.	95
<b>Tabla 39.</b> Turnos de riego del módulo 1.	97

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Curva de duración de caudales: a) Río de alta pendiente b) Río de llanura .....	9
<b>Figura 2.</b> Triángulo Textural .....	19
<b>Figura 3.</b> Ubicación del estudio .....	27
<b>Figura 4.</b> Mapa base de la cuenca de Aporte.....	28
<b>Figura 5.</b> Sección transversal del canal .....	29
<b>Figura 6.</b> Estaciones Consideradas para la cuenca.....	37
<b>Figura 7.</b> Análisis de doble masa para la estación La Argelia .....	38
<b>Figura 8.</b> Modelamiento para escurrimientos medios – Método del Número de Curva .....	41
<b>Figura 9.</b> Estaciones consideradas.....	48
<b>Figura 10.</b> Curva hipsométrica.....	62
<b>Figura 11.</b> Distribución espacial-temporal de la precipitación de la microcuenca San Agustín.....	64
<b>Figura 12.</b> Análisis comparativo entre los tres métodos empíricos y el aforo de la corriente m <sup>3</sup> /s.	66
<b>Figura 13.</b> Curva de duración general, método del Polinomio Ecológico, periodo 1981-2012. ....	68
<b>Figura 14.</b> Curva de variación estacional, método del polinomio ecológico período 1981-2012... ..	68
<b>Figura 15.</b> Análisis entre la distribución de caudales y la demanda de caudal para el patrón de cultivos identificado.....	69
<b>Figura 16.</b> Índice de retención y regulación hídrica.....	70
<b>Figura 17.</b> Caudales pico, por el método del hidrograma unitario triangular, para un Tr a) 50 y b) 100 años. ....	71
<b>Figura 18.</b> Distribución espacial de la evapotranspiración de referencia para la zona de riego.....	77
<b>Figura 19.</b> Patrón de cultivos (identificado).....	80
<b>Figura 20.</b> Patrón de cultivos del sistema de riego (situación actual) .....	81
<b>Figura 21.</b> Mapa de clases texturales de suelo .....	86
<b>Figura 22.</b> Mapa de suelos INERHI-1981.....	88
<b>Figura 23.</b> Patrón de cultivos recomendado.....	90
<b>Figura 24.</b> Módulos de riego .....	96
<b>Figura 25.</b> Turnos de riego .....	98
<b>Figura 26.</b> Turnos de riego.....	99

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Estadística de precipitación de la estación agroclimática La Argelia (mm).....	105
<b>Anexo 2.</b> Estadística de precipitación de la estación Aeronáutica La Toma-Catamayo (mm) .....	106
<b>Anexo 3.</b> Estadística de precipitación de la estación Pluviométrica Cajanuma (mm) .....	107
<b>Anexo 4.</b> Estadística de precipitación de la estación Climatológica ordinaria Malacatos (mm) ...	108
<b>Anexo 5.</b> Estadística de precipitación de la estación Agrometereológica Gonzanamá (mm).....	109
<b>Anexo 6.</b> Análisis de consistencia de datos .....	110
<b>Anexo 7.</b> Precipitación media mensual generada para la microcuenca San Agustín (mm).....	111
<b>Anexo 8.</b> Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca .....	112
<b>Anexo 9.</b> Mapa de pendientes de la microcuenca .....	113
<b>Anexo 10.</b> Mapa de números de curva.....	114
<b>Anexo 11.</b> Coeficiente de escurrimiento, obtenido para el método Racional .....	115
<b>Anexo 12.</b> Coeficientes “K, m y n” para generación de escorrentía mediante el método del polinomio ecológico.....	115
<b>Anexo 13.</b> Número de escurrimiento (SCS), generado para la microcuenca.....	116
<b>Anexo 14.</b> Números de escorrentía para tierras agrícolas <sup>1</sup> .....	117
<b>Anexo 15.</b> Definición de los grupos hidrológicos, desarrollado por la Soil Conservation Service. .....	118
<b>Anexo 16.</b> Caudales medios mensuales, obtenidos por el método racional (m <sup>3</sup> /s).....	119
<b>Anexo 17.</b> Caudales medios mensuales, estimados por el método del polinomio ecológico (m <sup>3</sup> /s) .....	120
<b>Anexo 18.</b> Caudales medios mensuales, estimados por el método del Soil Conservation Service (m <sup>3</sup> /s).....	121
<b>Anexo 19.</b> Estadística de precipitación máxima diaria anual (mm).....	122
<b>Anexo 20.</b> Valores de $Y_n$ y $\sigma_n$ según el número de observaciones .....	123
<b>Anexo 21.</b> Valores de “Y” para distintos períodos de retorno .....	123
<b>Anexo 22.</b> Mapa de distribución de isoyetas máximas en 24 horas para un tiempo de retorno de 50 años. ....	124
<b>Anexo 23.</b> Mapa de distribución de isoyetas máximas en 24 horas para un tiempo de retorno de 100 años .....	125
<b>Anexo 24.</b> Caudales máximos, método de Ven Te Chow para un $Tr= 50$ y $100$ años.....	126
<b>Anexo 25</b> Patrón de cultivos (seleccionado).....	127
<b>Anexo 26.</b> Información meteorológica de las estaciones consideradas para el método de PENMAN- MONTEITH.....	128
<b>Anexo 27.</b> Turnos del sistema de riego La Era .....	129
<b>Anexo 28.</b> Puntos de muestreo.....	137
<b>Anexo 29.</b> Respaldo fotográfico .....	138



**PLANEACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CON  
FINES DE RIEGO, EN EL SISTEMA LA ERA,  
UTILIZANDO LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA (SIG).**

## RESUMEN

El presente trabajo, se realizó en el sistema de riego La Era, ubicado al sur-este del cantón Catamayo y al sur de la parroquia El Tambo, el sistema de riego se compone de; la microcuenca de aporte de agua de la quebrada San Agustín y la zona de riego. Pertenecen hidrográficamente a la cuenca alta del río Catamayo.

La disponibilidad de agua fue estimada, mediante métodos empíricos como; el método racional, el método del polinomio ecológico y el método del número de curva, los mismos que fueron correlacionados con los caudales aforados en el sitio de captación, mediante el molinete hidráulico, se realizaron 20 aforos, durante un periodo de seis meses (desde octubre 2016, hasta marzo 2017).

El método que mejor se ajustó a las condiciones geomorfológicas de la cuenca y a los aforos realizados, fue el método del polinomio ecológico, el mismo que permitió estimar un caudal medio de 280 l/s, al 75 % de probabilidad en el punto de captación, de acuerdo a la curva de duración general.

Para obtener el catastro del sistema de riego, se georreferenció las cuatro juntas sectoriales y se identificó los propietarios con derecho al sistema de riego.

Los requerimientos de agua de los cultivos, fueron estimados a partir del patrón de cultivos identificado en la zona de riego. La ETo fue calculada a través del software CROPWAT 8.0, a partir de datos climáticos (temperatura mínima, temperatura máxima °C, humedad relativa %, velocidad del viento m/s y heliofanía horas/día), utilizando el método de Penman-Monteith, para una serie estadística de 23 años, con el apoyo de las estaciones, La Argelia, Catamayo, Malacatos y Cariamanga,

El volumen de agua anual disponible por la microcuenca de captación de agua es de 12.4 hm<sup>3</sup>, mientras que la demanda de agua de acuerdo al patrón de cultivos identificado y con una eficiencia de aplicación del 50 %, es de 5.99 hm<sup>3</sup>. Si bien el volumen disponible es mayor al volumen que demandan los cultivos, existe un déficit en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

Para realizar la programación del riego, se consideró el mes de mayor requerimiento hídrico y este valor fue transformado a caudal continuo por hectárea y de acuerdo a la eficiencia de conducción y aplicación, se obtuvo el caudal característico para cada cultivo y con la finalidad de elaborar el calendario agrícola se dividió el sistema de riego en 17 módulos de riego con dos frecuencias de riego.

**Palabras claves:** sistema de riego, molinete, zona de riego, déficit, caudal característico.

## ABSTRACT

The present work was carried out in the “La Era” irrigation system, which is located at the south of El Tambo parish, at the south east of Catamayo canton. The irrigation system is formed by the San Agustín glen´s micro watershed of water supply and by the irrigation zone. They hydrographically belong to the high watershed of the Catamayo River.

The availability of water was estimated through empiric methods such as the rational method, the ecologic polynomial method and the curve number method. They were correlated with the flow calculated in the collection site through a hydraulic windlass. Water gauging was made 20 times during a period of six months (from October 2016 to march 2017).

The ecologic polynomial method was which better adjusted to the geomorphologic conditions of the watershed and to the water gauging, which allowed to estimate an average of 280 l/s regarding to the flow, with the 75% of probability in the collection point according to the general duration curve.

In order to obtain the cadaster of the irrigation system, the four sectorial meetings were referenced geographically and the owners who had rights in the irrigation system were identified.

The water requirements for the crops were estimated in base on the crops pattern identified in the irrigation zone. The ETo was calculated using the CROPWAT 8.0 software, based on the climatic data (minimum temperature, maximum temperature °C, relative humidity %, wind speed m/s and heliophany hours a day), using the Penman-Monteih method, to a statistical series of 23 years, with the support of La Argelia, Catamayo, Malacatos and Cariamanga Stations.

The annual volume available for the microbasin water catchment is 12.4 hm<sup>3</sup>, while the water demand according to the pattern of crops identified and with an application efficiency of 50%, is 5.99 hm<sup>3</sup>. Although the volume available is greater than the volume demanded by crops, there is a deficit in the months of June, July, August and September.

With the goal to plan irrigation, it was taken into account the month with highest hydric requirement. This result was transformed to continuous caudal per hectare, and according to the efficiency in conduction and application, it was obtained the characteristic flow for each cultivation. Additionally, the irrigation system was divided into 17 irrigation modules with two watering frequencies in order to establish the agricultural calendar.

**Keywords:** irrigation system, windlass, irrigation zone, déficit, characteristic flow.

## 1. INTRODUCCIÓN

La fuerte presión sobre los suelos agrícolas para producir alimentos, para una población en crecimiento como Ecuador, (15.5 millones de habitantes en el 2 012 y con una proyección para el año 2 030 de 19.8 millones <sup>1</sup>), hace que el empleo eficiente del agua de riego tome mayor importancia, particularmente en las zonas áridas y semiáridas, donde existe el mayor potencial para aumentar la productividad de alimentos.

La SENAGUA a través de un estudio ha determinado en el balance de agua que, aproximadamente, el 55% del país presenta exceso hídrico en la Región Amazónica, mientras que el 44% del país, presenta un déficit hídrico, que corresponde principalmente a la región Costa como: Guayas, Manabí, Santa Elena, El Oro, Puná; y, gran parte de la Sierra, principalmente Loja, citado por (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2011).

Acosta (2010), citado por el PNRD (Plan Nacional de Riego y Drenaje 2011), afirma que la escasa tecnificación del riego se atribuye a: pocos estudios; poca tecnología accesible y apropiada a nivel local; falta de cultura de riego tecnificado; ausencia de métodos de riego demostrativos; baja implementación de agro tecnología; y, falta de seguimiento a los proyectos de programación, operación y mantenimiento de los sistemas de riego.

La provincia de Loja cuenta con importantes sistemas de riego, pero sus micro-cuencas se encuentran en un proceso de deterioro acelerado, como consecuencia de: inadecuadas prácticas agropecuarias, tala y quema indiscriminada de los recursos forestales, el sobrepastoreo de superficies dedicadas a la explotación ganadera y sobreutilización del recurso suelo; lo que, favorece la escorrentía y genera mayor cantidad de sedimentos.

La mayoría de los sistemas de riego de la provincia de Loja, tienen una operación aproximada mayor a 25 años y se sigue utilizando enormes cantidades de agua por hectárea y por año, por ejemplo, el sistema de riego La Palmira 40 366.0 m<sup>3</sup>/ha/año, según Chamba (2015), con métodos de riego que destruyen los suelos (principalmente riego por gravedad en terrenos inclinados), si bien todavía no existe escasez de agua, pero existe un desequilibrio entre la disponibilidad y demanda de este recurso.

---

<sup>1</sup> INEC, Proyecciones de poblaciones.

El sistema de riego La Era, no cuenta con información precisa, del área de riego, y los caudales que se entregan a los usuarios, no cubren las necesidades hídricas de los cultivos y la superficie de cada polígono, por lo que es necesario una planificación que permita conocer; lámina de agua aprovechable, intervalo de riego, tiempo de riego y caudal por turno de riego.

El sistema, inicia su construcción en enero de 1974, con la construcción del canal principal, con fondos del ex INERHI y en 1979 con el Plan Inmediato de Riego de la provincia de Loja, se ejecutó la segunda etapa del proyecto. Se encuentra en funcionamiento desde el año 1985 (32 años), posee una obra de toma tipo convencional con rejilla de captación lateral, aguas abajo a la margen derecha de la quebrada San Agustín, con un caudal concesionado de 211.4 l/s, con un área de influencia de 590.5 ha y una área que se planifica regar de 360 ha.

El sistema de riego La Era beneficia actualmente a 220 usuarios, que conforman una junta general y cuatro juntas sectoriales: Junta Sectorial San Agustín (40 usuarios), Junta Sectorial La Era (70 usuarios), Junta Sectorial Sobrinopamba (46 usuarios) y la Junta Sectorial La Capilla y San Bernabé (64 usuarios).

Por lo antes expuesto, resulta necesario para el sistema de riego La Era, una planeación de los recursos hídricos con fines de riego, desde la cuenca de captación hasta la bocatoma del sistema de riego, estimando los caudales en el tiempo y adoptando métodos empíricos que mejor se adapten a las condiciones hidrológicas de la cuenca; además de estimar la demanda de agua de los cultivos en la zona riego y así elaborar una propuesta preliminar de programación de riego. Considerando estos aspectos, los objetivos planteados en la presente investigación fueron los siguientes.

### **Objetivo General**

- Contribuir a la optimización del uso del agua, con fines de riego del Sistema La Era, en la perspectiva de mejorar la producción de los cultivos y la implementación de nuevas áreas de riego.

### **Objetivos específicos**

- Estimar la disponibilidad del recurso hídrico en la quebrada San Agustín hasta el sitio de captación del agua, para el sistema de riego La Era.
- Analizar la demanda de agua de los cultivos en la zona de riego.
- Elaborar una propuesta preliminar de programación del riego, en base al patrón de cultivos establecido.



## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO 1992), señala que las cuencas hidrográficas constituyen las unidades geográficas idóneas para planificar el desarrollo socioeconómico de una región y el uso racional y sostenido de los recursos naturales básicos: suelo, agua y vegetación. Dentro de ellas, a medida que las presiones de desarrollo y la población aumentan, la planificación de los recursos hidráulicos con fines de riego se ha convertido en un campo de investigación importante, es por ello que la planificación de recursos hídricos en cuencas hidrográficas y el aprovechamiento del recurso con fines de riego, debe entenderse como un proceso y no como un objetivo, Dourojeanni (2000), añade que la planificación consiste en la definición lógica de una serie de estrategias que permitirán organizar y dirigir la gestión integrada del recurso hídrico. Estas estrategias debidamente documentadas constituyen un plan y son el resultado de un proceso de análisis, toma de decisiones y diseño de esas estrategias con sus respectivas actividades para alcanzar objetivos predeterminados por y para un grupo relativamente grande de actores que dependen y comparten un mismo recurso y territorio.

Springall (1990), manifiesta que como generalmente no existen estaciones de aforo en cuencas pequeñas, la estimación de los escurrimientos tiene que hacerse, en la mayoría de los casos, mediante métodos empíricos, los cuales utilizan solamente datos de precipitación, Palacios (1989), indica que esta planificación involucra un balance entre los volúmenes de agua estimados disponibles y los volúmenes necesarios para satisfacer las demandas de los usuarios.

Analizando los conceptos antes mencionados, la planificación de los recursos hídricos con fines de riego, es necesario y fundamental conocer aspectos relacionados con la lógica de los actores pero que se ratifiquen o rectifiquen en base a aspectos relacionados con:

- ¿Cuál es la disponibilidad del recurso hídrico al 75 % de probabilidad, en el sitio de captación del sistema de riego?
- ¿Cuál es la demanda de agua actual y potencial del sistema de riego?
- ¿Cuáles son los cultivos y métodos de riego que mejor se adaptan a las propiedades hidrofísicas de los suelos?
- ¿Cuál sería la programación de riego, en la perspectiva de optimizar el uso del agua y mejorar la producción de los cultivos?

## **2.2. EL CICLO HIDROLÓGICO**

Según la organización Meteorológica Mundial (1974), se define como: “sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y volver a la atmósfera: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y re-evaporación”. El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte re-circulatorio indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

## **2.3. ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA**

### **2.3.1. Cuenca Hidrográfica.**

Una cuenca es más que el terreno o paisaje físico que está definido por cadenas montañosas con una salida para que el agua fluya. Las cuencas dan soporte a una gran variedad de recursos, usos, actividades y bienes en donde todo está relacionado de tal forma que eventualmente todo se ve afectado por su rededor. Aún más importante, contiene la historia de todo lo que ocurrió antes de nosotros y el espíritu de todo lo que está por venir, según (George Wingate, Bureau of Land Management).

La cuenca hidrográfica es un área natural que se compone de agentes biofísicos, biológicos y antropocéntricos. En la cual existe agua proveniente de precipitaciones, y la acumulación de este recurso forma un cauce principal que desagua en los océanos, mares y lagos (Ramakrishna, 1997).

### **2.3.2. Características físicas y morfométricas de una cuenca.**

Estas características dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), los tipos de suelos, la capa vegetal, la geología, las prácticas agrícolas, etc. Estos elementos físicos proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos de régimen hidrológico (Monsalve Saénz, 1999).

Para caracterizar una cuenca hidrográfica, necesitamos cuantificar todos los parámetros que describen la estructura física y territorial con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus Recursos Naturales, pero también para identificar los problemas presentes

y potenciales. La caracterización de una cuenca se inicia con la delimitación de su territorio, la forma, tamaño o área, pendiente media y pendiente del cauce principal, red de drenaje, etc. Algunos de estos “parámetros geomorfológicos” sirven de base para identificar la vulnerabilidad y considerar peligros a los desastres (Ordoñez Gálvez, 2011).

La precisión de las características físicas de una cuenca depende de la calidad de los mapas disponibles, los cuales deben permitir medir con exactitud las áreas drenadas, origen de los cauces y sus tributarios hasta los sitios de interés del estudio.

El comportamiento del caudal y el de las crecidas, puede verse modificado por una serie de propiedades morfométricas de las cuencas, como son el tamaño, la forma y la pendiente, que resultan muy importantes en la respuesta del caudal recibido y que pueden operar tanto para atenuar como para intensificar crecidas. La mayor parte de estas propiedades actúan incrementando el volumen de flujo y la velocidad de su movimiento. (Jones, 1997; Ward y Robinson, 2000) citado por González Askoa (2004).

### **2.3.3. La precipitación como aporte a la escorrentía**

Precipitación es, en general, el término que se refiere a todas las formas de humedad, emanadas de la atmósfera y depositadas en la superficie terrestre, tales como lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada (Monsalve Saénz, 1999).

Los elementos esenciales para la formación de la precipitación son la humedad disponible en el aire y un mecanismo que produzca la condensación y la formación de las gotas. Según el mecanismo que produzca el ascenso del aire da lugar a los tres tipos de precipitación: convectiva, orográfica y ciclónica.

El principal efecto climático es la intensidad y la duración de la precipitación. La intensidad resulta fundamental porque se relaciona con la tasa de infiltración del suelo. Si la intensidad de la lluvia es mayor a la tasa de infiltración, todo el excedente de la lluvia es escorrentía superficial.

Los métodos más conocidos para la obtención de la precipitación media son: El método de las isoyetas y el método de Thiessen. Según Chow (1994), el método de Thiessen generalmente es más exacto que el método de la media aritmética, pero es inflexible, debido a que se tiene que construir una nueva red de Thiessen cada vez que haya un cambio en la red de pluviómetros, el método no tiene en cuenta en forma directa las influencias de la orografía en la lluvia y menciona que el método de las isoyetas supera algunas de estas

dificultades mediante la construcción de isoyetas, utilizando profundidades que se observan en los pluviómetros e interpolando entre los mismos.

Además, menciona que el método de las isoyetas es flexible, y el conocimiento de los patrones de la tormenta puede influir en la gráfica de las mismas, pero es necesaria una red de medidores más o menos densa para construir correctamente el mapa de isoyetas de una tormenta compleja.

#### **2.3.4. La escorrentía**

El flujo en un cauce natural o río está controlado fundamentalmente por las variaciones en la precipitación, de tal manera que el conocimiento de las relaciones entre la precipitación y la escorrentía y su distribución con respecto al tiempo, permiten disponer de los elementos básicos para en cierta forma garantizar los proyectos hidráulicos, mediante la extensión de registros hidráulicos en ríos con estaciones hidrométricas y para la estimación de caudales en ríos sin estaciones de medida (González, 2001).

La ingeniería hidrológica estudia tres aspectos básicos de los caudales de un río que son los siguientes:

- a) Volúmenes mensuales y anuales disponibles para almacenamiento y utilización.
- b) Análisis de períodos de estiaje, que limitan la utilización del agua en los ríos.
- c) Análisis de las grandes crecidas, que permiten atenuar el daño por inundaciones y diseñar adecuadamente las estructuras por donde transitan estas crecidas.

##### **2.3.4.1. Método del Número de curva**

Este método tiene por objeto separar la parte de la precipitación que ha generado escorrentía directa, con respecto a la precipitación total caída sobre la zona en particular.

El Soil Conservation Service desarrolló este método para estimar la escorrentía en función de los suelos, la cobertura y la humedad antecedente de las cuencas.

### 2.3.4.2. Método Racional

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.

El coeficiente de escorrentía depende también de las características y las condiciones del suelo. Debe escogerse un valor razonable que integre los efectos de: porcentaje de permeabilidad, pendiente, características de encharcamiento, tasa de infiltración, condiciones de humedad antecedente, grado de compactación del suelo, almacenamiento por depresión y la vegetación.

**Tabla 1.** Coeficiente de escorrentía, según Benitez et al, (1980), citado por Lemus & Navarro (2003).

Cobertura de Suelo	Tipo de Suelo	Pendiente (%)				
		> 50	20 - 50	5 - 20	1 - 5	0 - 1
<b>Sin vegetación</b>	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
<b>Cultivos</b>	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
<b>Pastos, vegetación ligera</b>	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
<b>Hierba</b>	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
<b>Bosque, vegetación densa</b>	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

*Nota:* Tabla para determinar caudales por el método racional y para dimensionar zanjas de infiltración

### 2.3.4.3. Método del polinomio ecológico

Propuesto por Gómez (1990), está basado en las características geomorfológicas, de regulación natural y ecología de las cuencas mediante la adopción de ciertos coeficientes típicos de las condiciones de las cuencas en estudio.

Considera además este método la relación entre la Evapotranspiración potencial y la precipitación.

**Tabla 2.** Para encontrar los Coeficientes  $k$ ,  $m$  y  $n$  del polinomio ecológico.

Características geomorfológicas de la cuenca		Exponente (m)						
Área de drenaje < 1.0 km <sup>2</sup>		1.00						
Terreno escarpado, pendiente > 50%		0.90						
Terreno impermeable, empinado, A < 10 km <sup>2</sup>		0.80						
Presencia de nevados, lagos y pantanos, páramos		0.70						
Bosques, buena cubierta vegetal, pendiente < 25 %		0.60						
Topografía ondulada A < 100 km <sup>2</sup>		0.50						
Topografía Plana		0.40						
Cuencas muy grandes A < 1000 km <sup>2</sup>		0.30						
Características de regulación natural de la cuenca		Exponente (n)						
Selva – llanura		1.00						
Pie de cordillera		0.90						
Montaña baja		0.80						
Mesetas – valles interandinos		0.70						
Montañas altas		0.60						
Región sub andina		0.50						
Región andina		0.40						
Región nival		0.30						
Tabla de coeficiente ecológico (k)								
Relación	Nieve	Tundra	Puna o paramo	Estepa	Monte	Bosque	Sabana	Línea jungla
Evapotranspiración sobre lluvia								
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

*Nota:* González (1997). Tesis de maestría pág. 51

#### 2.3.4.4. Curva de duración de caudales

La curva de duración de caudales es muy usada en estudios previos de aprovechamiento de un río ya que muestra el porcentaje de tiempo en el que un cierto valor de caudal es igualado o excedido. Se usa también para la definición de caudal ecológico, se puede construir anual, mensual, estacional o diaria dependiendo de las necesidades del proyecto. Además, la curva de

duración de caudales se usa para definir (en estudios previos) el potencial de un río para satisfacer una demanda y a la vez define límites de generación que tienen fuertes implicancias económicas para la puesta en marcha de proyecto y la toma de decisiones. (González, 2001).

Las curvas de duración tienen formas típicas que dependen de las características de las cuencas vertientes. En cuencas de montaña, por ejemplo, la pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva indica que los caudales altos se presentan durante períodos cortos, mientras que en los ríos de llanura no existen diferencias muy notables en las pendientes de los diferentes tramos de la curva.



**Figura 1.** Curva de duración de caudales: a) Río de alta pendiente b) Río de llanura

#### **2.3.4.5. Curva de variación estacional**

El análisis e interpretación de las curvas de variación estacional requieren un conocimiento estacional del caudal o de otro atributo hidrometeorológico del río en estudio. La curva de variación estacional nos permite saber en qué meses o tiempo se van a presentar dichos valores, y es importante porque nos permite conocer el régimen hidrológico de un río.

#### **2.3.4.6. Índice de retención y regulación Hídrica**

Este índice mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios.

Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, y los valores más bajos son los que se interpretan como de menor regulación.

**Tabla 3.** *Índice de retención y regulación hídrica.*

<b>ÍNDICE DE REGULACIÓN</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
> 0.85	Muy alta	Capacidad de retención muy alta
0.75 - 0.85	Alta	Capacidad de retención alta
0.65 - 0.75	Moderada	Capacidad de retención moderada
0.50 - 0.65	Baja	Capacidad de retención baja
< 0.50	Muy baja	Capacidad de retención muy baja

**Fuente:** Ideam, 2010

#### **2.4. CAUDALES MÁXIMOS**

Las crecientes son eventos extraordinarios que se presentan en los cauces de las corrientes naturales durante las cuales las magnitudes de los caudales superan con creces los valores medios que son normales en dichas corrientes (González, 2001).

Aparicio (1997), expresa que los principales parámetros que intervienen en el proceso de formación y evolución de las avenidas son las siguientes:

- Área de la cuenca.
- Altura total de precipitación.
- Características generales de la cuenca (forma, pendiente, vegetación, etc.).
- Distribución de la lluvia en el tiempo.
- Distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca.
- Humedad existente en el suelo al momento de la lluvia.
- Factores extra hidrológicos y obras artificiales.

Los aspectos en los cuales descansa el cálculo de las crecientes futuras probables para el diseño de obras hidráulicas son tres:

- El riesgo de falla en la capacidad hidráulica o en la estructura de la obra.
- El régimen de aguaceros en la cuenca que alimenta la corriente natural que llega a la obra.
- Las características físicas, de almacenamiento, estabilidad, erosión, infiltración y uso de la tierra de la cuenca ya definida.



### **2.4.1. Análisis de datos de lluvia y período de retorno**

Según Springall (1990), el análisis de lluvias es de importancia fundamental cuando no existen aforos de la corriente que se está analizando, tanto para la obtención de las avenidas de diseño de una cierta obra hidráulica a construir en dicha corriente, como para conocer, a través de un modelo de generación de escurrimientos, el régimen de estos utilizando lluvias medias mensuales. Este análisis también es necesario cuando se desea evaluar la precipitación máxima probable.

La SARH (1978), menciona que también es posible utilizar las curvas de precipitación máxima en 24 horas, dada su mayor densidad con respecto a los pluviógrafos, permite ajustar las crecidas.

El período de retorno, es una medida de probabilidad de que un evento de una determinada magnitud sea igualado o excedido por lo menos una vez en un año cualquiera; para la fijación del período de retorno, se pueden fijar algunos criterios como: a) económicos tales como la comparación de los costos anuales de las obras con los daños producidos por crecientes, b) criterios usuales como vida útil de la obra, tipo de estructura, facilidad de reparación o ampliación y peligro de pérdidas de vidas humanas, c) criterios de riesgo, el riesgo que desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida y se define  $P(X \geq X_0)$  como la probabilidad de ocurrencia, o la probabilidad de que un evento  $x$  sea mayor o igual a un valor dado  $X_0$ . (Monsalve Saénz, 1999).

### **2.4.2. Métodos de cálculo**

#### **2.4.2.1. Método de Ven Te Chow**

El método de Chow fue deducido basándose en el concepto de hidrogramas unitarios e hidrogramas sintéticos y considera que el caudal pico de escurrimiento directo de una cuenca puede calcularse como el producto de la lluvia en exceso por el caudal pico de un hidrograma unitario.

#### **2.4.2.2. Método del Hidrograma unitario triangular (SCS)**

En los estudios hidrológicos que se realizan en cuencas con información escasa no se justifica hacer deducciones demasiado complicadas para determinar los hidrogramas unitarios que se aplican en los estimativos de crecientes (González, 2001).

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

Según Cob (2004), el conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos es fundamental para mejorar el diseño, la planificación, y la gestión de los polígonos y sistemas de riego. Es necesario considerar tres definiciones distintas de necesidades hídricas para estimar adecuadamente los requerimientos de agua de los cultivos.

Los requerimientos hídricos de los cultivos dependen principalmente de la especie, variedad, etapa fenológica, fecha de siembra y condiciones ambientales del ciclo fenológico (Allen et al., 2006).

### **2.5.1. Evapotranspiración del Cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>)**

La evapotranspiración (ET) es la pérdida de agua que ocurre en una superficie como consecuencia de la combinación de los procesos de evaporación de una superficie evaporante (lagos, ríos, mares, suelo y vegetación mojada) y la transpiración de la planta, (FAO, 2006). La ET es un componente del balance de agua y un parámetro importante en la definición de las necesidades hídricas de los cultivos y por consiguiente en la programación de riego de los cultivos.

Según el manual 56 de la serie de riego y drenaje de la FAO, 2006, La evapotranspiración de referencia es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, la cual se denomina ET<sub>o</sub>. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. Este concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo.

Concepto ampliamente desarrollado por Thornthwaite, que la define como la máxima evapotranspiración posible que se da en condiciones favorables cuando el suelo está provisto de agua, prácticamente dentro de su capacidad de campo y tapizando por una vegetación o cubierta vegetal densa, pareja y de poca altura.

Entre los principales métodos de cálculo de la evaporación se encuentran:

- El tanque evaporímetro de Clase A.
- Los métodos que utilizan sólo datos de temperatura, como "Thornthwaite" y "Blaney-Criddle"

- Métodos que tienen en cuenta además de la temperatura la insolación, como el de "Makkink";
- Finalmente, métodos que tienen en cuenta la temperatura, insolación, humedad del aire y el viento "Penman Monteith"
- El método de Hargreaves.
- El método de Blaney-Criddle, modificado por la FAO.

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

### **2.5.1.1. El método de Penman-Monteith**

Según la FAO (2006), el método fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, una resistencia superficial y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. El método reduce las imprecisiones del método anterior de FAO Penman y produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos.

La ecuación de FAO Penman-Monteith es una representación clara, precisa y simple de los factores físicos y fisiológicos que gobiernan el proceso de la evapotranspiración.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Dónde:

$ET_0$  = evapotranspiración de referencia (mm/ día)

$R_n$  = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m<sup>2</sup>/ día)

$R_a$  = radiación extraterrestre (mm/día)

$G$  = flujo del calor de suelo (MJ m<sup>2</sup>/día)

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

$u_2$  = velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)

$e_s$  = presión de vapor de saturación (kPa)

$e_a$  = presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$  = déficit de presión de vapor (kPa)

$\Delta$  = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)

Y = constante psicrométrica (kPa/ °C)

### 2.5.1.2. Software “CROPWAT 8.0”

El 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).

### 2.5.2. Coeficiente del cultivo

El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección; En los cultivos anuales normalmente se diferencian 4 etapas o fases de cultivo:

- **Inicial:** Desde la siembra hasta un 10% de la cobertura del suelo aproximadamente.
- **Desarrollo:** Desde el 10% de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta.
- **Mediados:** Entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo.
- **Maduración:** Desde madurez hasta recolección.

El  $K_c$ , comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de  $K_c$  se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración. Lo mejor es disponer de valores de  $K_c$  para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembras, pero en ausencia de esta información se pueden usar valores orientativos.

### 2.5.3. Evapotranspiración de los cultivos (ET<sub>c</sub>)

Según la FAO la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración, cuya cantidad de agua requerida para compensar la pérdida

por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo. Sin embargo, la necesidad de agua de los cultivos básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva.

La cantidad de agua removida desde el suelo y la planta se denomina evapotranspiración. Esta agua, debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta. 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, y de la disponibilidad de agua del suelo. La evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) puede determinarse a partir de la evapotranspiración potencial, ET<sub>p</sub> (o evapotranspiración del cultivo de referencia), según la expresión:

La relación ET<sub>c</sub>/ET<sub>o</sub> que puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos y es conocida como Coeficiente del Cultivo (K<sub>c</sub>), y se utiliza para relacionar ET<sub>c</sub> a ET<sub>o</sub> de manera que ( $ET_c = K_c * ET_o$ ).

Las unidades comunes de medida de ET<sub>c</sub> y ET<sub>p</sub> suelen ser mm/día, mm/mes o mm/temporada.

## 2.6. PRECIPITACIÓN EFECTIVA

La precipitación efectiva es aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. Depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido en humedad del suelo o velocidad de infiltración.

### 2.6.1. Método del soil conservation service.

Según el método del USDA, Soil Conservation Service, (citado por el Estudio FAO, Riego y Drenaje, N° 46), la P<sub>ef</sub> se puede calcular de acuerdo a:

$$P_{ef} = \frac{P_{tot}(125 - 0.2 * P_{tot})}{125} : \text{para } P_{tot} < 250 \text{ mm}$$

$$P_{ef} = (125 + 0.1) * P_{tot} : \text{para } P_{tot} > 250 \text{ mm}$$

Dónde:

P<sub>ef</sub>= Precipitación efectiva (mm)

P<sub>tot</sub>= Precipitación total del mes (mm)

## **2.7. PATRÓN DE CULTIVOS**

Las variedades y especies con más probabilidades de éxito son por supuesto, aquellas que ya se hayan probado en condiciones naturales similares del ambiente, sin embargo, para asegurar que se consigan las plantas adecuadas, la investigación y búsqueda de éstas debe ser tan amplia como sea posible. Antes de que cualquier variedad o especie de alguna planta pueda ser recomendada para una amplia aplicación, debe cultivarse experimentalmente esta planta en condiciones controladas (Zimmerman, 1981).

Para determinar el patrón de cultivos se puede considerar los siguientes aspectos:

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

## **2.8. REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS (IRReq)**

El cálculo del requerimiento de riego de los cultivos resulta de aplicar la expresión:

$$IRReq=(Etc-Peff)$$

Dónde:

IRReq= Requerimientos de riego (mm/mes)

Etc= Evapotranspiración del cultivo (mm)

Peff= Precipitación efectiva (mm)

## **2.9. PROGRAMACIÓN DEL RIEGO**

La programación del riego es una metodología que nos permite decidir cuándo regar y qué dosis de riego aplicar a un cultivo para cumplir uno o varios objetivos. La programación debe tener en cuenta:

- El clima de la zona (temperatura, precipitación, radiación solar, viento, humedad);
- El suelo de la parcela a regar (profundidad, capacidad de retención de agua)
- El cultivo (fecha de siembra y recolección, períodos de crecimiento); y,
- El sistema de riego (tipo de riego, pluviometría, eficiencia...)

Con la programación de riegos se pretende establecer el momento más oportuno para regar y determinar la cantidad de agua a aplicar.

### **2.9.1. Métodos de programación del riego**

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:

- Medida del contenido de agua en el suelo.
- Medida del estado hídrico de la planta.
- Medida de parámetros climáticos.

#### **2.9.1.1. Método basado en la Medida del 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. Si 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).

#### **2.9.1.1.1. Constantes hidrofísicas de los suelos**

El conocimiento de las propiedades hidrofísicas de los suelos con fines de riego, permite operar los métodos de riego de manera eficiente, ya que las constantes hidrofísicas permiten conocer parámetros fundamentales en el riego como: lámina de riego, frecuencia de riego, tiempo de riego y también permiten conocer mejor las actividades agrícolas vitales como el laboreo, la fertilización, el drenaje y la conservación de suelos; y con esto aumentar la productividad de los cultivos y así evitar problemas como, el desperdicio de agua, conflictos entre usuarios y principalmente el robo de agua para evitar que sus cultivos sufran un estrés hídrico.

Según Valarezo, et al (1998), la curva de retención del agua del suelo, es fuertemente afectada por la textura del suelo; así, mientras mayor contenido de arcilla, mayor será el contenido de agua retenida a cualquier succión particular y más gradual será la pendiente de la curva. En un suelo arenoso, la mayoría de los poros son relativamente grandes; por lo que, una vez que estos poros han sido vaciados una cierta succión, solamente queda retenida una pequeña cantidad de agua.

Es por ello que, mediante un estudio detallado de textura de suelos, en un sistema de riego, se podría aproximar valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente, considerando como referencia algunas tablas que indiquen estos valores.



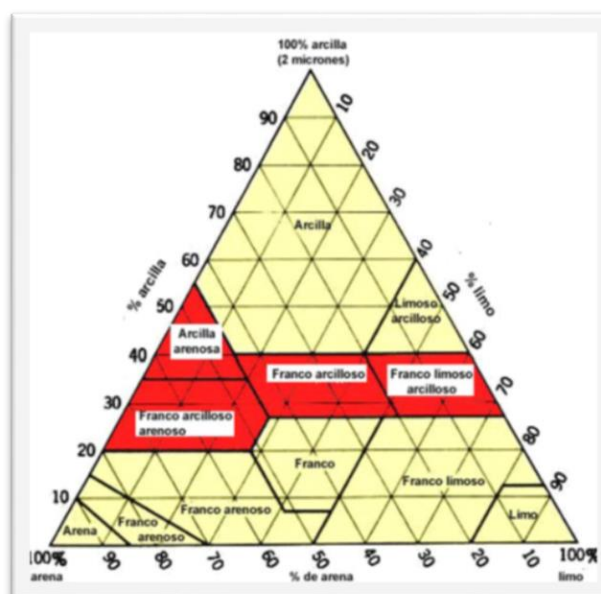
**Tabla 4.** Contenido de humedad del suelo en porcentaje por volumen en relación a la succión.

Tipo de suelo	/h/ pF	Succión en cm									
		1	3	10	31	100	200	500	2500	16000	10 <sup>6</sup>
		0.0	0.4	1.0	1.5	2.0	2.3	2.7	3.4	4.2	6.0
Arena Gruesa		39.5	36.7	21.5	10.7	3.2	2.4	1.8	1.5	1.2	0.3
Arena medianamente gruesa		36.5	35.7	33.1	27.4	9.5	6.5	5.2	3.1	1.7	0.4
Arena medianamente fina		35.0	33.4	32.5	30.5	15.5	8.0	6.1	4.3	2.3	0.7
Arena fina		36.4	35.6	35.2	32.8	19.6	15.0	12.9	6.5	4.2	1.2
Franco húmífero arenoso medianamente grueso		47.0	46.6	46.0	44.0	40.5	36.3	29.3	17.4	10.5	2.8
Franco arenoso moderadamente grueso		39.4	39.0	37.4	35.3	28.0	24.2	20.5	15.1	10.0	3.0
Franco arenoso medianamente grueso		30.1	29.3	28.2	26.5	20.9	18.1	14.1	5.6	2.1	0.5
Franco arenoso fino		43.9	43.5	39.9	30.7	17.9	14.6	11.5	8.5	6.0	0.7
Franco arenoso		46.5	45.9	44.2	41.9	26.0	19.5	14.2	9.2	6.1	1.5
Franco loess		45.5	44.8	43.6	38.5	34.0	28.3	23.2	17.0	11.0	3.5
Franco arenoso fino		50.4	49.9	48.8	48.2	42.3	27.3	22.4	13.2	8.7	1.7
Franco limoso		50.9	50.7	49.7	48.4	46.1	33.8	27.9	13.7	9.2	2.0
Franco		50.3	49.8	48.6	48.0	42.0	29.5	24.8	16.7	9.8	2.5
Franco arcillo arenoso		43.2	42.5	40.7	37.6	33.8	31.7	28.8	24.0	18.0	6.0
Franco arcillo arenoso		47.5	46.7	43.8	41.0	37.2	34.5	30.5	25.0	18.5	6.0
Franco arcilloso		44.5	43.7	42.9	42.1	41.1	39.3	36.6	34.2	25.5	5.9
Arcilla ligera		45.3	45.0	43.5	40.5	36.0	34.0	31.5	27.0	21.5	7.5
Arcillo limoso		50.7	50.0	49.2	48.2	46.3	44.7	42.2	35.2	25.7	6.5
Arcilloso		54.0	53.7	53.3	52.7	51.9	49.8	47.0	40.2	32.1	11.9
Turboso		86.3	85.5	83.2	81.6	76.3	70.5	64.9	35.6	26.5	9.8

*Nota:* IILRI, 1983, citado por Valarezo, et al., 1998, pág. 46

### 2.9.1.1.2. Textura del suelo

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (Portal de suelos de la FAO, s.f).



**Figura 2.** Triángulo Textural

El triángulo de textura de suelos, según la FAO, se usa como una herramienta para clasificar la textura. Partículas del suelo que superan tamaño de 2.0 mm se definen como piedra y grava y también se incluyen en la clase de textura. Por ejemplo, un suelo arenoso con 20% de grava se clasifica como franco arenoso con presencia de gravas. Cuando predominan componentes orgánicos se forman suelos orgánicos en vez de minerales (Portal de suelos de la FAO, s.f).

#### **2.9.1.2. Método basado en 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 (Dórenlos y Pruitt, 1977), en el que la ETc se calcula como el producto de dos términos:  $ETc = ETo \times Kc$ .

#### **2.9.2. Factores prácticos de riego**

Las condiciones prácticas de riego, que deben cumplir con los factores naturales antes anotados son:

- El espaciamiento de los riegos
- El caudal que prácticamente hay que emplear para el riego de cada parcela
- La superficie de las parcelas que reciben sucesivamente el riego o superficie de la unidad parcelaria
- La duración de cada una de las parcelas

##### **2.9.2.1. Módulo de riego**

El módulo de riego es el caudal de agua que dispone el agricultor, que se vierte durante un período razonable sobre una parcela de dimensiones tales que reciba durante ese tiempo justamente la cantidad de agua que se necesita, o sea la dosis de riego.

El módulo para que sea cómodo no debe ser ni demasiado pequeño ni demasiado grande y sus valores prácticos varían entre 20 y 200 l/seg.

### 2.9.3. La distribución

Después de determinado el caudal que debe ir a la cabecera de la zona a regar, el problema consiste en distribuir el agua sobre las parcelas que van a utilizarla de forma que cada una de ellas reciba una dosis correcta en el momento oportuno.

Es un problema delicado y complejo como consecuencia de la variedad de suelos, de las dimensiones de las propiedades y de la variedad de los cultivos en el perímetro regado.

Se puede emplear tres métodos para regar las parcelas o fincas por medio de los canales de reparto de distribución:

- La distribución continúa
- La distribución por rotación o turno
- La distribución a la demanda

#### 2.9.3.1. La distribución por rotación o Turno

Este método de distribución es el que más se utiliza tradicionalmente en los proyectos de riego donde las propiedades están muy divididas y descansa sobre el principio siguiente:

No se hace llegar el agua a cada propietario sino a intervalos determinados, pero con un caudal igual al módulo, o sea generalmente mucho más importante que el caudal continuo necesario. El tiempo durante el cual esa propiedad recibe de esta manera el agua, en proporción, de manera que reciba finalmente el volumen suscrito y no más.

Mediante este procedimiento la distribución se agrupa alrededor de cada canal de distribución, que lleva generalmente un caudal igual al módulo, una sección de superficie igual a:

$$S_m = m/qz$$

Dónde:

$S_m$  = Superficie del módulo (ha).

$m$  = Módulo en (l/seg).

$Qz$  = Caudal característico l/seg/ha.

#### **2.9.4. Los sistemas de información geográfica (SIG)**

Los SIG, se definen como: Un sistema de Hardware, software y procedimientos, elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (según el National Center for Geographic Information and analysis, U.S.A., 1990).

Los SIG permiten gestionar y analizar la información espacial, integrando varias herramientas con el fin de aplicarlas en campos tan diversos como la planificación urbana, la gestión catastral, la ordenación del territorio, el medio ambiente, la planificación del transporte, el mantenimiento y la gestión de redes públicas, el análisis poblacional, los recursos hídricos, prevención de desastres, etc.

#### **2.9.5. Estudios realizados en los sistemas de riego, utilizando los SIG**

##### **2.9.5.1. Análisis de la disponibilidad y demanda de agua, con fines de riego, en el sistema campana-malacatos, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG).**

El estudio estimó la disponibilidad de agua en la cuenca del río Campana hasta el sitio de captación, y analizó la demanda de agua de los cultivos; con la finalidad de confrontar la oferta y demanda de agua, con fines de riego en la perspectiva de estructurar alternativas para su optimización. La disponibilidad de agua con fines de riego y el consumo de agua de los cultivos en el sistema de riego Campana-Malacatos, ubicado en el cantón Loja al Sur de Ecuador, fueron estimados mediante métodos empíricos indirectos: método racional, polinomio ecológico y del coeficiente de escorrentía calculado, y el ajuste del método Hargreaves respectivamente. Además, con la finalidad de poder determinar el método empírico que más se ajusta a las condiciones de la cuenca del sistema de riego, se realizaron aforos de caudal en un intervalo de tiempo (ocho días) en el punto de captación.

La metodología que mejor se ajustó a las condiciones de la cuenca en estudio fue el método racional, el mismo que permitió estimar una disponibilidad de agua en el punto de captación de  $0.68 \text{ m}^3/\text{s}$  a una probabilidad del 75%. La demanda de agua de los cultivos fue de  $0.578 \text{ m}^3/\text{s}$  para irrigar 743 ha.

Finalmente se concluye que, con el caudal disponible, se puede incrementar, ya sea 96,3 ha de riego por surcos con una eficiencia de aplicación del 50%, 516,0 ha de riego por aspersión a una eficiencia de 75%; ó un área de 767,8 ha, de riego por goteo al 90% de eficiencia de aplicación (Cañar, 2016).

#### **2.9.5.2. Planeación de los recursos hídricos, del sistema de riego campana malacatus, utilizando sistemas de información geográfica (SIG)**

El sistema de riego Campana-Malacatos se ubica al sur oriente de la ciudad de Loja, Republica del Ecuador y al norte de la población de Malacatos.

En referido sistema de riego, se determinó la zona de riego de 512,42 ha, de las cuales es posible regar efectivamente 372,19 ha, los requerimientos hídricos de los cultivos, se determinaron con el programa computacional Cropwat 5.7.

La estructuración de la programación de riego, aplicando los Sistemas de Información Geográfica, se realizó con ayuda del programa computacional Arc View en el que se desarrolló la base de datos, con ayuda del mapa catastral, trabajando a nivel de parcela del usuario, y creando los distintos campos para la programación.

El patrón de cultivos, se estableció en base a los cultivos que predominan en la zona y que mayor demanda tienen en el mercado, siendo los más comunes o que se dan en mayor producción: caña, hortalizas (tomate, pimiento, pepino, melón, lechuga, acelga, espinaca, zanahoria, rábano y remolacha), frutales (cítricos, papaya, aguacate y babaco), maíz, fréjol y pastos. Los caudales característicos, estimados, fueron: para riego por surcos (0,83 l/s/ha), riego por aspersión (0,66 l/s/ha) y riego por goteo (0,45 l/s/ha).

Finalmente las consultas que se puede hacer a cualquiera de las parcelas y la información que se obtiene de ésta, es la siguiente: número de polígono, propietario, sector, textura, punto de marchitez permanente (P.M.P.), capacidad de campa (C.C.), profundidad del suelo, área de la parcela, perímetro de la parcela, densidad aparente, cultivo implantado, tipo de riego, lámina de agua aprovechable (LAA), lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA), frecuencia de riego, lámina bruta, período de riego, tiempo de riego, turnos de riego por día, turnos por período de riego, área de riego por turno, caudal mínimo, número de riegos al mes, intervalo de riegos, tiempo de riego (horas), día de inicio de riego, hora de inicio de riego, día de fin de riego y hora de fin de riego (Bravo y Moreno, 2007).

### **2.9.5.3. Planificación de los Recursos Hidráulicos con fines de Riego en la zona Andina del Ecuador**

La planificación del aprovechamiento, con fines de riego, de pequeños escurrimientos sin información hidrométrica ni del consumo de agua de los cultivos, fue analizada mediante un estudio de caso en la cuenca “La Capilla”, ubicada en la provincia de Loja, al sur del Ecuador. En el estudio se estimaron, mediante métodos indirectos, las disponibilidades de agua para riego y las demandas hídricas mensuales de los cultivos. Así mismo, después de realizar un análisis de intensidad-magnitud-período de retorno-duración y frecuencia de las lluvias, se seleccionó la tormenta de diseño y después de restarle las pérdidas por infiltración se calculó el exceso de precipitación, con el cual se determinó la avenida máxima de diseño.

Finalmente, se determinó la capacidad de almacenamiento necesaria para satisfacer la demanda de los cultivos, mediante simulación de la operación del almacenamiento. Se concluyó que las metodologías aplicadas, apoyadas en programas de cómputo, son herramientas útiles para auxiliar en la toma de decisiones a los responsables de la planificación de los recursos hidráulicos en esta zona del Ecuador (González, 1997).

### 3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO LA ERA

En enero de 1974, se inició la ejecución de un pequeño proyecto de riego con la construcción del canal principal, con fondos del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI) y la ayuda del Programa Mundial de Alimentos. Luego, en el año de 1976 mediante un préstamo del Fondo Nacional de Desarrollo (FONADE), se continuaron los trabajos. En 1979 con el Plan Inmediato de Riego de la provincia de Loja, se ejecutó la segunda etapa del proyecto, según Collahuaso, et al (1982).

La administración, operación y mantenimiento del sistema de riego La Era, es realizada desde octubre de 1998, por la Junta General de Usuario y el 5 de mayo del año 2000, el ex CNRH de Loja, les transfirió el derecho de aprovechamiento de las aguas de la quebrada San Agustín, con un caudal de 211,4 l/s.

**Tabla 5.** Organización del sistema de riego

Nº JUNTA	JUNTA SECTORIAL	USUARIOS
1	San Agustín	42
2	La Era	68
3	Sobrinopamba	46
4	La Capilla - San Bernabé	64

El área total de influencia de la infraestructura de riego es de 590.5 ha, área bruta 450.2 ha; y, el área que se planifica regar es de 360.2 ha<sup>2</sup>. Beneficia actualmente a 220 usuarios del agua para riego, distribuidos en cuatro juntas sectoriales como: San Agustín 42 usuarios, La Era 68 usuarios, Sobrinopamba 46 usuarios, La Capilla y San Bernabé 64 usuarios. (Tabla 5)

#### 3.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sistema de riego La Era utiliza las aguas generadas por la microcuenca de la quebrada San Agustín, que se origina en la cota 3000 msnm, formándose de los aportes de las quebradas Las Achiras, Piedra Blanca, Limón Dulce y Sapos Amarillos. Se ubica políticamente al sur-este del cantón Catamayo y al sur de la parroquia El Tambo, la zona de riego limita al norte, con la microcuenca La Capilla, al sur con la quebrada Pacanza y quebrada San Agustín, al este con la vía inter-valles y al oeste con el río Catamayo. Hidrográficamente pertenece a la cuenca del río Catamayo.

<sup>2</sup> Área que se planifica regar = área bruta \* 0.8, considerando el área común.

### **Cuenca de captación**

La cuenca de captación se halla ubicada geográficamente en las coordenadas:

Coordenada Norte: 9 546 603 m y 9 543 502 m

Coordenada Este: 693 680 m y 691 219 m

Elevación parte baja: 1 665 msnm.

Elevación parte alta: 3 030 msnm.

### **Zona de Riego**

Además, el sistema de riego comprende los sectores de: San Agustín, La Era, Limón Real, El Papayo, Sobrinopamba, San Bernabé y La Capilla, ubicada geográficamente en las coordenadas:

Coordenada Norte: 9 547 030 m – 9 541 363 m

Coordenada Este: 690 640 m – 684 921 m

Altitud parte baja: 1 290 msnm.

Altitud parte alta: 1 665 msnm.

Las dos ubicaciones geográficas se encuentran en la proyección UTM WGS 84 correspondiente a la zona 17 Sur.



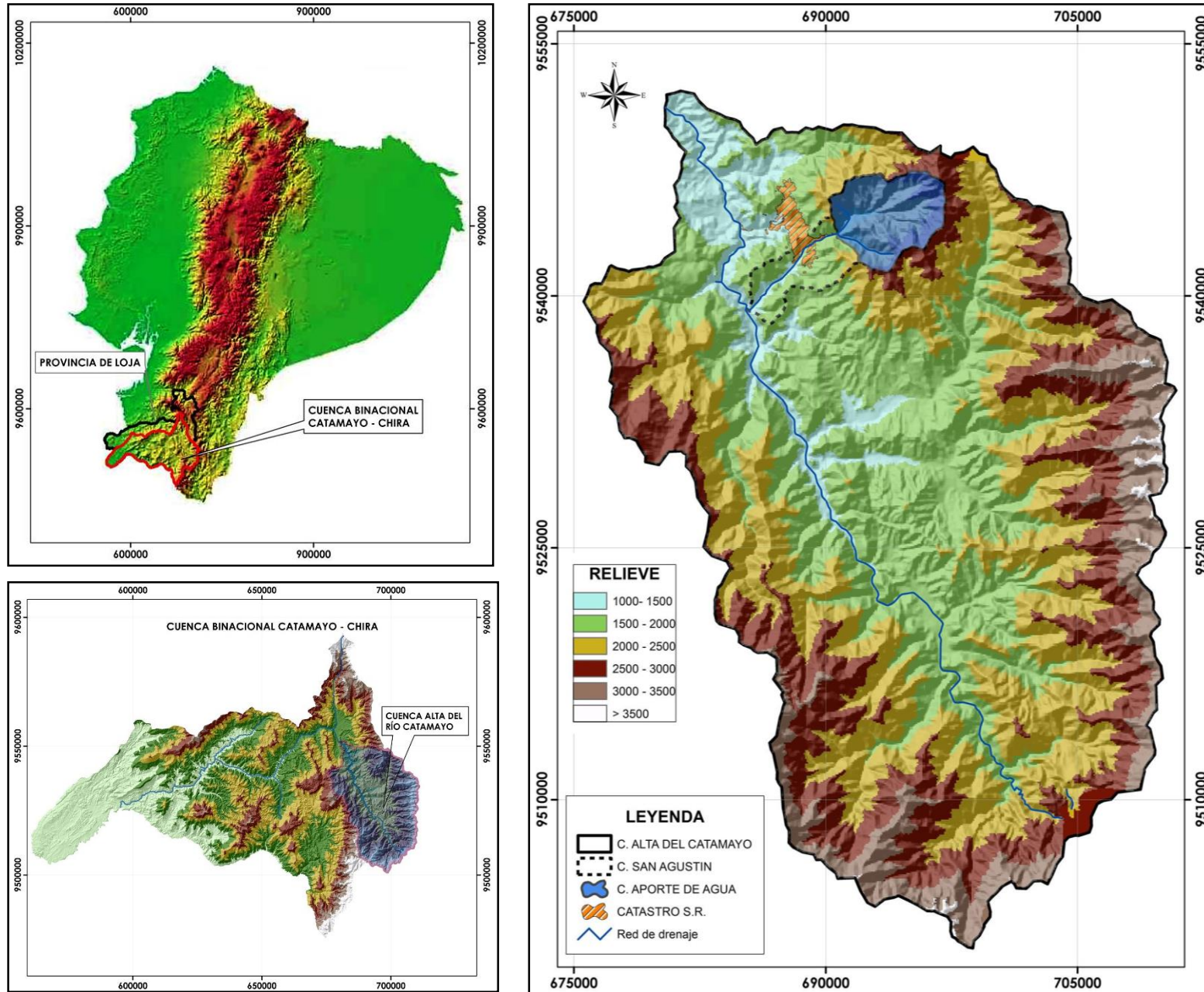


Figura 3. Ubicación del estudio

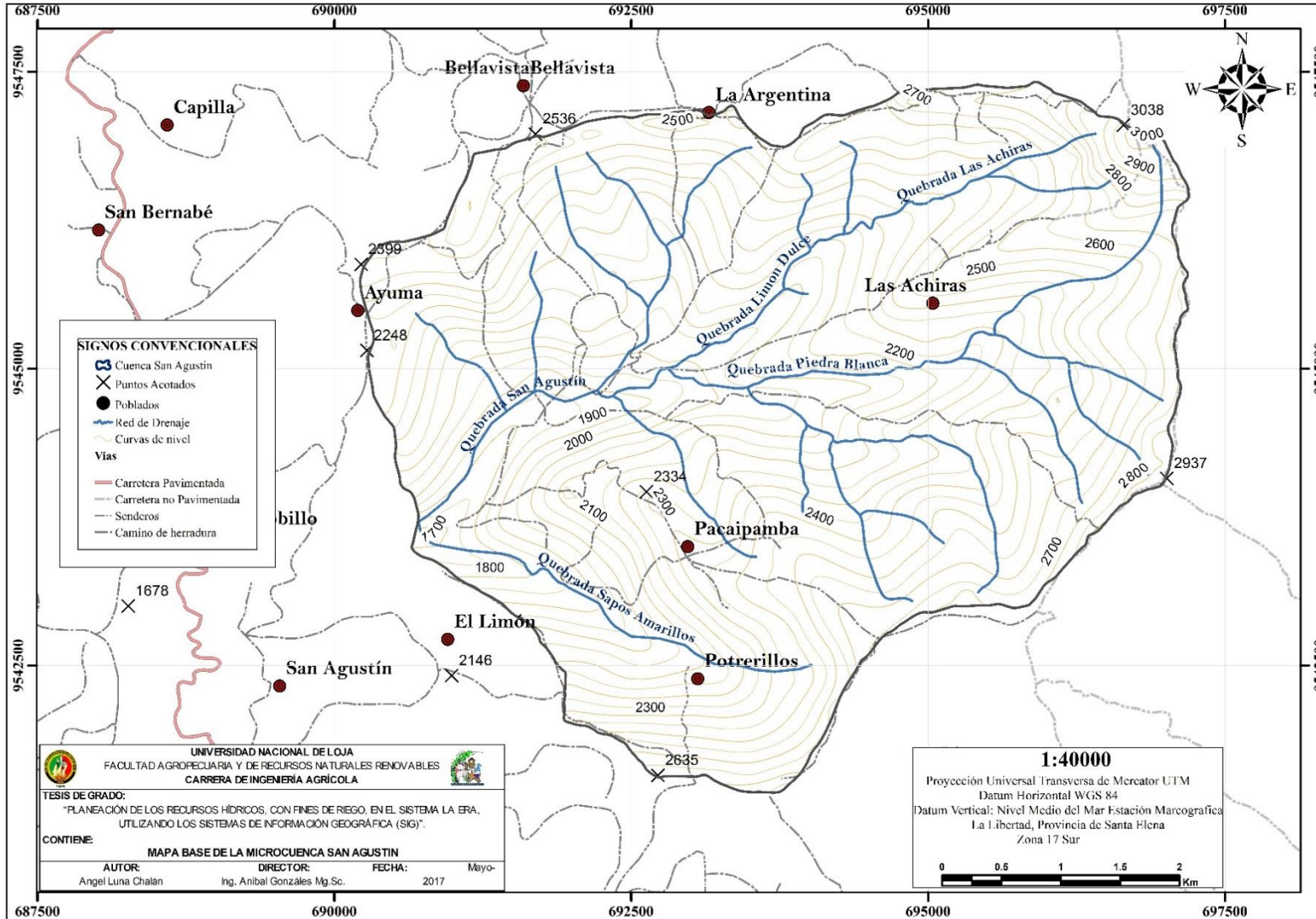


Figura 4. Mapa base de la cuenca de Aporte

La cuenca de aporte y la zona de riego, está clasificada como semihúmeda (pluviometría 500–1000 mm/año). Las medias anuales de precipitación son de 843.0 y 604.6 mm respectivamente. Con respecto al régimen de temperatura para la zona de riego es Isotérmico, ya que la temperatura media anual es de 20.6 °C.

### 3.2.1. Obra de toma

La obra de toma es de tipo convencional con rejilla de captación lateral, aguas abajo a la margen derecha de la quebrada San Agustín, con una capacidad de 300 l/seg, con una estructura de toma de hormigón, constituida por azud, colchón disipador, muros laterales, rejilla de captación, canal de desfogue de sedimentos en la captación, desripiador y desarenador con compuertas de lavado.

### 3.2.2. Canal principal y redes de distribución

El canal principal es de sección cuadrada revestido en hormigón simple y embaulado en su totalidad hasta la abscisa 6+600.00 (Figura 5), y después se reduce a una sección de 0.5 m por 0.4 m y con una longitud de 1.6 Km.

Cabe indicar que un tramo crítico del canal principal, ha sido sustituido por tubería perfilada de 710 mm en una longitud de 112 m; además un tramo ha sido renovado debido a la ampliación de la vía Inter-valles, en una longitud de 2 Km.

#### Características hidráulicas del canal principal.

$$Q = 300 \text{ l/seg.}$$

$$j = 0.001 \text{ m/m}$$

$$n = 0.016$$

$$b = 0.70 \text{ m}$$

$$y = 0.60 \text{ m}$$

$$s = 0.10 \text{ m}$$

$$r = 0.10 \text{ m}$$

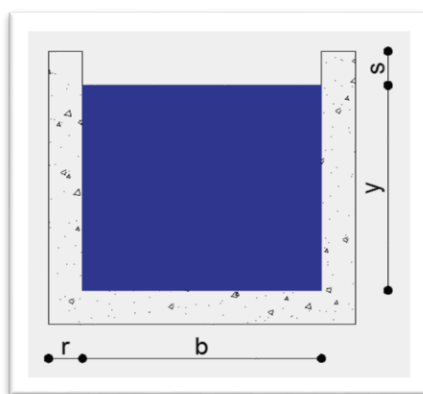


Figura 5. Sección transversal del canal

El sistema también posee algunas obras de arte como: alcantarillas, badenes, entregas de agua y tomas directas.

Las redes de distribución están constituidas por tuberías de PVC cuyos diámetros varía entre 50 hasta 200 mm, distribuidas en redes secundarias y terciarias, además de canales abiertos secundarios.

### **3.2.3. Geología**

Geológicamente la zona de estudio se encuentra en la formación Rocas Metamórficas Indiferenciadas, caracterizada por esquistos, esquistos verdes, grafitos, cuarcitas, gneis y filitas con cuarzo, esta formación ocupa la mayor superficie de la cuenca (94%).

La zona de riego en su parte baja corresponde a la formación Loma Blanca (Oligoceno, mioceno inferior), caracterizada por un aglomerado basal recubierto por tobas aglomeríticas y flujos de lava. En la parte alta junto a la línea del canal se encuentra la formación Trigal (Mioceno) constituida por arcilla con capas delgadas de areniscas, limonita y tobas.

### **3.3. MATERIALES**

- Anuarios Meteorológicos del INAMHI de las estaciones (La Argelia, Catamayo, Malacatos, Gonzanamá, Vilcabamba y Nambacola).
- Cartas del Instituto Geográfico Militar (IGM) de Nambacola y Loja sur a escala 1:50 000.
- Mapa Catastral del área de influencia del sistema de riego, facilitado por el MAGAP.
- Planos de las principales redes hidráulicas del sistema de riego La Era.
- Ortofoto del cantón Catamayo (SIG tierras).
- Molinete hidráulico (medidor de revoluciones).
- Ordenador.
- GPS Navegador (sistemas de posicionamiento global).
- Cámara fotográfica.
- Software utilizados (ArcMap 10.2, Idrisi selva, Cropwat 8.0, Hcanales V 3.0, CAD).

### **3.4. METODOLOGÍA**

#### **3.4.1. Estimación de la disponibilidad del recurso hídrico en la quebrada San Agustín hasta el sitio de captación del agua, para el sistema de riego La Era.**

Se recopiló la información cartográfica publicada por el IGM, además de la información meteorológica del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). Todos estos datos fueron manejados y procesados mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno (MDT). Constituyen la base para muchas aplicaciones en la ingeniería, que permiten de forma sencilla y objetiva conocer algunos parámetros geomorfológicos como; rangos de pendientes, la dirección del flujo, entre otros. En el presente estudio se utilizó un MDT, descargado del portal *alaska satellite facility*.

Con la finalidad de conocer una estadística de caudales, para la microcuenca San Agustín, fue necesario obtener con anterioridad una estadística de precipitaciones mensuales de las estaciones circundantes a la cuenca en estudio (La Argelia, Cajanuma, Catamayo y Gonzanamá), que luego mediante un análisis de la información y haciendo uso de métodos empíricos que se ajusten a las características de la cuenca y a la información disponible, se pudo generar escurrimientos mensuales. El proceso se dividió en tres partes: generación de los parámetros de forma de la cuenca, estimación de la precipitación media mensual y estimación de escurrimientos medio a través de métodos empíricos como: método racional, método del Polinomio Ecológico y el método del Número de Curva.

##### **3.4.1.1. Parámetros de forma**

- ***Delimitación de la cuenca***

A través de la cartografía digital de la zona de estudio, y tomando como punto de interés la obra de captación de agua para el sistema de riego, se realizó el trazado del *divortium aquarum* que pasa por los puntos de mayor nivel topográfico y que rodea la red de drenaje, en este caso de la quebrada San Agustín y sus afluentes.

- ***Área y perímetro de la cuenca***

Una vez delimitada la cuenca de aporte por medio de la cartografía digital, se procedió a determinar la superficie y perímetro, haciendo uso de los sistemas de información geográfica.

- **Forma de la cuenca**

Para determinar la forma de la microcuenca se empleó el índice de Gravelius o coeficiente de compacidad.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dónde:

Kc = Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius.

P = Perímetro de la cuenca en Km.

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

**Tabla 6.** Clases de forma.

Clase de forma	Rango de clases	Forma de la cuenca.
Clase Kc <sub>1</sub>	1.0 – 1.25	Tendencia a ser redonda a oval – redonda.
Clase Kc <sub>2</sub>	1.25 – 1.5	Tendencia a ser oval – redonda oval – oblonga.
Clase Kc <sub>3</sub>	1.5 – 1.75	Tendencia a ser oval – oblonga a rectangular – oblonga.

Cuando Kc es cercano a 1.0 indica que la forma es casi una circunferencia. Kc mayores que 1.0 indica menor circular la cuenca. Cuencas con Kc cercano a 1.0 tienen más problemas de crecientes (gastos muy grandes, inundaciones).

### 3.4.1.2. Parámetros de Relieve

- **Pendiente media de la cuenca**

Este parámetro, se determinó, mediante el uso del SIG, además permitió configurar el mapa de pendientes de la cuenca.

$$P_m = (D/A) L$$

Dónde:

D= Desnivel constante entre curvas de nivel.

A = Área de la cuenca.

L = longitud total de las curvas de nivel de equidistancia



- ***Elevación media de la cuenca***

Se calculó mediante la elaboración de la curva hipsométrica, que indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada.

Para elaborar la curva hipsométrica, se realizó los siguientes pasos.

- Haciendo uso del Modelo digital del terreno (MDT), de la cuenca en estudio y mediante SIG, se definieron áreas parciales cada 100 metros de elevación.
- Se calculó el porcentaje de estas áreas con respecto al área total de la cuenca.
- Con estos resultados se construyó un gráfico de coordenadas que relaciona las elevaciones y el porcentaje de área acumulada por encima del límite inferior.
- Para obtener la altitud media se trazó una línea perpendicular al eje de las X entre el valor del 50% de área acumulada y la curva, y se proyectó una línea paralela al eje de las X, para que corte el eje de las Y, y permita determinar cuál es la elevación media de la cuenca.

### **3.4.1.3. Parámetros de la red de drenaje**

La importancia de poder determinar las características de los drenajes superficiales de una cuenca hidrográfica, radica en la posibilidad que brindan estas de comprender mejor la dinámica de la regulación hídrica en una unidad hidrográfica particular.

- ***La densidad de drenaje***

Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua y su área total, tal como se aprecia en la expresión:

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \text{ en km/km}^2$$

Dónde:

D = densidad de drenaje por km/km<sup>2</sup>

$\sum L$  = suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca (km)

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

**Tabla 7.** *Clases de densidad de drenaje*

<b>Rangos</b>	<b>Clases</b>
0.1 – 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

Valores altos, representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables; Valores bajos, representan zonas planas, poco erosionables o muy permeables y cobertura vegetal densa y pueden presentarse inundaciones.

- ***Densidad de la red de cauces (Dr)***

Se define como el número de cauces de cualquier orden, entre la superficie de la cuenca. Se determinó con siguiente expresión:

$$Dr = \frac{N}{A} \text{ en cauces/km}^2$$

Dónde:

Dr= Densidad de la red de cauces

N= Número de cauces en la cuenca

A= Área total de la cuenca

- ***Pendiente del cauce principal***

Para determinar la pendiente del cauce principal, se utilizó la ecuación de Taylor Schwarz, a través de un software SIG, el cual se fundamenta en:

$$S= H/L$$

Dónde:

H= Desnivel en el cauce principal.

L= Longitud total del cauce principal.



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

Dónde:

S = pendiente del cauce

S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>n</sub> = pendientes de los tramos

n = número de tramos.

- ***Perfil del cauce principal***

Se obtiene llevando a una gráfica los valores de su recorrido horizontales (absisas), contra los cambios de elevaciones respectivas (ordenadas). Para determinar el perfil del cauce principal, se utilizó el software SIG.

- ***Tiempo de concentración***

Las fórmulas utilizadas fueron.

**Según Kirpich**

$$T_c = \left( \frac{0.87Lc^3}{H} \right)^{0.385}$$

**Según Giandotti**

$$T_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5 Lc)}{0.8\sqrt{H}}$$

Dónde:

T<sub>c</sub> = Tiempo de concentración en horas.

L<sub>c</sub> = Longitud del cauce principal en km.

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

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

H = Elevación media de la cuenca (m)

### 3.4.1.4. Estimación de la Precipitación Media

- **Estaciones consideradas**

En la cuenca de aporte de agua no se dispone en su interior de estaciones hidrométricas; por lo tanto, los caudales no han sido medidos, y los escurrimientos medios mensuales se generaron a partir de los registros de precipitación mensual de las estaciones circundantes a la cuenca en estudio.

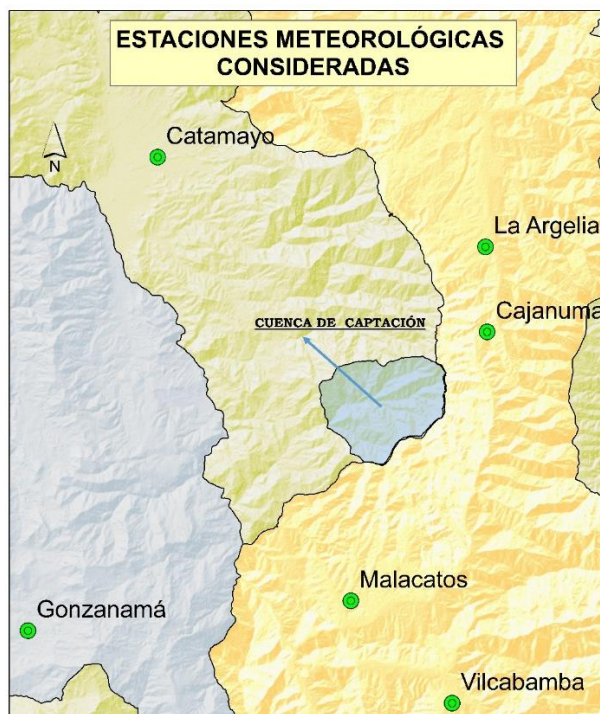
Con la finalidad de analizar de manera objetiva y con mayor detalle hidrometeorológico la cuenca San Agustín, el período de estudio fue de 32 años en todas las estaciones consideradas (Anexo de 1 al 5). Esto da mayor seguridad según lo menciona Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2004 que cuando la longitud de registros de precipitación es mayor a 20 años la relación R se estabiliza.

**Tabla 8.** *Estaciones meteorológicas consideradas*

Estación	Tipo - Código	Coordenadas Planas		Elevación msnm	Período Registro
		Norte (m)	Este (m)		
La Argelia	Agrometereológica Principal M-033	699403	9553464	2165	1981-2012
Catamayo	Aeronáutica M-060	691296	9558425	1230	1981-2012
Cajanuma	Pluviométrica M-543	699492	9548762	2267	1981-2012
Malacatos	Climatológica ordinaria M-143	691965	9533892	1453	1981-2012
Gonzanamá	Agrometereológica M-149	674134	9532238	2042	1981-2012
*Vilcabamba	Climatológica ordinaria M-144	697561	9528229	1563	1981-2000

**Fuente:** Anuarios Meteorológicos del INAMHI

\* Estación considerada para rellenar datos.



**Figura 6.** Estaciones Consideradas para la cuenca

- **Estimación de datos faltantes**

Existen estaciones pluviométricas con datos faltantes (Cajanuma, Malacatos y Gozanamá) en sus registros debido, entre otros factores, a la negligencia del operador o la ausencia del aparato durante determinado tiempo; en el presente trabajo, se utilizó el método de correlación lineal para datos faltantes de precipitación, y requiere contar con una precipitación cercana que presente datos similares de precipitación y altitud. Para ello se requiere establecer una regresión y correlación lineal entre una estación A o estación base y la estación B, donde se requiere rellenar los datos, mediante una ecuación lineal de este tipo.

$$Y = a + b * x$$

Donde:

Y= valor estimado de la precipitación para la estación carente (mm)

X= Valor de precipitación registrado en la estación base (mm)

a y b = contantes

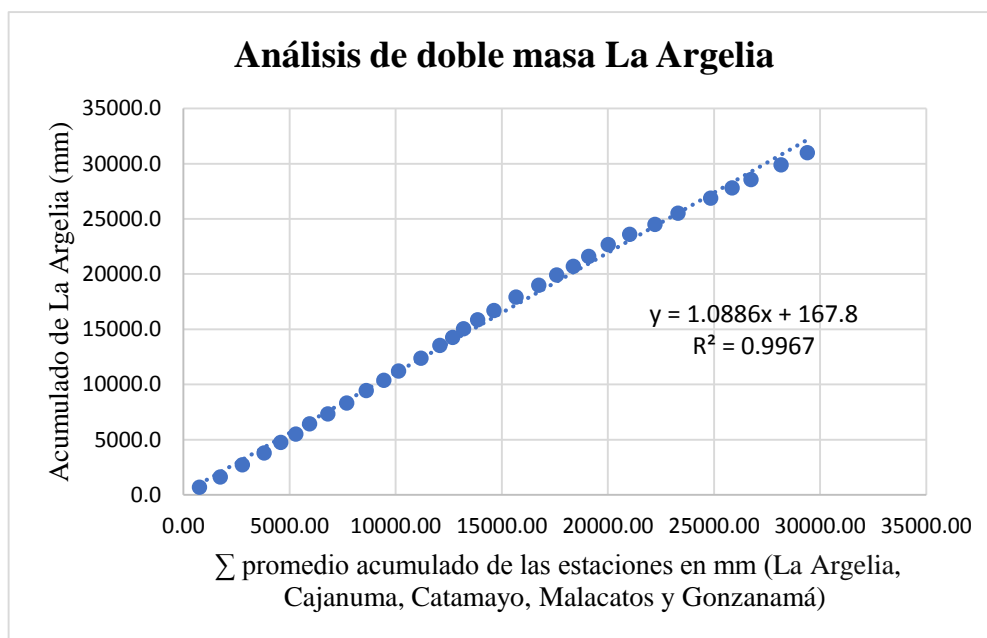
Para tener mayor confiabilidad de los datos, se determinó el coeficiente de correlación (R), que mientras el valor se aproxima a 1, existe una buena correlación.

Este método fue utilizado para el relleno de datos de la estación de Malacatos, correlacionándola con la estación de Vilcambamba y Catamayo; relleno de datos de la estación Cajanuma, con la estación La Argelia, puesto que presentan gran cercanía y además poseen una zona climática similar.

- **Análisis de la consistencia de datos**

Se utilizó el método de Doble Masa, utilizado para verificar la homogeneidad de los datos en una estación pluviométrica. Para comprobar si existe normalidad durante un período; consiste en construir una curva doble acumulativa, en la cual se relacionan los totales anuales acumulados de precipitación de un determinado lugar y la media acumulada de los totales anuales, considerándola homogénea desde el punto de vista de los datos.

Si el gráfico presenta una curva no muy pronunciada la estadística todavía es confiable, si hay paralelismo en la gráfica la estadística es consistente y si se produce un cambio de pendiente en alguna grafica se debe modificar los valores anuales siempre y cuando debe estar respaldada y sustentada técnica y científicamente la información (Anexo 6). Posteriormente se graficó los puntos en un plano, para el eje de las abscisas los valores de la  $\Sigma$  del promedio acumulado de las estaciones y para el eje de las ordenadas los valores del acumulado de la estación que se analizó como se indica en la Figura 7.



**Figura 7.** Análisis de doble masa para la estación La Argelia

- **Precipitación Media en la cuenca de aporte**

Para obtener los valores mensuales de precipitación media de la cuenca, se utilizó el método de las Isoyetas, que son líneas de igual precipitación; paralelamente a este método se empleó el método de la National Weather Service, el cual estima la precipitación en un punto (centro de gravedad de la cuenca), como promedio ponderado de las estaciones consideradas, el presente método se aplicó para cada mes de la serie estadística. Posteriormente se obtuvo un factor de corrección entre los dos métodos (Tabla 16).

El proceso constructivo utilizado para el método de las isoyetas, mediante los SIG es el siguiente; Se generó una base de datos en Excel, la cual se exportó y procesó en ArcMap 10.2, utilizando el método de interpolación Spline, que es uno de los métodos más utilizados para este meteoro, se obtuvo las capas raster de precipitación para cada uno de los meses del año y aplicando una extracción por máscara con el perímetro de la cuenca, se obtuvo el raster de precipitación para la cuenca, además una vez generado los raster, es posible generar las líneas de igual precipitación mediante la extensión contour, cada cierto intervalo de precipitación.

La ecuación utilizada por el método de la National Weather Service es la siguiente:

$$P = \frac{P_1 \left(\frac{1}{d_1}\right)^2 + P_2 \left(\frac{1}{d_2}\right)^2 + \dots + P_n \left(\frac{1}{d_n}\right)^2}{\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}}$$

Dónde:

P = Precipitación mensual ponderada

$P_1, P_2, \dots, P_n$  = Precipitaciones medias de las estaciones consideradas

$d_1, d_2, \dots, d_n$  = Distancias desde el punto considerado a cada estación.

### 3.4.1.5. Estimación de los escurrimientos medios superficiales

- **Método Racional**

Para obtener los escurrimientos medios, se utilizó la intersección de capas en el software ArcMap 10.2, de acuerdo a las exigencias del método (Tabla 1), se cruzó la información disponible de permeabilidad del suelo, obtenida del gestor de descargas del PROMSA y las clases de cobertura vegetal del Estudio de Cobertura Vegetal y Uso Actual Del Suelo de la Provincia de Loja, 2014 (Anexo 8), y haciendo uso del MDT se generó las pendientes y se reclasificó (Anexo 9 y 11).

La fórmula racional aplicada para determinar escurrimientos medios es la siguiente:

$$V_m = A C P_m$$

Dónde:

$V_m$  = Volumen medio de agua que puede escurrir ( $m^3$ )

$C$  = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

$P_m$  = Precipitación media mensual (mm)

$A$  = Área de la cuenca (ha)

- **Método del Polinomio Ecológico**

Los coeficientes  $k$ ,  $m$ ,  $n$ , se estimaron en base a la Tabla 2, que en forma ponderada simulan las condiciones de la microcuenca (Anexo 12). La expresión es la siguiente:

$$Q_i = K * A^n (0.70 * P_i + 0.29 * P_{i-1} + 0.01 * P_{i-2})^m$$

Dónde:

$Q_i$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$A$  = Área de la cuenca ( $km^2$ )

$P_i$  = Precipitación mensual del mes actual (mm)

$P_{i-1}$  = Precipitación mensual del mes anterior (mm)

$P_{i-2}$  = Precipitación del mes tras anterior (mm)

$K$ ,  $m$ ,  $n$  = Coeficientes que dependen de las condiciones de las cuencas.

- **Método del Número de Curva**

La estimación del escurrimiento superficial por el método del número de curva, se realizó con la siguiente ecuación:

$$Pe = \frac{\left(P - \frac{508}{N} + 5.08\right)^2}{\left(P + \frac{2032}{N} - 20.32\right)}$$

Dónde:

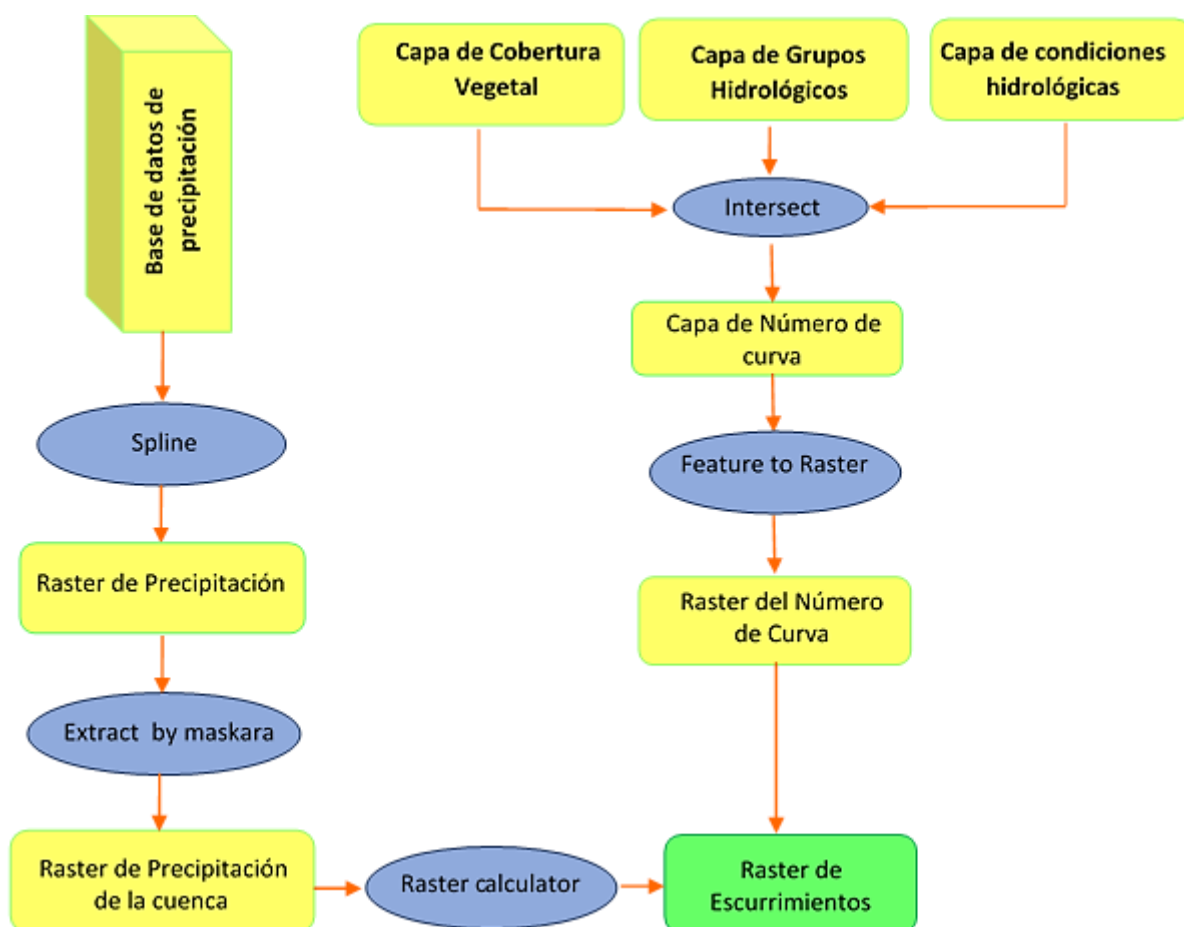
- $Pe$  = Es la precipitación en exceso, en mm (Escorrentía).
- $P$  = Es la precipitación total (mm).

- N= es el número de curva, se lo obtuvo de tablas elaboradas por el Soil Conservation Service (SCS).

En este método, la precipitación efectiva  $P_e$  está en función de la precipitación total  $P$  y de un parámetro de abstracción referido al número de curva o  $N$ , cuyos valores fluctúan entre 1 y 100.

En la Figura 8. se sintetiza el modelo geoespacial utilizado para la generación de escurrimientos indirectos, haciendo uso de los diferentes mapas de cobertura vegetal, grupos hidrológicos del suelo y condiciones hidrológicas, que se utilizaron para realizar la clasificación y sobreposición de capas, en base a las tablas del (Anexo 14, 15); así mismo en el Anexo 10 y 13, se muestra el mapa del número de curva y el número de curva ponderado respectivamente.

Con la finalidad de automatizar los procedimientos se estructuró un procedimiento en SIG que permita determinar directamente el número de curva, en base a los raster de cobertura vegetal, grupos hidrológicos y condiciones hidrológicas (Figura 8).



**Figura 8.** Modelamiento para escurrimientos medios – Método del Número de Curva

### 3.4.1.6. Curva de duración general o permanencia de caudales

Para construir la curva de duración general de caudales de la quebrada San Agustín, durante los 12 meses del año, se empleó el siguiente procedimiento.

- Se ordenó los caudales de mayor a menor ( $Q_{\max} \dots \dots Q_{\min}$ ).
- Se calculó el rango de la muestra ( $R=Q_{\max} - Q_{\min}$ ).
- Seleccionamos el número de intervalo de clase (NC).
- Se determinó la amplitud “ $\Delta X$ ” del intervalo ( $\Delta x= R/NC$ ).
- Determinamos los límites de clase de cada uno de los intervalos y el número de valores comprendidos en cada intervalo.
- Para expresar el % del tiempo se divide el número de meses de superávit para el total de frecuencias y como el caudal es expresado en % representará una probabilidad de ocurrencia del 100%.
- Se graficó la curva, mediante el software de Microsoft Excel, determinando el caudal disponible a una probabilidad del 75 y 80%.

### 3.4.1.7. Curva de variación estacional

Para generar la curva de variación estacional, se siguió el siguiente procedimiento.

- Haciendo uso de los caudales mensuales generados, se ordenó los **n** valores de cada mes (correspondientes a **n** años) en orden descendente.
- Se determinó para cada valor la probabilidad que el evento sea igualado o excedido, para el cálculo de la probabilidad, se utilizó la siguiente ecuación de Hazen.

$$P = \frac{2m - 1}{2n} * 100$$

Donde:

P= Probabilidad en %

m= Número de orden

n = Número de años

### 3.4.1.8. Índice de retención y regulación hídrica

Para su estimación se utilizó la curva de duración general, con la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total.



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

Dónde:

IRH= Índice de retención y regulación hídrica.

VP= Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio.

VT= Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales.

### **3.4.1.9. Aforo de la corriente en el sitio de captación**

Con la finalidad de tener caudales in situ, mediante métodos directos y hacer un contraste entre los escurrimientos estimados por métodos empíricos, se realizaron aforos utilizando el molinete hidráulico, para lo cual se identificó una sección estable y de fácil acceso y se dividió al río en secciones desde la margen izquierda a derecha. El ancho de la sección estuvo entre 0.4 y 1 metro dependiendo del caudal y haciendo la medición en cada sección para posteriormente aplicar las siguientes ecuaciones.

$$V = (0.007 + 0.3345 * n)$$

Cuando  $n \leq 3.328$  rev/seg

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

Cuando  $3.328 < n < 7.084$

Dónde:

V= velocidad del agua en m/s

Constantes= 0.007, 0.3345, -0.013, 0.3403

n= número de revoluciones por segundo

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

$$Q = (A * V)$$

Dónde:

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/s)

A= Área de cada tramo en (m<sup>2</sup>)

V = Velocidad (m/s)

### 3.4.1.10. Estimación de caudales máximos

Previo a determinar caudales máximos en la microcuenca San Agustín, se determinó la precipitación máxima probable en 24 horas para períodos de retorno de 50 y 100 años, definidos en el presente trabajo.

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

Para aplicar este método, fue necesario contar con estadística de precipitación máxima en 24 horas (se tomó el valor máximo anual), del período de estudio (Anexo 19); y la ecuación básica para el ajuste de Gumbel fue la siguiente:

$$X_T = X + \frac{\sigma_x}{\sigma_n} (Y - Y_n)$$

Dónde:

$X_T$  = Valor extremo (máxima en 24 horas) para un período de retorno

$X$  = Valor promedio de los máximos anuales

$Y_n$  y  $\sigma_n$  = Cantidades teóricas que están únicamente en función del tamaño de la muestra

$Y$  = Variable reducida y está en función del período de retorno

Para obtener la precipitación máxima para la cuenca en estudio para cada período de retorno, se utilizó el método de las isomáximas a partir de la precipitación máxima en 24 horas obtenida según Gumbel; y para obtener la intensidad diaria ( $I_{TR}$ ), se calculó al dividir la precipitación máxima para la cuenca para el número de horas del día (24 horas).

Para la intensidad máxima de lluvia, se aplicaron las ecuaciones de intensidades publicadas por el Instituto Nacional de Meteorología e hidrología INAMHI en el documento “estudio de lluvias intensas” del año 1999, donde el país está dividido en diferentes zonas de intensidad, en este caso corresponde a la zona 35.

Las ecuaciones obtenidas por el INAMHI, para la zona 35 y seleccionadas son las siguientes:

$$I_{TR} = 92.854 * t^{-0.4083} Id_{TR}$$

*Ecuación para una duración de 5 – 43 min (La Argelia)*

$$I_{TR} = 480.47 * t^{-0.8489} Id_{TR}$$

*Ecuación para una duración de 43 – 1440 min (La Argelia)*

Dónde:

***ITR***= Intensidad máxima para el período de retorno seleccionado (mm)

***t***= Tiempo de duración de la lluvia; asumido igual al tiempo de Concentración (minutos)

***IdTR***= Intensidad diaria (mm/h)

### 3.4.1.10.2. Métodos utilizados para generar caudales máximos

Se aplicaron dos métodos para determinar caudales máximos, con la finalidad de comparar los resultados y obtener un mayor grado de confiabilidad.

#### 3.4.1.10.2.1. Método de Ven Te Chow

El procedimiento fue el siguiente:

- El número de escurrimiento “N” se calculó de acuerdo al modelamiento, descrito en la Figura 8.
- Se escogió la duración de la tormenta igual al tiempo de concentración y se utilizó la ecuación de Giandotti, descrita en el acápite 3.4.1.3 de Metodología.
- La intensidad máxima de precipitación se calculó de acuerdo a la metodología descrita en el acápite 3.4.1.10.1 de Metodología.
- Se calculó la lluvia de diseño (P), es la precipitación máxima calculada para tormentas de diseño, la tormenta de diseño se expresa en cm.  $P = (T_c * I_{TR}) / 10$
- Con el valor de N y la precipitación máxima p, se calculó la precipitación en exceso (Pe) con la ecuación descrita en el acápite 2.3.4.1 de la revisión bibliográfica.
- El factor de escurrimiento “X”, se determinó con la relación  $Pe/d$ .
- La duración de la lluvia “d”, se consideró igual al tiempo de concentración.
- Con la ecuación  $Y = 2.78 * P/P_b$  se determinó el denominado factor climático, en este caso se considera que  $P/P_b = 1$ , en razón de que el cálculo es directo para cada zona, es decir **Y= 2.78**.
- El tiempo de retraso, se calculó con la ecuación de Chow, como:

$$T_p = 0.00505 * \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64}$$

Dónde:

L= Longitud del cauce principal (m).

S= Pendiente media del cauce (%).

- Con la relación  $d/T_p$  se determinó el valor de Z, con las siguientes ecuaciones.

$$\text{Cuando } d/T_p \text{ está entre } 0.05-0.4 \quad Z = 0.73 * \left(\frac{d}{T_p}\right)^{0.97}$$

$$\text{Cuando } d/T_p > 0.4 < 2 \quad Z = 1.89 \left(\frac{d}{T_p}\right)^{0.23} - 1.23$$

- Con la ecuación  $Q_m = A * X * Y * Z$  se calcula el caudal máximo (Anexo 24)

### 3.4.1.10.2.2. Hidrograma unitario triangular (SCS)

El hidrograma unitario triangular propuesto por el Soil Conservation Service “SCS”, produce resultados aceptables cuando se utiliza en cuencas pequeñas y su aplicación es sencilla, la cual se explica a continuación.

- El caudal pico de creciente se calculó con la expresión.

$$Q_p = P_e * \left(\frac{0.208 * A}{T_p}\right)$$

Donde:

$Q_p$ = Caudal pico ( $m^3/s$ )

$P_e$ = Lluvia neta (mm)

A= Área de drenaje ( $km^2$ )

- Tiempo pico de hidrograma unitario.

$$T_p = L + \frac{D}{2}$$

Dónde:

D= Duración del aguacero, es aproximadamente igual al tiempo de concentración (horas)

L= Tiempo de retardo, el cual se calcula con la relación  $L = 0.6 * t_c$

- Tiempo de concentración según la ecuación de Kirpich, descrita en el acápite 3.4.1.3 de Metodología.

### **3.4.2. Análisis de la demanda de agua de los cultivos en la zona de riego.**

#### **3.4.2.1. Catastro del sistema de riego**

Con la información del catastro del área de influencia de sistema de riego, facilitada por el MAGAP y la ortofoto del Cantón Catamayo se realizaron los siguientes pasos para actualizar el catastro.

- Recopilación de información del número de usuarios de las juntas sectoriales con su área respectiva.
- Georreferenciación de los límites de las juntas sectoriales, mediante GPS en colaboración con el canalero del sistema de riego Sr. Pablo Torres y el presidente de la junta sectorial La Capilla Sr. Manuel Ruiz.
- Contraste de información entre los predios o lotes que están dentro del sistema de riego con la lista general de usuarios; con la finalidad de validar los predios con derecho a riego y actualizar la lista de usuarios.
- Recorrido por cada Junta Sectorial del sistema, con la finalidad de identificar el patrón de cultivos.

#### **3.4.2.2. Selección de las estaciones climáticas consideradas para el estudio**

Esta información se obtuvo de los anuarios meteorológicos generados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología “INAMHI”, de las siguientes estaciones meteorológicas: La Argelia, Catamayo, Malacatos, Gonzanamá y Cariamanga.

#### **3.4.2.3. Precipitación Media Mensual en la zona de riego**

Para el caso de la zona de riego, se recopiló la información de precipitación media mensual (período 1981-2012), de las estaciones consideradas para el estudio de los requerimientos hídricos de los cultivos existentes en la zona de riego.



**Figura 9.** Estaciones consideradas

La estimación de la precipitación media para la zona de riego se realizó con el método de las isoyetas, generadas para cada uno de los meses del año.

Con la finalidad de obtener una estadística de precipitación media mensual para la zona de riego, se generó un coeficiente de corrección entre la precipitación media mensual generada con el método de las isoyetas y la precipitación media mensual de la estación que presenta mayor relación climática como es la estación de Malacatos (Tabla 24 y 25).

#### **3.4.2.4. Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto)**

El cálculo de la Eto para la zona de riego, se determinó con el Método Penman-Monteith para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

- Se recopiló y consolidó la información base de los principales meteoros como son: Temperatura máxima y mínima (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (km/día) y heliofanía mensual (horas), para un período de 23 años (1990-2012); de las estaciones consideradas en el estudio; cabe indicar que se eligió la estación de Cariamanga, debido a que no hay datos publicados a partir del año 2 000 de la estación de Gonzanamá.

- Se determinó la Evapotranspiración del cultivo de referencia, haciendo uso del software Cropwat 8.0, para cada una de las estaciones antes indicadas.
- Para determinar la Eto, para la zona de riego, considerando el modelo de elevación digital del terreno, se tomó como referencia el artículo publicado por *Agricultural and Forest Meteorology*.
- Se determinó la evapotranspiración de referencia, para una determinada altitud, en este caso se eligió 800 metros de altitud, considerando que el punto más bajo del MDT, se encuentra a esa altitud, la ecuación utilizada es la siguiente:

$$ET_{o\ Det} = ET_{0\ mens} + (R (Z_{Det} - Z_{estación}))$$

**Donde:**

$ET_{o\ Det}$ = Evapotranspiración de referencia mensual a una determinada elevación.

$ET_{0\ mens}$ = Evapotranspiración de referencia mensual de la estación considerada.

R= Coeficiente de correlación.

$Z_{Det}$ = Determinada elevación para las estaciones consideradas.

$Z_{est}$ = Elevación de la estación.

- Se graficó la elevación de cada estación, con la evapotranspiración de referencia, obtenida mediante el software Cropwat 8.0 correspondiente a cada mes; y se determinó el coeficiente de correlación R.
- Lo que se pretende estimar con la evapotranspiración de referencia a una determinada altitud, es conocer cuál sería esos valores si las estaciones estarían a 800 metros de altitud.
- Haciendo uso del software ArcMap 10.2 y de la extensión Spatial Analyst Tools -IDW, se interpolaron los valores y se generaron los raster para cada uno de los meses.
- Para determinar la evapotranspiración de referencia en base al modelo de elevación digital, se utilizó la siguiente ecuación.

$$ET_{o\ x,y} = ET_{o\ Det} + (R (Z_{(X,Y)}^{DEM} - Z_{Det}))$$

**Donde:**

$ET_{o\ x,y}$ = Evapotranspiración de referencia mensual, a la altitud del DEM.

$ET_{o\ Det}$ = Evapotranspiración de referencia mensual a una determinada elevación.

R= Coeficiente de correlación.

$Z_{DEM}$ = Elevación del DEM.

$Z_{Det}$ = Determinada elevación para las estaciones consideradas.

- Para generar los raster y aplicar la ecuación antes descrita, se utilizó la extensión Spatial Analyst Tools – Raster Calculator.

### 3.4.2.5. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (Etc)

Para determinar la  $ET_c$ , previamente se obtuvieron los valores de  $K_c$  de la FAO 56 que considera cuatro fases de desarrollo; inicial, desarrollo, mediados de período y finales del período (Tabla 9). Sin embargo, para obtener el coeficiente promedio mensual, se construyó la curva  $k_c$ , que se grafica en el eje de las abscisas la escala del tiempo, y en eje de las ordenadas los valores de  $K_c$ .

Después de graficar el polígono abierto del  $k_c$  vs fases fenológicas, se generó una línea suavizada que permita representar la curva real del  $K_c$ , y con un intervalo de 15 días se obtuvieron los valores representativos para cada mes; y para determinar la  $ET_c$  se aplicó la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Dónde:

$ET_c$ = Evapotranspiración de los cultivos (mm/mes)

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

$K_c$ = coeficiente de cultivo, (adimensional)

**Tabla 9.** Datos del cultivo

Cultivo	Etapas Crec	Duración Días	Coef. Cult Kc	Pef = 70% Pt (mm)	Nivel Agot. (fracción)
<b>Maíz</b>	Inicial	25	0.7	525	0.40
	Desarrollo	40	---		
	Mediados	45	1.2		
	Final	30	0.6		
<b>Yuca</b>	Inicial	150	0.3	525	0.40
	Desarrollo	40	---		
	Mediados	110	1		
	Final	60	0.5		
<b>Pasto</b>	Inicial	10	0.4	500	0.50
	Desarrollo	15	---		
	Mediados	75	1.05		
	Final	35	0.85		
<b>Maracuyá</b>	Inicial	90	0.9	350	0.40



	Desarrollo	90	---		
	Mediados	90	1.2		
	Final	90	0.7		
<b>Limón</b>	Inicial	60	0.75		
	Desarrollo	90	---	600	0.50
	Mediados	120	0.8		
	Final	95	0.7		
<b>Zarandaja</b>	Inicial	30	0.4		
	Desarrollo	40	---	525	0.40
	Mediados	50	1.15		
	Final	30	0.55		
<b>Frejol</b>	Inicial	20	0.4		
	Desarrollo	30	---	400	0.40
	Mediados	40	1.15		
	Final	20	0.55		
<b>Caña</b>	Inicial	30	0.4		
	Desarrollo	50	---	700	0.50
	Mediados	180	1.25		
	Final	60	0.75		
<b>Pepino</b>	Inicial	25	0.6		
	Desarrollo	35	---	450	0.25
	Mediados	50	1		
	Final	20	0.75		
<b>Huerto</b>	Inicial	60	0.75		
	Desarrollo	90	---	600	0.50
	Mediados	120	0.8		
	Final	95	0.7		
<b>Tomate</b>	Inicial	35	0.6		
	Desarrollo	45	---	525	0.25
	Mediados	60	1.15		
	Final	30	0.7		
<b>Hierva Luisa</b>	Inicial	10	0.4		
	Desarrollo	15	---	600	0.50
	Mediados	75	1.05		
	Final	35	0.85		
<b>Pimiento</b>	Inicial	35	0.51		
	Desarrollo	21	---	450	0.25
	Mediados	45	1.01		
	Final	90	0.85		
<b>Zanahoria</b>	Inicial	20	0.7		
	Desarrollo	30	---	500	0.30
	Mediados	50	1.05		
	Final	20	0.95		
<b>Frutales</b>	Inicial	60	0.75		
	Desarrollo	90	---	600	0.50
	Mediados	120	0.8		
	Final	95	0.7		
<b>Arveja</b>	Inicial	20	0.5		
	Desarrollo	30	---	500	0.4
	Mediados	35	1.15		
	Final	15	0.3		

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

### **3.4.2.6. Requerimientos de Riego**

Una vez obtenida la precipitación media ajustada para la zona de riego y haciendo usos del software Cropwat 8.0, se determinó la precipitación efectiva el mismo que utiliza las ecuaciones descritas en el acápite 2.6.1 de bibliografía. Y con la siguiente expresión se determinó los requerimientos hídricos.

$$RR = (ETc - Peff)$$

**Dónde:**

RR= Requerimiento Hídrico del cultivo (mm/mes)

ETc= Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

Peff= Precipitación efectiva (mm/mes)

Finalmente, se calculó el volumen de agua mensual para irrigar los cultivos, considerando que 1 mm de lluvia es igual a 10 m<sup>3</sup>/ha. Seguidamente se seleccionó el mes de mayor requerimiento hídrico de acuerdo al patrón de cultivos y se obtuvo el caudal continuo por hectárea y considerando las eficiencias en métodos de riego se obtuvo el caudal característico; y, este caudal multiplicado por el número de hectáreas del sistema de riego se obtuvo el mayor caudal demandante para cada método de riego.

### **3.4.3. Elaborar una propuesta preliminar de programación del riego, en base al patrón de cultivos establecido.**

Las propiedades hidrofísicas de los suelos agrícolas, permiten implementar métodos de riego de manera correcta y adecuada, que respondan a las propiedades hidráulicas del suelo; y, conociendo de que la textura es el factor que más influye en la retención de agua, aireación y drenaje, entre otras propiedades según la FAO 1998 y Valarezo et al 1999.

En el presente trabajo se creó conveniente partir del conocimiento de la textura de los suelos del sistema de riego y del estudio de suelos realizado por el ex INERHI en 1981, que en forma espacial nos brinde la posibilidad de planificar y establecer los cultivos y métodos de riego que mejor respondan a estas clases texturales.

#### **3.4.3.1. Constantes hidrofísicas de los suelos, mediante la textura**

La técnica básica que se utilizó en el campo fue la toma directa de muestras, que se realizó en cuadrícula con puntos cada 400 metros en toda la zona de riego, la malla de puntos se obtuvo mediante el software ArcMap 10.2. Esta toma es recomendada por el INTA de Argentina, ya que permite la interpolación de datos y la elaboración de mapas.

Una vez establecidos los puntos con sus coordenadas, se recorrió la zona de riego con un GPS, en total se tomaron 30 muestras disturbadas y distribuidas en la zona de riego; Sectorial San Agustín con 6 muestras, Sectorial La Era 7 muestras, Sectorial Sobrinopamba 9 muestras, y Sectorial La Capilla-San Bernabé con 8 muestras (Anexo 28).

Con el barreno se tomó una muestra disturbada a 20 cm de profundidad en el suelo, con aproximadamente 200 gramos de peso; una vez obtenidas todas las muestras se procedió a transportarlas al Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja, para su respectivo análisis, mediante el método conocido como Buyucus o método del hidrómetro.

Para las juntas sectoriales: San Agustín y Capilla San Bernabé, se utilizó el mapa de textura, considerando la clase textural que mayor superficie representa para cada cultivo, y los porcentajes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, fueron estimados con la Tabla 4 descrita en el acápite de bibliografía. Mientras que para las juntas sectoriales La Era y Sobrinopamba, se utilizó el estudio de suelos, realizado por el ex INERHI (1981).

### **3.4.3.2. Estudio de suelos con fines de riego**

El estudio de suelos fue realizado, por el ex Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI). Dentro del área del proyecto se reconocieron 5 series de suelos, clasificados dentro de los órdenes Entisol, Inceptisol y Alfisol.

#### **3.4.3.2.1. Serie Casharuro (A 1111)**

- *Superficie:* 63.6 ha
- *Clasificación taxonómica:* Udic hplaustalf arcilloso muy fino isothermico.
- *Localización:* Comprende un amplio sector alrededor de localidad La Era y dos pequeñas áreas junto a la línea del canal al norte y noreste del sistema, ver Figura 22.
- *Relieve:* Los suelos son de relieve colineado, con pendiente que varía entre 20 y 30 %.
- *Características de la serie:*
  - a) Perfil del suelo profundo (1.60 m y más).
  - b) Se identifica un horizonte Ah, Bt y C, de textura franco arcillosa a arcillosa con influencia de gravas en capas profundas.
- *Clasificación agrológica con fines de riego:* Las tierras de la unidad se incluyen en la clase 3, caracterizadas por un suelo profundo, texturas arcillosas influenciadas por grava

en porcentaje bajos, drenaje excesivo y un relieve colinado. A nivel de subclase se identifica como 3sdt.

**Tabla 10.** Análisis físico de suelos, realizado por el ex INERHI 1981, serie Casharuro.

Perfil N°- 1                      Sitio: Propiedad del Sr. Félix Guerrero                      Topografía: Colinada  
 Posición Fisiográfica: Vertiente baja                      Pendiente General: 20 %  
 Clasificación: Udic hplaustalf arcilloso muy fino isotérmico

ANÁLISIS FÍSICO					
Profundidad (cm)		0 - 14	14 - 42	42 - 83	83 - 120
Denominación del Horizonte		Ap	Bt1	Bt2	C
Análisis	Arena (%)	22	20	18	26
	Limo (%)	24	18	20	20
Mecánico	Arcilla (%)	54	62	62	54
	Textura	Ar	Ar	Ar	Ar
Capacidad de Campo (%)		23.36	31.52	39.39	35.57
Punto de Marchitez (%)		12.70	17.13	21.41	19.33
Agua Aprovechable (%)		10.66	14.39	17.98	16.24
Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )			1.12		

**Nota:** Estudio de suelos INERHI

#### 3.4.3.2.2. Serie Jorupe (A 1112)

- *Superficie:* 90.0 ha
- *Clasificación taxonómica:* Typic ustropept franco fino isothermico .
- *Localización:* Ocupa un amplio sector, situada al norte del proyecto junto a la quebrada Infiernillo y Loma Granchiloma, otra pequeña área se encuentra en la parte alta paralela a la quebrada de San Agustín, ver Figura 22.
- *Relieve:* La forma de relieve es irregular, con la presencia intercalada de pequeña lomas y áreas depresionales; pendiente que varía entre 20 y 30 %.
- *Características de la serie:*
  - a) Suelos medianamente profundos (0.4 - 0.7 m), con horizontes Ap, Bs y C, limitados por estratos pedregosos y grava fina.
- *Clasificación agrológica con fines de riego:* La mayor área de los suelos, se han incluido dentro de la clase 4, caracterizada por tener un relieve colinado con pendientes de 20 y 30 %, texturas franco arcillosas con influencia de grava, drenaje excesivo a interno restringido. A nivel de subclase corresponde a 4sdt.

**Tabla 11.** Análisis físico de suelos, realizado por el ex INERHI 1981, serie Jorupe.

Perfil N°- 2                      Sitio: San Bernabé                      Topografía: Colinada  
 Posición Fisiográfica: Vertiente baja                      Pendiente General: 20 %  
 Clasificación: Typic ustropept franco fino isothermico

ANÁLISIS FÍSICO				
Profundidad (cm)		0 - 23	23 - 48	48 - 120
Denominación del Horizonte		Ap	Bs	C
Análisis	Arena (%)	38	42	46
	Limo (%)	26	24	28
Mecánico	Arcilla (%)	36	34	26
	Textura	FoAr	FoAr	Fo
Capacidad de Campo (%)		25.94	25.27	22.62
Punto de Marchitez (%)		14.10	13.74	12.29
Agua Aprovechable (%)		11.84	11.53	10.33
Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )		1.41		

**Nota:** Estudio de suelos INERHI

### 3.4.3.2.3. Serie La Era (A 112)

- *Superficie:* 62.9 ha
- *Clasificación taxonómica:* Typic ustropept arcilloso muy fino isothermico.
- *Localización:* Se ubica en dos sectores, al norte junto a la población de La Era y frente a la quebrada San Agustín, ver Figura 22.
- *Relieve:* El relieve es fuertemente ondulado de forma irregular, con pendientes que oscilan entre 12- 40%.
- *Características de la serie*
  - a) Perfil profundo (1 m y más), de textura arcillosa.
  - b) Se identifica horizontes Ad y bs, estructurados en bloques subangulares, medianos, moderada; consistencia en húmedo firme, y adherente plástica en húmedo.
- *Clasificación agrológica con fines de riego:* Todos los suelos de la serie pertenecen a la clase 3, caracterizados por un perfil profundo, texturas arcillosas, excesivamente drenados externamente e internamente moderado, y una topografía fuertemente ondulada con pendientes del 12 al 20 %; a nivel de subclase se incluye en 3dt y 3sdt.

**Tabla 12.** *Análisis físico de suelos, realizado por el ex INERHI 1981, serie La Era.*

Perfil N°- 5      Sitio: A 200 m al norte del río S. Agustín      Topografía: Fuertemente ondulada

Posición Fisiográfica: Vertiente baja

Pendiente General: 20 %

Clasificación: Typic ustropept arcilloso muy fino isothermico.

ANÁLISIS FÍSICO				
Profundidad (cm)		0 - 25	25 - 43	43 - 71
Denominación del Horizonte		Ah	Bs	C1
Análisis Mecánico	Arena (%)	14	12	12
	Limo (%)	23	19	25
	Arcilla (%)	63	69	63
	Textura	Ar	Ar	Ar
Capacidad de Campo (%)		38.34	34.51	32.51
Punto de Marchitez (%)		20.84	18.76	17.67
Agua Aprovechable (%)		17.50	15.75	14.84
Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )			1.28	

**Nota:** Estudio de suelos INERHI

#### 3.4.3.2.4. Serie Algarrobillo (A 12)

- *Superficie:* 74.4 ha
- *Clasificación taxonómica:* Lithic ustorthent franco fino isothermico
- *Localización:* La mayor parte de la unidad está formando una franja angosta próxima a la plataforma del canal de riego, otras áreas se encuentran cercanas a las quebradas al noreste del sistema, ver Figura 22.
- *Relieve:* Esta unidad ocupa las vertientes altas, con un relieve fuertemente socavado, con pendientes mayores al 50 %.
- *Características de la serie:*
  - c) Suelos muy poco profundos (menos de 40 cm), delimitados por la presencia de piedras o roca parcialmente meteorizada.
  - d) Predomina la textura franco arcillosa asociada con piedras, de hasta 5 cm de diámetro, en porcentajes mayores al 50 %.
- *Clasificación agrológica con fines de riego:* Las tierras de la unidad se clasifican en la clase 6; caracterizada por un perfil poco profundo (- 40 cm), texturas franco arcillosas asociadas con piedras, pendientes mayores al 50 % y drenaje excesivo.

**Tabla 13.** *Análisis físico de suelos, realizado por el ex INERHI 1981, serie Algarrobillo.*

Perfil N°- 8                      Sitio: Prop. del Sr. Salvador Armijos      Topografía: Fuertemente Socavada  
 Posición Fisiográfica: Vertiente alta                                      Pendiente General: más del 50 %  
 Clasificación: Lithic, ustorthent, franco fino skeletal isothérmico

<b>ANÁLISIS FÍSICO</b>		
Profundidad (cm)	0 - 17	
Denominación del Horizonte	Ah	
Análisis	Arena (%)	36
	Limo (%)	32
Mecánico	Arcilla (%)	32
	Textura	FoAr
Capacidad de Campo (%)	33.49	
Punto de Marchitez (%)	18.20	
Agua Aprovechable (%)	15.29	
Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )		

**Nota:** Estudio de suelos INERHI

#### **3.4.3.2.5. Serie San Agustín (A 2)**

- *Superficie:* 9.6 ha
- *Clasificación taxonómica:* Fluventic ustropept franco fino isothermico
- *Localización:* Esa unidad se halla en el extremo sur del área del proyecto, próxima al río San Agustín, ver Figura 22.
- *Relieve:* Esta unidad forma un pequeño valle de relieve plano con pendientes de 2–4 %.
- *Características de la serie:*
  - e) Suelos con un desarrollo genético incipiente en sus horizontes, se identifica un horizonte cámbico.
  - f) Suelos muy profundos (más de 1.5 m).
- *Clasificación agrológica con fines de riego:* Las tierras se clasifican en la clase 2, sub clase 2s; caracterizada por una profundidad de más de 1.5 m, texturas en las que predomina la fracción arcilla pendientes de 2 – 4 % y drenaje moderado.

**Tabla 14.** *Análisis físico de suelos, realizado por el ex INERHI 1981, serie San Agustín.*

Perfil N°- 6                      Sitio: San Agustín    Topografía: Plana  
 Posición Fisiográfica: Valle aluvial    Pendiente General: 2 - 4 %  
 Clasificación: Fluventic ustropept franco fino, isothérmico

ANÁLISIS FÍSICO						
Profundidad (cm)	0 - 23	23 - 44	44 - 68	68 - 94	94 - 130	
Denominación del Horizonte	Ah	Bs1	Bs2	C1	2C2	
Análisis Mecánico	Arena (%)	27	28	34	40	60
	Limo (%)	35	31	37	33	25
	Arcilla (%)	38	41	29	27	15
	Textura	FoAr	Ar	FoAr	Fo-FoAr	FoAo
Capacidad de Campo (%)	34.21	32.1	28.3	33.11	22.31	
Punto de Marchitez (%)	18.59	17.45	15.38	18	12.12	
Agua Aprovechable (%)	15.62	14.65	12.92	15.11	10.19	
Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.03					

**Nota:** Estudio de suelos INERHI

### **3.4.3.3. Factores prácticos utilizados en la programación del riego**

Con la finalidad de elaborar un calendario de riego se consideraron algunos aspectos técnicos que se detallan a continuación.

El patrón de cultivos establecido, se elaboró considerando el mayor % de superficie que representan, y que dichos cultivos respondan con una mayor productividad a los métodos de riego y a las propiedades hidrofísicas de los suelos; es así que para la Junta Sectorial San Agustín se planificó con tres cultivos (tomate, pepino, y pimiento) y un método de riego por goteo, para la Junta Sectorial La Era se propuso los cultivos de hierba luisa y maíz, con un método de riego por aspersión; y, para el cultivo de maracuyá método de riego por gravedad. Para la Junta Sectorial Sobrinopamba los cultivos de Frutales y pasto con riego por aspersión; y, para el cultivo de caña, riego por gravedad. Para la Junta Sectorial La Capilla-San Bernabé se consideraron los cultivos de fréjol y zarandaja con riego por gravedad y el cultivo de yuca con riego por aspersión.

Los requerimientos de riego, se calcularon de igual forma que en el objetivo dos, acápite 3.4.2.6 de metodología y con el mes de mayor demanda se calculó el caudal continuo para cada junta sectorial con su respectiva área.

El caudal característico se determinó en base a dos tipos de eficiencias consideradas la eficiencia de conducción y la eficiencia de aplicación, para cada cultivo (Tabla 15).



El caudal de diseño modular, se determinó con la siguiente expresión.

$$Q_d = \frac{q_p}{F_o}$$

Dónde:

$q_p$  = Caudal permanente

$F_o$  = Factor de operación.

El caudal permanente resulta de la relación del caudal característico por la superficie del módulo.

$$q_p = q_c * S_r$$

El Factor de operación se calcula con la expresión:

$$F_o = \frac{C.R}{F.r} * \frac{N^\circ \text{ Horas de riego}}{N^\circ \text{ Horas del día}}$$

Donde:

C.R = Criterio de Riego (días)

F.r = Frecuencia de Riego (días)

De acuerdo a las frecuencias obtenidas (Tabla 37), para cada cultivo en el sistema de riego, se eligieron dos frecuencias de riego, cada 3 días para la Junta Sectorial San Agustín, y para las demás juntas sectoriales una frecuencia cada 6 días.

Una vez obtenido el caudal para cada módulo, se dividió el área modular en dos sub áreas tratando que sean lo más igual posible; con el caudal modular, dividido para el área sub modular, se obtuvo un caudal sub modular que maneje el productor para ½ del tiempo del criterio de riego considerado; y, finalmente con este caudal y el criterio de riego se elaboró el calendario de riego. Todos estos datos fueron manejados en una hoja electrónica de Excel, con la finalidad de enlazar la información y hacer comparaciones entre diferentes eficiencias de aplicación y superficies de riego.

**Tabla 15.** *Criterios de riego*

<b>CULTIVO</b>	<b>Método de Riego</b>	<b>Eficiencia de aplicación</b>	<b>Eficiencia de conducción</b>	<b>Criterio de Riego</b>	<b>Frecuencia de Riego</b>
<b>Tomate</b>	Goteo	0.90	0.9	1	3
<b>Pepino</b>	Goteo	0.90			
<b>Pimiento</b>	Goteo	0.90			
<b>Maíz</b>	Aspersión	0.75	0.9	2	6
<b>Hierba Luisa</b>	Aspersión	0.75			
<b>Maracuyá</b>	Gravedad	0.60			
<b>Frutales</b>	Aspersión	0.75			
<b>Caña</b>	Gravedad	0.6			
<b>Pasto</b>	Aspersión	0.75			
<b>Frejol</b>	Gravedad	0.60			
<b>Zarandaja</b>	Gravedad	0.60			
<b>Yuca</b>	Aspersión	0.75			

**Nota:** Elaborado por el autor.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. DISPONIBILIDAD DE AGUA, EN LA QUEBRADA SAN AGUSTÍN, HASTA EL SITIO DE CAPTACIÓN PARA EL SISTEMA DE RIEGO LA ERA.**

En el presente objetivo se empezó con el análisis morfométrico de la cuenca, debido a que estos factores constituyen un indicador de las condiciones de recepción y escurrimiento de las aguas que caen por precipitación y que forman la red hídrica. Seguidamente se analizó los caudales medios de diseño, utilizando métodos indirectos como el método racional, método del polinomio ecológico y el método del número de curva, con una comparación con los aforos realizados en situ. La determinación de caudales máximos para un tiempo de retorno de 50 y 100 años, con la importancia de analizar los efectos que puede producir una crecida en una infraestructura hidráulica.

#### **4.1.1. Análisis morfométrico de la microcuenca**

La caracterización morfométrica se realizó a partir del Modelo Digital del Terreno; todos los parámetros que a continuación se presentan nos ayudan a tener una idea del comportamiento hidrológico de la microcuenca en estudio.

#### **4.1.2. Parámetros de forma**

La cuenca de aporte de agua tiene una superficie de 29.2 km<sup>2</sup>, que según el criterio de Chow (1994), se considera como cuenca pequeña y según el INEFAN (1995), como microcuenca; el coeficiente de compacidad de Gravelius es de 1.15 con tendencia a ser redonda a oval-redonda y se ratifica con el índice de forma de 0.59 que se interpreta como moderadamente achatada, lo que significa que la presente cuenca es propensa a crecidas rápidas y de importante magnitud. Estos resultados, se diferencian con la forma de la microcuenca La Capilla, donde se determinó, un coeficiente de compacidad de 1.5 y se interpretó como alargada (González, 1997).

El punto más alto de la cuenca se ubica en la cota 3 030 msnm, en el cerro Uritusinga y el punto más bajo se ubica en la bocatoma del sistema de riego en la cota 1 665 msnm, con un desnivel de 1 365 m.

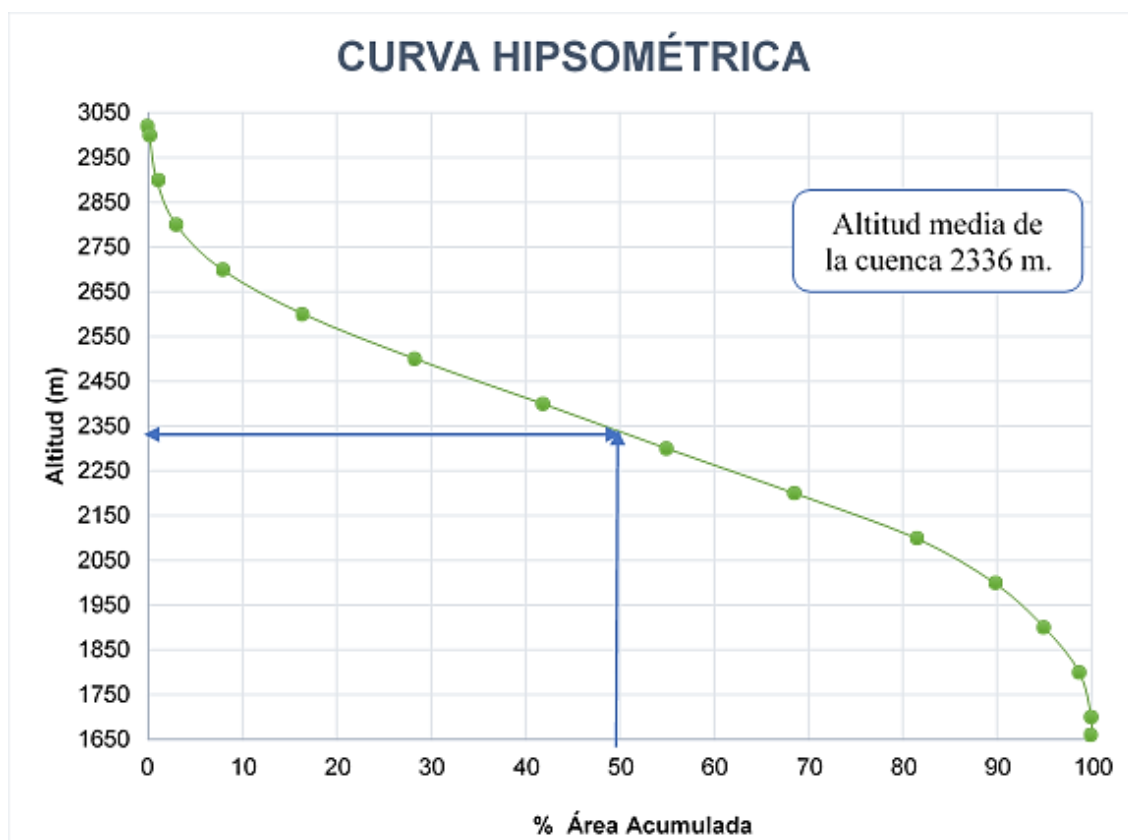
### 4.1.3. Parámetros de relieve

La topografía es irregular y predominan las pendientes fuertes (46.8 %), lo que influye en los escurrimientos superficiales y la capacidad de retención; la altitud media de la cuenca es de 2 336 msnm, valor obtenido mediante la interpretación de la curva hipsométrica y según la forma de la curva (Figura 10) indica que es una cuenca en equilibrio que representa una cuenca geológicamente madura.

### 4.1.4. Parámetros relativos a la red de drenaje

Con respecto a los parámetros relativos a la red de drenaje, presenta una densidad de drenaje de 1.4 km/km<sup>2</sup>, que según el criterio de Horton representa un moderado drenaje, la longitud del cauce principal es de 8.29 km con una pendiente de 21.3 %, lo que determina en el tiempo de concentración según Kirpich de 0.67 y según Giandotti 0.88 horas, tiempo aproximado que tarda una gota de lluvia desde el punto más alejado hasta la bocatoma.

La densidad de corrientes es de 1.51 corrientes/km<sup>2</sup>, por lo que es probable que los suelos sean relativamente permeables con fuertes relieves y superficies con poca cobertura vegetal. Esto se ratifica con el mapa de cobertura vegetal, donde predomina los pastos con 63%.



**Figura 10.** Curva hipsométrica

#### 4.1.5. Precipitación media de la cuenca

En la siguiente tabla, se presentan los valores de precipitaciones medias plurimensuales generadas por dos métodos, para la microcuenca San Agustín.

**Tabla 16.** Factor de corrección, entre el método de las Isoyetas y el método del National Weather Service

Precipitaciones medias mensuales-plurimensuales estimadas por el método de las Isoyetas y el método del National Weather Service													
Método/Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PPA
Isoyetas	85.5	127.8	143.1	98.6	56.4	32.4	27.3	23.9	28.8	68.2	65.6	85.4	<b>843.0</b>
National Weather Service	95.0	137.9	151.6	106.9	62.1	43.4	39.1	32.6	36.1	75.6	73.3	95.5	<b>949.1</b>
Factor de corrección													<b>0.89</b>

Analizando la Tabla 16, se puede observar una diferencia medianamente significativa entre las medias anuales estimadas por los dos métodos, en el caso del método del National Weather Service, estima valores de precipitación mensual por encima de los valores estimados por el método de las isoyetas, esto se debe a que dicho método toma como variable principal la distancia que tiene el centro de gravedad de la cuenca con las estaciones consideradas, es decir, mientras más proximidad tengan las estaciones consideradas, mayor influencia tendrán. La estación de Cajanuma es la más cercana y por ende la que mayor influencia presenta.

Con la finalidad de generar una estadística de precipitación mensual se planteó un factor de corrección que permita asemejar dichos resultados. El factor de corrección, se generó entre la precipitación media anual estimada por el método de las isoyetas y la precipitación media anual obtenida por el método de Weather Service Tabla 16.

Con respecto a la Tabla 17 y Anexo 7, las mayores precipitaciones se registran entre los meses de diciembre y abril, período considerado como lluvioso, además que la precipitación de estos 5 meses representa el 62 % del total anual (843 mm), el período seco está definido entre mayo y noviembre siendo agosto el mes con menor precipitación 28.9mm.

El análisis espacial – temporal de precipitación se presenta en la Figura 11, en el cual se puede observar la distribución de la precipitación, donde se deduce que los sectores con mayor precipitación son Las Achiras y la Argentina.

**Tabla 17.** Precipitación media mensual generada para la microcuenca San Agustín (mm)

Pm mensual (Método del National Weather Service * 0.89)													
Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
<b>Media</b>	<b>84.4</b>	<b>122.4</b>	<b>134.7</b>	<b>95.0</b>	<b>55.2</b>	<b>38.6</b>	<b>34.7</b>	<b>28.9</b>	<b>32.0</b>	<b>67.2</b>	<b>65.1</b>	<b>84.8</b>	<b>843.0</b>



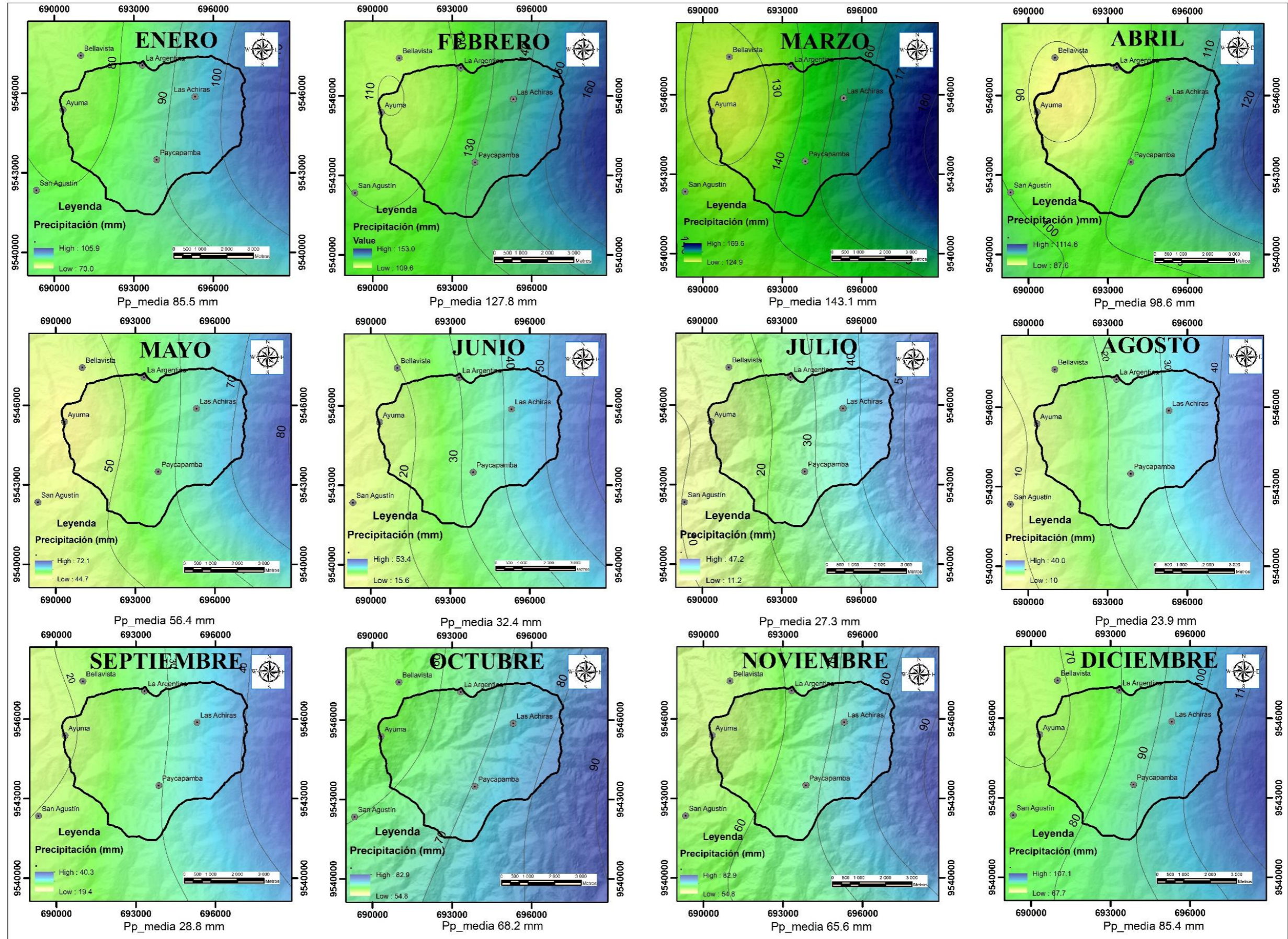


Figura 11. Distribución espacial-temporal de la precipitación de la microcuenca San Agustín



#### 4.1.6. Estimación de los Escurrimientos medios mensuales

Al no existir una estación hidrométrica, los caudales medios mensuales fueron generados mediante métodos indirectos como, el método racional, método del polinomio ecológico y el método del Soil Conservation Service de los Estados Unidos. Cabe indicar que el valor dado para el número de curva (N), se calculó en la presente investigación para una condición de humedad antecedente normal. Los resultados de cálculo, se presentan en los Anexos, 11, 12 y 13, para los métodos, Racional, Polinomio Ecológico y Número de escurrimiento (SCS), respectivamente.

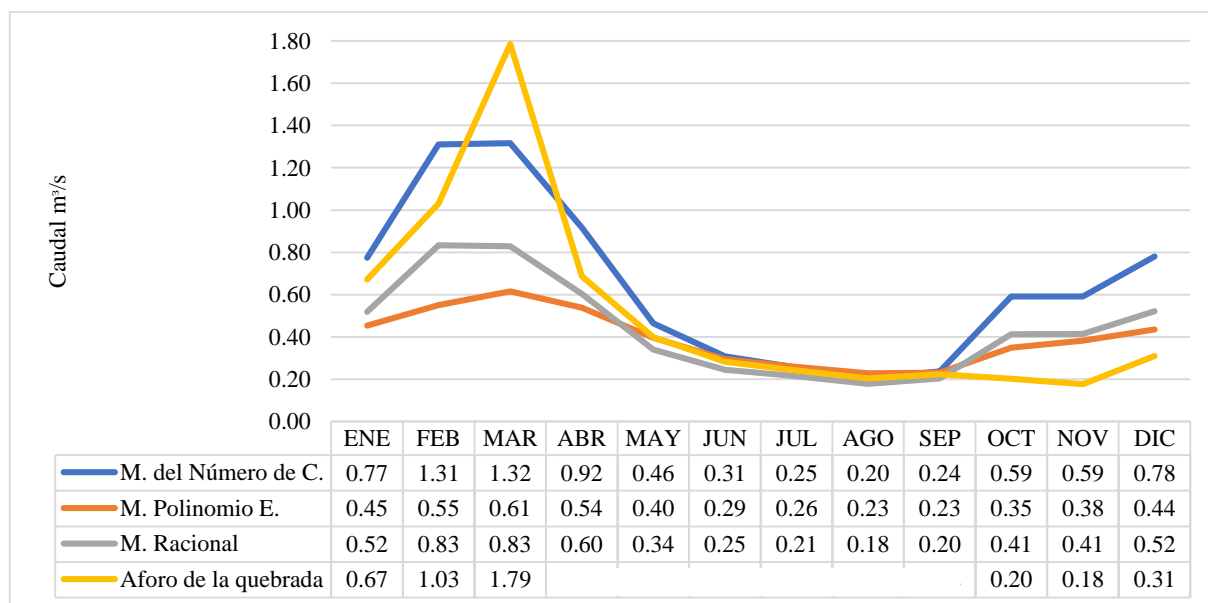
Luego de haber aplicado los métodos propuestos, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 18.** Caudal medio mensual generado por los métodos empíricos ( $m^3/s$ )

Meses	Racional	Polinomio Ecológico	Soil Conservation Service
<b>Enero</b>	0,52	0,45	0,77
<b>Febrero</b>	0,83	0,55	1,31
<b>Marzo</b>	0,83	0,61	1,32
<b>Abril</b>	0,60	0,54	0,92
<b>Mayo</b>	0,34	0,40	0,46
<b>Junio</b>	0,25	0,29	0,31
<b>Julio</b>	0,21	0,26	0,25
<b>Agosto</b>	0,18	0,23	0,20
<b>Septiembre</b>	0,20	0,23	0,24
<b>Octubre</b>	0,41	0,35	0,59
<b>Noviembre</b>	0,41	0,38	0,59
<b>Diciembre</b>	0,52	0,44	0,78
<b>Total</b>	5,31	4,73	7,75
<b>Media</b>	0,27	0,24	0,39
<b>Desv. Estn.</b>	0,23	0,13	0,39

**Tabla 19.** Aforos realizados en la quebrada San Agustín, en el sitio de captación.

Fecha de Aforo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
16/10/2016	0,212
23/10/2016	0,221
30/10/2016	0,173
06/11/2016	0,171
13/11/2016	0,188
20/11/2016	0,160
27/11/2016	0,185
04/12/2016	0,168
11/12/2016	0,360
18/12/2016	0,231
25/12/2016	0,480
01/01/2016	0,478
08/01/2016	0,401
21/01/2016	1,034
29/01/2016	0,771
05/02/2017	0,611
12/02/2017	0,667
26/02/2017	1,815
12/03/2017	1,988
26/03/2017	1,584
<b>Total</b>	<b>11,90</b>
<b>Media</b>	<b>0,59</b>
<b>Desv. Estan.</b>	<b>0,57</b>

**Figura 12.** Análisis comparativo entre los tres métodos empíricos y el aforo de la corriente m<sup>3</sup>/s



Analizando la Figura 12, se puede mencionar que el método racional y el método del polinomio ecológico presentan un buen grado de confiabilidad debido a la gran proximidad de los resultados entre ambos métodos.

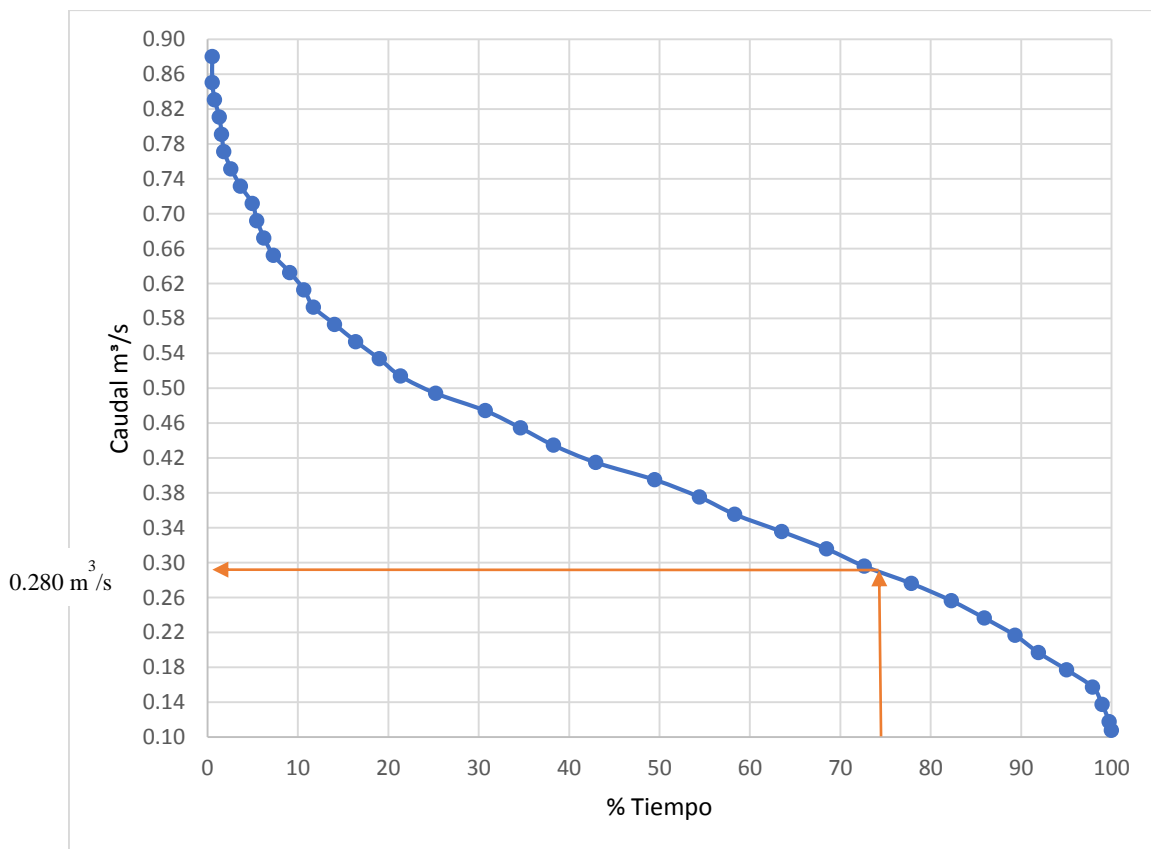
No obstante, el método del Soil Conservation Service comparado con los caudales aforados en situ, si bien presenta resultados similares en época de invierno, en época de estiaje, principalmente, en los meses de octubre noviembre y diciembre, estima valores superiores a los medidos en la corriente y a los otros métodos empíricos. En el Anexo 16-17-18, se presentan la estadística de caudales estimados por los tres métodos.

Según la Figura 12, los mayores caudales ocurren durante los meses de marzo  $0.61 \text{ m}^3/\text{s}$  y febrero  $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras que los caudales más bajos, se presentan en los meses de agosto y septiembre con  $0.23 \text{ m}^3/\text{s}$ , según el método del polinomio ecológico, valores justificados según la precipitación media mensual plurimensual ponderada para la cuenca ver Tabla 13.

Con la finalidad de estimar la disponibilidad de agua para riego en el sitio de captación a una probabilidad del 75 y 80 %, se seleccionaron los datos obtenidos por el método del polinomio ecológico, considerando que presenta una mejor correlación con los aforos realizados.

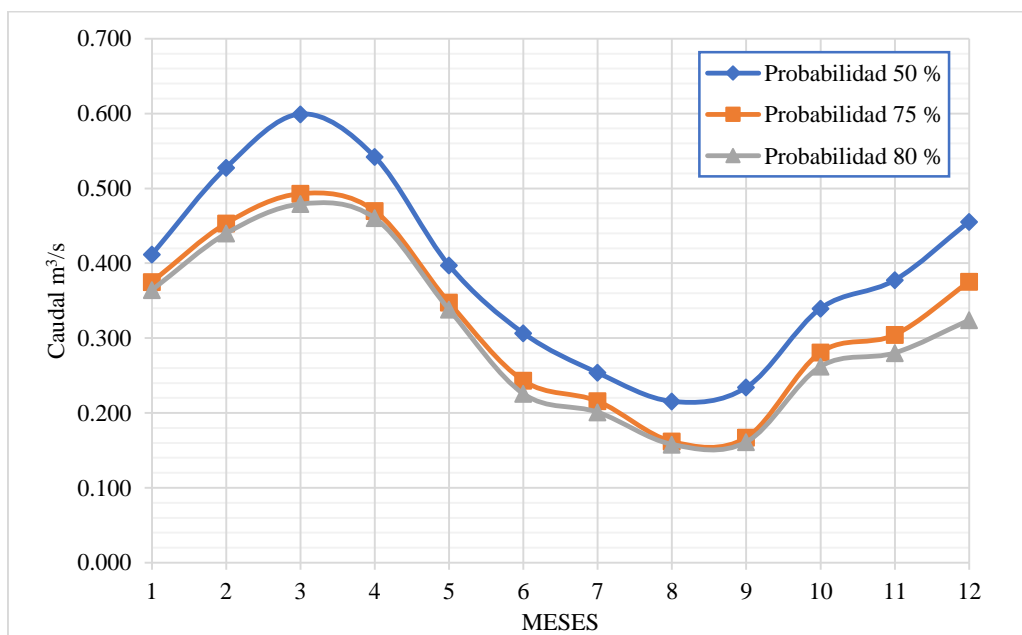
#### **4.1.7. Curvas de duración general y variación estacional.**

La curva de duración general nos indica el porcentaje del tiempo de ocurrencia en que un caudal determinado es igualado o superado. La microcuenca de la quebrada San Agustín, del sistema de riego La Era en el sitio de captación a una probabilidad de ocurrencia del 80 % del tiempo presenta un caudal de  $0.265 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras a una probabilidad del 75 % el caudal es de  $0.280 \text{ m}^3/\text{s}$ , ver Figura 13.



**Figura 13.** Curva de duración general, método del Polinomio Ecológico, periodo 1981-2012.

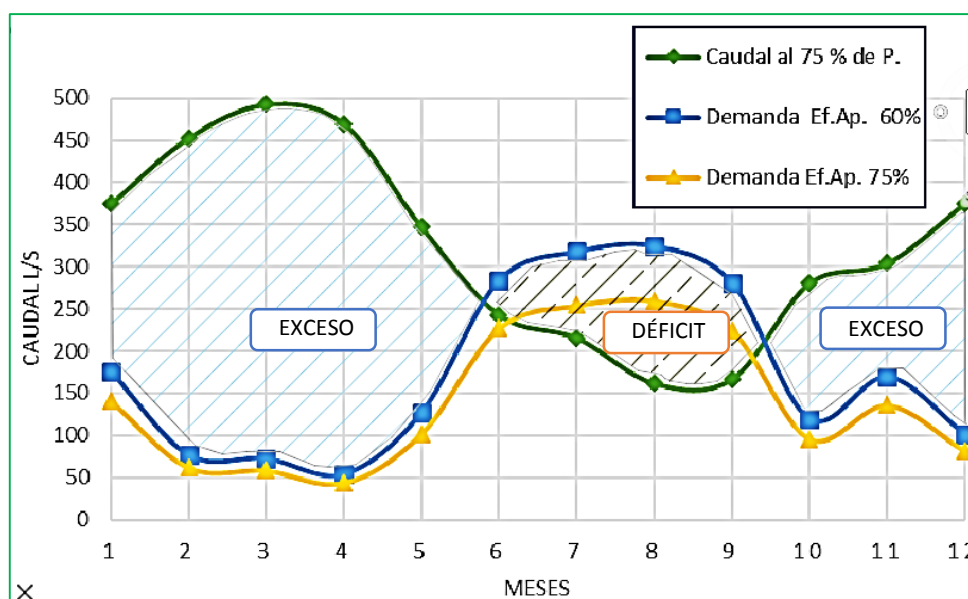
Como se puede observar en la Figura 14, el caudal de la quebrada San Agustín está definido por la variación de las precipitaciones que caen sobre la cuenca, lo que origina la distribución y variación de caudales, es así que con una probabilidad del 75 % el caudal máximo es de 0.492 m<sup>3</sup>/s, que corresponde al mes de marzo, y un mínimo de 0.155 m<sup>3</sup>/s en agosto.



**Figura 14.** Curvas de variación estacional, método del polinomio ecológico período 1981-2012.

Haciendo un análisis entre la distribución de caudales y la demanda que requiere el sistema de riego con una eficiencia de aplicación del 60 % y con el patrón de cultivos identificado, se puede afirmar que existe un déficit hídrico; mismo que, empieza a finales de mayo y culmina a inicios de octubre, determinando que, para los demás meses del año agrícola la demanda está garantizada, por el análisis de probabilidad al 75% del tiempo (Figura 15).

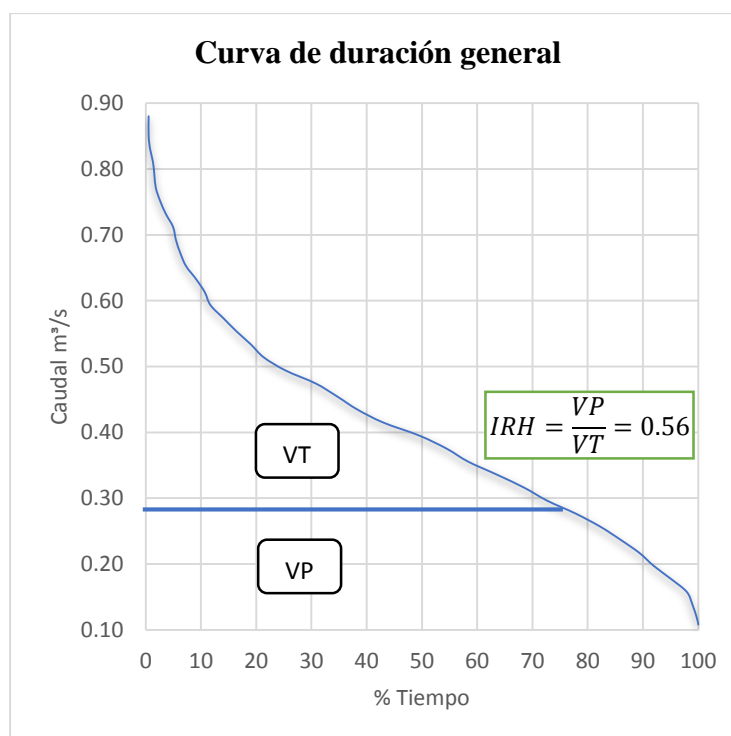
Para efectos de, suplir este déficit hídrico marcado entre mayo y octubre, es preciso realizar un balance hídrico, que permita establecer los volúmenes totales que deberían ser almacenados, a través de la implementación de obras de almacenamiento y regulación tales como embalses y reservorios, y; así mismo es necesario aumentar la eficiencia de aplicación mediante el mejoramiento de los métodos de riego parcelario, principalmente con la utilización de riego tecnificado; para reducir la demanda de riego; que traerá como resultado un menor dimensionamiento de estas obras. Esto garantizaría a futuro la producción y productividad en los meses más importantes del año agrícola.



**Figura 15.** Análisis entre la distribución de caudales y la demanda de caudal para el patrón de cultivos identificado.

#### 4.1.8. Índice de retención y regulación Hídrica

Su estimación resulta de la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales medios mensuales; el índice estimado es de 0.56, lo que indica una baja retención y regulación de humedad, esto guarda estrecha relación con la cobertura vegetal, donde predominan los pastos y la pendiente alta de la cuenca 46 %.



**Figura 16.** Índice de retención y regulación hídrica

#### 4.1.9. Caudales máximos

Para estimar los caudales máximos, se aplicaron métodos basados en datos de precipitación máxima en 24 horas, intensidad de precipitación y características de la cuenca (morfometría, tipo de suelo y cobertura vegetal).

Una vez obtenida la intensidad de precipitación para un período de retorno de 50 y 100 años, se determinó los caudales máximos, mediante los métodos de Ven Te Chow, y el hidrograma unitario triangular (SCS), métodos que se sustentan en el hidrograma unitario e hidrogramas unitarios sintéticos.

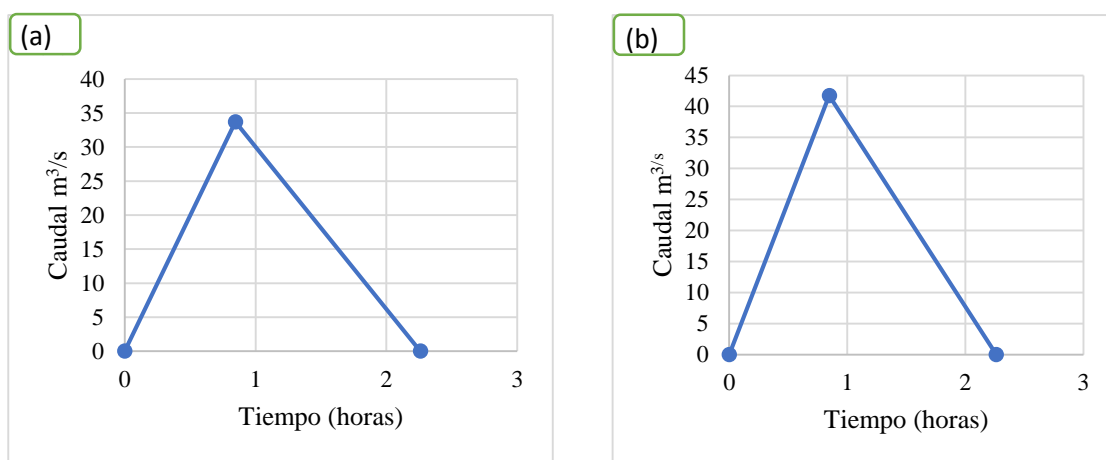
Los métodos antes descritos, presentan como variable más significativa el número de curva (N) del Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, y para el presente estudio se consideró una humedad antecedente normal (AMC II), es decir que la porosidad del suelo, se encuentra ligeramente ocupada por agua, de precipitaciones anteriores, es por esto que las crecidas que pueden presentarse cuando el suelo esté en condiciones secas, el caudal de crecida por ende será menor al calculado.

De la Tabla 20, se puede observar que los caudales estimados por el método de Ven Te Chow e Hidrograma unitario triangular del SCS, son bastante similares, es decir se ajustan a las condiciones geomofológicas y las intensidades de precipitación.

**Tabla 20.** Caudales máximos por los dos métodos empíricos.

Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Tr 50 años		Tr 100 años	
	Ven.T.Chow	Hidrograma SCS	Ven.T.Chow	Hidrograma SCS
	35.8	33.7	44.3	41.7

Con respecto a la Figura 17, se puede deducir que el tiempo pico del hidrograma es de 0.85 horas, tiempo en el cual se puede presentar dicha magnitud; es decir las crecidas en esta cuenca se presentan de forma rápida y de importante magnitud, esto guarda estrecha relación con la forma de la cuenca calculado por el coeficiente de Gravelius que es de 1.15 con tendencia a ser redonda.

**Figura 17.** Caudales pico, por el método del hidrograma unitario triangular, para un Tr a) 50 y b) 100 años.

## **4.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE AGUA DE LOS CULTIVOS EN LA ZONA DE RIEGO.**

Para el cumplimiento del presente objetivo, se empezó con la georreferenciación del catastro del sistema de riego, que nos permitan definir las áreas de riego e identificar el patrón de cultivos existente. La evapotranspiración del cultivo de referencia, se realizó a partir de datos climáticos (temperatura mínima, temperatura máxima (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s) y heliofanía (horas/día)), la evapotranspiración del cultivo, se determinó a partir de la Eto y los valores de Kc que se obtuvieron del manual de FAO 56. Finalmente, se obtuvieron los requerimientos de riego para cada junta sectorial en m<sup>3</sup> y en l/s.

### **4.2.1. Catastro del sistema de riego**

De acuerdo a la Tabla 21, el 76 % de la superficie está cultivada, sobresaliendo los cultivos anuales con 36.8 %, los cultivos permanentes con un 17.4 % y los pastos con un 22 %.

**Tabla 21.** *Uso actual del suelo*

CATEGORÍAS DE UTILIZACIÓN	SUPERFICIE	
	TOTAL (Ha)	PORCENTAJE
<i>Superficie Agrícola</i>		
Cultivos anuales	217.38	36.81
Cultivos permanentes	102.48	17.36
Pasto	130.33	22.07
<i>Superficie no Agrícola</i>		
Bosque y Matorrales	114.09	19.32
Vialidad, construcciones, quebradas	26.21	4.44
<b>Total</b>	<b>590.49</b>	<b>100.00</b>

La distribución de la tierra por tamaños de explotación, en el sistema de riego La Era, y principalmente en la Junta Sectorial La Capilla-San Bernabé, está empezando a constituirse en un inconveniente para la planificación y producción agrícola. Ya que los propietarios disponen de pequeñas propiedades, que las explota en forma intensiva y con poco asesoramiento técnico.

**Tabla 22.** *Distribución por tamaños de propiedades.*

JUNTA SECTORIAL	PEQUEÑOS	MEDIANOS	GRANDES	TOTAL
	0.01-1.50 ha	1.51-5.00 ha	Mayor a 5 ha	
San Agustín	26	16	0	42
La Era	50	25	6	81
Sobrinopamba	40	18	7	65
La Capilla - San Bernabé	75	24	4	103
<b>Total</b>	191	83	17	291
<b>%</b>	65.6	28.5	5.8	100

En la Tabla 22, se observa como están distribuidas las tierras de acuerdo al tamaño de propiedades, según el Instituto de Desarrollo Agrario (INDA). Las fincas menores a 1.5 hectáreas constituyen el 65.6 % del total, mientras que el 28.5 % son propiedades de 1.51 a 5 hectáreas; la junta sectorial La Capilla-San Bernabé, a pesar de tener menor superficie que las juntas sectoriales La Era y Sobrinopamba, presenta un mayor número de propiedades. En la Tabla 23 se puede observar la superficie de riego distribuidas en cuatro juntas sectoriales.

**Tabla 23.** *Superficie irrigada por juntas sectoriales.*

JUNTA SECTORIAL	TOTAL (Ha)	IRRIGADA (Ha)	PORCENTAJE
San Agustín (J1)	62.4	50	13.9
La Era (J2)	147.9	118.3	32.9
Sobrinopamba (J3)	125.8	100.7	28
La Capilla - San Bernabé (J4)	114	91.2	25.3
<b>Total</b>	450.2	360.2	100

#### 4.2.2. Precipitación media de la zona de riego

La precipitación media mensual-plurimensual estimada por el método de las isoyetas en Tabla 24, en base a las estaciones de La Argelia, Catamayo, Malacatos y Gonzanamá, presenta un valor medio anual de 604.6 mm, irregularmente repartida durante el año.

**Tabla 24.** *Coeficiente de corrección entre la precipitación estimada por el método de las isoyetas y la precipitación media mensual de la estación de Malacatos.*

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PPA
<b>Pm. Mensual-Isoyetas</b>	65.8	103.5	117.7	92.0	35.3	6.0	4.0	3.0	14.6	53.0	47.2	62.4	604.6
<b>Pm. Mensual Malacatos</b>	74.4	114.9	121.3	94.3	38.1	8.6	6.4	6.2	21.4	74.9	56.6	79.4	696.4
<b>Coef.C.</b>	0.88	0.90	0.97	0.98	0.93	0.69	0.63	0.48	0.68	0.71	0.83	0.79	0.87

**Tabla 25.** *Precipitación media mensual del área de riego (mm).*

<b>Estadística de precipitación media mensual del área de riego (mm), (Malacatos * Ce)</b>													
<b>Año</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Anual</b>
<b>1981</b>	52.4	80.9	177.2	35.5	42.8	3.2	0.9	1.4	3.4	52.3	39.5	83.0	572.4
<b>1982</b>	94.5	44.2	63.4	68.6	46.0	0.0	0.0	0.0	16.8	55.6	104.7	190.7	684.6
<b>1983</b>	113.2	48.0	147.6	68.7	53.8	9.9	1.3	0.0	2.5	89.6	24.5	55.4	614.6
<b>1984</b>	51.8	200.3	172.8	86.3	46.5	5.8	10.6	9.2	46.0	76.2	50.7	3.6	759.9
<b>1985</b>	62.7	26.0	75.9	58.9	67.2	2.9	2.5	8.7	23.7	54.9	27.9	117.0	528.3
<b>1986</b>	33.3	103.5	116.5	90.3	47.3	0.0	0.0	0.3	25.7	49.9	29.9	58.9	555.7
<b>1987</b>	40.9	10.6	132.6	114.3	80.6	0.0	6.0	1.3	5.7	12.0	29.5	11.9	445.5
<b>1988</b>	95.2	147.0	24.6	100.5	35.3	13.3	10.5	3.5	5.6	36.5	58.1	55.1	585.1
<b>1989</b>	122.7	87.1	174.4	68.7	11.7	7.1	6.0	1.8	89.2	57.1	15.0	38.5	679.3
<b>1990</b>	93.0	116.5	21.7	273.2	12.3	5.3	13.3	2.0	6.8	53.3	85.0	29.3	711.7
<b>1991</b>	91.3	27.6	227.0	70.9	87.5	0.4	7.6	0.0	35.4	19.4	22.0	12.4	601.5
<b>1992</b>	39.3	20.4	142.9	28.1	16.3	2.3	0.0	0.0	27.8	0.0	43.8	63.0	384.0
<b>1993</b>	57.0	169.0	181.5	66.6	26.4	4.4	0.0	0.0	13.7	95.3	15.8	77.5	707.3
<b>1994</b>	90.4	67.2	76.0	42.0	28.5	0.0	0.0	9.0	3.3	29.6	35.7	50.1	431.7
<b>1995</b>	9.2	73.1	115.0	8.2	2.4	0.0	0.0	1.7	5.5	6.1	52.1	30.5	303.9
<b>1996</b>	34.2	75.7	14.7	40.8	15.0	0.0	0.0	0.0	12.1	48.4	0.0	0.0	240.9
<b>1997</b>	60.2	3.7	38.8	96.3	9.4	4.9	0.0	0.0	12.8	51.0	99.8	32.7	409.7
<b>1998</b>	44.0	122.8	105.4	77.3	9.8	0.0	0.0	2.5	0.0	99.9	4.8	24.1	490.7
<b>1999</b>	99.1	169.7	146.0	11.9	43.6	4.8	1.9	1.5	4.8	16.4	22.2	105.8	627.6
<b>2000</b>	99.0	389.1	191.0	302.5	60.7	12.2	6.9	6.8	15.7	39.0	31.7	41.9	1196.4
<b>2001</b>	60.8	42.9	90.7	55.9	30.6	8.2	3.6	0.0	0.0	51.1	16.5	101.8	462.1
<b>2002</b>	39.3	53.2	33.0	150.9	4.2	0.0	0.0	3.6	11.6	46.4	23.5	100.1	465.8
<b>2003</b>	15.6	90.0	105.0	82.7	1.9	0.0	5.1	0.0	0.1	116.7	16.5	21.5	455.1
<b>2004</b>	19.3	26.2	19.8	140.5	29.6	3.5	9.1	8.4	20.1	81.8	126.1	84.5	568.9
<b>2005</b>	19.2	82.3	221.8	40.7	47.7	10.6	0.0	0.0	0.0	73.1	24.4	44.0	563.8
<b>2006</b>	47.1	119.6	216.3	75.1	1.1	26.9	13.2	0.0	1.1	31.3	113.9	107.4	753.0
<b>2007</b>	27.3	48.4	150.7	145.8	43.1	8.1	3.6	7.0	4.2	55.6	119.0	48.9	661.7
<b>2008</b>	40.3	176.2	167.9	81.4	50.2	15.5	0.1	7.1	14.1	115.3	53.8	134.6	856.6
<b>2009</b>	153.7	148.5	159.2	85.5	53.8	2.6	3.6	3.1	3.6	25.6	6.9	55.0	701.2
<b>2010</b>	3.2	104.9	69.2	78.1	86.6	26.3	15.7	7.7	8.6	32.9	76.9	59.4	569.5
<b>2011</b>	88.3	234.4	106.4	147.2	30.6	13.5	6.3	9.6	35.5	73.1	84.5	91.5	920.8
<b>2012</b>	207.6	201.4	82.6	151.1	7.9	0.2	0.1	0.0	12.4	51.4	55.5	66.7	836.9
<b>Total</b>	<b>2105.0</b>	<b>3310.4</b>	<b>3767.7</b>	<b>2944.6</b>	<b>1130.6</b>	<b>192.0</b>	<b>128.0</b>	<b>96.0</b>	<b>467.8</b>	<b>1697.0</b>	<b>1510.4</b>	<b>1996.8</b>	<b>19346.2</b>
<b>Media</b>	<b>65.8</b>	<b>103.5</b>	<b>117.7</b>	<b>92.0</b>	<b>35.3</b>	<b>6.0</b>	<b>4.0</b>	<b>3.0</b>	<b>14.6</b>	<b>53.0</b>	<b>47.2</b>	<b>62.4</b>	<b>604.6</b>
<b>Max</b>	207.6	389.1	227.0	302.5	87.5	26.9	15.7	9.6	89.2	116.7	126.1	190.7	1196.4
<b>Min</b>	3.2	3.7	14.7	8.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	240.9
<b>Desv.E.</b>	44.4	80.3	62.8	64.1	24.9	7.1	4.7	3.5	17.9	29.7	35.8	41.7	189.6
<b>CV(%)</b>	67.6	77.6	53.3	69.7	70.4	118.9	117.8	116.2	122.6	56.0	75.8	66.8	31.4



De acuerdo al coeficiente pluviométrico que estima Angot, los meses más lluviosos en un orden de menor a mayor pluviosidad (menor a mayor coeficiente pluviométrico) son: diciembre, enero, abril, febrero y marzo. Los meses con una máxima y mínima precipitación absoluta son marzo 117.7 mm y agosto 3 mm respectivamente. Los valores menos lluviosos, que son los más importantes y para los que existe un déficit agua para riego son: junio, julio, agosto y septiembre.

#### 4.2.3. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>)

La ET<sub>o</sub> fue estimada a partir de datos climáticos (temperatura mínima, temperatura máxima (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s) y heliofanía horas/día), mediante el método de Penman-Monteith, para una serie estadística de 23 años. La evapotranspiración de referencia estimada en las cuatro estaciones consideradas se muestra en la Tabla 26.

**Tabla 26.** Evapotranspiración de referencia, método de Penman-Monteith (mm/día).

Estaciones	Altitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	m.snm												
La Argelia	2160	3.2	3.0	3.2	3.1	3.0	2.9	3.1	3.5	3.6	3.7	3.6	3.4
Malacatos	1453	4.5	4.1	4.3	4.2	4.2	4.3	4.3	4.6	4.9	4.7	4.6	4.4
Cariamanga	1950	3.1	2.9	3.2	3.1	3.2	3.3	3.6	3.8	3.8	3.7	3.5	3.3
Catamayo	1230	5.1	4.4	4.4	4.6	4.8	5.3	5.7	5.7	5.3	5.5	5.2	5.0

Analizando la Tabla 27, se puede observar que existe una buena correlación entre la altitud y la evapotranspiración de referencia, siendo, para todos los meses, mayor a 0.9.

Mediante el método de Penman-Monteith y la metodología propuesta por el artículo *Agricultural and Forest Meteorology* que considera el gradiente térmico para cada mes, se determinó la evapotranspiración de referencia a una determinada altitud, en este estudio se consideró 800 msnm, por ser la elevación más baja del MDT, utilizado.

**Tabla 27.** Evapotranspiración de referencia determinada (mm/día).

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
La Argelia	6.1	5.3	5.3	5.4	5.6	6.3	6.5	6.4	6.2	6.4	6.0	5.8
Malacatos	5.8	5.2	5.3	5.3	5.5	6.0	5.9	6.0	6.2	6.0	5.7	5.5
Cariamanga	5.6	4.9	4.9	5.0	5.4	6.1	6.4	6.3	6.0	6.0	5.6	5.3
Catamayo	6.0	5.1	5.0	5.3	5.6	6.3	6.8	6.7	6.1	6.3	6.0	5.7
R <sup>2</sup>	0.94	0.93	0.92	0.95	0.93	0.98	0.91	0.92	0.99	0.94	0.94	0.93

De acuerdo a la Tabla 28, la evapotranspiración de referencia, estimada para la zona de riego, presenta valores máximos de 4.7 y 4.6 mm/día para los meses de septiembre y agosto respectivamente, mientras que la mínima se presenta en febrero con 3.9 mm/día; con respecto a la Figura 18, se puede observar que la mayor evapotranspiración se presenta en la parte baja del sistema de riego, es decir donde también las temperaturas son mayores. Estos valores son justificados debido a la variación de la humedad atmosférica, entre los meses de enero a marzo y junio a septiembre son mayores; es así en los primeros meses del año la humedad relativa es más alta, mientras en los segundos la humedad relativa es menor. Otro elemento meteorológico importante que tiene mucha influencia en la evapotranspiración del cultivo de referencia es el viento, que actúa reduciendo o aumentando la tasa de evaporación y la transpiración; en la zona de riego los meses con mayor velocidad del viento son, julio, agosto y septiembre, lo que se ratifica con los mayores valores de ETo determinados, que se presentan en agosto y septiembre.

Por otra parte, para el sistema de riego Campana Malacatos, según Cañar (2016), se obtuvieron valores de ETo, mediante una regresión lineal simple con los datos estimados de Penman-Monteith y Hargreaves de la estación La Argelia y Malacatos respectivamente, con una Eto máxima para Octubre con 3.84 mm/día y la mínima en Junio con 3.35 mm/día.

Los datos que anteceden permiten contrastar los resultados obtenidos en esta investigación, donde la ETo máxima es de, 4.7 mm/día y la mínima de 3.9 mm/día para septiembre y febrero respectivamente; que relativamente son mayores y se deben a la variación climática que avanza desde el valle de Catamayo con vientos cálidos secos.

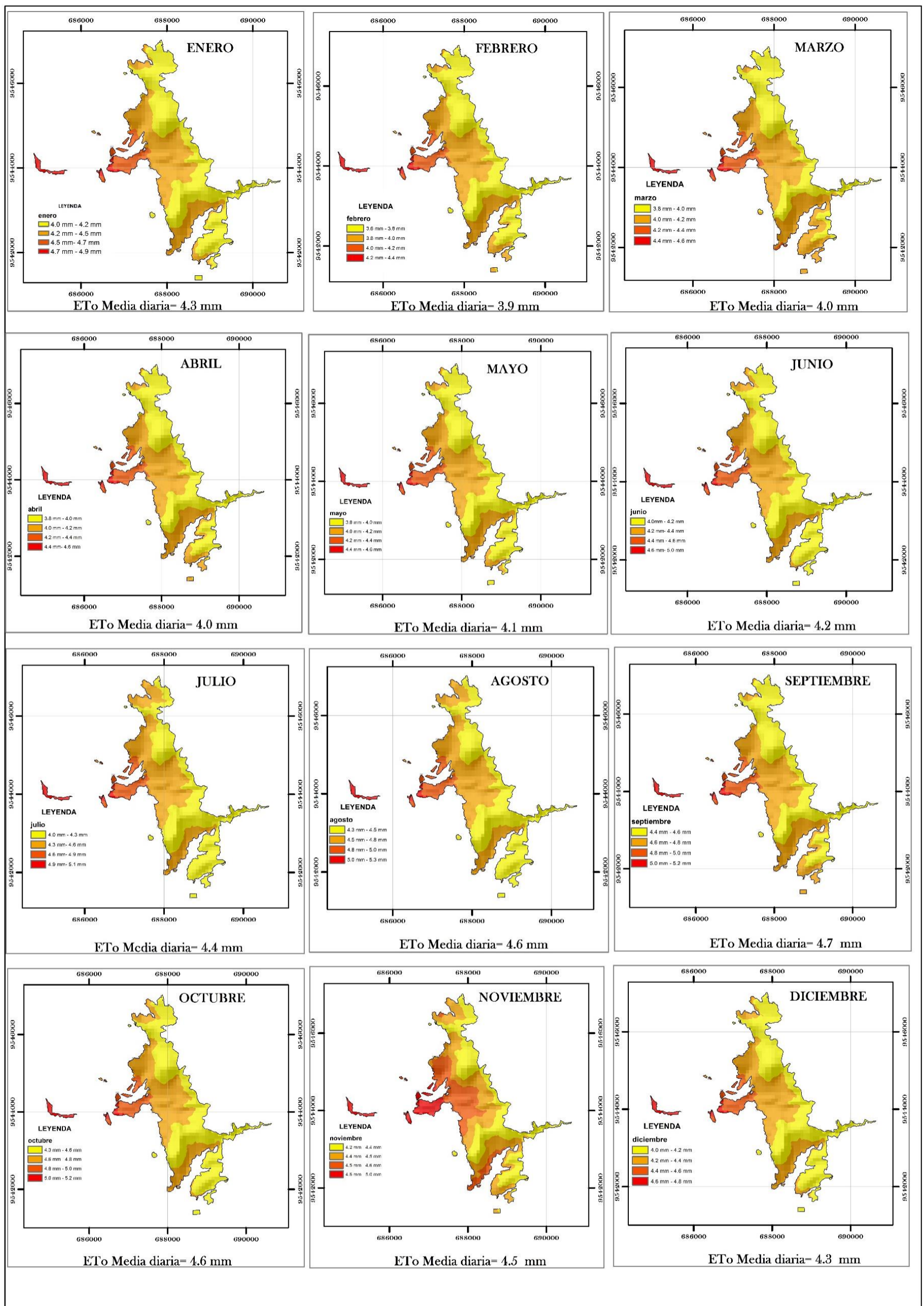


Figura 18. Distribución espacial de la evapotranspiración de referencia para la zona de riego

**Tabla 28.** *Evapotranspiración de referencia media mensual (mm/día) para la zona de riego, mediante el método de Penman-Monteith.*

<b>Mes</b>	<b>Eto (mm/día)</b>
Enero	4.3
Febrero	3.9
Marzo	4.0
Abril	4.0
Mayo	4.0
Junio	4.2
Julio	4.4
Agosto	4.6
Septiembre	4.7
Octubre	4.6
Noviembre	4.5
Diciembre	4.3
Total	51.5
Media	4.3
Desv.Est.	0.3
CV (%)	6.1

#### **4.2.4. Patrón de cultivos y coeficiente Kc del cultivo**

En la Tabla 25 y en la Figura 18, se muestra el patrón de cultivos identificado en la zona de riego, entre los cultivos más importantes se encuentra los pastos con 104.3 ha (28.9%), maíz 88.5 ha (19.7%), yuca 25.2 ha (7 %) y limón con 24.5 ha (6.8%).

Una vez definido el patrón de cultivos y mediante los valores de kc en función de las etapas fenológicas, se graficó la curva del kc y de la curva real se estimaron los valores de kc mensual, para cada uno de los cultivos identificados.

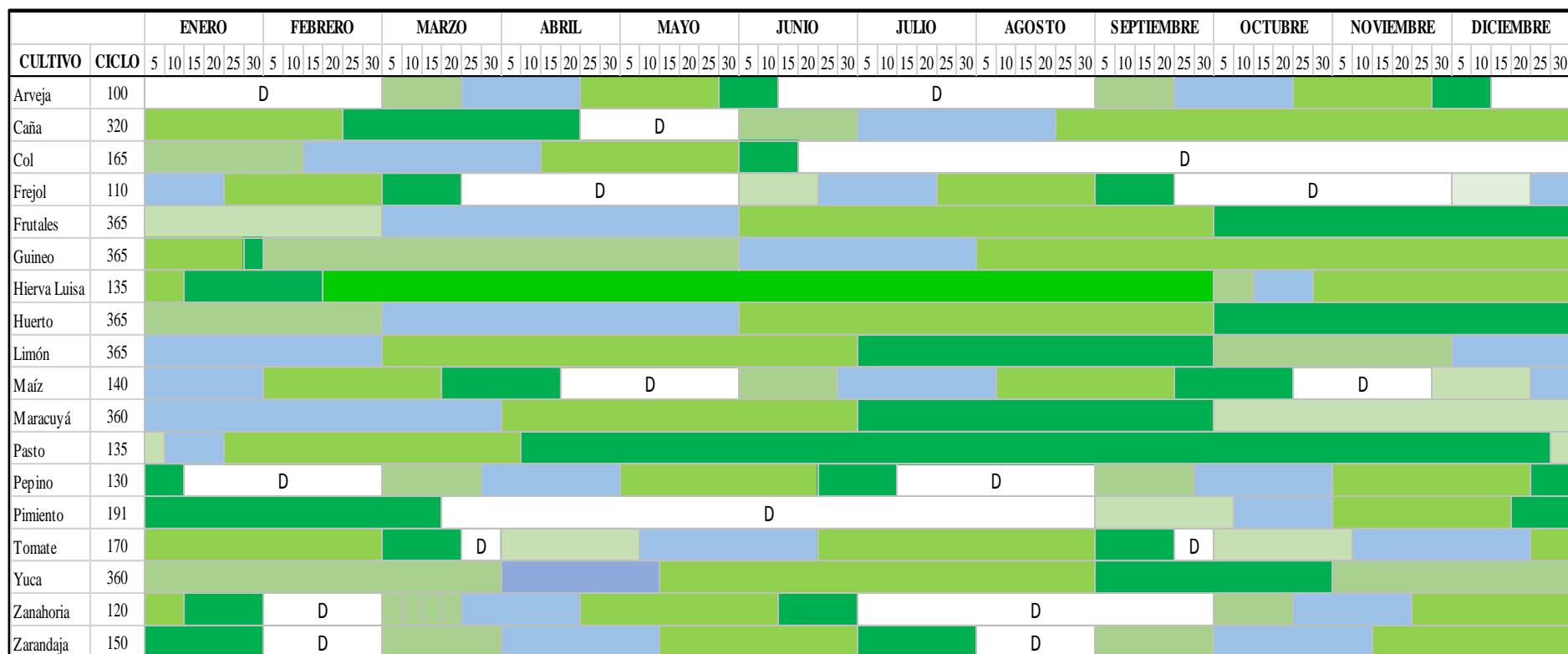
En la Tabla 30, se puede observar que los valores máximos de kc, son para los cultivos de caña y maíz, mientras que los cultivos de frutales y yuca, presenta menores valores.

**Tabla 29.** *Superficie Cultivada*

<b>CULTIVOS</b>	<b>TOTAL Ha</b>	<b>IRRIGADA Ha</b>	<b>%</b>
Pasto	130.3	104.3	28.9
Maíz	88.5	70.8	19.7
Yuca	31.5	25.2	7.0
Limón	30.7	24.5	6.8
Caña	29.2	23.3	6.5
Hierva Luisa	21.4	17.1	4.7
Maracuyá	20.6	16.5	4.6
Zarandaja	20.4	16.4	4.5
Frutales	17.8	14.2	3.9
Frejol	14.2	11.3	3.1
Huerto	12.0	9.6	2.7
Pepino	11.5	9.2	2.6
Tomate	10.6	8.5	2.4
Pimiento	7.1	5.7	1.6
Zanahoria	2.9	2.3	0.6
Arveja	0.8	0.7	0.2
Col	0.7	0.6	0.2
Guineo	0.07	0.06	0.02
Total	450.19	360.15	100.0

**Tabla 30.** *Coefficiente de cultivo Kc*

	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
Pasto	1.20	1.15	1.05	0.85	0.60	1.20	1.15	1.05	0.85	0.60	1.20	0.60
Maíz	0.95	1.25	1.20	0.70		0.60	0.95	1.25	1.20	0.70		0.60
Yuca	0.28	0.30	0.30	0.50	1.00	1.05	1.05	1.02	0.90	0.60	0.25	0.26
Limón	0.60	0.90	1.10	1.20	1.20	1.15	0.95	0.70	0.40	0.20	0.20	0.30
Caña	1.20	1.15	1.10	0.70		0.35	0.70	1.15	1.30	1.33	1.32	1.30
Hierva Luisa	1.00	0.90	0.60	1.15	1.10	1.00	0.90	0.60	1.15	0.60	1.15	1.10
Maracuyá	0.95	1.05	1.15	1.20	1.25	1.20	1.15	0.95	0.75	0.80	0.85	0.88
Zarandaja	0.85		0.31	0.70	1.15	1.22	0.85		0.31	0.70	1.15	1.22
Frutales	0.74	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.81	0.81	0.78	0.75	0.72
Frejol	1.20	1.00	0.30			0.30	1.00	1.20	0.70			0.70
Huerto	0.74	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.81	0.80	0.78	0.75	0.72
Pepino	0.75		0.55	0.82	1.05	1.01	0.75		0.55	0.82	1.05	1.01
Tomate	1.20	1.16	0.90							0.50	0.70	1.10
Pimiento	0.95	0.90	0.80						0.45	0.70	1.02	1.00
Zanahoria	1.00		0.70	1.02	1.05	1.00				0.70	1.02	1.05
Arveja			0.45	1.02	1.22	0.70			0.45	1.02	1.22	0.70
Col	1.05	0.90							0.61	0.70	0.90	1.05
Guineo	1.00	0.40	0.41	0.45	0.50	0.70	1.00	1.10	1.10	1.10	1.05	1.05








LEYENDA	
	Fase Inicial
	Fase Desarrollo
	Fase Medios
	Fase Final
	Descanso

Figura 19. Patrón de cultivos (identificado)

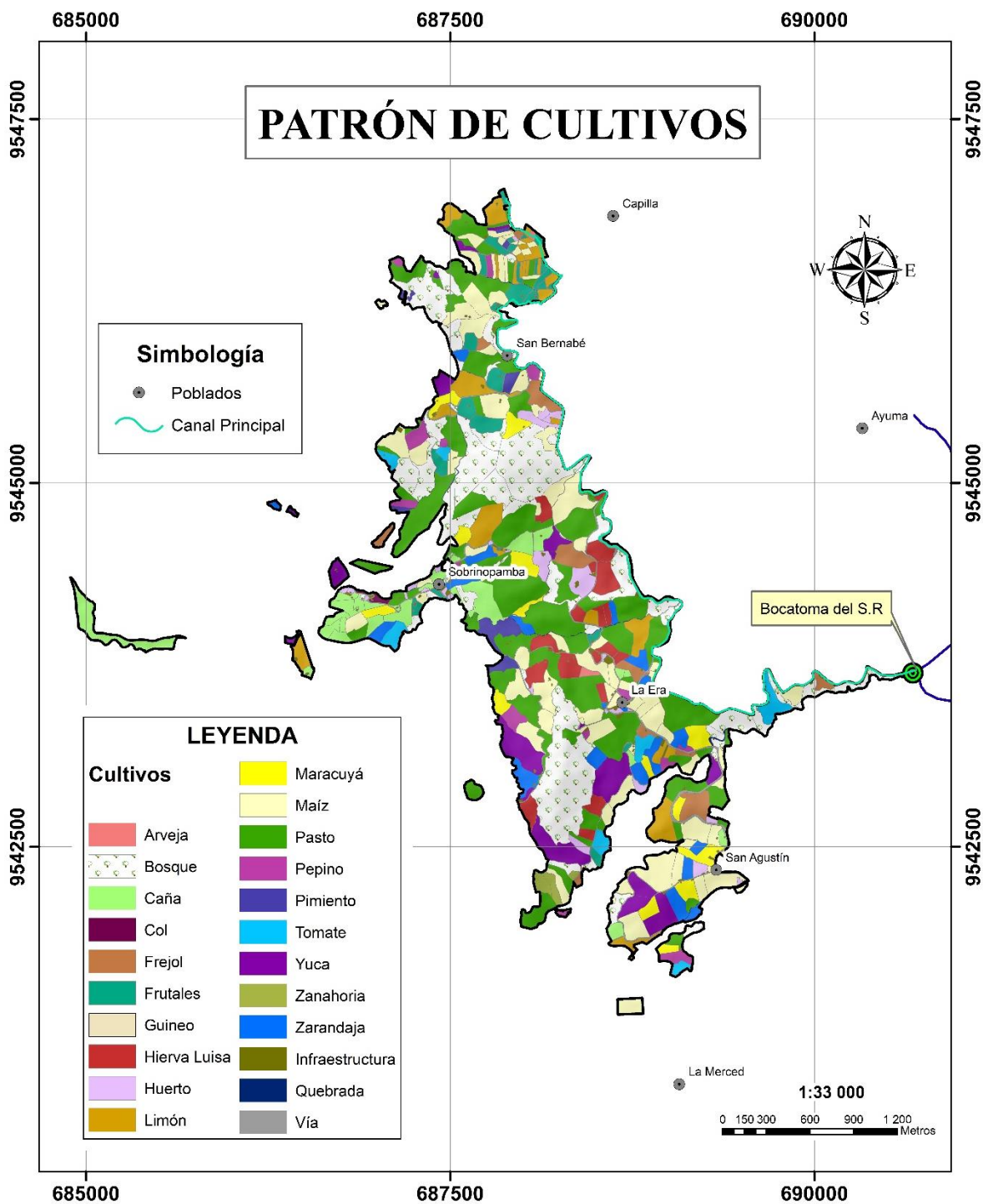


Figura 20. Patrón de cultivos del sistema de riego (situación actual)

#### 4.2.5. Precipitación efectiva en la zona de riego (Pe<sub>ff</sub>)

Considerando las precipitaciones medias, se determinó la precipitación efectiva, mediante el software CROPWAT 8.0, resultados que se muestran en la Tabla 31, donde las mayores precipitaciones efectivas, son para los meses de marzo con 95.6 mm y febrero 86.3 mm, mientras que las menores precipitaciones se presentan en agosto 3 mm, julio 4 mm y septiembre 14.3 mm, con una suma anual de 528.1 mm en el área de riego con una variabilidad significativa de acuerdo al coeficiente de variación de 0.74.

**Tabla 31.** Precipitación efectiva (Pe<sub>ff</sub>) del área de riego (mm/mes)

<b>Mes</b>	<b>P_media (mm)</b>	<b>Pe<sub>ff</sub> (mm)</b>
Enero	65.8	58.9
Febrero	103.5	86.3
Marzo	117.7	95.6
Abril	92.0	78.5
Mayo	35.3	33.3
Junio	6.0	5.9
Julio	4.0	4.0
Agosto	3.0	3.0
Septiembre	14.6	14.3
Octubre	53.0	48.5
Noviembre	47.2	43.6
Diciembre	62.4	56.2
Total	604.6	528.1
<b>Media</b>	<b>50.4</b>	<b>44</b>
Desv.Est.	39.7	32.7
CV	78.8	0.74

#### 4.2.6. Requerimientos de riego

En la Tabla 32, se muestran los requerimientos mensuales por juntas sectoriales para el sistema de riego La Era, los mismos que han sido determinados en función de la E<sub>tc</sub>, Pe<sub>ff</sub> y superficie, durante un año agrícola. Las mayores demandas para las juntas 1, 3 y 4, se presentan en el mes de agosto, mientras que para la junta 2 se presenta en el mes de julio.



**Tabla 32.** *Requerimientos de riego por juntas sectoriales (m<sup>3</sup>)*

Juntas Sect.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
San Agustín	29632.1	14189.8	16556.1	9606.4	26578.8	52964.3	65313.4	68445.6	54940.8	22615.3	18304.2	17025.3	396172.3
La Era	82097.7	31612.9	30306.7	23163.8	64349.5	135787.2	150587.7	146623.7	126668.2	50686.9	77578.9	48021.4	967484.6
Sobrinopamba	82597.3	28959.3	29572.8	23727.2	50559.1	111741.9	128226.7	132600.3	114684.1	61129.2	96098.0	55065.0	914960.8
Capilla-San B.	59735.6	25635.6	28720.2	19294.5	42900.1	97151.9	115722.8	121608.3	96557.8	38568.5	45444.9	26891.3	718231.4
Total	254062.7	100397.5	105155.9	75791.9	184387.5	397645.3	459850.7	469277.9	392850.9	172999.9	237426.0	147003.0	2996849.1

La demanda de agua de acuerdo al patrón de cultivos identificado es de 2.99 hm<sup>3</sup> y considerando una eficiencia de aplicación del 50 %, este volumen se incrementa a, 5.99 hm<sup>3</sup>. Si bien el volumen disponible es mayor al volumen que demandan los cultivos, existe un déficit en los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Mientras que en el sistema de riego Campana-Malacatos, la disponibilidad de agua durante todo el año, es mayor a la demanda de agua de los cultivos 0.578m<sup>3</sup>/s, esto se debe principalmente a que dicho sistema de riego, su cuenca de captación presenta una mayor pluviometría y gran parte de la superficie de la cuenca de captación es zona protegida según (Alex Cañar, 2016).

**Tabla 33.** *Requerimientos de riego por juntas sectoriales (l/s)*

Junta	Volumen (m <sup>3</sup> )	Tiempo (seg)	Caudal (l/s)	Ef. de cond. y distribución (%)	Ef. Aplicación (%)	Ef. Aplicación (%)	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)
San Agustín	396172.3		12.563				23.3	18.6
La Era	967484.6	31536000.0	30.679	90	60	75	56.8	45.4
Sobrinopamba	914960.8		29.013					
Capilla-San B.	718231.4		22.775					

Con respecto al mayor requerimiento hídrico, se presenta en el mes de agosto con 0.469 hm<sup>3</sup>/mes; el resto de meses la necesidad es menor, el valor de hm<sup>3</sup>/mes, transformado a caudal continuo equivalente significa de 175.2 l/s; o, un caudal continuo de 0.49 l/s/ha.

Con la finalidad de tener un conocimiento general el caudal máximo por el sistema, se requiere acoger valores de eficiencias, estas son; eficiencia de conducción en el canal principal y redes de distribución, 90%; eficiencia de aplicación de riego en la parcela, 60, 75 y 90 %.

La combinación de caudal continuo y eficiencia de riego nos proporciona el caudal característico requerido por hectárea, para el presente estudio es de 0.90, 0.72 y 0.60 l/s/ha; estos caudales aplicados a las 360.2 ha que irrigarían considerando los métodos de aplicación por gravedad, aspersión y goteo, nos dan un caudal de diseño de 324.5, 259.6 y 216.12 l/s.

Contrastando con los caudales al 75 y 80% de probabilidad de la curva de duración general que son de 280 y 265 l/s respectivamente; se puede aseverar que los caudales demandados para los métodos de riego por goteo y aspersión son menores a los caudales disponibles, no obstante en el método de riego por gravedad el caudal es mayor a la disponibilidad de la fuente de agua; todo esto, hace necesario e importante planear los recursos hídricos con fines de riego, con la finalidad de optimizar el agua y distribuir oportunamente los turnos de riego que mejoren la productividad de los cultivos.

#### **4.3. PROPUESTA PRELIMINAR DE PROGRAMACIÓN DEL RIEGO, EN BASE AL PATRÓN DE CULTIVOS ESTABLECIDO.**

La programación de riego, se refiere a cuanta agua y con qué frecuencia se deben aplicar los riegos. Por ejemplo, en el presente estudio, la caña de azúcar es el cultivo que mayor demanda requiere con 6.1 mm/día, es decir necesita una lámina de agua de 6.1 mm en toda la superficie donde se desarrolla el cultivo. Este volumen de agua, debe ser suplido mediante un método técnico y adecuado de aplicación de riego. Considerando la relación que existe entre la lámina de agua que puede retener el suelo y el uso consuntivo máximo se puede determinar la frecuencia de riego y asumir a criterio técnico y que en la práctica sea funcional. Por ello se consideró un intervalo de 6 días entre riegos; así, se puede aplicar 36.6 mm cada 6 días, u otra relación acorde a los requerimientos locales.

##### **4.3.1. Clases texturales de los suelos**

Las clases texturales que se encuentran dentro del sistema de riego son: Franco arenoso con 50.4 ha que representan el 8.5 %, una textura arcillosa con 73.3 ha que significa el 12.4 %, textura franco arcillosa con 219.4 ha que representa el 37.2 %, mientras que la textura franco arcillo arenoso ocupa la mayor superficie con 247.3 ha que representan un 41.9 %.

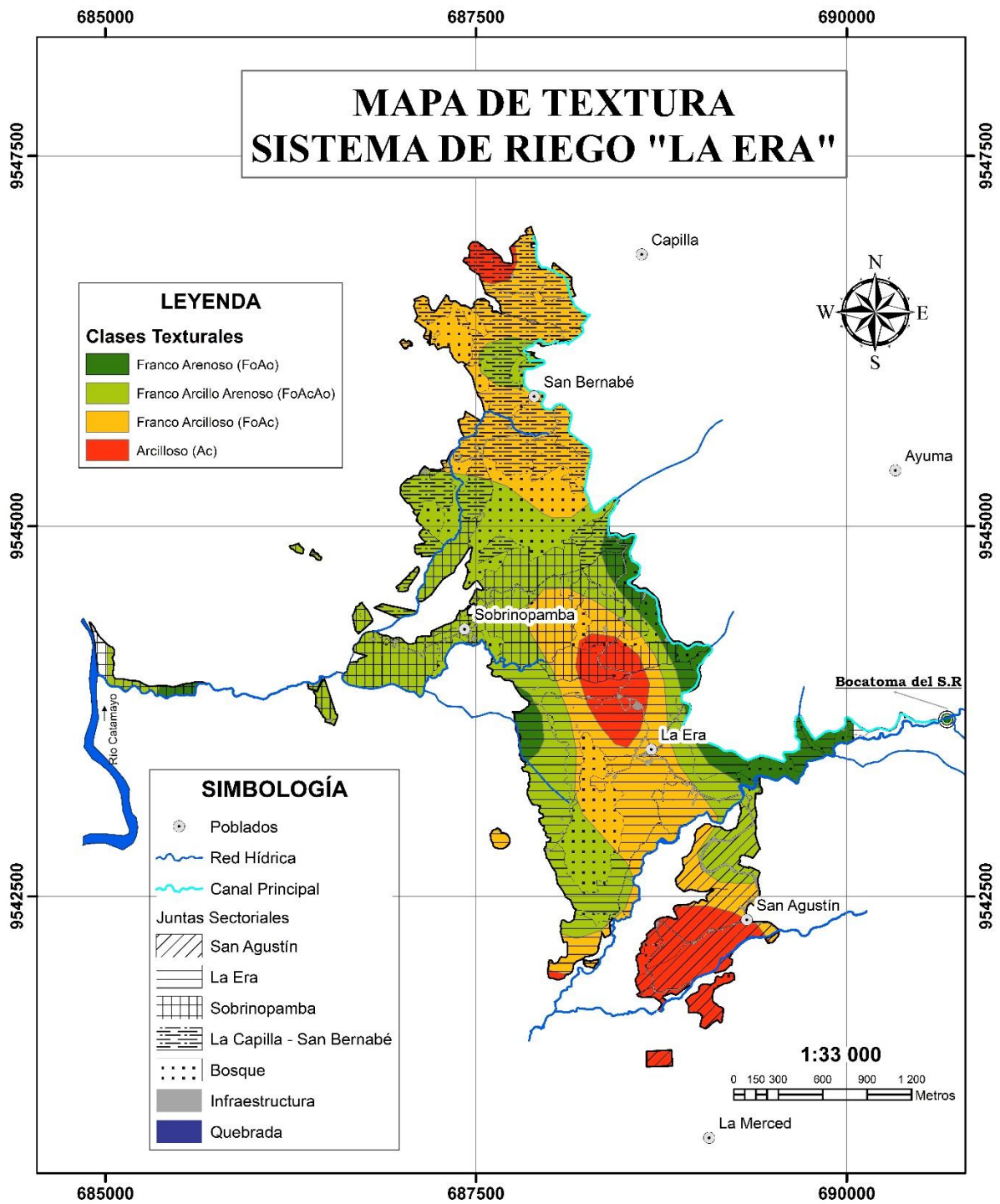


Figura 21. Mapa de clases texturales de suelo

#### **4.3.2. Series de suelos (INERHI-1981)**

Como se deduce del mapa de la Figura 22, que corresponde al estudio de suelos realizado en 1981, se identifican 5 series de suelos, denominadas: San Agustín, Algarrobillo, La Era, Jorupe y Casharuro; y con respecto a la clasificación agrológica con fines de riego, la Serie San Agustín signada como clase 2, cuya característica principal es la profundidad mayor a 1.5 m, texturas en las que predomina la fracción arcilla, pendientes de 2 a 4 % y drenaje moderado.

Las series La Era y Casharuro, pertenecen a la clase 3, caracterizadas por un suelo profundo, textura arcillosa e influenciadas por grava en porcentajes bajos. Las tierras de la serie Jorupe, se han incluido dentro de la clase 4, caracterizada por tener un relieve colinado con pendientes de 20 a 30 %, textura franco arcillosa con influencia de grava y drenaje excesivo a interno restringido.

Las tierras de la serie Algarrobillo, se clasifican en la clase 6; caracterizada por un perfil poco profundo (< 40 cm), textura franco arcillosa, con pedregosidad y pendientes mayores al 50 %. Si bien esta serie, no se recomienda para el uso agrícola, es necesario indicar que el 40 % de la superficie, está siendo cultivada y cuenta con infraestructura de riego.

Por lo expresado, se considera que; esta área debe ser manejada con criterio técnico y conservacionista; para así, garantizar la producción y productividad con riego, para lo cual debe ser analizada y socializada entre instituciones responsables y los propietarios.

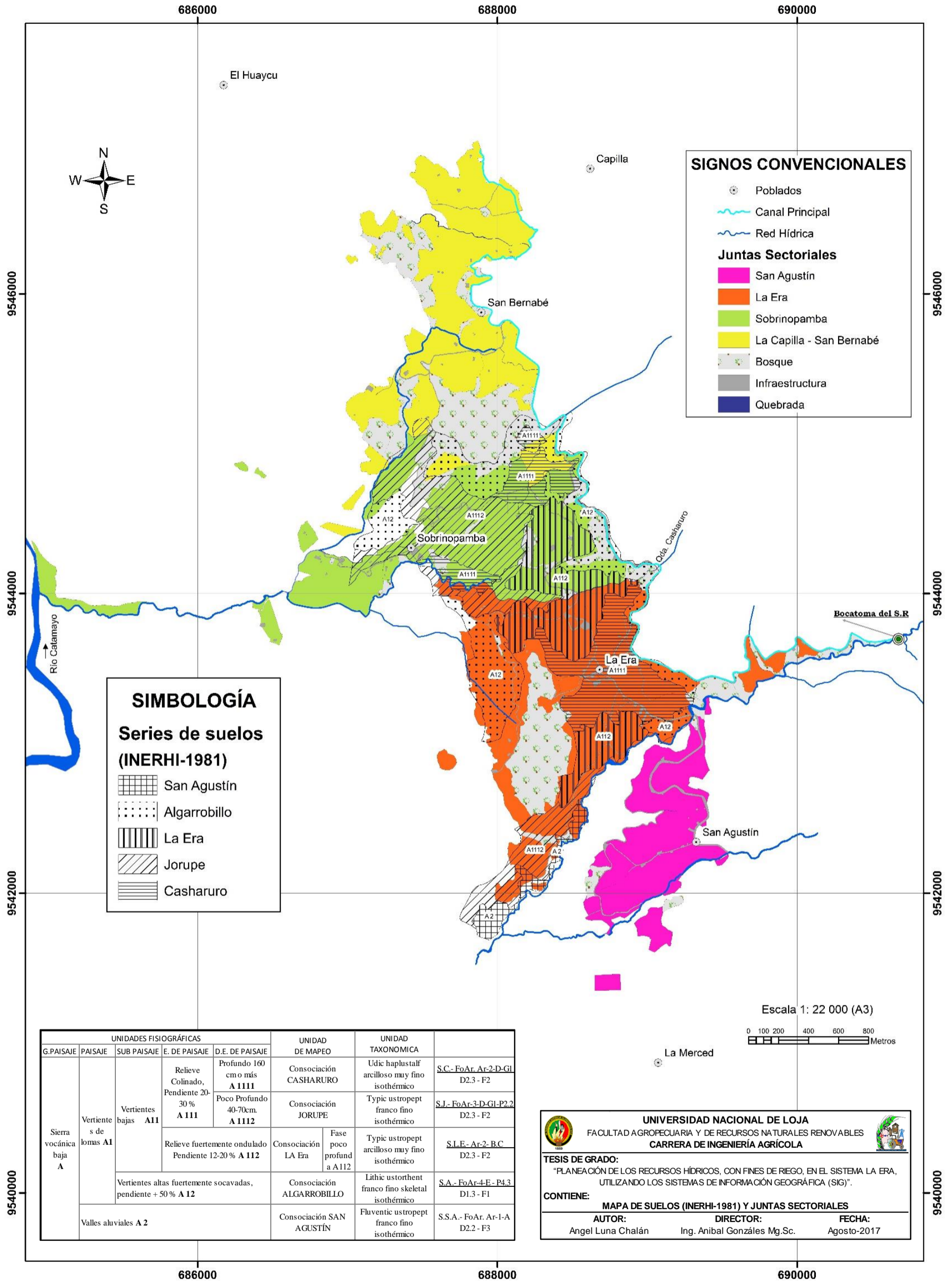


Figura 22. Mapa de suelos INERHI-1981

### 4.3.3. Selección del patrón de cultivos

Para la determinación del patrón de cultivos se lo ha hecho en función de los siguientes aspectos:

- La experticia y tradición de los agricultores de la zona en llevar adelante determinados cultivos.
- Las potencialidades y limitaciones que presentan los suelos, que se encuentran bajo el área de influencia del sistema de riego.
- Cuáles son los cultivos y métodos de riego que mejor responden a ciertas clases texturales.
- Los cultivos que más superficie representan en cada junta sectorial.
- Los cultivos que se han seleccionado representan el 89.5 % del patrón de cultivos identificado en objetivo 2.

**Tabla 34.** *Patrón de cultivos recomendado.*

<b>CULTIVOS</b>	<b>TOTAL Ha</b>	<b>IRRIGADA Ha</b>	<b>%</b>
Tomate	24.8	19.9	5.5
Pepino	16.3	13.0	3.6
Pimiento	20.3	16.2	4.5
Maíz	38.0	30.4	8.4
Hierba Luisa	55.8	44.7	12.4
Maracuyá	58.3	46.6	12.9
Frutales	42.5	34.0	9.4
Caña	47.9	38.3	10.6
Pasto	32.3	25.9	7.2
Frejol	27.4	21.9	6.1
Zarandaja	44.5	35.6	9.9
Yuca	42.1	33.7	9.4
<b>Total</b>	<b>450.2</b>	<b>360.2</b>	<b>100.0</b>

De acuerdo al mapa textural Figura 21, en la Junta Sectorial San Agustín, predominan los suelos Arcillosos y Franco Arcillosos con este parámetro se seleccionaron los cultivos de tomate, pepino y pimiento. Para la Junta Sectorial La Era donde predominan los suelos franco arcillosos y franco arcillo arenosos, se seleccionaron los cultivos de hierba luisa, maíz y maracuyá; en la Junta Sectorial de Sobrinopamba los cultivos de pasto, caña y frutales, mientras que en la Junta Sectorial La Capilla-San Bernabé predominan los suelos Franco Arcillosos y se seleccionaron los cultivos de frejol, yuca y zarandaja.



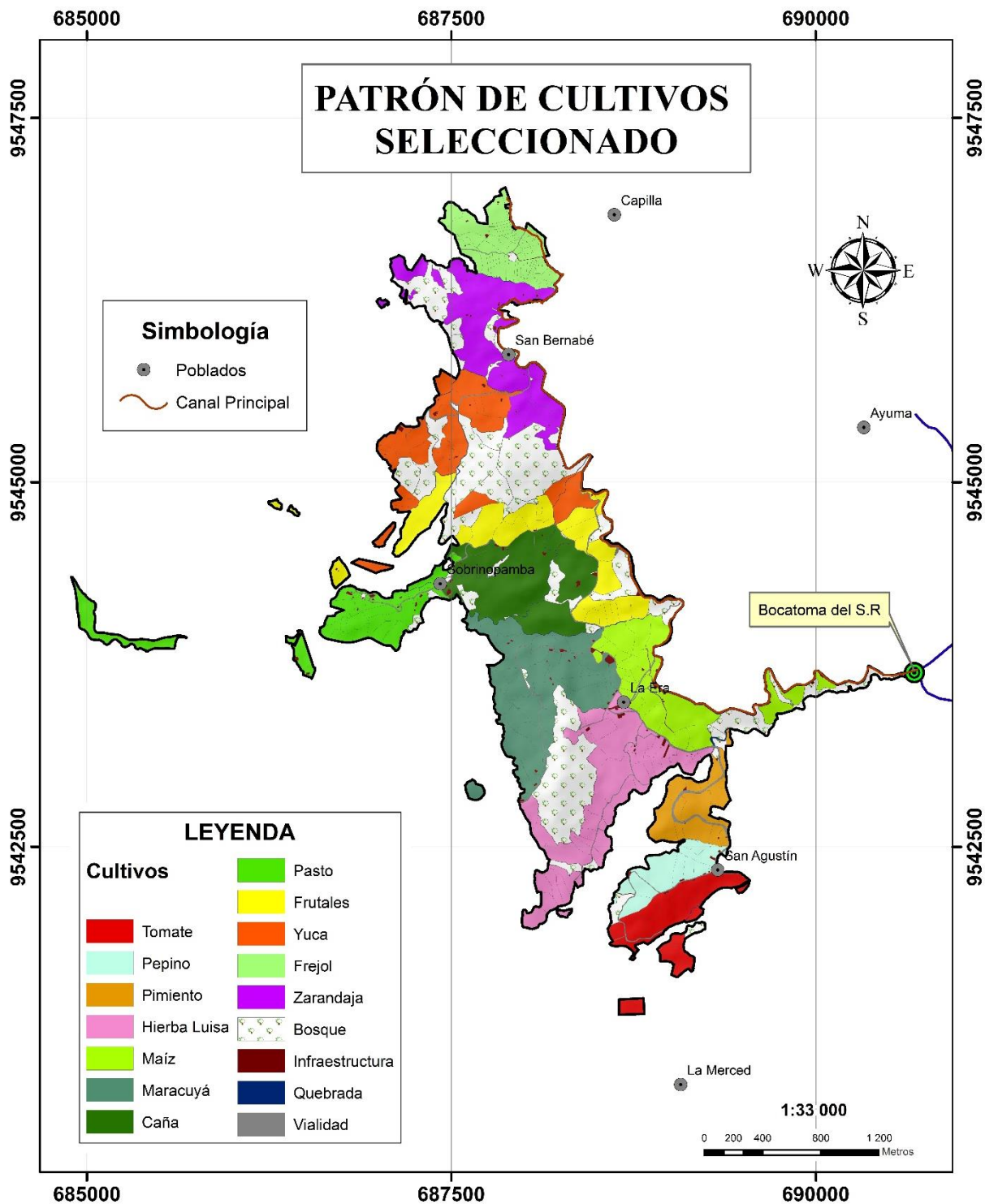


Figura 23. Patrón de cultivos recomendado



#### 4.3.4. Requerimientos de riego

En base a los coeficientes de cada cultivo, precipitación efectiva y la planificación de siembra, se ha determinado las demandas de agua que debe suplir el sistema de riego; las mismas se detallan a continuación.

**Tabla 35.** Necesidades de agua de los cultivos seleccionados para el sistema de riego La Era.

SECTORIAL SAN AGUSTÍN													
	MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pepino (ha)	Kc	0.75	0.55	0.82	1.05	1.01	0.75	0.55	0.82	1.05	1.01	1.01	1.01
	Etc	3.2	2.2	3.3	4.2	4.2	3.3	2.6	3.8	4.7	4.3	4.3	4.3
	NR (m <sup>3</sup> / ha/mes)	409.0	-269.9	203.9	980.6	1215.8	973.6	625.8	686.8	969.3	780.9	780.9	780.9
	NR (m <sup>3</sup> /mes)	5332.7	-3519.9	2659.1	12786.4	15854.3	12696.1	8161.0	8955.6	12639.9	10182.9	10182.9	10182.9
Pimiento (ha)	Kc	0.95	0.90	0.80						0.45	0.70	1.02	1.00
	Etc	4.1	3.5	3.2						2.1	3.2	4.6	4.3
	NR (m <sup>3</sup> / ha/mes)	675.1	115.4	41.9						486.1	515.3	929.2	767.6
	NR (m <sup>3</sup> /mes)	10946.9	1871.2	679.8						7881.9	8356.1	15067.4	12447.4
Tomate (ha)	Kc	1.20	1.16	0.90	0.50	0.70	1.10	1.20	1.16	0.90	0.50	0.70	1.10
	Etc	5.2	4.5	3.6	2.0	2.8	4.6	5.2	5.3	4.2	2.3	3.1	4.7
	NR (m <sup>3</sup> / ha/mes)	1007.7	398.0	166.7	-182.0	542.7	1329.4	1581.8	1614.4	1115.1	229.5	500.9	900.6
	NR (m <sup>3</sup> /mes)	20025.4	7909.8	3311.9	-3616.7	10784.5	26418.2	31433.5	32081.7	22159.5	4560.6	9953.5	17895.9
	NR m <sup>3</sup> /mes/ J1	36305.1	9780.9	3991.6	2659.1	23570.9	42272.6	44129.6	32081.7	38202.4	21872.3	37660.8	40526.2
SECTORIAL LA ERA													
Hierva Luisa (ha)	Kc	1.00	0.90	0.60	1.15	1.10	1.00	0.90	0.60	1.15	0.60	1.15	1.10
	Etc	4.3	3.5	2.4	4.6	4.4	4.2	3.9	2.7	5.4	2.8	5.1	4.7
	NR (m <sup>3</sup> / ha/mes)	741.6	115.4	-207.6	601.9	1043.1	1203.2	1176.4	820.6	1464.6	372.4	1103.2	900.6
	NR (m <sup>3</sup> /mes)	33122.8	5153.8	-9270.5	26883.3	46589.0	53739.7	52540.5	36649.5	65414.2	16632.9	49271.5	40222.6

Maíz (ha)	MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
30.4	Kc	0.95	1.25	1.20	0.70		0.60	0.95	1.25	1.20	0.70		0.60
	Etc	4.1	4.9	4.8	2.8		2.5	4.1	5.7	5.6	3.2		2.6
	NR (m <sup>3</sup> /ha/mes)	675.1	495.9	540.9	59.2		698.3	1243.9	1742.0	1534.5	515.3		235.8
	NR (m <sup>3</sup> /mes)	20538.3	15086.5	16455.7	1801.1		21245.7	37845.2	52998.6	46685.0	15677.5		7172.8

Maracuyá (ha)	MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
46.6	Kc	0.95	1.05	1.15	1.20	1.25	1.20	1.15	0.95	0.75	0.80	0.85	0.88
	Etc	4.1	4.1	4.6	4.8	5.0	5.0	5.0	4.3	3.5	3.7	3.8	3.8
	NR (m <sup>3</sup> /ha/mes)	675.1	278.5	478.5	662.2	1230.8	1455.6	1514.2	1316.7	905.4	658.2	701.6	608.0
	NR (m <sup>3</sup> /mes)	31458.3	12976.0	22298.6	30858.5	57353.0	67832.8	70562.9	61359.2	42192.8	30672.1	32696.4	28335.0
	NR (m <sup>3</sup> /mes/J2)	85119.4	33216.3	38754.3	59542.9	103942.0	142818.2	160948.6	151007.3	154292.0	62982.5	81968.0	75730.4

#### SECTORIAL SOBRINOPAMBA

Pasto (ha)	MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
25.872	Kc	1.20	1.15	1.05	0.85	0.60	1.20	1.15	1.05	0.85	0.60	1.20	0.60
	Etc	5.2	4.5	4.2	3.4	2.4	5.0	5.0	4.8	4.0	2.8	5.4	2.6
	NR (m <sup>3</sup> /ha/mes)	1007.7	387.2	353.8	240.1	417.6	1455.6	1514.2	1458.5	1045.2	372.4	1170.1	235.8
	NR (m <sup>3</sup> /mes)	26071.7	10016.7	9152.7	6211.9	10804.1	37660.3	39176.0	37733.8	27041.8	9634.7	30272.3	6099.6

Caña (ha)	MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
38.3	Kc	1.20	1.15	1.10	0.70		0.35	0.70	1.15	1.30	1.33	1.32	1.30
	Etc	5.2	4.5	4.4	2.8		1.5	3.1	5.3	6.1	6.1	5.9	5.6
	NR (m <sup>3</sup> /ha/mes)	1007.7	387.2	416.1	59.2		382.8	906.1	1600.2	1674.3	1415.6	1330.7	1166.5
	NR (m <sup>3</sup> /mes)	38575.5	14820.7	15929.8	2266.2		14652.4	34683.6	61257.2	64091.1	54188.0	50938.7	44652.9

Frutales (ha)	MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
34.0	Kc	0.74	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.81	0.81	0.78	0.75	0.72
	Etc	3.2	2.9	3.1	3.1	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	3.6	3.3	3.1
	NR (m <sup>3</sup> /ha/mes)	395.6	-47.7	-8.0	143.6	655.3	950.8	1054.7	1118.3	989.3	629.6	567.8	395.3
	NR (m <sup>3</sup> /mes)	13439.2	-1619.4	-270.9	4878.5	22258.9	32295.4	35826.6	37984.9	33604.5	21386.9	19287.0	13428.0
NR m <sup>3</sup> /mes/J3	78086.5	24837.4	24811.6	13356.5	33063.0	84608.2	109686.2	136975.9	124737.4	85209.7	100498.1	64180.4	

SECTORIAL LA CAPILLA/SAN BERNABÉ													
Frejol (ha)	MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	Kc	1.2	1.0	0.3			0.3	1.0	1.2	0.7			0.7
	Etc	5.2	3.9	1.2			1.3	4.4	5.5	3.3			3.0
	NR (m <sup>3</sup> /ha/mes)	1007.7	224.1	-581.8			319.7	1311.5	1671.1	835.5			368.7
21.936	NR (m <sup>3</sup> /mes)	22105.3	4915.9	-12761.9			7012.1	28769.1	36657.7	18328.2			8088.2
Yuca (ha)	MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	Kc	0.3	0.3	0.3	0.5	1.0	1.1	1.1	1.0	0.9	0.6	0.3	0.3
	Etc	1.2	1.2	1.2	2.0	4.0	4.4	4.6	4.7	4.2	2.8	1.1	1.1
	NR (m <sup>3</sup> /ha/mes)	-216.4	-536.9	-581.8	-182.0	918.0	1266.3	1379.1	1416.0	1115.1	372.4	-101.4	-216.3
33.696	NR (m <sup>3</sup> /mes)	-7292.9	-18090.4	-19603.7	-6132.7	30932.9	42669.6	46469.3	47711.9	37574.7	12548.4	-3416.8	-7288.6
Zarandaja (ha)	MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	Kc		0.31	0.7	1.15	1.22	0.85		0.31	0.7	1.15	1.22	0.85
	Etc		1.2	2.8	4.6	4.9	3.6		1.4	3.3	5.3	5.4	3.6
	NR (m <sup>3</sup> /ha/mes)		-526.0	-82.8	601.9	1193.2	1013.9		409.5	835.5	1158.4	1196.8	568.2
	NR (m <sup>3</sup> /mes)		-18717.1	-2947.1	21418.0	42459.5	36077.6		14570.1	29731.5	41218.7	42588.6	20217.4
	NR m <sup>3</sup> /Junta	22105.3	4915.9	0.0	21418.0	73392.5	85759.2	75238.4	98939.7	85634.4	53767.1	42588.6	28305.6
	NR total (m <sup>3</sup> /mes)	221616.3	72750.5	67557.6	96976.5	233968.4	355458.2	390002.7	419004.5	402866.2	223831.6	262715.5	208742.7

Con respecto a los caudales continuos, la Junta Sectorial Sobrinopamba, presenta el mayor requerimiento con 0.52 l/s/ha, esto se debe principalmente a los cultivos recomendados que tienen una alta evapotranspiración que son la caña y el pasto, mientras que el menor caudal continuo se presenta en la Junta Sectorial San Agustín con los cultivos de pepino, pimiento y tomate.

**Tabla 36.** Requerimientos de riego por juntas sectoriales en l/s

Juntas Sectoriales	Mes >	RR (m <sup>3</sup> )	Q. Cont.	Sup. Riego (ha)	Q. Continuo
	demandas		Equivalente. (l/s)		l/s/ha
San Agustín	Julio	44 129.6	16.5	49.1	0.34
La Era	Julio	160 948.6	60.1	121.7	0.49
Sobrinopamba	Agosto	136 975.9	51.1	98.1	0.52
La Capilla y San Bernabé	Agosto	98 939.7	36.9	91.2	0.40

### 4.3.5. Programación del riego

Definida la mayor demanda de agua, para los cultivos de: pimiento, pepino, tomate, zarandaja, frejol y yuca, se determinó la lámina neta; las constantes hidrofísicas, como densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, se tomaron de la Tabla 4, descrita en el acápite 2.9.1.1.1 de revisión bibliográfica en base a la textura del suelo, mientras que la fracción de agotamiento del agua en el suelo para cada cultivo, se tomaron como referencia los valores que recomienda la FAO, en el manual número 56. Para los demás cultivos, se consideró el estudio de suelos realizado por el INERHI -1981.

**Tabla 37.** Determinación de láminas y frecuencias

Caña	Tipo de suelo	CC (%)	PMP (%)	Da (gr/cm <sup>3</sup> )	P.ef = 70% Pt (mm)	pa (decimal)	Ln (mm)	Ea (%)	Lb (mm)	UC máx (mm/día)	Fr. de riego (días)
Pimiento	Fo Ac Ao	30.10	18.00	1.45	450.0	0.25	19.7	90.0	21.9	4.6	4.3
Pepino	Fo Ac	37.80	25.50	1.35	450.0	0.25	18.7	90.0	20.8	4.7	4.0
Tomate	Ac	37.90	25.50	1.35	525.0	0.25	22.0	90.0	24.4	5.3	4.1
* Maíz (0-14 cm)	Ac	23.36	12.70	1.12	140.0	0.40	6.7	33.19	75.0	44.3	5.5
(14-42 cm)	Ac	31.52	17.13	1.12	280.0	0.40	18.1				
(42-52.5 cm)	Ac	39.39	21.42	1.12	105.0	0.40	8.5				
* Maracuyá	Fo Ao	33.49	18.20	1.45	350.0	0.50	38.8	60.0	64.7	5.1	7.7
* Hierva Luisa (0-25 cm)	Ao	38.34	20.84	1.28	250.0	0.40	22.4	49.8	75.0	66.5	5.4
(25-43 cm)	Ao	34.51	18.76	1.28	180.0	0.40	14.5				
(43-60 cm)	Ao	32.52	17.67	1.28	170.0	0.40	12.9				
* Pasto (0-23 cm)	FoAo	25.94	14.10	1.41	230.0	0.50	19.2	41.1	75.0	54.9	5.4
(23-50 cm)	FoAo	25.27	13.74	1.41	270.0	0.50	21.9				
* Frutales (0-25 cm)	Ao	38.34	20.84	1.28	250.0	0.40	22.4	49.84	75.0	66.5	3.8
(25-43 cm)	Ao	34.51	18.76	1.28	180.0	0.40	14.5				
(43-60 cm)	Ao	32.52	17.67	1.28	170.0	0.40	12.9				
* Caña (0-23 cm)	FoAo	25.94	14.10	1.41	230.0	0.50	19.2	55.5	60.0	92.6	6.2
(23-48)	FoAo	25.27	13.74	1.41	250.0	0.50	20.3				
(48-70 cm)	Fo	22.62	12.29	1.41	220.0	0.50	16.0				
Zarandaja	Fo Ac	37.90	25.50	1.35	525.0	0.45	39.5	60.0	65.9	5.2	7.6
Frejol	Fo Ac	37.90	25.50	1.35	525.0	0.45	39.5	60.0	65.9	5.5	7.2
Yuca	Fo Ac	37.90	25.50	1.35	525.0	0.40	35.2	75.0	46.9	4.7	7.5

**Nota:** \* Constantes hidrofísicas, tomadas del estudio de suelos (INERHI-1981)

En la Tabla 37, se puede observar que las frecuencias o intervalos menores entre riegos corresponden a los cultivos de pepino, tomate y pimiento con 4 días. Con respecto a las mayores frecuencias son para los cultivos de frutales con 13 días y para los cultivos de hierva luisa y caña con 9 días, esto se debe principalmente a que estos cultivos tienen una mayor profundidad radicular.

Con la finalidad de elaborar el calendario de riego, de una manera práctica y metodológica, se asumieron dos frecuencias de riego; una frecuencia de tres días para la Junta Sectorial San Agustín con los cultivos de tomate pepino y pimiento y un método de riego por



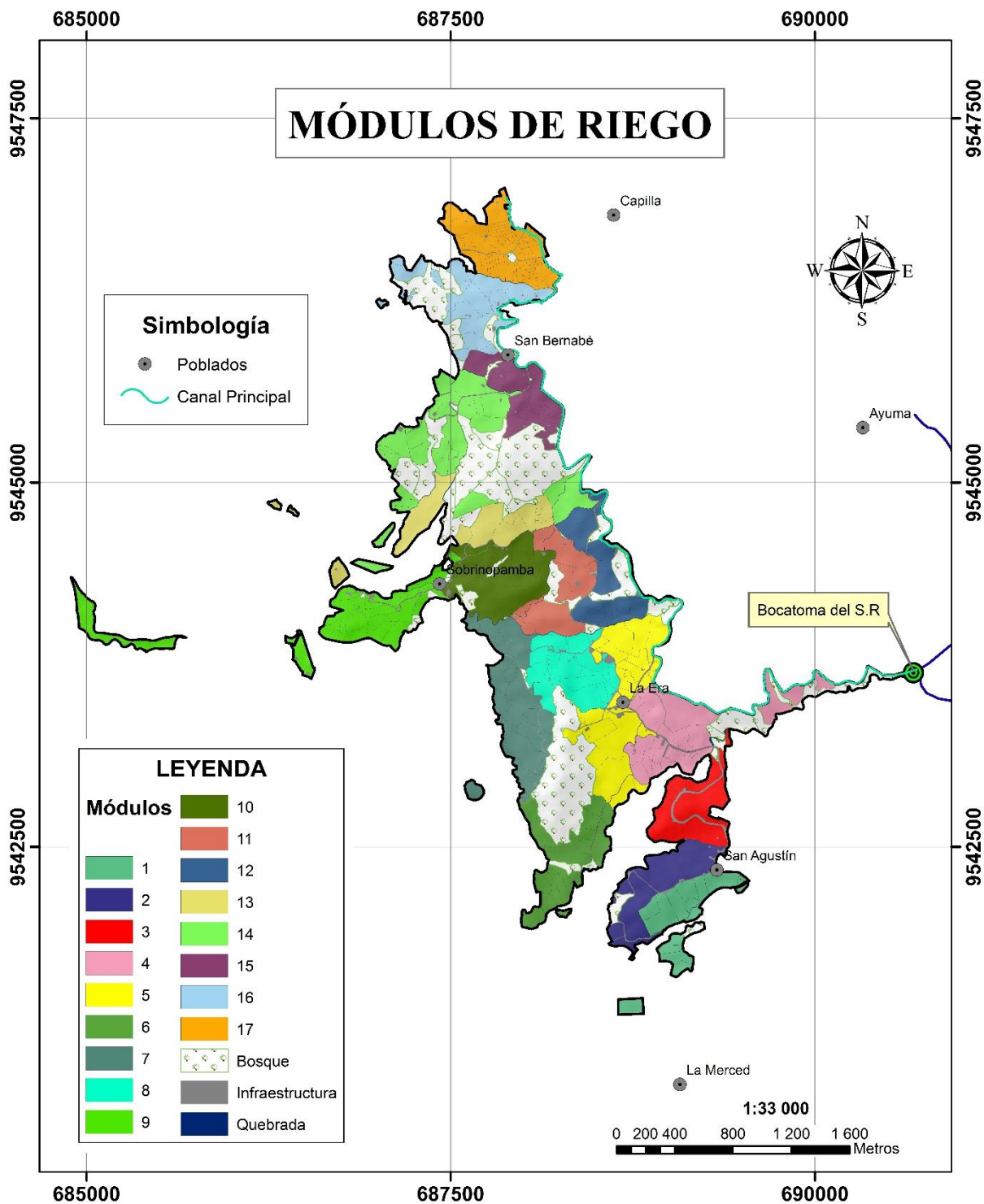


Figura 24. Módulos de riego

### 4.3.7. Turnos de riego

Una vez definido los caudales por turno para cada usuario, se ha planificado que la entrega de agua debe iniciar el día lunes a las 05h00; en el caso de la Junta Sectorial San Agustín que se ha fraccionado el área en 3 módulos y una frecuencia de riego de 3 días con un criterio de riego 1 día, en esta junta debe existir un caudal permanente en la cabecera del módulo; que el día lunes riegan los usuarios del módulo 1, el día martes los usuarios del módulo 2 y el día miércoles los usuarios del módulo 3, para el día jueves se repiten los turnos de riego, con la diferencia de que los usuarios que regaron en el turno 1 en la mañana, iniciaran el turno en la tarde (15h00), y así sucesivamente.

Los módulos 4-7-13, deberán iniciar el riego el día lunes a las 05h00, como el criterio de riego es de dos días el turno culmina el día miércoles a las 05h00; pero los caudales se los ha planificado para que el primer día rieguen los usuarios del turno 1 y el siguiente día los usuarios del turno 2. Los módulos 6-8-9-11-17, inician el riego el día miércoles a las 05h00, y culmina el viernes a la 05h00, en el primer día regarán los usuarios del turno 1 y en el siguiente día los usuarios del turno 2.

El día viernes corresponde a los módulos 5-12-14-15-16, que inician a las 05h00 y culmina el domingo a las 05h00, de igual forma que los módulos anteriores se utilizará el caudal en el primer día para los usuarios del turno 1 y en siguiente día los usuarios del turno 2; una vez que han regado todos los usuarios de los módulos, nuevamente el agua debe ser repartida de acuerdo a las frecuencias correspondientes. Los turnos de riego se pueden evidenciar en el Anexo 27.

**Tabla 39.** *Turnos de riego del módulo 1.*

	USUARIO	Sup. (Ha)	Q (l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 1</b>	Sergio Humberto Guzmán Cruz	1.46	4.2	05h00-15h00						
	Juan Alcívar González González	0.75	2.2	05h00-15h00						
	José Javier González González	1.97	5.7	05h00-15h00						
	José Baltazar González González	0.66	2.1	05h00-15h00						
	Leopoldo Manuel Carrión González	1.03	3.0	05h00-15h00						
	Horacio Gregorio Rosillo	2.78	8.0	05h00-15h00						
	Ruperto Hipólito Espejo Galván	1.56	4.9	05h00-15h00						
	Amado Enrique Riofrío	0.6	1.9	05h00-15h00						
	Omar Benito Carrión González	0.44	1.4		15h00-01h00					
	Segundo Aniceto Carrión Arias	1.29	4.1		15h00-01h00					
	Fausto Herminio Macas Carrión	0.89	2.8		15h00-01h00					
	María Piedad Galván Reyes	2.10	6.6		15h00-01h00					
	Rigoberto Antonio Carrión González	0.25	0.7		15h00-01h00					

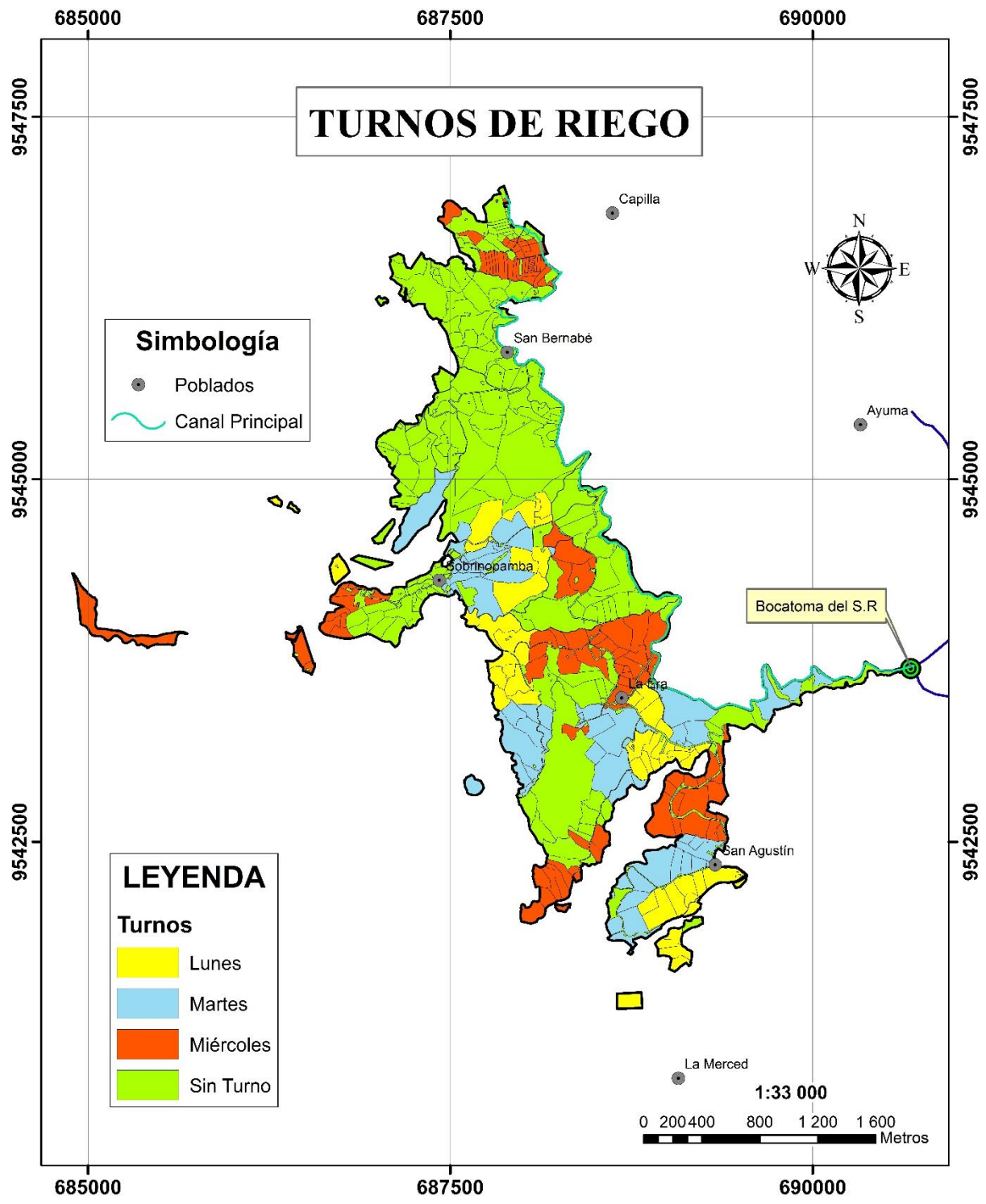


Figura 25. Turnos de riego



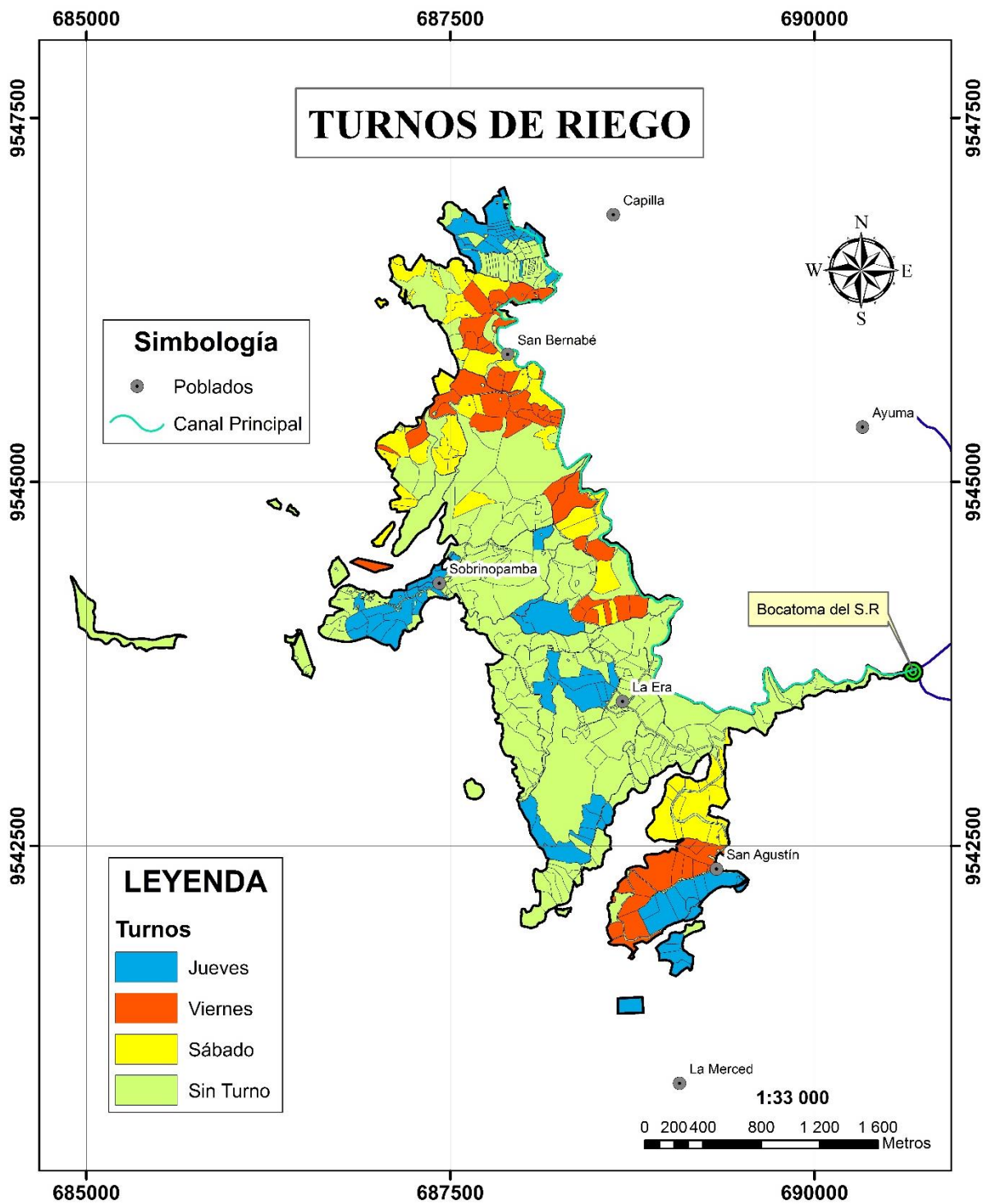


Figura 26. Turnos de riego

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- El método empírico que mejor se adaptó a las condiciones geomorfológicas de la cuenca y a los aforos realizados mediante el molinete hidráulico en el sitio de captación, fue el método del polinomio ecológico, el cual presentó, un mejor comportamiento puntualmente en el período de estiaje
- Se estima que al 75 % del tiempo durante un año, la microcuenca de la quebrada San Agustín, dispone de un caudal medio de 280 l/s.
- La evapotranspiración del cultivo de referencia, determinado con el método de Penman Monteith, presenta una máxima en agosto de 4.6 y septiembre 4.7mm/día, y la mínima se estima para el mes de febrero con 3.9 mm/día.
- El volumen anual estimado, para regar un área de 360.2 ha, con una eficiencia de aplicación del 50 % y de acuerdo al patrón de cultivos identificado es de 5.99 hm<sup>3</sup>.
- De acuerdo al mapa de suelos realizado por el INERHI 1981 y al catastro actual del sistema de riego, el 40 % de la superficie de la clase agrológica 6, se está cultivando.
- En el sistema de riego La Era, las clases texturales predominantes son: Franco Arcillo arenoso con 247.3 ha que representan un 41.9% y Franco Arcilloso con 219.4 ha, que representan un 37.2%.
- Los caudales característicos mínimo y máximo son; 0.40 l/s para la Junta Sectorial San Agustín con los cultivos de tomate, pepino y pimiento y 0.87 l/s para la Junta Sectorial Sobrinopamba para el cultivo de caña.
- En el sistema de riego el 65.6 % de las explotaciones tienen una superficie menor o igual a 1.5 ha.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Que la Universidad Nacional de Loja, institución encargada de generar investigación y vinculación, desarrolle proyectos para los sistemas de riego de la provincia de Loja, con temas relacionados con la programación y operación del riego, que la comunidad demanda, participando junto con otras instituciones que desarrollan y ejecutan proyectos de este tipo.
- Es necesario evaluar la infraestructura de riego, con la finalidad de identificar el estado actual de las obras hidráulicas, para obtener información técnica que permita una mejor programación del riego y contribuya a la optimización del recurso hídrico.
- Que la junta de riego, gestione la implementación de una estación meteorológica automática y de medición de caudales, para obtener datos de los elementos meteorológicos en la zona riego; que se complementen con los datos de caudales de forma oportuna y veraz, que proporcionen información adecuada para lograr una mayor eficiencia en la programación y evaluación del agua en el sistema de riego.
- De acuerdo al mapa de cobertura vegetal, se desprende que el 60% de la superficie actualmente es pasto, los mismos que están sujetos a la degradación por el pastoreo continuo, por lo que se recomienda identificar las áreas potenciales para conservación y así, establecer especies vegetales que contribuyan a preservar la cuenca de aportación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Allen, R. G. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. 56): Food & Agricultura Org.

Andreas Fries, *et al.* (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. (en línea). Agricultural and Forest Meteorology. Volume 152. Consultado el 14 de octubre de 2016. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192311002619>

Aparicio Mijares, FJ. (1997). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa.

Bravo Torres, DA; Moreno Bravo, AF. (2007). Planeación de los recursos hídricos del sistema de riego Campana-Malacatos, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Tesis Ing. Agrícola. Loja, EC, Universidad Nacional de Loja. 145 p.

Cañar Rivas, AL. (2016). Análisis de la Disponibilidad y Demanda de agua, con fines de riego, en el sistema Campana-Malacatos, utilizando los sistemas de Información Geográfica (SIG). Tesis de Ing. Agrícola. Loja, EC, Universidad Nacional de Loja. 79 p.

Chamba C, CV. (2015). Aplicación de indicadores de gestión en sistemas de riego. Tesis de Ing. Civil. Loja, EC, Universidad Técnica Particular de Loja. 108 p.

Chow, VT; *et all.* (1994). Hidrología aplicada. Traducido por J.G. Saldarriaga. 1ra ed. 1ra impr. Santa Fe de Bogotá: Editorial McGraw-Hill, 584p.

Cob, A. (2004). El conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos es fundamental para mejorar el diseño, planificación y gestión del polígono y sistemas de riego. (en línea). Artículo. Consultado el 12 de diciembre de 2016. Disponible en [http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh177/034\\_041.pdf](http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh177/034_041.pdf)

Collahuaso A, A; Ortiz P, J; Valarezo M, L. (1982). Proyecto de riego La Era segunda etapa. Tesis Ing. Agrícola. Loja, EC, Universidad Nacional de Loja. 305 p.

Doorenbos, J; Pruitt, W.O. (1977). Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio de riego y drenaje FAO 56. Roma Italia.

Dourojeanni, A. (2000). *Desafíos para la gestión integrada de los recursos hídricos*. Policy and Institutions for Integrated Water Resources Management. International Water Resources Association (IWRA), 19 p.

Escalante Sandoval, C.A; Reyes Chávez, L. (2004). “*Influence of Length of Record in Estimation of Rain Factor R*” [Publicación periódica] // Scientific electronic library online . - México : [s.n.]. - págs. 1-7.

FAO, (2006). Evapotranspiración del Cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56. Roma Italia. 298 p.

\_\_\_\_\_. (1992). Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Estudio y Planificación de Cuencas Hidrográficas. Roma, Italia. 185 p.

\_\_\_\_\_. (s.f). Portal de suelos de la FAO, propiedades físicas. (en línea). Consultado el 10 de diciembre de 2016. Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

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

González G, R. (2001). Hidrología de Cuencas. Loja, EC, Universidad Nacional de Loja. 61 p.

González, AI. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. (en línea). Universidad del País Vasco. Consultado el 10 octubre de 2016. Disponible en <http://age.ieg.csic.es/boletin/38/17%20IBISATE%20311-329.pdf>

INERHI. (1981). Estudio de suelos, del proyecto La Era. Loja, EC. 48 p.

INERHI-PREDESUR-CONADE. (1994). “Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja” Washington D.C. Organización de los Estados Unidos Americanos (en línea). Consultado el 07 de enero de 2017. Disponible en <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea02s/oea02s.pdf>

Lemus V, M; Navarro V, G. (2003). Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelo. Corporación Forestal Nacional. San Fernando, CL. (en línea). Consultado 10 de noviembre de 2016. Disponible en <http://www.oasification.com/archivos/Manual%20de%20Mauco.pdf>

Luzuriaga Rengel, AE. (2012). Determinación experimental del Número de la Curva para el cálculo de abstracciones hidrológicas a escala continua. Tesis Ing. Civil. Loja, EC, Universidad Técnica Particular de Loja. 125 p.

Monsalve Saénz, G. (1999). Hidrología en la Ingeniería. Segunda Edición. Bogotá, CO, Escuela Colombiana de Ingeniería. 380 p.

OMM. (1974). “Glosario Hidrológico Internacional”. WMO/OMM/BMO-No 385. Secretaria de la Organización Meteorológica Mundial. Primera edición. Ginebra, Suiza.

Ordoñez Gálvez, JJ. (2011). Cartilla técnica. El ciclo Hidrológico en colaboración con el Foro peruano para el agua y GWP (en línea). Consultado el 05 de febrero de 2017. Disponible en [http://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10\\_1/Ciclo\\_Hidrologico-Peru.pdf](http://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10_1/Ciclo_Hidrologico-Peru.pdf)

Palacios, E. (1989). Introducción a la Teoría de la Operación de Distritos y Sistemas de Riego. Montecillo, MX, Colegio de Posgraduados.

Ramakrishna, B. (1997). Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas (conceptos y experiencias). (en línea). San José, CR, Instituto Interamericano de cooperación para la Agricultura (IICA). 338 p. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9786e/A9786e.pdf>

Serrano Ojeda, JA. (2011). Estimación de la relación de lluvia “R” para la determinación de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia en la provincia de Loja-Ecuador con escasa o nula información pluviográfica. (en línea). Repositorio digital facultad de ingeniería, UNAM. Consultado 25 de enero de 2017. Disponible en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/handle/132.248.52.100/4553?mode=full>

Sosa, D; Alvarenga, F. (1996). Técnicas de toma y remisión de muestras de suelos. INTA.

Springall, R. (1990). Evolución de la Hidrología Superficial en México. Ing. Hidráulica, MX, UNAM.

Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2011). Plan Nacional de Riego y drenaje 2011- 2026. Obtenido de Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca: <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002>

Valarezo Manosalvas, C; *et al.* (1998). Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador. Loja, EC, Universidad Nacional de Loja. 227 p.

Zimmerman, J. D. (1981). El Riego. México: Continental, S. A. Calz. de Tlalpan Núm. 4620, Mexico 22, D F.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Estadística de precipitación de la estación agroclimática La Argelia (mm)

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
1981	66.5	89.5	104.1	64.8	18.1	18.4	30.9	23.6	4.7	129.1	61.6	103.4	714.7
1982	112.8	49.4	143.4	146.9	78.3	11.3	27.5	21.9	43.8	122.9	37.2	131.4	926.8
1983	155.5	194.0	220.2	78.9	68.7	27.7	52.2	13.3	37.2	94.1	12.3	138.3	1092.4
1984	49.7	210.0	173.2	101.2	57.4	84.0	74.4	59.1	47.7	96.1	73.7	54.3	1080.8
1985	54.2	86.5	100.9	79.2	150.5	19.9	43.1	63.0	48.9	101.3	79.9	109.5	936.9
1986	46.7	128.4	89.2	121.2	41.0	14.8	33.1	25.4	57.2	58.1	56.3	90.0	761.4
1987	64.1	87.3	115.4	112.8	64.7	10.8	94.6	48.2	40.9	84.8	126.6	71.7	921.9
1988	116.4	143.9	84.9	111.1	55.2	26.8	65.6	46.6	45.0	73.8	70.6	65.2	905.1
1989	159.2	161.6	205.3	47.6	63.0	44.3	34.7	34.1	64.2	130.1	14.8	20.7	979.6
1990	131.7	161.3	142.6	131.1	77.1	83.0	43.8	33.2	27.1	85.4	107.8	115.0	1139.1
1991	113.1	153.5	197.0	59.6	70.1	64.0	39.2	61.9	30.9	61.0	22.6	66.5	939.4
1992	83.5	125.3	94.1	97.0	57.6	47.7	50.4	15.7	39.4	47.1	103.5	64.5	825.8
1993	85.4	105.4	317.2	93.4	23.4	50.3	62.7	29.2	45.6	91.5	48.0	198.1	1150.2
1994	213.8	77.6	285.5	123.3	54.1	53.8	81.5	69.3	37.0	29.6	42.8	104.6	1172.9
1995	59.7	88.0	93.4	52.8	64.7	9.8	33.6	19.9	22.3	36.8	129.0	121.3	731.3
1996	98.3	144.3	153.5	97.8	30.9	46.5	38.6	34.4	37.1	57.9	13.0	27.0	779.3
1997	68.1	109.2	101.2	69.9	46.2	20.7	50.2	35.2	42.0	59.9	73.6	123.9	800.1
1998	40.4	101.9	136.2	88.5	51.2	75.2	49.5	35.7	31.4	115.5	86.4	39.2	851.1
1999	124.3	299.4	132.2	83.7	120.2	58.9	59.8	50.2	81.7	27.8	48.1	131.2	1217.5
2000	152.1	178.2	192.1	105.0	81.8	86.8	37.1	50.3	67.7	31.6	25.4	57.6	1065.7
2001	82.8	116.6	68.3	69.8	63.7	86.9	81.2	52.1	42.0	33.5	128.0	98.3	923.2
2002	102.0	99.2	53.5	126.7	68.2	39.2	62.8	5.9	18.2	67.7	71.4	70.6	785.4
2003	80.3	113.3	188.0	68.8	92.3	53.9	34.1	6.9	25.0	73.3	56.5	106.8	899.2
2004	48.1	119.0	177.6	198.7	46.5	85.4	47.3	12.1	25.2	125.8	95.3	96.3	1077.3
2005	46.4	134.5	173.6	157.6	33.0	79.0	15.3	13.4	18.1	86.2	62.5	98.3	917.9
2006	138.1	88.8	188.3	82.7	33.6	78.5	33.7	13.2	22.5	37.2	93.1	90.6	900.3
2007	50.1	66.3	93.5	99.1	80.7	120.0	11.3	152.4	55.0	55.7	153.3	77.6	1015.0
2008	62.3	251.0	237.9	137.8	74.6	51.3	89.5	89.7	20.6	136.4	102.9	126.3	1380.3
2009	133.0	90.2	134.4	93.1	43.3	29.8	55.7	61.9	55.6	69.7	26.0	118.4	911.1
2010	59.4	109.6	46.3	75.8	70.7	77.5	31.1	46.2	60.6	34.4	60.0	81.1	752.7
2011	58.2	205.3	131.4	154.5	87.1	56.1	101.0	54.7	89.8	80.9	155.9	163.7	1338.6
2012	147.0	201.6	60.5	97.8	82.1	82.2	16.6	32.0	32.8	116.4	110.1	117.3	1096.4
<b>Total</b>	<b>3003.2</b>	<b>4290.1</b>	<b>4634.9</b>	<b>3228.2</b>	<b>2050.0</b>	<b>1694.5</b>	<b>1582.1</b>	<b>1310.7</b>	<b>1317.2</b>	<b>2451.6</b>	<b>2348.2</b>	<b>3078.7</b>	<b>30989.4</b>
<b>Media</b>	<b>93.9</b>	<b>134.1</b>	<b>144.8</b>	<b>100.9</b>	<b>64.1</b>	<b>53.0</b>	<b>49.4</b>	<b>41.0</b>	<b>41.2</b>	<b>76.6</b>	<b>73.4</b>	<b>96.2</b>	<b>968.4</b>
<b>Max</b>	<b>213.8</b>	<b>299.4</b>	<b>317.2</b>	<b>198.7</b>	<b>150.5</b>	<b>120.0</b>	<b>101.0</b>	<b>152.4</b>	<b>89.8</b>	<b>136.4</b>	<b>155.9</b>	<b>198.1</b>	<b>1380.3</b>
<b>Min</b>	<b>40.4</b>	<b>49.4</b>	<b>46.3</b>	<b>47.6</b>	<b>18.1</b>	<b>9.8</b>	<b>11.3</b>	<b>5.9</b>	<b>4.7</b>	<b>27.8</b>	<b>12.3</b>	<b>20.7</b>	<b>714.7</b>
<b>Desv.E</b>	<b>43.3</b>	<b>55.9</b>	<b>65.1</b>	<b>33.9</b>	<b>26.8</b>	<b>28.7</b>	<b>22.9</b>	<b>28.9</b>	<b>18.8</b>	<b>33.5</b>	<b>40.2</b>	<b>38.1</b>	<b>171.3</b>
<b>CV(%)</b>	<b>46.1</b>	<b>41.7</b>	<b>45.0</b>	<b>33.6</b>	<b>41.8</b>	<b>54.2</b>	<b>46.3</b>	<b>70.5</b>	<b>45.7</b>	<b>43.7</b>	<b>54.7</b>	<b>39.6</b>	<b>17.7</b>

Correlación Lineal Cajanuma-Argelia





**Anexo 3.** Estadística de precipitación de la estación Pluviométrica Cajanuma (mm)

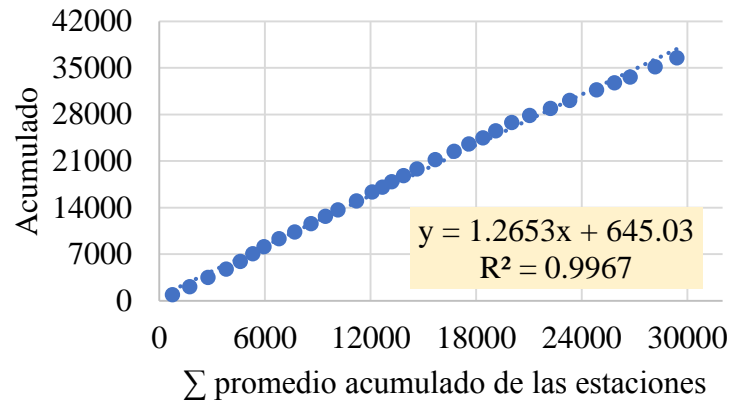
<b>Año</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Annual</b>
<b>1981</b>	91.40	96.80	215.20	99.20	19.40	41.20	41.50	16.20	7.40	82.10	86.90	113.00	910.30
<b>1982</b>	141.6	120.7	119.6	101.4	88.6	9.8	45.8	35.8	38.9	149.8	155.8	172.1	1179.9
<b>1983</b>	193.3	243.4	304.0	117.2	85.7	44.2	39.6	16.0	66.0	110.7	29.2	160.0	1409.3
<b>1984</b>	81.0	206.6	185.4	147.6	59.3	126.9	87.6	67.7	52.9	95.5	72.9	70.8	1254.2
<b>1985</b>	92.6	103.4	122.2	93.9	191.5	19.2	39.5	97.6	45.5	111.1	91.2	129.3	1137.0
<b>1986</b>	80.3	183.7	221.4	147.9	50.0	21.2	33.7	25.5	80.8	58.6	112.7	125.9	1141.7
<b>1987</b>	83.6	115.3	202.5	161.7	91.1	32.5	107.6	52.9	27.9	94.0	58.4	77.0	1104.5
<b>1988</b>	146.5	182.5	155.1	139.9	82.3	35.7	84.4	51.3	33.7	93.7	82.8	68.6	1156.5
<b>1989</b>	162.1	166.5	205.4	52.5	71.3	53.6	40.4	37.2	67.0	134.2	20.3	24.3	1034.8
<b>1990</b>	134.5	204.4	157.2	126.3	85.3	73.6	30.4	24.6	26.6	129.7	125.8	132.0	1250.4
<b>1991</b>	130.0	174.6	222.7	71.0	82.6	75.8	48.5	73.5	39.3	72.5	30.1	78.6	1099.2
<b>1992</b>	97.4	143.5	109.1	112.3	68.8	57.8	60.8	22.5	48.7	57.2	119.4	76.4	973.8
<b>1993</b>	99.5	121.5	355.3	108.3	31.0	60.7	74.4	37.4	55.5	106.2	58.2	223.9	1331.9
<b>1994</b>	241.2	90.8	320.3	141.3	64.9	64.6	95.2	81.7	46.0	37.9	52.4	120.7	1357.0
<b>1995</b>	57.6	121.9	97.1	50.3	92.3	6.7	31.8	10.2	18.4	28.2	89.1	126.7	730.3
<b>1996</b>	114.7	178.7	148.7	100.8	41.9	38.7	26.3	28.8	16.0	43.8	19.7	43.2	801.3
<b>1997</b>	80.4	125.7	116.9	82.3	56.2	28.0	60.6	44.0	51.6	71.3	86.4	142.0	945.5
<b>1998</b>	49.8	117.7	155.5	102.9	61.7	88.2	66.4	37.8	22.4	115.5	92.9	63.0	973.8
<b>1999</b>	142.4	335.7	151.1	97.6	137.9	70.2	81.8	58.9	93.0	49.0	31.8	176.8	1426.2
<b>2000</b>	173.1	201.9	217.2	121.1	95.5	101.0	46.1	60.7	79.9	40.1	33.2	68.8	1238.7
<b>2001</b>	96.6	133.9	80.6	82.2	75.5	101.1	94.8	62.7	51.6	42.2	146.5	113.7	1081.4
<b>2002</b>	117.8	114.7	64.2	145.1	80.5	48.5	74.5	11.7	25.3	79.9	84.0	83.1	929.2
<b>2003</b>	93.8	130.3	212.7	81.1	107.1	64.7	42.8	12.8	32.8	86.1	67.6	123.1	1054.9
<b>2004</b>	58.3	136.6	201.2	224.5	56.5	99.5	57.4	18.5	33.0	144.1	110.4	111.5	1251.5
<b>2005</b>	56.4	153.7	196.8	179.2	41.6	92.4	22.1	20.0	25.2	100.3	74.2	113.7	1075.5
<b>2006</b>	157.6	103.2	213.1	96.5	42.3	91.8	42.4	19.8	30.0	46.3	108.0	105.2	1056.1
<b>2007</b>	60.5	78.4	108.4	114.6	94.3	137.7	17.7	173.4	65.9	66.7	174.4	90.8	1182.7
<b>2008</b>	74.0	282.3	267.8	157.3	87.5	61.8	104.0	104.2	27.9	155.8	118.8	144.6	1585.9
<b>2009</b>	152.0	104.8	153.6	108.0	53.0	38.1	66.7	73.5	66.6	82.1	33.9	135.9	1068.0
<b>2010</b>	70.8	126.2	56.3	88.9	83.2	90.7	39.5	56.2	72.1	43.2	71.4	94.7	893.1
<b>2011</b>	69.4	231.8	150.2	175.7	101.3	67.1	116.7	65.6	104.3	94.5	177.3	185.9	1539.9
<b>2012</b>	167.5	227.7	72.0	113.1	95.8	95.9	31.2	46.1	26.0	129.2	195.4	118.6	1318.6
<b>Total</b>	<b>3567.5</b>	<b>5058.8</b>	<b>5558.9</b>	<b>3741.6</b>	<b>2475.9</b>	<b>2039.0</b>	<b>1852.1</b>	<b>1544.9</b>	<b>1478.1</b>	<b>2751.3</b>	<b>2811.1</b>	<b>3613.8</b>	<b>36493.0</b>
<b>Media</b>	<b>111.5</b>	<b>158.1</b>	<b>173.7</b>	<b>116.9</b>	<b>77.4</b>	<b>63.7</b>	<b>57.9</b>	<b>48.3</b>	<b>46.2</b>	<b>86.0</b>	<b>87.8</b>	<b>112.9</b>	<b>1140.4</b>
<b>Max</b>	<b>241.2</b>	<b>335.7</b>	<b>355.3</b>	<b>224.5</b>	<b>191.5</b>	<b>137.7</b>	<b>116.7</b>	<b>173.4</b>	<b>104.3</b>	<b>155.8</b>	<b>195.4</b>	<b>223.9</b>	<b>1585.9</b>
<b>Min</b>	<b>49.8</b>	<b>78.4</b>	<b>56.3</b>	<b>50.3</b>	<b>19.4</b>	<b>6.7</b>	<b>17.7</b>	<b>10.2</b>	<b>7.4</b>	<b>28.2</b>	<b>19.7</b>	<b>24.3</b>	<b>730.3</b>
<b>Desv.E.</b>	<b>46.2</b>	<b>59.6</b>	<b>73.2</b>	<b>37.7</b>	<b>32.3</b>	<b>32.8</b>	<b>27.1</b>	<b>34.1</b>	<b>23.7</b>	<b>36.0</b>	<b>47.3</b>	<b>43.1</b>	<b>201.2</b>
<b>CV(%)</b>	<b>41.4</b>	<b>37.7</b>	<b>42.1</b>	<b>32.3</b>	<b>41.7</b>	<b>51.5</b>	<b>46.8</b>	<b>70.7</b>	<b>51.2</b>	<b>41.8</b>	<b>53.8</b>	<b>38.1</b>	<b>17.6</b>



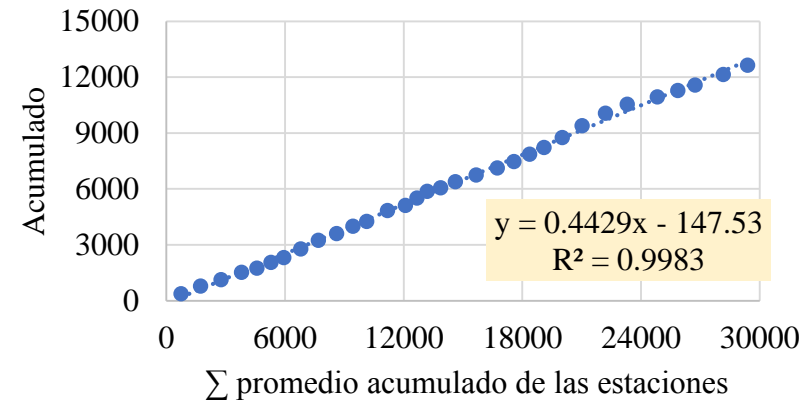
**Anexo 5. Estadística de precipitación de la estación Agrometeorológica Gonzanamá (mm)**

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annual
1981	92.4	135.8	325.4	152.7	18.1	10.4	1.8	15.6	0.0	72.9	42.2	212.8	1080.1
1982	216.7	223.4	88.2	182.1	142.8	3.8	0.0	0.0	48.7	227.8	80.1	334.1	1547.7
1983	274.4	161.2	345.5	234.7	78.1	9.6	26.7	4.7	1.9	201.3	56.1	247.7	1641.9
1984	108.5	429.0	330.2	247.1	59.2	19.8	11.7	6.5	48.3	138.6	104.0	72.5	1575.4
1985	243.9	59.6	156.9	90.5	106.0	0.0	0.0	5.9	8.5	37.5	41.3	246.0	996.1
1986	146.7	237.9	45.9	0.0	11.3	0.0	0.0	0.1	11.4	88.8	42.2	116.5	700.8
1987	59.2	104.2	159.6	6.8	68.8	7.8	0.0	5.7	3.6	2.2	43.4	12.2	473.5
1988	97.6	167.5	198.2	150.5	65.3	31.7	17.2	0.0	45.8	41.6	129.9	99.5	1044.8
1989	197.7	187.1	290.9	221.6	97.6	14.2	0.0	1.0	13.0	124.0	26.0	42.5	1215.6
1990	107.1	167.5	119.9	275.9	38.4	2.8	52.3	3.0	0.0	81.5	85.5	73.9	1007.8
1991	68.8	231.8	382.3	101.7	100.9	8.7	22.0	1.9	21.5	20.0	37.1	74.8	1071.5
1992	76.4	176.4	149.8	206.7	90.2	4.2	0.0	5.2	59.8	45.6	82.5	83.5	980.3
1993	104.3	263.5	417.6	208.4	49.5	0.0	6.4	0.0	69.2	49.8	69.2	161.6	1399.5
1994	320.6	208.8	303.8	207.5	4.3	0.0	0.0	7.3	5.2	24.0	74.2	7.6	1163.3
1995	20.4	191.9	77.8	97.3	70.8	0.0	1.2	0.0	0.0	57.7	69.0	156.5	742.6
1996	62.2	0.0	334.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	396.5
1997	49.7	112.0	76.0	97.7	24.1	3.2	0.0	0.0	75.2	55.6	313.4	106.7	913.6
1998	72.6	112.6	255.3	167.0	82.7	3.0	0.0	25.3	63.0	134.0	91.8	74.0	1081.3
1999	173.9	260.6	415.3	68.5	179.3	56.0	3.7	3.0	58.0	49.6	33.4	212.5	1513.8
2000	128.3	335.6	425.6	180.8	82.0	17.1	0.0	0.0	71.7	6.6	0.0	96.6	1344.3
2001	246.6	178.1	331.2	121.4	66.7	3.4	0.0	11.6	21.9	7.8	140.7	164.0	1293.4
2002	121.6	221.9	200.4	343.0	46.6	35.0	10.5	0.0	27.2	104.9	151.4	52.1	1314.6
2003	88.4	27.7	210.6	143.2	49.0	40.9	31.3	20.0	51.1	42.2	68.7	23.7	796.8
2004	119.2	217.7	52.7	219.6	98.6	0.0	49.6	0.0	64.4	28.0	152.1	39.8	1041.7
2005	88.5	188.2	691.8	255.5	178.2	9.3	0.0	0.0	0.0	52.7	70.9	233.7	1768.8
2006	216.1	242.8	597.0	694.3	116.1	85.3	39.4	0.0	4.2	11.6	186.6	229.9	2423.3
2007	133.8	147.4	162.5	588.9	383.1	1.2	6.8	0.0	10.5	128.4	302.4	177.3	2042.3
2008	346.3	580.4	695.4	828.4	58.3	50.2	9.7	25.0	36.3	207.5	260.9	185.2	3283.6
2009	240.1	414.9	589.1	432.6	121.5	35.8	23.4	0.0	3.1	33.7	24.6	88.5	2007.3
2010	136.2	335.6	234.1	161.2	273.4	123.5	138.9	19.8	50.9	51.1	112.3	185.6	1822.6
2011	305.0	623.5	239.0	404.2	18.0	102.3	4.3	10.4	67.4	235.1	264.6	267.9	2541.7
2012	712.0	696.3	202.1	285.0	12.3	0.0	0.0	0.0	4.5	72.0	243.5	84.1	2311.8
<b>Total</b>	<b>5375.2</b>	<b>7640.9</b>	<b>9104.4</b>	<b>7374.8</b>	<b>2791.2</b>	<b>679.2</b>	<b>456.9</b>	<b>172.0</b>	<b>946.3</b>	<b>2434.1</b>	<b>3400.0</b>	<b>4163.3</b>	<b>44538.3</b>
<b>Media</b>	<b>168.0</b>	<b>238.8</b>	<b>284.5</b>	<b>230.5</b>	<b>87.2</b>	<b>21.2</b>	<b>14.3</b>	<b>5.4</b>	<b>29.6</b>	<b>76.1</b>	<b>106.3</b>	<b>130.1</b>	<b>1391.8</b>
<b>Max</b>	712.0	696.3	695.4	828.4	383.1	123.5	138.9	25.3	75.2	235.1	313.4	334.1	3283.6
<b>Min</b>	20.4	0.0	45.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	396.5
<b>Desv.E.</b>	131.2	160.3	176.1	187.7	79.2	31.5	27.2	7.7	27.1	66.6	87.0	86.9	635.2
<b>CV(%)</b>	78.1	67.1	61.9	81.4	90.8	148.5	190.8	143.9	91.7	87.6	81.9	66.8	45.6
	Correlación Lineal Cariamanga - Gonzanamá												
	Correlación Lineal Nambacola - Gonzanamá												

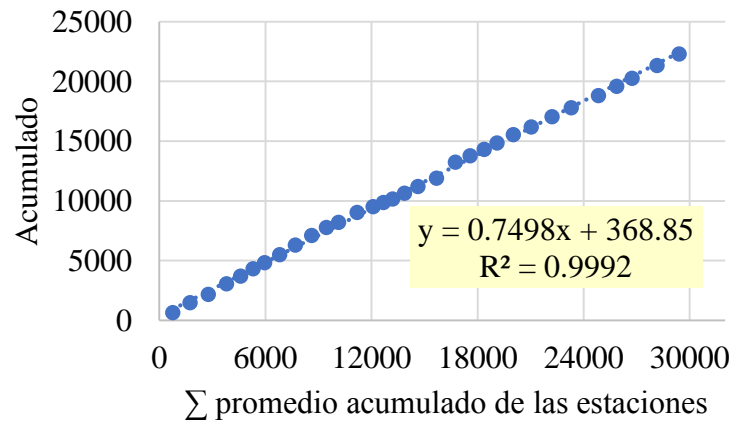
### Análisis de doble masa Cajanuma



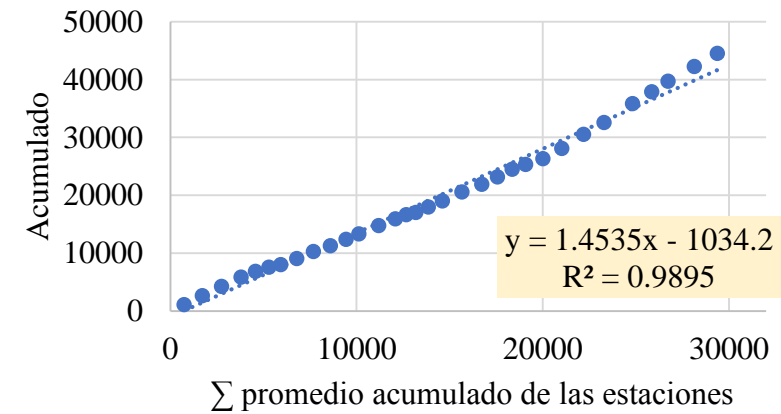
### Análisis de doble masa Catamayo



### Análisis de doble masa Malacatos

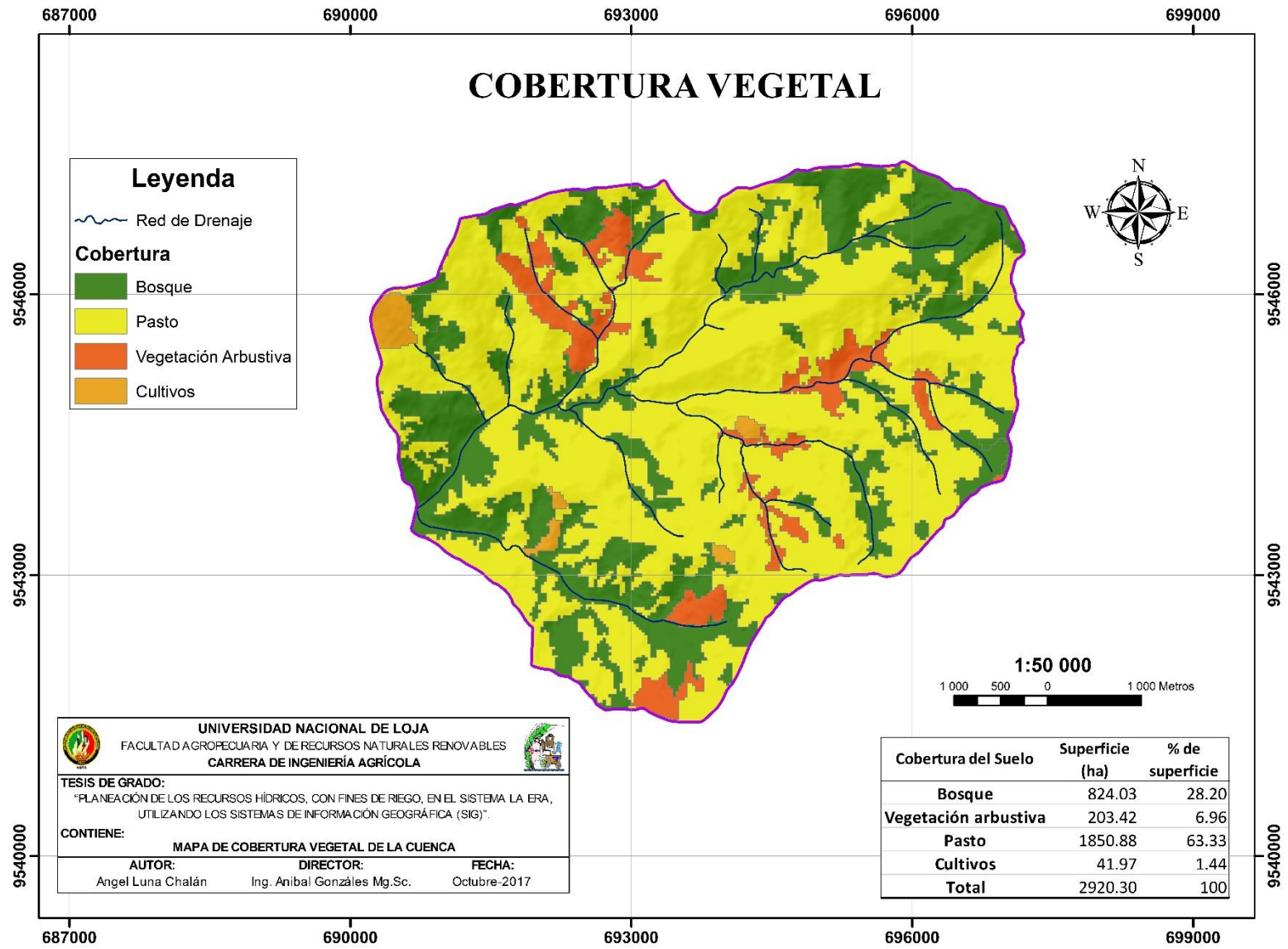


### Análisis de doble masa Gonzanamá

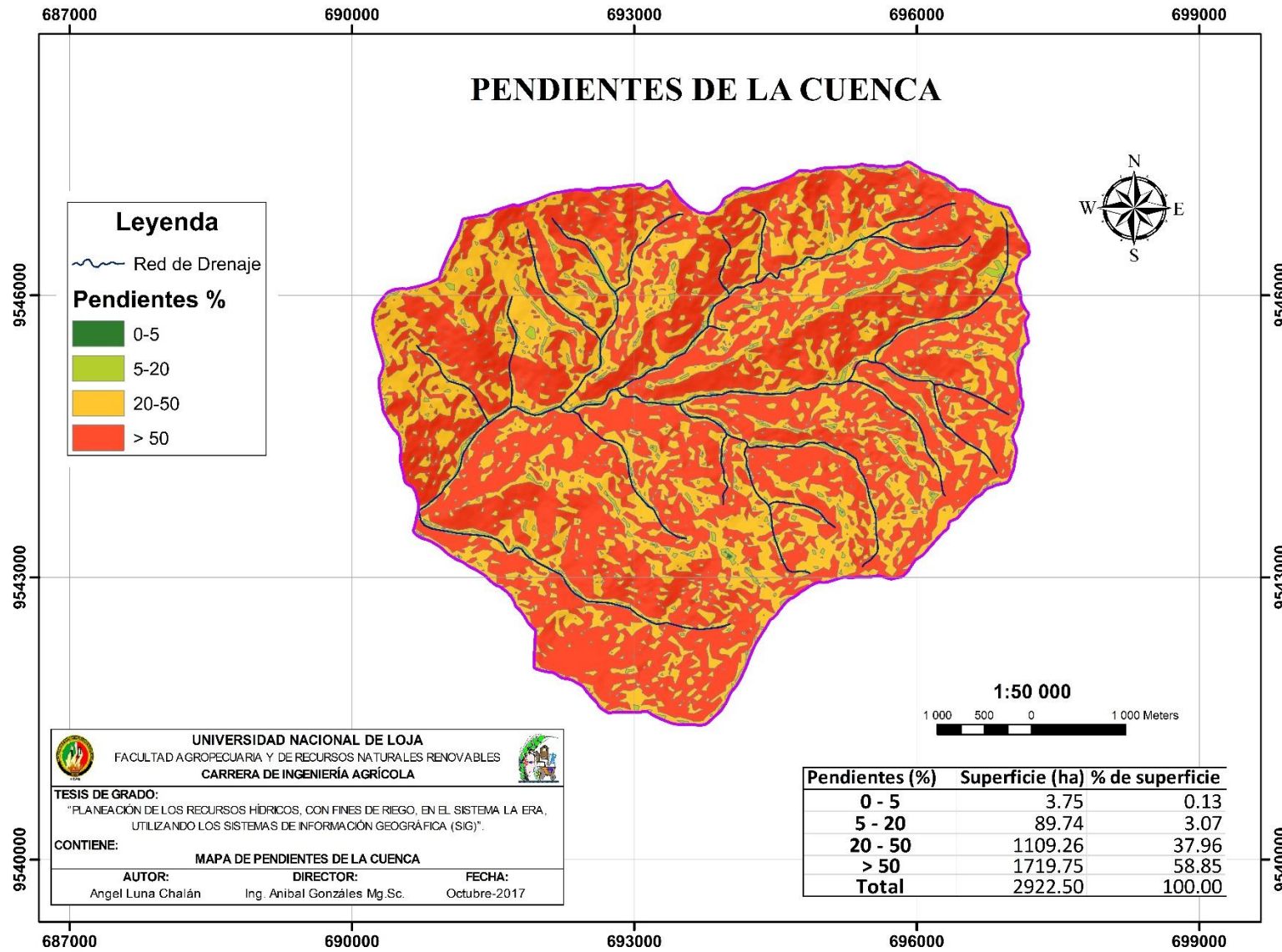


## Anexo 7. Precipitación media mensual generada para la microcuenca San Agustín (mm)

Pm mensual (Método del National Weather Service) * 0.89													
AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
1981	67.1	80	159.9	67.8	20.2	21.3	23	12.8	4.7	74	56.3	94.6	681.8
1982	106	83.2	95	94.6	66	6.3	23.8	18.7	30.7	108.7	97	147.6	877.5
1983	142.5	155.4	209	86.9	66.6	27.1	27.1	9.2	35.3	89.9	21.2	110.8	980.9
1984	60	178.9	152.5	107.5	47.6	69.6	52.9	41.9	44.8	83.9	62.1	42.6	944.2
1985	68.6	66.1	91	66.6	123.8	12.2	24.8	55.7	34	82.3	60	109.9	794.9
1986	54.8	133.7	133	103.5	36.7	11.4	19.9	15.6	50.4	52.1	65.5	86.3	763
1987	58.9	69.4	135.2	111.1	71.2	15.5	63.2	31.3	20.7	60.3	56	47.9	740.6
1988	108	139.8	91.2	111.7	54.9	24.6	51.1	31.3	26.9	65.7	66.2	57.9	829.3
1989	137.1	129.2	172.6	49.8	47.4	32.9	24.4	22.4	60.7	102.5	17.7	23	819.8
1990	101.5	147.2	102.2	138.9	54.4	47.3	27.2	16.9	18.2	87.1	94	85.4	920.2
1991	99.2	116.1	193.2	55.7	69.6	43.9	29.9	41.5	32	46.8	23.5	52.6	804
1992	67.1	99.5	93.9	79.2	47.1	33.9	34.3	12.6	36.9	34.3	81.7	60	680.4
1993	71.7	119.6	262.1	86.2	24.1	35.1	42.3	20.7	39.1	88.5	38.9	164.2	992.5
1994	169.9	74.2	211.7	97.8	42.6	36.4	54	50	26.8	33	40.8	81.2	918.4
1995	37.2	92.9	82.8	39.1	58.1	4.6	19.6	8.5	13	26.8	79.1	93.4	555
1996	79.6	117.3	116.4	69.7	30.1	25.6	17.9	18.1	16.2	40.8	10.5	23.2	565.4
1997	59.4	82.8	78.5	66.8	33.9	16.5	34.3	24.5	34.5	54.6	82.3	93.2	661.5
1998	39.8	95.4	125	80.1	43.5	50.1	36.3	26.3	17.6	100.4	59.1	40.4	713.9
1999	108.2	237.9	131.9	65.2	94.6	43.3	45.3	34.5	57.4	34.4	29.7	127.9	1010.2
2000	124.7	201.6	177.9	129	69.4	61.4	27.7	36.8	52.5	34.8	26.6	54	996.4
2001	78.6	95.1	79.6	63.4	52.1	59.7	54.9	35.8	30.1	34.9	95.9	97.6	777.5
2002	81.4	87.8	56.6	128.5	48.9	28.7	42.9	7	18	63.6	60.9	71.1	695.5
2003	62.3	97.3	153.2	69.4	65.2	38.5	26.4	7.8	21	79.6	45.8	78	744.5
2004	42	96.2	123.2	169.5	42.8	58.2	37	13.3	31	105.7	100	91	909.8
2005	41.3	119.5	189.1	123.9	42	56.7	12.8	11.4	14.6	79.7	52.5	93.5	837
2006	111.8	98.2	191.4	99	32.1	62.7	29.3	11.7	20.5	38	96.1	96.2	887
2007	48.4	64.8	102.7	115.9	77	81.3	11.1	102.1	40.9	57.8	135.4	71.5	909
2008	64.9	219.4	213.3	137.5	62.9	40.5	59.7	62.9	20.9	125	89.7	119.7	1216.2
2009	126.7	103	143.1	96.2	44.9	23.2	39.5	42.8	38.4	55.7	21.8	98.3	833.5
2010	46.8	109.3	53.6	71	73.3	65.5	32.7	35.3	44.9	34.1	62.1	73.9	702.6
2011	68.7	204.7	122.2	150.8	65.6	45.6	69	41.7	71.5	81.3	131.7	139	1191.8
2012	165.3	202.7	66.2	107.5	57.1	55	16.4	25.3	21.2	92.7	123.7	88.6	1021.6
<b>Suma</b>	<b>2699.5</b>	<b>3918.3</b>	<b>4309.2</b>	<b>3039.7</b>	<b>1765.7</b>	<b>1234.5</b>	<b>1110.7</b>	<b>926.2</b>	<b>1025.2</b>	<b>2148.9</b>	<b>2083.6</b>	<b>2714.4</b>	<b>26976</b>
<b>Media</b>	<b>84.4</b>	<b>122.4</b>	<b>134.7</b>	<b>95</b>	<b>55.2</b>	<b>38.6</b>	<b>34.7</b>	<b>28.9</b>	<b>32</b>	<b>67.2</b>	<b>65.1</b>	<b>84.8</b>	<b>843</b>
<b>Max</b>	<b>169.9</b>	<b>237.9</b>	<b>262.1</b>	<b>169.5</b>	<b>123.8</b>	<b>81.3</b>	<b>69</b>	<b>102.1</b>	<b>71.5</b>	<b>125</b>	<b>135.4</b>	<b>164.2</b>	<b>1216.2</b>
<b>Min</b>	<b>37.2</b>	<b>64.8</b>	<b>53.6</b>	<b>39.1</b>	<b>20.2</b>	<b>4.6</b>	<b>11.1</b>	<b>7</b>	<b>4.7</b>	<b>26.8</b>	<b>10.5</b>	<b>23</b>	<b>555</b>
<b>Desv.E.</b>	<b>36.7</b>	<b>47.8</b>	<b>52.1</b>	<b>31.3</b>	<b>20.8</b>	<b>19.8</b>	<b>15.1</b>	<b>20</b>	<b>15.3</b>	<b>27.1</b>	<b>33.5</b>	<b>33.6</b>	<b>156.4</b>
<b>CV(%)</b>	<b>43.5</b>	<b>39</b>	<b>38.7</b>	<b>32.9</b>	<b>37.6</b>	<b>51.5</b>	<b>43.6</b>	<b>69</b>	<b>47.8</b>	<b>40.3</b>	<b>51.4</b>	<b>39.6</b>	<b>18.6</b>

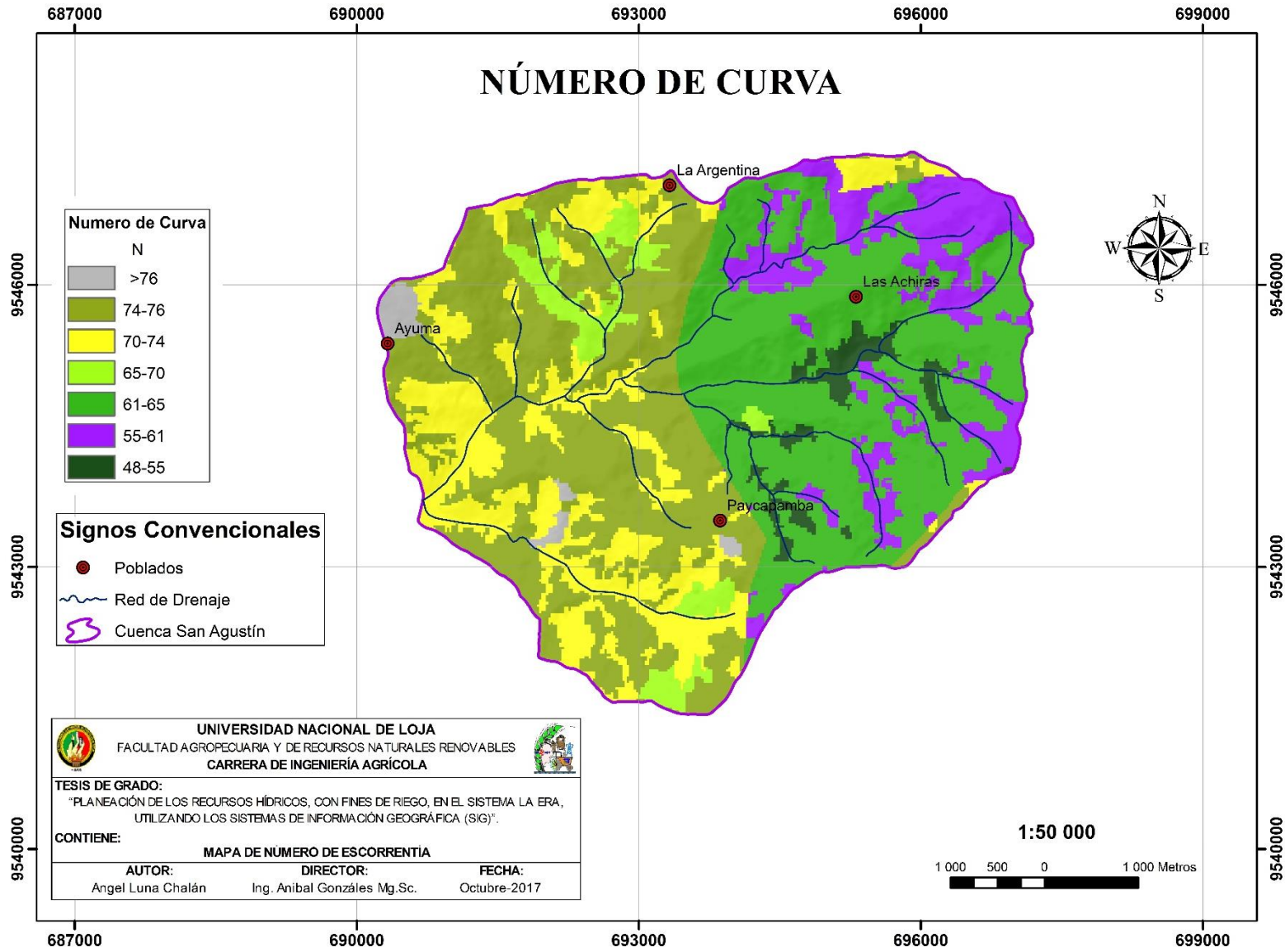


Anexo 8. Mapa de cobertura vegetal de la microcuena



Anexo 9. Mapa de pendientes de la microcuenca





Anexo 10. Mapa de números de curva



**Anexo 11.** Coeficiente de escurrimiento, obtenido para el método Racional

Cobertura del suelo	Pendiente %	Franco Arcilloso	% Superficie	Valor Ponderado	Fo Lo – Lo Ao	% Superficie	Valor Ponderado
<b>Bosque</b>	0 -5	0.40	0.0002	0.0001	0.30	0.0001	0.0000
	5 - 20	0.45	0.0059	0.0027	0.35	0.0019	0.0007
	20 - 50	0.50	0.0668	0.0334	0.40	0.0288	0.0115
	> 50	0.55	0.1277	0.0703	0.45	0.0507	0.0228
<b>Vegetación arbustiva</b>	0 -5	0.45	0.0001	0.0000	0.35	0.0000	0.0000
	5 - 20	0.50	0.0019	0.0009	0.40	0.0014	0.0006
	20 - 50	0.55	0.0205	0.0113	0.45	0.0105	0.0047
<b>Pasto</b>	> 50	0.60	0.0234	0.0141	0.50	0.0118	0.0059
	0 -5	0.50	0.0004	0.0002	0.40	0.0003	0.0001
	5 - 20	0.55	0.0115	0.0063	0.45	0.0072	0.0032
	20 - 50	0.60	0.1612	0.0967	0.50	0.0835	0.0417
<b>Cultivos</b>	> 50	0.65	0.2231	0.1450	0.55	0.1465	0.0806
	0 -5	0.55	0.0001	0.0001			
	5 - 20	0.60	0.0006	0.0004	0.50	0.0000	0.0000
<b>Total</b>	20 - 50	0.65	0.0077	0.0050	0.55	0.0004	0.0002
	> 50	0.70	0.0040	0.0028	0.60	0.0014	0.0009
			<b>0.655</b>	<b>0.3893</b>		<b>0.345</b>	<b>0.173</b>
						<b>1.0</b>	<b>0.56</b>

**Anexo 12.** Coeficientes “K, m y n” para generación de escorrentía mediante el método del polinomio ecológico.

<b>Exponente m</b>			
<i>Características Geomorfológicas de la Cuenca</i>	% de la Superficie	Exponente (m)	Valor Ponderado
Topografía ondulada A menor a 100 km <sup>2</sup>	0.419	0.5	0.21
Terreno escarpado, pendientes > 50 %, con bosque y plantación forestal	0.581	0.8	0.47
Área total	1.000		<b>0.67</b>
<b>Exponente n</b>			
<i>Características de regulación natural de la cuenca</i>	% de la Superficie	Exponente (n)	Valor Ponderado
Región Andina	1	0.4	<b>0.4</b>
<b>Exponente K</b>			
<i>Coefficiente Ecológico k</i>	% de la Superficie	Exponente (k)	Valor Ponderado
Bosque	0.27	0.0065	0.0017
Monte	0.73	0.0059	0.0043
K	1.00		<b>0.0060</b>
Precipitación plurianual (mm)			843
Etp (mm)			1600
Etp/PPA			<b>1.90</b>

**Anexo 13.** Número de escurrimiento (SCS), generado para la microcuenca.

Descripción y tipo de cobertura	Condición hidrológica	Tipo de suelo				% Superficie	Número de escurrimiento "N"
		A	B	C	D		
Bosque Nativo	Buena		55			0.107	5.891
Bosque Nativo	Buena			70		0.175	12.221
Bosque Natural Cultivos	Regular			73		0.000	0.019
Agropecuarios Cultivos	Buena			58		0.001	0.051
Agropecuarios Cultivos	Regular		65			0.002	0.117
Agropecuarios Cultivos	Regular			76		0.012	0.897
Vegetación Arbustiva	Buena		48			0.027	1.282
Vegetación Arbustiva	Buena			65		0.041	2.696
Vegetación Arbustiva	Regular		56			0.000	0.001
Pasto	Buena		61			0.312	19.033
Pasto	Buena			74		0.323	23.891
Pasto	Regular		69			0.000	0.033
Número de escurrimiento ponderado						1.0	<b>66.1</b>

**Anexo 14.** Números de escorrentía para tierras agrícolas<sup>1</sup>

Descripción y tipo de cobertura	Condición Hidrológica	Número de curva para grupos de suelos Hidrológicos			
		A	B	C	D
Pastos, forrajes para pastoreo <sup>2</sup>	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segado para heno.	—	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla, con la maleza como principal elemento <sup>3</sup>	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30 <sup>4</sup>	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles) <sup>5</sup>	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosque <sup>6</sup>	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	—	59	74	82	86

<sup>1</sup>Condición de humedad antecedente promedio AMC II e  $I_a = 0.2S$ .

<sup>2</sup>Mala: menos del 50% del suelo cubierto con pastoreo intensivo sin maleza.

Regular: 50 a 75% del suelo cubierto y un pastoreo no muy intensivo.

Buena: más del 75% del suelo cubierto y un pastoreo ocasional a ligero.

<sup>3</sup>Mala: menos del 50% del suelo cubierto.

Regular: 50 a 75% del suelo cubierto.

Buena: más del 75% del suelo cubierto.

<sup>4</sup>Número de curva actual menor a 30. Emplear CN=30 para cálculos de escorrentía.

<sup>5</sup>Los CNs mostrados se calcularon para áreas con 50% bosques y 50% cubierto con pastos. Otras combinaciones pueden ser calculados de CNs para bosques y pastos.

<sup>6</sup>Mala: Humus vegetal, pequeños árboles y maleza destruida por pastoreo intensivo, y quemas regulares.

Regular: Bosques con pastoreo, pero no quemados, suelo cubierto por humus vegetal.

Buena: Bosques protegidos del pastoreo, y el suelo cubierto adecuadamente por humus vegetal.

**Fuente:** (Monsalve Saénz, 1999).Pag 149.

**Anexo 15.** Definición de los grupos hidrológicos, desarrollado por la Soil Conservation Service.

<b>GRUPO</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
<b>Grupo A</b>	Tiene bajo potencial de escurrimiento cuando está completamente mojada. Estos suelos suelen tener menos del 10 por ciento de arcilla y más del 90 por ciento de arena o grava y tienen texturas de grava o arena. Incluye las arenas profundas muy permeables y los agregados limosos procedentes de las deposiciones (Villón, 2002).
<b>Grupo B</b>	Tienen potencial de escurrimiento moderadamente bajo cuando se encuentra totalmente saturado. Estos suelos suelen tener entre un 10% y 20% de arcilla y arena, 50% a 90% de arena arcillosa o texturas franco arenosas. Incluye suelos arenosos y franco-limosos de moderada profundidad y con tasas de infiltración mínimas por encima de la media, comprendidas entre 3,81 mm/h a 7,62 mm/h (Martínez, 2009).
<b>Grupo C</b>	Los suelos de este grupo tienen potencial de escurrimiento moderadamente alto cuando está completamente mojado. Estos suelos suelen tener entre un 20% y 40 % de arcilla y menos del 50 % de arena y tienen texturas franco limosa, franco arcillo arenoso, franco arcilloso, limoso y arcilloso. Incluye suelos poco profundos de todas las clases texturales; con tasas mínimas de infiltración por debajo de la media, comprendidas entre 1,27 mm/h a 3,81 mm/h (Martínez, 2009)
<b>Grupo D</b>	Los suelos de este grupo tienen un potencial alto de escurrimiento cuando está completamente mojada. Estos suelos tienen más del 40 % de arcilla, menos del 50 % de arena, y tienen texturas arcillosas. Incluye suelos con altas tasas de expansión en la superficie o en la subsuperficie; presentan tasas de infiltración mínimas, aproximadamente de 1,27 mm/h (Martínez, 2009)

**Anexo 16.** Caudales medios mensuales, obtenidos por el método racional (m<sup>3</sup>/s)

<b>Año</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Anual</b>
1981	0.4	0.5	1.0	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.5	0.4	0.6	4.3
1982	0.7	0.6	0.6	0.6	0.4	0.0	0.1	0.1	0.2	0.7	0.6	0.9	5.5
1983	0.9	1.1	1.3	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2	0.6	0.1	0.7	6.2
1984	0.4	1.2	0.9	0.7	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3	6.0
1985	0.4	0.5	0.6	0.4	0.8	0.1	0.2	0.3	0.2	0.5	0.4	0.7	5.0
1986	0.3	0.9	0.8	0.7	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5	4.8
1987	0.4	0.5	0.8	0.7	0.4	0.1	0.4	0.2	0.1	0.4	0.4	0.3	4.6
1988	0.7	1.0	0.6	0.7	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	5.2
1989	0.8	0.9	1.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4	0.6	0.1	0.1	5.2
1990	0.6	1.0	0.6	0.9	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.5	0.6	0.5	5.8
1991	0.6	0.8	1.2	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.3	5.1
1992	0.4	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.5	0.4	4.3
1993	0.4	0.8	1.6	0.5	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.5	0.2	1.0	6.2
1994	1.0	0.5	1.3	0.6	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	5.7
1995	0.2	0.6	0.5	0.2	0.4	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.6	3.5
1996	0.5	0.8	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	3.6
1997	0.4	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	4.2
1998	0.2	0.6	0.8	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.6	0.4	0.2	4.5
1999	0.7	1.6	0.8	0.4	0.6	0.3	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.8	6.4
2000	0.8	1.4	1.1	0.8	0.4	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	6.3
2001	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.6	4.9
2002	0.5	0.6	0.3	0.8	0.3	0.2	0.3	0.0	0.1	0.4	0.4	0.4	4.4
2003	0.4	0.7	0.9	0.4	0.4	0.2	0.2	0.0	0.1	0.5	0.3	0.5	4.7
2004	0.3	0.7	0.8	1.1	0.3	0.4	0.2	0.1	0.2	0.7	0.6	0.6	5.7
2005	0.3	0.8	1.2	0.8	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1	0.5	0.3	0.6	5.3
2006	0.7	0.7	1.2	0.6	0.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2	0.6	0.6	5.6
2007	0.3	0.4	0.6	0.7	0.5	0.5	0.1	0.6	0.3	0.4	0.9	0.4	5.7
2008	0.4	1.5	1.3	0.9	0.4	0.3	0.4	0.4	0.1	0.8	0.6	0.7	7.7
2009	0.8	0.7	0.9	0.6	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.6	5.2
2010	0.3	0.7	0.3	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.5	4.4
2011	0.4	1.4	0.8	1.0	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.8	0.9	7.5
2012	1.0	1.4	0.4	0.7	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	0.6	0.8	0.5	6.5
<b>Total</b>	16.6	26.7	26.5	19.3	10.9	7.8	6.8	5.7	6.5	13.2	13.2	16.7	170.0
<b>Media</b>	<b>0.52</b>	<b>0.83</b>	<b>0.83</b>	<b>0.60</b>	<b>0.34</b>	<b>0.25</b>	<b>0.21</b>	<b>0.18</b>	<b>0.20</b>	<b>0.41</b>	<b>0.41</b>	<b>0.52</b>	<b>5.31</b>
<b>Max</b>	1.0	1.6	1.6	1.1	0.8	0.5	0.4	0.6	0.5	0.8	0.9	1.0	7.7
<b>Min</b>	0.2	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	3.5
<b>Desv.Est.</b>	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	1.0
<b>CV (%)</b>	43.5	39.0	38.7	32.9	37.6	51.5	43.6	69.0	47.8	40.3	51.4	39.6	18.7

**Anexo 17.** Caudales medios mensuales, estimados por el método del polinomio ecológico (m<sup>3</sup>/s)

<b>Año</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Anual</b>
1981	0.3	0.4	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.4	0.5	3.9
1982	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.6	4.8
1983	0.7	0.7	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.2	0.4	0.3	0.5	5.2
1984	0.4	0.7	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	5.3
1985	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	4.6
1986	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	4.4
1987	0.4	0.4	0.6	0.6	0.5	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	4.4
1988	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	4.7
1989	0.6	0.6	0.7	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.2	4.7
1990	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.5	5.0
1991	0.5	0.6	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	4.6
1992	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	4.1
1993	0.4	0.5	0.9	0.6	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.6	5.1
1994	0.7	0.5	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	5.1
1995	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	3.5
1996	0.5	0.5	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3.6
1997	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	4.0
1998	0.3	0.4	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	4.4
1999	0.5	0.8	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.5	5.3
2000	0.6	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	5.3
2001	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.5	4.5
2002	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.4	0.4	4.2
2003	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.2	0.4	0.3	0.4	4.4
2004	0.3	0.4	0.6	0.7	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	5.0
2005	0.4	0.5	0.7	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.4	0.4	0.5	4.6
2006	0.5	0.5	0.7	0.6	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	4.9
2007	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.2	0.4	0.4	0.3	0.6	0.5	5.1
2008	0.4	0.8	0.9	0.7	0.5	0.3	0.3	0.4	0.2	0.5	0.5	0.6	6.1
2009	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	4.8
2010	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	4.3
2011	0.4	0.7	0.7	0.7	0.5	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.6	0.6	6.0
2012	0.7	0.8	0.5	0.5	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.5	5.4
<b>Total</b>	14.5	17.6	19.7	17.2	12.7	9.4	8.2	7.3	7.4	11.2	12.2	13.9	151.4
<b>Media</b>	<b>0.45</b>	<b>0.55</b>	<b>0.61</b>	<b>0.54</b>	<b>0.40</b>	<b>0.29</b>	<b>0.26</b>	<b>0.23</b>	<b>0.23</b>	<b>0.35</b>	<b>0.38</b>	<b>0.44</b>	<b>4.73</b>
<b>Max</b>	0.7	0.8	0.9	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	6.1
<b>Min</b>	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	3.5
<b>Desv.Est.</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6
<b>CV (%)</b>	24.8	22.7	21.7	17.7	16.7	24.1	23.2	34.0	30.7	23.3	27.7	25.4	12.5

**Anexo 18.** Caudales medios mensuales, estimados por el método del Soil Conservation Service (m<sup>3</sup>/s)

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annual
1981	0.6	0.8	1.6	0.6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.7	0.5	0.9	6.0
1982	1.0	0.8	0.9	0.9	0.6	0.0	0.1	0.1	0.2	1.0	0.9	1.5	8.1
1983	1.4	1.7	2.1	0.8	0.6	0.2	0.2	0.0	0.3	0.8	0.1	1.1	9.3
1984	0.5	2.0	1.5	1.1	0.4	0.6	0.4	0.3	0.4	0.8	0.6	0.3	8.9
1985	0.6	0.6	0.8	0.6	1.2	0.0	0.2	0.5	0.3	0.7	0.5	1.0	7.1
1986	0.5	1.4	1.3	1.0	0.3	0.0	0.1	0.1	0.4	0.4	0.6	0.8	6.9
1987	0.5	0.7	1.3	1.1	0.6	0.1	0.5	0.2	0.1	0.5	0.5	0.4	6.6
1988	1.0	1.5	0.8	1.1	0.5	0.2	0.4	0.2	0.2	0.6	0.6	0.5	7.6
1989	1.3	1.4	1.7	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.5	1.0	0.1	0.1	7.5
1990	1.0	1.6	1.0	1.4	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	0.8	0.9	0.8	8.6
1991	0.9	1.2	2.0	0.5	0.6	0.4	0.2	0.3	0.2	0.4	0.1	0.4	7.3
1992	0.6	1.0	0.9	0.7	0.4	0.2	0.2	0.0	0.3	0.2	0.8	0.5	6.0
1993	0.6	1.3	2.7	0.8	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.8	0.3	1.6	9.3
1994	1.7	0.7	2.2	0.9	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.2	0.3	0.7	8.5
1995	0.3	1.0	0.8	0.3	0.5	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.7	0.9	4.7
1996	0.7	1.2	1.1	0.6	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1	4.8
1997	0.5	0.8	0.7	0.6	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	5.7
1998	0.3	1.0	1.2	0.8	0.3	0.4	0.3	0.2	0.1	0.9	0.5	0.3	6.3
1999	1.0	2.7	1.3	0.6	0.9	0.3	0.4	0.2	0.5	0.2	0.2	1.2	9.6
2000	1.2	2.3	1.8	1.3	0.6	0.5	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.4	9.5
2001	0.7	1.0	0.7	0.6	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0.3	0.9	0.9	7.0
2002	0.7	0.9	0.5	1.3	0.4	0.2	0.3	0.0	0.1	0.6	0.5	0.6	6.2
2003	0.5	1.0	1.5	0.6	0.6	0.3	0.2	0.0	0.1	0.7	0.4	0.7	6.7
2004	0.3	1.0	1.2	1.7	0.3	0.5	0.3	0.1	0.2	1.0	1.0	0.8	8.5
2005	0.3	1.3	1.9	1.2	0.3	0.5	0.0	0.0	0.1	0.7	0.4	0.9	7.7
2006	1.1	1.0	1.9	1.0	0.2	0.6	0.2	0.0	0.1	0.3	0.9	0.9	8.2
2007	0.4	0.6	1.0	1.1	0.7	0.8	0.0	1.0	0.3	0.5	1.4	0.6	8.4
2008	0.6	2.5	2.2	1.4	0.5	0.3	0.5	0.5	0.1	1.2	0.9	1.2	11.9
2009	1.2	1.1	1.4	0.9	0.4	0.1	0.3	0.3	0.3	0.5	0.1	0.9	7.6
2010	0.4	1.2	0.4	0.6	0.7	0.6	0.2	0.3	0.4	0.2	0.6	0.7	6.2
2011	0.6	2.3	1.2	1.5	0.6	0.4	0.6	0.3	0.7	0.7	1.3	1.4	11.6
2012	1.6	2.3	0.6	1.1	0.5	0.5	0.1	0.2	0.1	0.9	1.2	0.8	9.8
<b>Total</b>	24.8	42.0	42.1	29.3	14.8	9.8	8.2	6.5	7.6	18.9	18.9	25.0	248.0
<b>Media</b>	<b>0.77</b>	<b>1.31</b>	<b>1.32</b>	<b>0.92</b>	<b>0.46</b>	<b>0.31</b>	<b>0.25</b>	<b>0.20</b>	<b>0.24</b>	<b>0.59</b>	<b>0.59</b>	<b>0.78</b>	<b>7.75</b>
<b>Max</b>	1.7	2.7	2.7	1.7	1.2	0.8	0.6	1.0	0.7	1.2	1.4	1.6	11.9
<b>Min</b>	0.3	0.6	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	4.7
<b>Desv.Est.</b>	0.4	0.6	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	1.7
<b>CV (%)</b>	50.9	43.7	42.9	37.9	47.0	65.6	59.4	97.2	65.4	48.5	61.3	45.9	22.0

## Anexo 19. Estadística de precipitación máxima diaria anual (mm)

Estaciones	La Argelia	Catamayo	Malacatos	Gonzanamá
Código	M033	M060	M143	M149
Altitud (msnm)	2165	1230	1453	2042
1964	34.5	23.6	46.3	
1965	17.2	30.3	28.0	
1966	26.4	23.4	31.4	
1967	50.2	55.7	36.2	
1968	55.0	41.4	33.2	
1969	54.0	42.3	65.0	
1970	37.2	17.3	42.0	47.2
1971	23.5	32.6	40.7	101.2
1972	47.7	50.8	60.6	32.7
1973	37.3	31.0	49.5	50.1
1974	34.2	41.3	33.5	47.0
1975	28.9	57.5	36.9	60.7
1976	59.4	33.4	41.2	51.0
1977	39.9	24.2	47.8	51.6
1978	63.9	65.3	40.8	70.0
1979	31.7	44.0	60.2	45.0
1980	50.0	57.5	54.0	52.3
1981	39.6	34.2	105.0	52.8
1982	48.2	28.0	46.0	91.0
1983	49.2	25.0	48.2	62.9
1984	65.4	26.3	59.1	77.9
1985	36.6	24.2	41.1	50.5
1986	36.2	41.4	32.8	45.5
1987	50.9	19.4	46.5	19.8
1988	35.1	33.6	39.1	41.7
1989	45.9	61.8	56.6	53.1
1990	27.7	36.7	39.3	50.8
1991	59.2	34.7	53.5	76.2
1992	29.1	33.9	24.1	61.8
1993	59.7	41.3	28.3	67.0
1994	53.2	37.7	24.0	80.2
1995	26.6	83.8	24.6	52.6
1996	45.1	57.7	26.1	76.0
1997	45.3	22.8	27.9	72.6
1998	38.7	36.7	32.7	65.7
1999	34.8	22.4		67.3
2000	46.1	24.7		58.4
2001	56.6	42.5		87.0
2002	31.7	29.5		90.5
2003	38.4	47.3	41.2	41.8
2004	48.6	33.8		58.2
2005	36.2	28.7		88.5
2006	42.6	35.6	59.0	121.2
2007	38.1	99.9	48.0	81.4
2008	41.8	32.9	52.0	151.1
2009	56.6	36.9	52.7	160.3
2010	31.1	37.1	75.3	73.1
2011	35.7	34.3	59.1	85.4
2012	36.2		40.2	77.8
$\sum X$	2057.2	1856.4	1929.7	2948.9
$\bar{X}$	42.0	38.7	44.9	68.6
$\sigma_x$	11.2	16.1	15.4	27.5
$Y_n$	0.5	0.5	0.5	0.5
$\sigma_n$	1.2	1.2	1.1	1.1
<b>XT (50 años)</b>	<b>74.4</b>	<b>85.2</b>	<b>90.1</b>	<b>149.0</b>
<b>XT (100 años)</b>	<b>81.2</b>	<b>94.9</b>	<b>99.5</b>	<b>165.7</b>

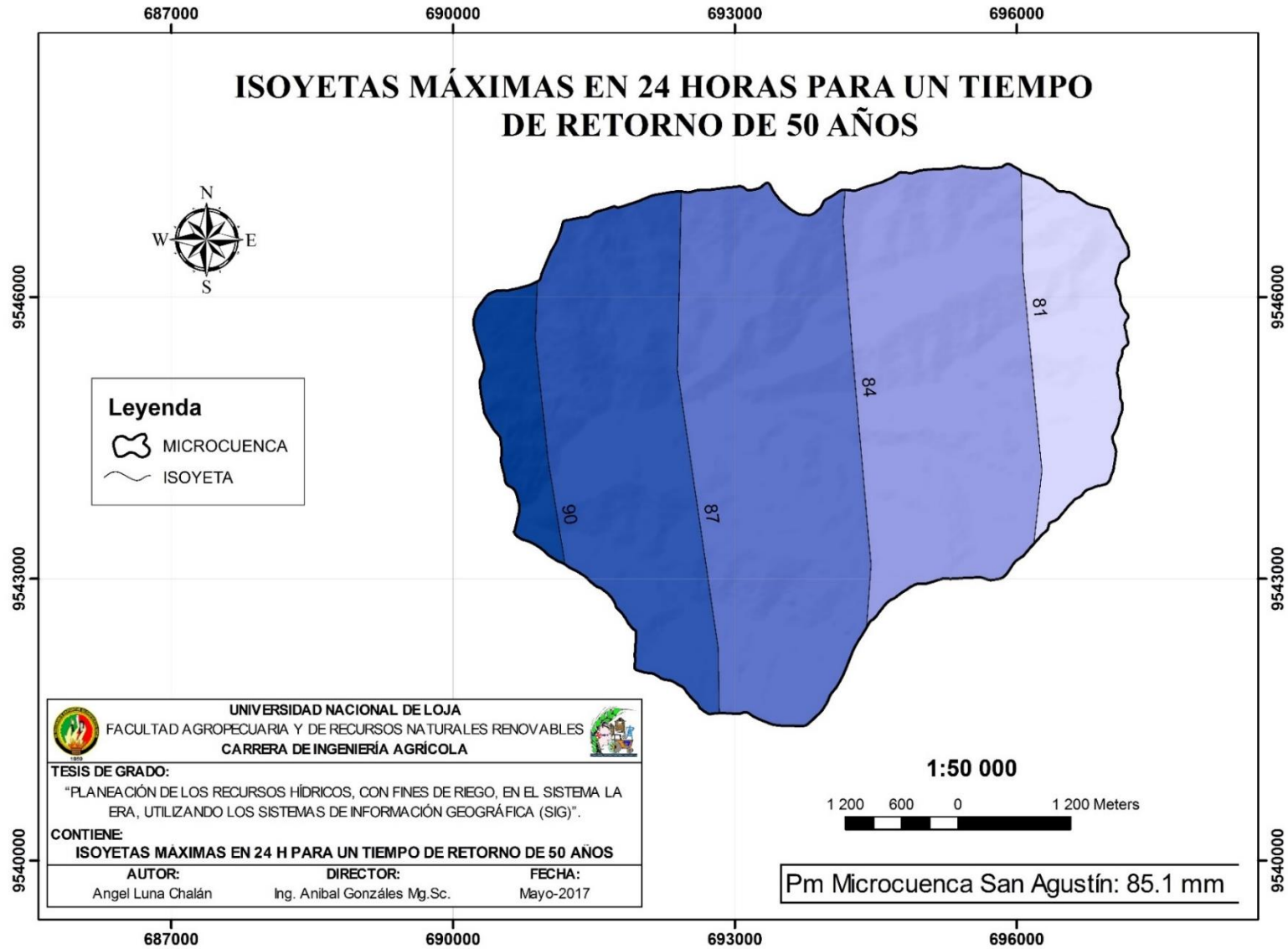


**Anexo 20.** Valores de  $Y_n$  y  $\sigma_n$  según el número de observaciones

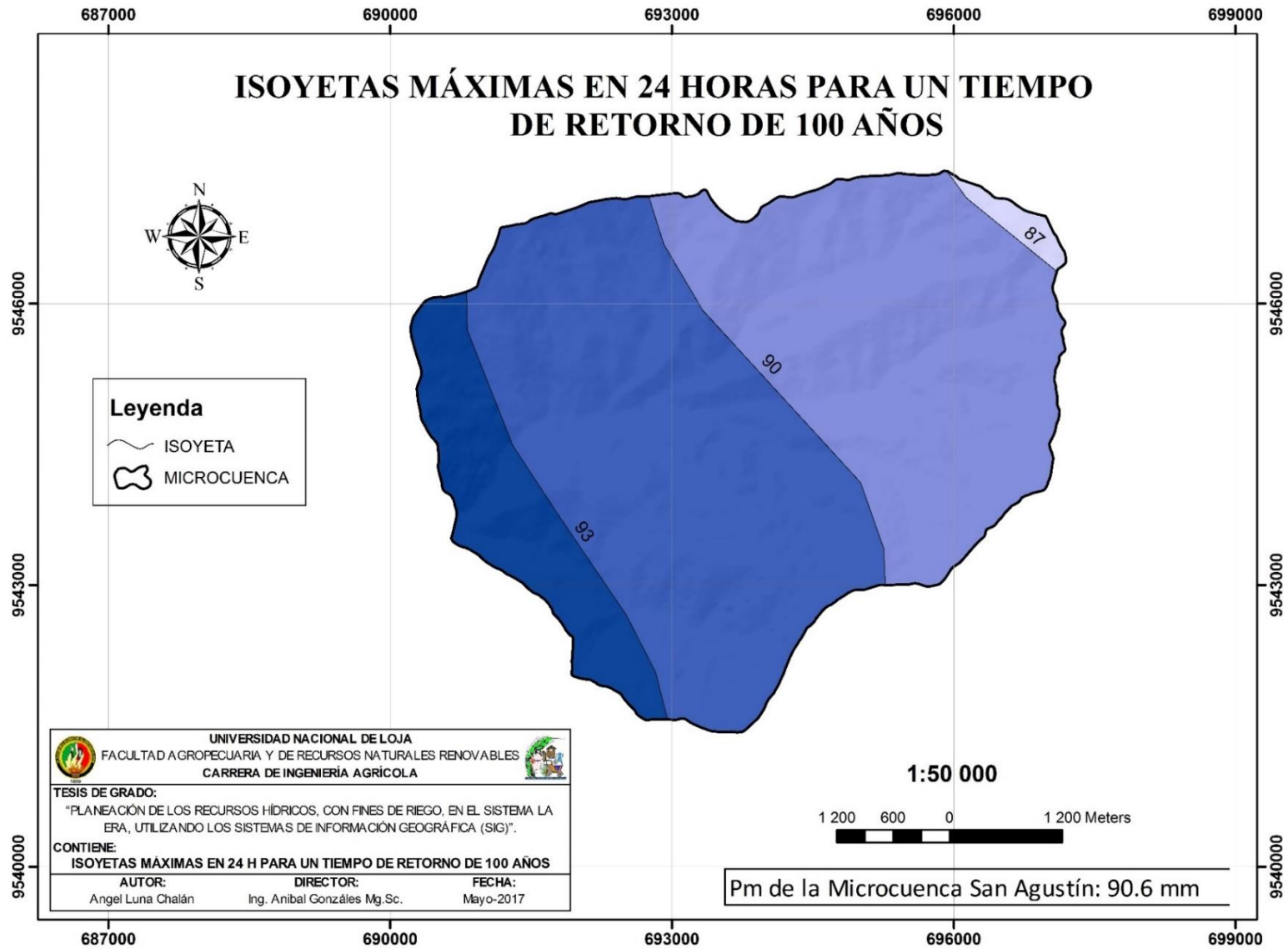
<b>N° Datos</b>	<b><math>Y_n</math></b>	<b><math>\sigma_n</math></b>	<b>N° Datos</b>	<b><math>Y_n</math></b>	<b><math>\sigma_n</math></b>	<b>N° Datos</b>	<b><math>Y_n</math></b>	<b><math>\sigma_n</math></b>
1	0.36651	0.0000	21	0.52522	1.06938	41	0.54362	1.14358
2	0.40434	0.49838	22	0.52678	1.07547	42	0.54420	1.14576
3	0.42859	0.64348	23	0.52823	1.08115	43	0.54529	1.14787
4	0.44580	0.73147	24	0.52959	1.08646	44	0.54580	1.14989
5	0.45879	0.79278	25	0.53086	1.09145	45	0.54630	1.15184
6	0.46903	0.83877	26	0.53206	1.09613	46	0.54678	1.15373
7	0.47735	0.87493	27	0.53319	1.10054	47	0.54724	1.15555
8	0.48428	0.90432	28	0.53426	1.10470	48	0.54769	1.15731
9	0.49015	0.92882	29	0.53527	1.10864	49	0.54812	1.15901
10	0.49821	0.94963	30	0.53622	1.11237	50	0.54854	1.16066
11	0.49961	0.96758	31	0.53713	1.11592	51	0.54895	1.16226
12	0.50350	0.98327	32	0.53799	1.11929	52	0.54934	1.16380
13	0.50695	0.99713	33	0.53881	1.12249	53	0.54972	1.16530
14	0.51004	1.00948	34	0.53959	1.12555	54	0.55009	1.16676
15	0.51284	1.02057	35	0.54034	1.12847	55	0.55044	1.16817
16	0.51537	1.03060	36	0.54105	1.13126	56	0.55079	1.16955
17	0.51768	1.03973	37	0.54174	1.13394	57	0.55113	1.17088
18	0.51980	1.04808	38	0.54239	1.13650	58	0.55177	1.17218
19	0.52175	1.05575	39	0.54302	1.13896	59	0.55208	1.17344
20	0.52355	1.06282	40	0.54362	1.14131	60	0.55238	1.17586

**Anexo 21.** Valores de “Y” para distintos períodos de retorno

<b>T</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>250</b>	<b>500</b>
<b>Y</b>	0.366651	1.49994	2.25037	3.19853	3.38429	3.90194	3.31078	4.60015	5.5194	6.2136



Anexo 22. Mapa de distribución de isoyetas máximas en 24 horas para un tiempo de retorno de 50 años.



Anexo 23. Mapa de distribución de isoyetas máximas en 24 horas para un tiempo de retorno de 100 años

**Anexo 24.** Caudales máximos, método de Ven Te Chow para un Tr= 50 y 100 años.

Resultados de Cálculo	Tiempo de Retorno	
	50 años	100 años
Tc(horas)	0.88	0.88
Tc (minutos)	52.85	52.85
Pmax 24 H para un Tr	85.10	90.60
Dur. de la lluvia (horas)	0.88	0.88
Int. Max Inamhi (mm/h)	58.71	62.50
Lluvia de diseño (cm)	5.17	5.51
N Escurrimiento	67.0	67.0
Pe (cm)	0.47	0.58
X (cm/h)	0.53	0.66
Tp (horas)	0.61	0.61
d/Tp	1.44	1.44
Y	2.78	2.78
Z	0.83	0.83
A (km <sup>2</sup> )	29.23	29.23
<b>Q max (m<sup>3</sup>/seg)</b>	<b>35.76</b>	<b>44.30</b>



<b>ELEMENTO METEOROLÓGICO</b>	<b>PERIODO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ANUAL</b>
<b>ESTACIÓN: ARGELIA</b>		X: 699403			Y: 9553464			Altitud: 2165 msnm						
Precipitación mensual (mm)	1981-2012	93.9	134.1	144.8	100.9	64.1	53.0	49.4	41.0	41.2	76.6	73.4	96.2	968.4
Temperatura máxima (°C)	1990-2012	21.5	21.4	21.7	22.1	21.5	20.4	19.8	20.0	21.5	22.9	23.1	22.5	21.5
Temperatura media (°C)	1990-2012	16.3	16.3	16.5	16.7	16.4	15.8	15.4	15.7	16.3	16.8	16.7	16.7	16.3
Temperatura mínima (°C)	1990-2012	12.1	12.4	12.5	12.4	12.4	12.2	11.9	11.9	12.0	11.7	11.4	11.9	12.1
Humedad Relativa media (%)	1990-2012	76.3	77.4	76.7	76.5	75.3	74.9	73.2	69.9	71.3	72.4	74.1	75.4	74.5
Heliofanía (horas/día)	1990-2012	3.9	3.3	3.4	4.0	4.3	4.3	4.4	5.1	4.8	4.8	5.1	4.5	4.3
Velocidad del viento (m/s)	1990-2012	2.3	2.1	2.1	2.1	2.3	2.9	3.8	3.6	2.9	2.3	2.1	2.0	2.5
<b>ESTACIÓN: LA TOMA-CATAMAYO</b>		X: 691296			Y: 9558425			Altitud: 1230 msnm						
Precipitación mensual (mm)	1981-2012	38.7	65.9	77.9	56.2	26.5	6.6	4.2	4.9	11.5	34.1	30.2	38.6	395.2
Temperatura máxima (°C)	1990-2012	33.6	33.3	33.3	33.4	33.3	32.6	32.8	33.4	34.4	35.1	34.8	34.4	33.7
Temperatura media (°C)	1990-2012	24.6	24.1	24.3	24.4	24.5	24.5	24.6	25.0	25.3	25.1	24.8	24.7	24.7
Temperatura mínima (°C)	1990-2012	15.3	15.8	16.3	15.4	14.6	14.3	13.5	13.8	14.5	14.5	14.1	15.3	14.8
Humedad Relativa media (%)	1990-2012	60.4	65.7	65.1	64.5	60.8	55.4	51.3	48.3	51.2	55.0	57.7	60.3	58.0
Heliofanía (horas/día)	1990-2012	4.3	3.5	3.6	4.4	5.5	6.1	6.1	6.3	5.7	5.0	4.9	4.6	5.0
Velocidad del viento (m/s)	1990-2012	4.2	3.9	3.8	4.4	4.7	5.1	5.4	5.5	5.5	4.9	4.6	4.3	4.7
<b>ESTACIÓN: MALACATOS</b>		X: 691965			Y: 9533892			Altitud: 1453 msnm						
Precipitación mensual (mm)	1990-2012	74.4	114.9	121.3	94.3	38.1	8.6	6.4	6.2	21.4	74.9	56.6	79.4	696.4
Temperatura máxima (°C)	1990-2012	29.0	28.6	28.8	28.7	28.7	28.4	28.5	28.6	29.1	29.5	29.3	29.2	28.9
Temperatura media (°C)	1990-2012	20.0	19.7	19.7	19.8	19.9	19.9	20.0	19.9	20.2	20.2	20.2	20.1	19.9
Temperatura mínima (°C)	1990-2012	8.6	8.4	8.1	8.4	8.4	8.4	8.5	8.2	8.3	8.3	8.3	8.5	8.4
Humedad Relativa media (%)	1990-2012	82.3	82.9	82.7	82.7	83.2	83.8	83.2	83.6	77.5	81.5	81.5	81.8	82.2
Heliofanía (horas/día)	1990-2012	5.0	4.5	4.2	5.2	6.1	7.3	6.9	7.0	6.8	5.8	6.3	5.5	5.9
Velocidad del viento (m/s)	1990-2012	1.9	1.4	1.9	1.7	1.9	2.1	2.2	2.1	2.1	1.9	1.7	1.7	1.9
<b>ESTACIÓN: CARIAMANGA</b>		X: 660414			Y: 9520874			Altitud: 1950 msnm						
Temperatura máxima (°C)	1990-2012	24.2	23.9	24.4	24.4	24.9	25.0	25.1	25.2	25.4	25.3	25.0	24.5	24.8
Temperatura media (°C)	1990-2012	17.2	17.5	17.9	17.9	18.0	17.9	17.8	18.0	18.1	18.0	17.8	17.6	17.8
Temperatura mínima (°C)	1990-2012	11.7	12.4	12.4	11.8	11.7	10.5	11.0	11.1	11.4	12.2	12.1	12.2	11.7
Humedad Relativa media (%)	1990-2012	87.4	89.0	88.3	88.5	87.3	85.1	83.4	79.1	83.3	84.9	85.4	86.3	85.7
Heliofanía (horas/día)	1990-2012	4.4	3.5	4.5	4.6	6.2	7.0	7.6	7.0	6.5	6.1	5.6	5.2	5.7
*Velocidad del viento (m/s)	1964-1981	1.6	1.6	1.7	1.7	1.9	2.4	3.3	2.8	2.7	2.1	1.9	1.9	2.1

\* Fuente estudio climático Catamayo-Chira (Consorcio ATA-UNP-UNL)

## Anexo 27. Turnos del sistema de riego La Era

	USUARIO	Sup. (Ha)	Q (l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 1</b>	Sergio Humberto Guzmán Cruz	1.46	4.2	05h00-15h00						
	Juan Alcivar González González	0.75	2.2	05h00-15h00						
	José Javier González González	1.97	5.7	05h00-15h00						
	José Baltazar González González	0.66	2.1	05h00-15h00						
	Leopoldo Manuel Carrión González	1.03	3.0	05h00-15h00						
	Horacio Gregorio Rosillo	2.78	8.0	05h00-15h00						
	Ruperto hipolito Espejo Galván	1.56	4.9	05h00-15h00						
	Amado Enrique Riofrío	0.60	1.9	05h00-15h00						
	Omar Benito Carrión González	0.44	1.4	15h00-01h00						
	Segundo Aniceto Carrión Arias	1.29	4.1	15h00-01h00						
	Fauto Herminio Macas Carrión	0.89	2.8	15h00-01h00						
	María Piedad Galván Reyes	2.07	6.6	15h00-01h00						
	Rigoberto Antonio Carión González	0.25	0.7	15h00-01h00						

	USUARIO	Sup. (Ha)	Q (l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 2</b>	José Rosa Correa Quiroga	1.18	3.7		05h00-15h00					
	Julio David Carrión Galván	0.86	2.7		05h00-15h00					
	José Baltazar González González	2.09	6.5		05h00-15h00					
	Máximo Carrión González	1.44	4.5		05h00-15h00					
	Ober Alcidez Ramirez Arias	0.10	0.3		05h00-15h00					
	Luz América Bau	0.68	2.1		05h00-15h00					
	Lenin Olegario Carrión Galván	1.44	4.5		05h00-15h00					
	María Augusta González Quiroga	0.52	1.6		05h00-15h00					
	Leandro Vicente Carrión Riofrío	3.89	11.4		15h00-01h00					
	Isaías Eduardo Quiroga Becerra	1.06	3.1		15h00-01h00					
	Juan Manuel Torres Abendaño	0.82	2.4		15h00-01h00					
	Rosa Adelaida López Inga	0.67	2.0		15h00-01h00					
	Orellana Isabel	0.11	0.3		15h00-01h00					
	Rodrigo Efrén Quiroga Orellana	0.40	1.2		15h00-01h00					
	Luis Alberto Melecio González Gonzalez	1.90	5.6		15h00-01h00					

	USUARIO	Ha	Q (l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 3</b>	Marco Filomón Juncay Morocho	0.41	1.2			05h00-15h00				
	Orellana Isabel	0.80	2.4			05h00-15h00				
	Ivan Francisco Moreno Naula	0.46	1.4			05h00-15h00				
	Orellana Isabel	0.26	0.8			05h00-15h00				
	Angel Salvador Moreno Naula	2.08	6.4			05h00-15h00				
	Zoila Esperanza Quishpe Orellana	0.25	0.8			05h00-15h00				
	Rodrigo Efrén Quiroga Orellana	0.68	2.1			05h00-15h00				
	Julio Efraín Herrera Japón	3.07	9.4			05h00-15h00				
	Angel Salvador Moreno Naula	2.59	7.7			15h00-01h00				
	Lauro Antonio Carrión Galván	1.37	4.1			15h00-01h00				
	Ruth Katherine Quizhpe Juncay	2.15	6.4			15h00-01h00				
	Marco Vinicio Carrión González	0.38	1.1			15h00-01h00				
	Manuel Enrique Galván	1.00	3.0			15h00-01h00				
	Juan Carrión Galván	0.42	1.2			15h00-01h00				
	Lenin Olegario Carrión Galván	0.29	0.9			15h00-01h00				

	USUARIO	Ha	Q (l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 4</b>	Cesar Augusto Carrión Carrión	1.04	4.6	05h00-05h00						
	Reina Carrión Reyes	0.30	1.3	05h00-05h00						
	Juan Manuel Torres Abendaño	0.82	3.7	05h00-05h00						
	Regina Carrión Reyes	0.14	0.6	05h00-05h00						
	Felipe Artemio Quizhpe Orellana	0.59	2.6	05h00-05h00						
	José Carrión González	1.16	5.1	05h00-05h00						
	Gonzalo Guillermo González González	0.80	3.5	05h00-05h00						
	Jimmi Fabian Cruz	1.22	5.4	05h00-05h00						
	Leandro Gabriel Galván Arias	0.58	2.6	05h00-05h00						
	Flavio Lorenzo González Quizhpe	0.66	2.9	05h00-05h00						
	Segundo Lorenzo González González	0.33	1.5	05h00-05h00						
	Juventino Carrión Cano	0.38	1.7	05h00-05h00						
	Manuela Hortencia González Abendaño	0.56	2.5	05h00-05h00						
	Manuel Isauro Abendaño Delgado	1.38	6.1	05h00-05h00						
	Patricio Ramiro Carrión Armijos	1.66	7.4	05h00-05h00						
	José Vitelio Carrión González	0.67	3.0	05h00-05h00						
	Jaime Bolívar González Carrión	0.17	0.7		05h00-05h00					
	Carmen Evangelina Abendaño	0.14	0.6		05h00-05h00					
	Bolivar Antonio González Sotomayor	5.08	22.1		05h00-05h00					
	Juan José González González	0.94	4.1		05h00-05h00					
	Juventino Carrión Cano	1.84	8.0		05h00-05h00					
	Gonzalo Guillermo González González	0.22	1.0		05h00-05h00					
	Javiera Sabina Galván Reyes	2.33	10.1		05h00-05h00					
	Teresa de la Cruz López Arévalo	1.10	4.8		05h00-05h00					
	Miguel Eduardo Lopez Arévalo	0.71	3.1		05h00-05h00					



	USUARIO	Ha	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 5</b>	HDROS. de Cano González Amadeo	0.46	2.0			05h00-05h00				
	Nicanor Abendaño González	1.42	6.2			05h00-05h00				
	Wilmer Delgado	4.27	18.8			05h00-05h00				
	Cesar Augusto Carrión Carrión	1.03	4.5			05h00-05h00				
	Ramiro Patricio Carrión Armijos	5.77	25.4			05h00-05h00				
	Segundo Francisco Juncay Cabrera	1.88	8.3			05h00-05h00				
	Rosa Elvira Cardenas Cabrera	0.48	2.1			05h00-05h00				
	Segundo Guillermo Juncay Morocho	0.18	0.8			05h00-05h00				
	Juventino Carrión Cano	0.54	2.4			05h00-05h00				
	Santos Enriqueta González González	0.65	2.8			05h00-05h00				
	José Milla Cano Carrión	1.27	5.6			05h00-05h00				
	Ermel Rodrigo Cano Carrión	0.65	2.8			05h00-05h00				
	Marco Jaime Guanuche Romero	0.23	1.0			05h00-05h00				
	Anibal Agosto Cano González	0.16	0.7			05h00-05h00				
	Bertha Piedad Guanuche Romero	0.28	1.2			05h00-05h00				
	Cesar Agosto González Cárdenas	1.06	4.6			05h00-05h00				
	Mariela Yunga	1.03	4.5			05h00-05h00				
	Doris Maribel Armijos Carrión	0.46	2.0			05h00-05h00				
	Olegario Victoriano Armijos Abendaño	0.69	3.0			05h00-05h00				
	Diego Armijos Armijos	0.30	1.3			05h00-05h00				
	Nelson Francisco Armijos Galván	0.46	2.0			05h00-05h00				
	Jorge Enrique Armijos Abendaño	2.46	10.8			05h00-05h00				
	Segundo Nicanor Abendaño Riofrío	2.62	11.5			05h00-05h00				
Manuel Isauro Abendaño Delgado	2.17	0.4			05h00-05h00					
Juan José González González	0.16	0.7			05h00-05h00					

	USUARIO	Ha	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 6</b>	Cristobal Jaramillo Neira	1.53	6.7			05h00-05h00				
	Justo Bolíva Carrión Cano	0.30	1.3			05h00-05h00				
	Justo Bolívar Carrión González	0.90	4.0			05h00-05h00				
	Victor Hugo Espejo Galván	2.16	9.5			05h00-05h00				
	HDROS. de Indalecia Rofrío Galván (+)	0.97	4.3			05h00-05h00				
	Hector Carrión Carrión	0.91	4.0			05h00-05h00				
	Eberto Eleuterio Riofrío Galván	0.58	2.6			05h00-05h00				
	Dolores Torres	0.54	2.4			05h00-05h00				
	Lauro Torres (+)	0.68	3.0			05h00-05h00				
	Juan Carlos González Cardenas	1.22	5.4			05h00-05h00				
	Mariana de Jesus González González	4.22	18.6				05h00-05h00			
	Mariana de Jesús González González	2.70	12.0				05h00-05h00			
	HDROS. Carmen Adolfinia Mullo	0.27	1.2				05h00-05h00			
	Ricarda Mercedes Cano Carrión	0.74	3.3				05h00-05h00			
	Carmen Evangelina Abendaño Riofrío	0.42	1.9				05h00-05h00			
	Ramón Francisco Cueva Mullo	0.58	2.6				05h00-05h00			
	Jacinto Eulogio Correa Quiroga	1.03	4.6				05h00-05h00			
	Wilmer Antonio Delgado Carrión	1.09	4.8				05h00-05h00			

	<b>USUARIO</b>	<b>Ha</b>	<b>Q(l/s)</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>MÓDULO 7</b>	Victor Manuel Cabrera Reyes	0.73	4.0	05h00-05h00						
	Santos Rufina Carrión	2.65	14.5	05h00-05h00						
	Carlos Alfonso Carrión Cueva	4.84	26.6	05h00-05h00						
	Jacinto Eulogio Correa Quiroga	1.14	6.2	05h00-05h00						
	Felix Augusto Hidalgo Lopez	2.92	16.0	05h00-05h00						
	Elvia Herminia Cuenca Úrgiles	1.18	6.5	05h00-05h00						
	Yenny Petronila González Ruíz	0.10	0.6	05h00-05h01						
	Miguel Angel Carrión González	1.30	7.2		05h00-05h00					
	Cornelio Cabrera	2.02	11.1		05h00-05h00					
	Victor Alberto Reyes Armijos	1.61	8.9		05h00-05h00					
	Victor Alberto Reyes Armijos	0.67	3.7		05h00-05h00					
	María Cristina Mullo Carrión	4.50	24.9		05h00-05h00					
	Robert Enry Robles Campoverde	0.21	1.1		05h00-05h00					
	Miguel Angel Carrión González	1.90	10.5		05h00-05h00					
	Mariana de Jesus González González	0.23	1.3		05h00-05h00					
Estela Vivanco Cordova	1.02	5.7		05h00-05h00						

	<b>USUARIO</b>	<b>Ha</b>	<b>Q(l/s)</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>MÓDULO 8</b>	Victor Manuel Reyes Cabrera	1.23	6.8			05h00-05h00				
	Diego Salvador Armijos Armijos	3.09	17.0			05h00-05h00				
	Olga Maruja Quiroga Becerra	0.68	3.7			05h00-05h00				
	Nelson Francisco Armijos Galván	0.41	2.2			05h00-05h00				
	Jacinto Eulogio Correa Quiroga	0.91	5.0			05h00-05h00				
	Diana Yaqueline Armijos Carrión	1.53	8.4			05h00-05h00				
	Savina Galván	1.82	10.0			05h00-05h00				
	Jorge Enrique Armijos Abendaño	0.09	0.5			05h00-05h00				
	Victor Alberto Reyes Armijos	1.11	6.1				05h00-05h00			
	Rosenda Reyes Armijos +	2.10	11.5				05h00-05h00			
	Ramiro Patricio Carrión Armijos	2.73	14.9				05h00-05h00			
	Lauro Torres	1.58	8.7				05h00-05h00			
	José Vicente Armijos Galván	0.46	2.5				05h00-05h00			
	Mayra Alexandra Armijos Torres	0.71	3.9				05h00-05h00			
	Wuilman Antonio Delgado Carrión	0.57	3.1				05h00-05h00			
	Santos Enriqueta González González	0.43	2.4				05h00-05h00			
	Juan Pedro Amay	0.10	0.5				05h00-05h00			

	USUARIO	Sup. (Ha)	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 9</b>	Hector Figueroa	5.33	24.7			05h00-05h00				
	Juan José Suarez Becerra	1.84	8.5			05h00-05h00				
	José Antonio Suarez Díaz	0.36	1.7			05h00-05h00				
	Gloria Enma Muñoz Suarez	0.68	3.1			05h00-05h00				
	Marcela María Muños Suarez	0.92	4.3			05h00-05h00				
	Mariana de Jesús Muños Suarez	1.08	5.0			05h00-05h00				
	Luís Alfredo Muñoz Quiroga	0.33	1.5			05h00-05h00				
	Cornelio Muñoz Suarez	1.91	7.7			05h00-05h00				
	Norma Esperanza Muñoz Suarez	0.58	2.7			05h00-05h00				
	Gloria Enma Muñoz Suarez	0.18	0.8			05h00-05h00				
	Minos Cueva Correa	1.86	8.7				05h00-05h00			
	Luz Benigna Suarez Masa	0.50	2.3				05h00-05h00			
	Alonso Cueva Correa	1.82	8.5				05h00-05h00			
	Francisco Ariceres Castillo Cevallos	1.07	5.0				05h00-05h00			
	José Felix Orlando Vivanco Cordova	1.60	7.5				05h00-05h00			
	Marco eugenio Cueva Correa	3.18	14.9				05h00-05h00			
	Alonso Cueva Correa	0.39	1.8				05h00-05h00			
	José Antonio Cruz	0.62	2.9				05h00-05h00			
	Alberto Medardo Cruz Cueva	1.61	7.5				05h00-05h00			
	Fabrizio Castillo Castillo	0.19	0.9				05h00-05h00			
	USUARIO	Sup. (Ha)	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 10</b>	Victor Daniel Bazarán Ruíz	0.06	0.4	05h00-05h00						
	Daniel Agustín Cruz Ruíz	0.58	3.4	05h00-05h00						
	Arcenio Armijos Amay	10.57	61.3	05h00-05h00						
	Narcisa Otilia Conde Sacape	0.10	0.6		05h00-05h00					
	Minos Cueva Correa	0.10	0.6		05h00-05h00					
	Máximo Cruz	5.43	31.6		05h00-05h00					
	Rosa Esthela Celi Cabrera	0.17	1.0		05h00-05h00					
	Luz Margarita Cruz Ruíz	0.87	5.1		05h00-05h00					
	María Ines Ruíz Loján	1.13	6.6		05h00-05h00					
	Luís Felipe Torres Torres	0.15	0.9		05h00-05h00					
	Juan Antonio Cruz	1.23	7.2		05h00-05h00					
	Carmen Nelida Bazarán Ruíz	0.06	0.3		05h00-05h00					
	Tatiana Maribel Bazarán Ruíz	0.02	0.1		05h00-05h00					
	Manuel de Jesús Bazarán Ruíz	0.02	0.1		05h00-05h00					
	Diego Fernando Bazarán Ruíz	0.02	0.1		05h00-05h00					
	Vicente Daniel Bazarán Pinta	1.21	7.0		05h00-05h00					
	Daniel Agustín Cruz Ruíz	0.66	3.8		05h00-05h00					
	María Alexandra Bazarán Ruíz	0.02	0.14		05h00-05h00					

	USUARIO	Sup. (Ha)	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 11</b>	Luis Felipe Torres Torres	2.35	13.9			05h00-05h00				
	Polibio Sarango Tapia	4.27	25.3			05h00-05h00				
	Edison Castillo Torres	1.18	7.0			05h00-05h02				
	Carmita Cano	0.76	4.4				05h00-05h00			
	Victor Carrión	5.47	31.4				05h00-05h00			
	Máximo Cruz	1.14	6.6				05h00-05h00			
	Arcenio Armijos Amay	0.68	3.9				05h00-05h00			

	USUARIO	Sup. (Ha)	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 12</b>	Máximo Pacheco Chamba	0.70	3.3					05h00-05h00		
	Rosa Esperanza Cueva Mullo	0.67	3.1					05h00-05h00		
	José Rosendo Amay Juncay	0.52	2.4					05h00-05h00		
	Lino Antonio Galván Galván	1.28	6.0					05h00-05h01		
	Bertila Cueva Mullo	1.42	6.6					05h00-05h02		
	Juan Marco Cueva Mullo	0.86	4.0					05h00-05h03		
	Luís Felipe Torres Torres	2.41	10.5					05h00-05h04		
	Doraliza Luzmila Cueva Mullo	0.62	2.9						05h00-05h00	
	Abrahan Agustín Cueva Mullo	0.52	2.4						05h00-05h00	
	Sur Energysa	1.74	8.1						05h00-05h00	
	Adolfo Cruz	2.03	9.5						05h00-05h00	
	Tito Requemele Torres Sanchez	0.23	1.1						05h00-05h00	
	Fanny Enestina Torres Sanchez	0.26	1.2						05h00-05h00	
	Polibio Sarango Tapia	2.32	10.8						05h00-05h00	
	USUARIO	Sup. (Ha)	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 13</b>	Luis Felipe Torres Torres	1.65	7.8	05h00-05h00						
	Francisco Aricerces Castillo Ceballos	0.49	2.3	05h00-05h01						
	Orfa Brígida Cueva Correa	3.62	17.2	05h00-05h02						
	Georgina Lila Torres Abendaño	1.79	8.5	05h00-05h03						
	Torres Sanchez Cristobal	0.22	1.1	05h00-05h04						
	María Rosario Riofrío Castillo	1.34	6.3	05h00-05h05						
	José Antonio Cruz	6.21	28.4		05h00-05h00					
	Teresa de Jesús Aguinsaca Minga	0.90	4.1		05h00-05h01					
	Jorge Enrique Armijos Abendaño	2.34	10.7		05h00-05h02					
	USUARIO	Sup. (Ha)	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 14</b>	Maura Mercedes Guzmán Cruz	0.34	1.2					05h00-05h00		
	Estanilau Guamán Juncay	5.01	18.2					05h00-05h01		
	Juan Guamán Juncay	1.77	6.4					05h00-05h03		
	Jorge Ivan Cuenca Cabrera	1.06	3.8					05h00-05h04		
	Cesar Baltazar Guzmán	1.46	5.3					05h00-05h05		
	Juan Guamán Juncay	2.29	8.3					05h00-05h06		
	Julio Hernán Guzman Guamán	1.98	7.2					05h00-05h07		
	HDROS. de Quirola Reinerio	2.90	10.5					05h00-05h09		
	Segundo Manuel Castillo Pineda	1.26	4.5						05h00-05h00	
	Tania Vanesa Guzmán Loján	2.06	7.4						05h00-05h00	
	José Amable Quirola	0.91	3.3						05h00-05h00	
	Luis Fernando Cabrera Garrido	0.70	2.5						05h00-05h00	
	Milton Sigcho	0.76	2.7						05h00-05h00	
	Carlos González Cabrera	0.38	1.4						05h00-05h00	
	HDROS. de Mariana Garrido	0.64	2.3						05h00-05h00	
	Cesar Baltazar Guzmán	0.31	1.1						05h00-05h00	
	Luis Isidro Amay Piedra	2.01	7.2						05h00-05h00	
	Juan Guamán Juncay	0.52	1.9						05h00-05h00	
	José Castillo	1.26	4.5						05h00-05h00	
	HDROS. de Manuel Ricardo Espinosa Morales	6.11	22.0						05h00-05h00	

	USUARIO	Sup. (Ha)	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 15</b>	José Manuel Puchaicela	0.22	1.0					05h00-05h00		
	Carmen Esperanza Curimilma Masa	1.68	7.7					05h00-05h00		
	María Hortencia Curimilma Masa	0.39	1.8					05h00-05h00		
	Luis Isidro Amay Piedra	2.59	11.8					05h00-05h00		
	Marcos Leonidas Castillo Pineda	1.27	5.8					05h00-05h00		
	José Orlando Guamán Amay	0.14	0.6					05h00-05h00		
	Julia Jaramillo	1.41	6.4					05h00-05h00		
	Herrera Flores Segundo Camilo	2.02	9.0						05h00-05h00	
	Julio Cesar Cabrera Puglla	0.92	4.1						05h00-05h00	
	Segundo Tomas Puchaicela	0.63	2.8						05h00-05h00	
	Marcos Leonidas Castillo Pineda	0.86	3.9						05h00-05h00	
	HDROS. de Cabrera Ramón Alfredo	2.40	10.7						05h00-05h00	
	Ramiro Pérez Valeriano	1.03	4.6						05h00-05h00	

	USUARIO	Sup. (Ha)	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 16</b>	Marina de Jesus Pizarro Guamán	0.58	2.7					05h00-05h00		
	Lorenzo HDROS. de Cuenca Cabrera	4.36	19.8					05h00-05h00		
	Josefa Dorila Lojan Quirola	0.50	2.3					05h00-05h00		
	HDROS. Esthela Cuenca	0.58	2.6					05h00-05h00		
	Manuel de Jesus Guamán Sanchez	1.50	6.8					05h00-05h00		
	Manuel Guzmán Cruz	0.46	2.1					05h00-05h00		
	Estanislao Juncay Guamán	2.00	9.1					05h00-05h00		
	Jorge Germán Cabrera Garrido	1.84	8.3						05h00-05h00	
	Hipolito Servilio Flores Crillo	0.20	0.9						05h00-05h00	
	Máximo Alejandro Castillo Loján	5.52	24.9						05h00-05h00	
	Estanislao Juncay Guamán	1.58	7.1						05h00-05h00	
	Pedro Oswaldo Pineda Pineda	0.19	0.9						05h00-05h00	
	HDROS. de Quirola Reinerio	0.58	2.6						05h00-05h00	
	S/inf	0.14	0.6						05h00-05h00	

	USUARIO	Sup. (Ha)	Q(l/s)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>MÓDULO 17</b>	José Cornelio Ruíz	1.94	8.8			05h00-05h00				
	Hernán Abelino Guamán Quirola	0.21	0.9			05h00-05h00				
	Hector Rolando Cabrera Ruíz	0.33	1.5			05h00-05h00				
	HDROS. de Tomas Abigail Cabrera Cuenca	0.19	0.9			05h00-05h00				
	Victor Omar Contento Sigcho	0.24	1.1			05h00-05h00				
	Melania del Cisne Lojan Sarango	0.05	0.2			05h00-05h00				
	Sandra Beatris Lojan Sarango	0.04	0.2			05h00-05h00				
	Marlene Patricia Loján Sarango	0.05	0.2			05h00-05h00				
	Rosa Mariela Loján Sarango	0.04	0.2			05h00-05h00				
	Antonio Manuel Lojan Sarango	0.04	0.2			05h00-05h00				
	Cergio Rodolfo Lojan Sarango	0.04	0.2			05h00-05h00				
	Romel Paz	0.30	1.3			05h00-05h00				
	Carlos Favián Lojan Sarango	0.04	0.2			05h00-05h00				
	María Esther Pineda Puglla	0.42	1.9			05h00-05h00				
	Manuel de Jesus Ruíz González	0.18	0.8			05h00-05h00				
	Amada Ruíz	0.18	0.8			05h00-05h00				
	Jorge Alejandro Cuenca Olmedo	0.55	2.5			05h00-05h00				
	Leoncio Alfredo Ruíz González	0.30	1.3			05h00-05h00				
	María Esther Sarango Ponce	0.30	1.4			05h00-05h00				

Maia Ignacia Juncay	0.22	1.0			05h00-05h00		
Carlos Roni Chalaco Sarango	0.22	1.0			05h00-05h00		
Carmen Ágila Vasquez	0.80	3.6			05h00-05h00		
Hernan Abelino Guamán Quirola	0.25	1.1			05h00-05h00		
Segundo José María Aguirre Marín	0.58	2.7			05h00-05h00		
Beti Liliana Songor Juncay	0.02	0.1			05h00-05h00		
Max Imiliano Coronel Cuenca	0.27	1.2			05h00-05h00		
Eduardo Oliverio Paute Puchaicela	0.26	1.2			05h00-05h00		
Luis Agustín Ruíz González	0.49	2.2			05h00-05h00		
Máximo Coronel	0.22	1.0			05h00-05h00		
Carmita Cabrera	0.21	0.9			05h00-05h00		
Carmen Domitila Ruíz Torres	0.19	0.9			05h00-05h00		
Juncay Ignacia	0.82	3.7			05h00-05h00		
María Carmita Ajila Vasquez	0.18	0.8			05h00-05h00		
Vicente Paucar	0.21	0.9			05h00-05h00		
Leoncio Alfredo Ruíz González	0.17	0.8			05h00-05h00		
Elvia María Ruíz González	0.15	0.7			05h00-05h00		
José Puchaicela	0.18	0.8			05h00-05h00		
Angel Polivio de Jesús Contento Arias	0.45	2.0			05h00-05h00		
María Ignacia Juncay Sanchez	1.50	6.7			05h00-05h00		
Antonio HDROS de Cuenca	1.23	5.5			05h00-05h00		
Carlos Segundo Paute Palta	0.08	0.4			05h00-05h00		
Leoncio Alfredo Ruíz González	0.32	1.4			05h00-05h00		
Justino Adalberto Cano Carrión	0.78	3.5			05h00-05h00		
Carlos Segundo Paute Palta	0.25	1.1			05h00-05h00		
María Carmita Ágila Vasquez	0.21	0.9			05h00-05h00		
José Puchaicela	0.18	0.8			05h00-05h00		
Vicente Paucar	0.24	1.1			05h00-05h00		
Juan Franciscp Romero Márquez	0.06	0.3			05h00-05h00		
José Sanches	0.24	1.1			05h00-05h00		
Hector Rolando Cabrera Ruíz	0.08	0.4			05h00-05h00		
José Cornelio Ruíz	2.38	10.6			05h00-05h00		
Milton Coronel	0.26	1.2			05h00-05h00		
Jorge Eduardo Rodríguez	0.92	4.1			05h00-05h00		
Ángel Benigno Curimilma Ruíz	1.75	7.8			05h00-05h00		
Julia Sebastiana Contento Arias	0.05	0.2			05h00-05h00		
Edgar Namicela	0.08	0.4			05h00-05h00		

**Anexo 28.** Puntos de muestreo

<b>Nº Punto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Arena</b>	<b>Limo</b>	<b>Arcilla</b>	<b>Clase Textural</b>
1	687888	9546736	42.7	27.3	30.0	Fo Ac
2	687769	9546559	36.7	31.3	32.0	Fo Ac
3	687648	9546089	48.7	25.3	26.0	FoAc Ao
4	689329	9543064	56.7	15.3	28.0	FoAc Ao
5	689186	9542655	48.7	21.3	30.0	FoAc Ao
6	689140	9542258	12.7	21.3	66.0	Ac
7	689206	9542038	38.4	19.6	42.0	Ac
8	688697	9542972	39.7	20.3	40.0	FoAc
9	689074	9543451	60.7	19.3	20.0	Fo Ao
10	688077	9545425	44.7	25.3	30.0	Fo Ac
11	687615	9545610	40.7	23.3	36.0	Fo Ac
12	687600	9545254	47.7	26.3	26.0	FoAc Ao
13	687225	9544184	46.0	24.0	30.0	FoAc Ao
14	687527	9544274	48.7	21.3	30.0	FoAc Ao
15	688108	9544701	50.4	25.6	24.0	FoAc Ao
16	688518	9544373	62.7	15.3	22.0	FoAc Ao
17	688041	9543875	50.7	19.3	30.0	FoAc Ao
18	688101	9543085	46.7	25.3	28.0	FoAc Ao
19	688653	9543636	42.4	29.6	28.0	FoAc
20	687179	9546288	40.0	25.3	34.7	FoAc
21	686782	9544287	56.0	23.3	20.7	FoAc Ao
22	688952	9541824	12.0	15.3	72.7	Ac
23	688675	9541987	20.0	25.3	54.7	Ac
24	688494	9544031	34.0	19.3	46.7	Ac
25	687239	9545313	60.0	15.3	24.7	FoAc Ao
26	685024	9544087	68.0	11.3	20.7	FoAc Ao
27	685611	9543940	66.0	19.3	14.7	Fo Ao
28	686600	9543972	50.0	19.3	30.7	FoAc Ao
29	688482	9542507	56.0	23.3	20.7	FoAc Ao
30	688888	9543950	68.0	15.3	16.7	FoAo

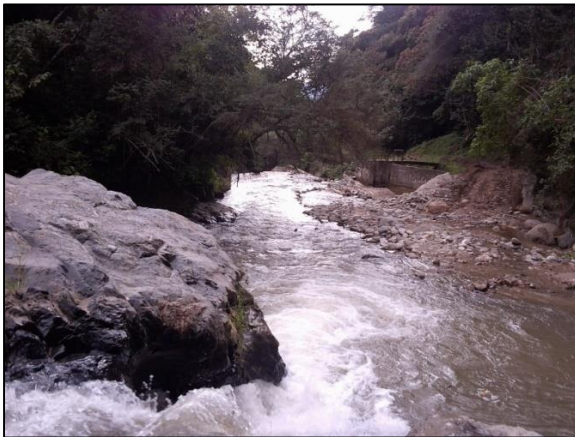
**Anexo 29.** Respaldo fotográfico



**Figura 1.** Parte alta de la Cuenca de captación



**Figura 2.** Parte baja de la cuenca de captación



**Figura 3.** Captación del sistema de riego



**Figura 4.** Aporte de la quebrada Sapos Amarillos



**Figura 5.** Zona de riego