



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN LA MICROCUENCA DE LA**  
**QUEBRADA DE QUILLALLI EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE**  
**TUNGURAHUA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO FORESTAL**

**LUIS IVÁN LÓPEZ PADILLA**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2019**

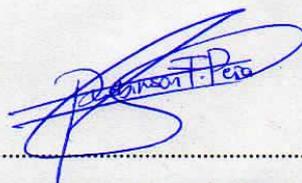
**HOJA DE CERTIFICACIÓN**

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA, que el trabajo de investigación titulado: **DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA DE QUILLALLI EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA**, de responsabilidad del señor Luis Iván López Padilla, ha sido prolijamente revisado y aprobado quedando autorizada su presentación.

**TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

.....  
Ing. Juan Eduardo León Ruiz, Ph.D.

**DIRECTOR**



.....  
Ing. Robinson Fabricio Peña Murillo, Msc.

**ASESOR**

Riobamba, 22 de enero del 2019

### **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Luis Iván López Padilla, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 22 de enero de 2019.



.....  
Luis Iván López Padilla

180445944-2

## **AUTORÍA**

La autoría del presente trabajo es de propiedad intelectual del autor y de la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH

## **DEDICATORIA**

### ***A Dios***

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo al creador de mis padres y de las personas que más amo, con mi más sincero amor.*

### ***A mi madre María***

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor, gracias también por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.*

### ***A mi padre Luis***

*Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.*

### ***A mis hermanas***

*Elizabeth, Selena, Pamela por su cariño, y apoyo incondicional.*

### ***A mis abuelitos***

*A mis abuelitos, aunque la mayoría de ellos ya no estén presentes aquí físicamente siempre y cada día están en mi corazón, a ti mamita Blanca mi gratitud eterna ya que después de mis padres eres la persona que más se ha preocupado por mí.*

*Iván*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a mi padre celestial por bendecir mi vida en todo momento, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.*

*A mis padres por su apoyo incondicional, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un ejemplo de vida a seguir, por haberme forjado como una persona de bien, muchos de mis logros se los debo a ustedes incluido este, gracias por motivarme constantemente para alcanzar mis anhelos.*

*A la Escuela de Ingeniería Forestal y Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y permitirme formarme como profesional. Orgulloso me siento por haber recorrido por sus aulas*

*A mi tutor Ing. Juan León Ruiz PhD e Ing. Robinson Peña, gracias a ustedes por haberme brindado la oportunidad de recurrir a sus capacidades y conocimientos científicos, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de mi Tesis.*

*Mi agradecimiento también va dirigido a los técnicos de Fundación Marco por abrirme las puertas y brindarme su apoyo para el cumplimiento y ejecución del presente trabajo de investigación.*

*A mis tíos por su apoyo que me brindaron durante esos buenos y difíciles momentos en mi formación profesional, por aquello gracias de corazón.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE GRÁFICOS .....	xii
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE ANEXOS .....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xiv
I. DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA DE QUILLALLI EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	1
A. JUSTIFICACIÓN.....	1
B. OBJETIVOS.....	2
1. Objetivo general .....	2
2. Objetivos específicos .....	2
C. HIPÓTESIS .....	2
1. Hipótesis nula .....	2
2. Hipótesis alternativa .....	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
A. LAS MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS .....	3
1. División espacial de una cuenca hidrográfica .....	4
2. Funciones de las cuencas hidrográficas.....	4
3. Importancia de las Cuencas hidrográficas .....	5
D. CICLO HIDROLÓGICO .....	6
1. Fases del ciclo hidrológico .....	6
2. Procesos asociados al ciclo hidrológico .....	7
E. BALANCE HÍDRICO .....	10
1. Características del balance hídrico .....	11

2.	Importancia de realizar un estudio de balance hídrico .....	12
F.	OFERTA HÍDRICA.....	12
1.	Precipitaciones.....	13
G.	EVAPOTRANSPIRACION.....	16
1.	Tipos de evapotranspiración.....	17
2.	Métodos de medición y estimación de la evapotranspiración .....	18
H.	ESCORRENTÍA .....	21
1.	Escorrentía superficial o caudal.....	22
2.	Caudal efluente .....	22
3.	Métodos para medir los caudales de escorrentía .....	22
3.	Erosión hídrica.....	24
I.	INFILTRACIÓN .....	26
1.	Capacidad de infiltración.....	26
2.	Métodos para determinar la infiltración .....	27
J.	DEMANDA HIDRICA.....	29
1.	Demanda hídrica de los cultivos.....	29
2.	Caudales concesionados .....	36
K.	CAUDAL ECOLÓGICO .....	37
1.	Métodos cuantitativos de determinación del caudal ecológico .....	37
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
A.	CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR.....	41
B.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	42
C.	METODOLOGÍA .....	42
1.	Oferta hídrica de la microcuenca.....	43
2.	Demanda hídrica en la microcuenca de Quillalli.....	44
4.	Determinación del caudal ecológico de los principales afluentes de la microcuenca.....	52
5.	Determinación del balance hídrico .....	52

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	54
A. OFERTA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA .....	54
1. Precipitación .....	54
B. DEMANDA HIDRICA DE LA MICROCUENCA.....	57
1. Poblaciones beneficiarias .....	57
2. Uso actual del suelo en las zonas baja media y alta .....	58
6. Determinación de los parámetros hídricos del suelo en función de los cultivos en las zonas alta, media y baja de la microcuena de la quebrada de Quillalli .....	59
7. Evaporación de la microcuena .....	61
8. Ciclo productivo de los cultivos .....	62
9. Demanda hídrica y programación del riego de los cultivos en la zona baja .....	63
10. Demanda hídrica y programación del riego de los cultivos en la zona media .....	70
11. Demanda hídrica y programación del riego en los cultivos de la zona alta .....	84
12. Demanda hídrica de los cultivos en la zona baja media y alta .....	92
13. Tiempo para riego.....	94
14. Escorrentía e infiltración .....	111
15. Caudal de la microcuena de la quebrada de Quillalli .....	119
C. CAUDAL ECOLÓGICO DE LOS PRINCIPALES AFLUENTES DE LA MICROCUENCA .....	122
1. Caudal ecológico de la quebrada Churuhuaycu .....	122
2. Caudal ecológico de la quebrada Cochaucó .....	123
3. Caudal en la quebrada de Pazarumi.....	124
4. Caudal en la quebrada de Quillalli .....	125
D. CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO.....	126
VI. CONCLUSIONES.....	127
VII.RECOMENDACIONES .....	128
VIII.RESUMEN .....	129
IX. SUMMARY.....	130

X. BIBLIOGRAFÍA .....	131
XI. ANEXOS .....	139

### LISTA DE TABLAS

Nº	DESCRIPCIÓN	Pág.
<b>Tabla 1.</b>	Clasificación e interpretación de la velocidad de infiltración del suelo.....	29
<b>Tabla 2.</b>	Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A situado en una superficie cultivada para diversas localidades y ambientes con varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa. ....	30
<b>Tabla 3.</b>	Escala de valoración del índice de escasez del recurso hídrico .....	37
<b>Tabla 4.</b>	Caudales mínimos según el método de Montana .....	39
<b>Tabla 5.</b>	Puntos de ubicación de los pluviómetros caseros .....	54
<b>Tabla 6.</b>	Precipitación por zonas altitudinales de la microcuenca.....	54
<b>Tabla 7.</b>	Cálculo de la oferta hídrica de acuerdo a la superficie .....	55
<b>Tabla 8.</b>	Comunidades beneficiarias del proyecto.....	57
<b>Tabla 9.</b>	Uso de suelo en las zonas baja, media y alta.....	58
<b>Tabla 10.</b>	Distribución actual del uso de suelo.....	59
<b>Tabla 11.</b>	Parámetros hídricos del suelo en función de los cultivos en la microcuenca de la quebrada de Quillalli en la zona baja, media y alta.....	60
<b>Tabla 12.</b>	Evaporación de acuerdo a las zonas altitudinales en la microcuenca .....	61
<b>Tabla 13.</b>	Ciclo productivo de los cultivos en la zona baja, media y alta de la microcuenca de Quillalli.....	62
<b>Tabla 14.</b>	Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	63
<b>Tabla 15.</b>	Programación del riego para el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....	64
<b>Tabla 16.</b>	Reprogramación del riego para el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....	65
<b>Tabla 17.</b>	Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de avena forrajera .....	65
<b>Tabla 18.</b>	Programación del riego para un cultivo de avena forrajera ( <i>Avena sativa</i> ) .....	66
<b>Tabla 19.</b>	Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de haba ( <i>Vicia faba</i> ) .....	66
<b>Tabla 20.</b>	Programación del riego para un cultivo de haba ( <i>Vicia faba</i> ).....	67
<b>Tabla 21.</b>	Reprogramación del riego para un cultivo de haba ( <i>Vicia faba</i> ).....	68
<b>Tabla 22.</b>	Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ) .....	69

<b>Tabla 23.</b> Programación del riego en un cultivo de cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ).....	70
<b>Tabla 24.</b> Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	70
<b>Tabla 25-</b> Programación del riego para el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....	71
<b>Tabla 26.</b> Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de cebolla blanca ( <i>Pisum sativum</i> ).....	72
<b>Tabla 27.</b> Programación del riego para el cultivo de cebolla blanca ( <i>Pisum sativum</i> ) .....	73
<b>Tabla 28.</b> Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de haba ( <i>Vicia faba</i> ) .....	73
<b>Tabla 29.</b> Programación del riego para el cultivo de haba ( <i>Vicia faba</i> ) .....	74
<b>Tabla 30.</b> Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de avena forrajera ( <i>Avena sativa</i> ).....	75
<b>Tabla 31.</b> Programación del riego para el cultivo de avena forrajera ( <i>Avena sativa</i> ) .....	76
<b>Tabla 32.</b> Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ) .....	76
<b>Tabla 33.</b> Programación del riego para el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ).....	77
<b>Tabla 34.</b> Cálculo de Etc para Rye grass en 60 días cada corte .....	78
<b>Tabla 35.</b> Programación del riego para el cultivo de rye grass .....	79
<b>Tabla 36.</b> Reprogramación del riego para el cultivo de rye grass .....	80
<b>Tabla 37.</b> Cálculo de Etc para una plantación de pino .....	80
<b>Tabla 38.</b> Cálculo de Etc para un cultivo de alfalfa. ....	81
<b>Tabla 39.</b> Programación del riego para el cultivo de alfalfa ( <i>Medica sativa</i> ) .....	83
<b>Tabla 40.</b> Reprogramación del riego para el cultivo de rye grass .....	83
<b>Tabla 41.</b> Calculo del requerimiento para la vegetación arbustiva húmeda.....	84
<b>Tabla 42.</b> Calculo del requerimiento hídrico de un cultivo de pasto azul y trébol.....	84
<b>Tabla 43.</b> Programación del riego para el cultivo de pasto azul y trébol .....	86
<b>Tabla 44.</b> Cálculo del requerimiento hídrico para un cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ). 86	
<b>Tabla 45.</b> Programación del riego para el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....	87
<b>Tabla 46.</b> Cálculo la evapotranspiración del cultivo de haba ( <i>Vicia faba</i> ).....	88
<b>Tabla 47.</b> Programación del riego para el cultivo de haba ( <i>Vicia faba</i> ) .....	89
<b>Tabla 48.</b> Cálculo de la Etc cultivo de avena ( <i>Avena sativa</i> ).....	90
<b>Tabla 49.</b> Programación del riego para el cultivo de Avena forrajera ( <i>Avena sativa</i> ) .....	90
<b>Tabla 50.</b> Cálculo de la Etc para una plantación de pino .....	91
<b>Tabla 51.</b> Cálculo de la Etc para la vegetación arbustiva húmeda y nativa del páramo .....	92
<b>Tabla 52.</b> Cálculo de la evapotranspiración real de acuerdo a la superficie y ciclo vegetativo en cada cultivo.....	92
<b>Tabla 53.</b> Requerimiento hídrico de los cultivos en la zona baja, media y alta de la microcuena .....	94

<b>Tabla 54.</b> Clasificación e interpretación de la velocidad de infiltración básica en la zona baja, media y alta. ....	110
<b>Tabla 55.</b> Clasificación de pendientes presentes en la microcuenca.....	111
<b>Tabla 56.</b> Cálculo de la esorrentía e infiltración en la microcuenca de la quebrada de Quillalli.....	113
<b>Tabla 57.</b> Cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada de Quillalli .....	116
<b>Tabla 58.</b> Resumen del cálculo de la erosión hídrica en la zona alta, media y baja.....	118
<b>Tabla 59.</b> Caudal promedio de los principales afluentes de la microcuenca de la quebrada de Quillalli.....	119
<b>Tabla 60.</b> Cálculo de la oferta neta en la microcuenca de la quebrada de Quillalli .....	120
<b>Tabla 61.</b> Cálculo del índice de escasez respecto a la oferta.....	120
<b>Tabla 62.</b> Captaciones de agua existentes dentro de la microcuenca .....	121
<b>Tabla 63.</b> Distribución del agua de acuerdo a su uso en la microcuenca de la quebrada de Quillalli.....	122
<b>Tabla 64.</b> Caudal ecológico de la quebrada de Churuhuaycu .....	122
<b>Tabla 65.</b> Caudal ecológico de la quebrada de Cochaucó .....	123
<b>Tabla 66.</b> Caudal en la quebrada de Pazarumi .....	124
<b>Tabla 67.</b> Caudal en la quebrada de Quillalli .....	125
<b>Tabla 68.</b> Cálculo de balance hídrico de la microcuenca de la quebrada de Quillalli.....	126

## LISTA DE GRÁFICOS

Nº	DESCRIPCIÓN	Pág.
<b>Gráfico 1.</b>	Lámina vs Tiempo, suelo con cultivo .....	95
<b>Gráfico 2.</b>	Curva infiltración vs tiempo, suelo con cultivo .....	95
<b>Gráfico 3.</b>	Lámina vs tiempo, suelo sin cobertura vegetal .....	96
<b>Gráfico 4.</b>	Curva de infiltración vs tiempo, suelo sin cobertura vegetal .....	97
<b>Gráfico 5.</b>	Lámina vs tiempo, suelo con pastizal .....	98
<b>Gráfico 6.</b>	Curva infiltración vs tiempo, suelo con pastizal .....	98
<b>Gráfico 7-</b>	Lamina vs tiempo, suelo sin cobertura vegetal.....	99

<b>Gráfico 8.</b> Curva Infiltración vs tiempo, suelo sin cobertura vegetal.....	100
<b>Gráfico 9.</b> Lamina vs tiempo, suelo con cultivo.....	101
<b>Gráfico 10.</b> Curva de infiltración vs tiempo, suelo con cultivo .....	102
<b>Gráfico 11.</b> Lámina vs tiempo, suelo con pastizal .....	103
<b>Gráfico 12.</b> Curva infiltración vs tiempo, suelo con pastizal .....	104
<b>Gráfico 13.</b> Lamina vs tiempo, suelo con cultivo.....	105
<b>Gráfico 14.</b> Infiltración vs tiempo, suelo con cultivo.....	106
<b>Gráfico 15.</b> Lamina vs tiempo, suelo desnudo .....	107
<b>Gráfico 16.</b> Curva infiltración vs tiempo, suelo desnudo.....	108
<b>Gráfico 17.</b> Lamina vs tiempo, vegetación nativa de páramo .....	109
<b>Gráfico 18.</b> Lamina vs tiempo, vegetación nativa de páramo .....	110

### LISTA DE FIGURAS

<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2.</b>	Curva generalizada del coeficiente del cultivo, correspondiente al procedimiento del coeficiente único del cultivo en las diferentes etapas de crecimiento. ....	32
<b>Figura 3.</b>	Mapa de los principales afluentes de la microcuenca de la quebrada de Quillalli ..	41

### LISTA DE ANEXOS

<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b>	Mapa de uso de suelo actual de la microcuenca de la quebrada de Quillalli .....	139
<b>Anexo 2.</b>	Mapa de pendientes de la microcuenca de la quebrada de Quillalli .....	139
<b>Anexo 3</b>	Ubicación de los pluviómetros caseros .....	140
<b>Anexo 4.</b>	Mapa del uso actual del suelo en la cuenca baja .....	140
<b>Anexo 5.</b>	Mapa del uso actual del suelo en la cuenca media .....	141
<b>Anexo 6.</b>	Mapa del uso actual del suelo en la cuenca alta .....	141

<b>Anexo 7</b> Oferta hídrica en la microcuenca.....	142
<b>Anexo 8.</b> Evaporación de la microcuenca.....	142
<b>Anexo 9.</b> Calculo infiltración cuenca baja suelo sin cobertura vegetal .....	144
<b>Anexo 10.</b> Calculo infiltración cuenca baja suelo con cultivo.....	146
<b>Anexo 11.</b> Calculo infiltración cuenca media suelo sin cobertura vegetal .....	148
<b>Anexo 12.</b> Cálculo de infiltración en la cuenca media suelo con pastizal .....	150
<b>Anexo 13.</b> Cálculo de la infiltración en la cuenca alta suelo con de pastizal .....	152
<b>Anexo 14.</b> Cálculo de infiltración en la vegetación nativa de páramo .....	154
<b>Anexo 15.</b> Instalación de los pluviómetros caseros en la microcuenca .....	155
<b>Anexo 16.</b> Determinación de capacidad de campo .....	155
<b>Anexo 17.</b> Construcción y forrado de las paredes del pozo.....	156
<b>Anexo 18.</b> Llenado de agua en el hoyo para determinar densidad aparente .....	156
<b>Anexo 19.</b> Peso de la muestra en campo y en el laboratorio para determinar capacidad de campo y densidad aparente .....	157
<b>Anexo 20.</b> Determinación de la infiltración y escorrentía en campo.....	157
<b>Anexo 21.</b> Determinación de la escorrentía en suelo con pasto y con cultivo.....	158
<b>Anexo 22.</b> Determinación del caudal en la quebrada de Quillalli .....	158

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>PDOTQ</b> Plan de Ordenamiento Territorial de Quisapincha
<b>INAMHI</b> Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>UNOCANT</b> Unión Nacional de Organizaciones Campesinas del Noroccidente de Tungurahua
<b>IDEAM</b> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>CONGOPE</b> Confederación Nacional de Gobiernos Provinciales del Ecuador
<b>INIAP</b> Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
<b>USDA</b> Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
<b>UNESCO</b> Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

# **I. DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA DE QUILLALLI EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

## **II. INTRODUCCIÓN**

El recurso hídrico, a nivel nacional, está siendo altamente afectado por la presión humana, agravando cada vez más su disponibilidad (cantidad y calidad). Estos factores de presión son fundamentalmente la sobreexplotación de acuíferos, el vertimiento de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, los cambios en el uso del suelo tales como la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, el incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros (Ordóñez, 2011). Este decrecimiento en la disponibilidad hídrica aunado a un alto índice de crecimiento poblacional, generan conflictos los cuales están incrementando y que tienden a agravarse; si no se toman las medidas necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificación normativas y leyes que permitan su protección y su distribución en forma racional (Ordóñez, 2011).

Adicionalmente, es importante señalar que la mayoría de agricultores de nuestro país y específicamente de la zona de estudio desconocen la oferta y demanda hídrica de sus cultivos, desconocimiento que ocasiona enormes perjuicios a la delicada economía familiar. Razón por la cual en el presente trabajo se propone determinar el estado actual de la oferta y disponibilidad de este recurso, lo que permitió establecer los periodos en los que se requiere regar o no en los diferentes cultivos existentes microcuena de la quebrada de Quillalli (Cortes, 2016). La realización del balance hídrico es una herramienta útil que auxilia en el proceso de toma de decisiones para la planificación y el manejo del recurso, la administración del mismo juega un papel preponderante en el desarrollo y rendimiento de los cultivos, tanto así que se puede prever los resultados en función de la disponibilidad de agua (Tenechagua, 2012).

### **A. JUSTIFICACIÓN**

Cada vez más aparece la necesidad de conocer la disponibilidad o reserva de agua existente en nuestros alrededores, para su mejor aprovechamiento en la producción agrícola, ganadera y otros lo cual constituye el egreso fundamental de humedad del suelo y la aportación a los

cauces aledaños a dicho sector. Son diversas las aplicaciones prácticas que demuestran la necesidad de precisar los cálculos de este elemento (Tenechagua, 2012). Por esto, resulta particularmente importante la realización del presente estudio de balance hídrico en la microcuenca de la quebrada de Quillalli ya que la información que aquí se obtenga representara una fuente apropiada para establecer lineamientos a seguir para su protección, y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

## **B. OBJETIVOS**

### **1. Objetivo general**

Determinar el balance hídrico en la microcuenca de la quebrada de Quillalli en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

### **2. Objetivos específicos**

- a. Determinar la oferta hídrica de la microcuenca.
- b. Determinar la demanda hídrica para consumo doméstico y riego.
- c. Definir el caudal ecológico de los principales afluentes de la microcuenca.

## **C. HIPÓTESIS**

### **1. Hipótesis nula**

La disponibilidad de agua existente en la microcuenca no satisface la demanda hídrica.

### **2. Hipótesis alternativa**

La disponibilidad de agua existente en la microcuenca satisface la demanda hídrica.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### A. LAS MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS

Una microcuenca hidrográfica es un espacio de territorio que se encuentra definido por la línea divisoria de aguas y que está compuesto por un sistema hídrico, conformado por ríos, riachuelos y quebradas, que conducen sus aguas hacia un río más grande o río principal, así como un lago o por lo general al mar. Si bien el significado de cuenca hidrográfica es de conocimiento público, es importante remarcar la necesidad de considerar a la microcuenca bajo un enfoque social, económico y operativo, además del enfoque territorial e hidrológico tradicionalmente utilizado. De esta manera, la microcuenca se define como una pequeña unidad geográfica donde vive una cantidad de familias que utiliza y maneja los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación (FAO, 2008).

Dentro de la cuenca hidrográfica se encuentran todos los recursos naturales, así como toda la población e infraestructura humana, en la cual se desarrolla provocando tantos efectos favorables, así como efectos desfavorables para el bienestar y desarrollo de la misma población. Esta unidad territorial ya sea tomada en forma independiente o interconectada con otras es la más aceptada para la gestión de los recursos naturales en especial del recurso hídrico (Dourojeanni *et al.* 2002). Según Escobar (2003), “Una cuenca hidrográfica no es solo una porción geográfica, pues en ella se acoge a la población humana la misma que aprovecha los recursos que hay en ella, este uso genera a la vez conflictos que son de carácter social y económico. En este sentido la cuenca hidrográfica debe ser considerada como la unidad de planificación en la que los protagonistas deben ser sus mismos habitantes, y sus organizaciones comunitarias deben convertirse en la base del desarrollo local”

##### a. Concepto de cuenca hidrográfica

Según Cano & López (2000), manifiestan que la cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago, o mar. En esta área viven seres humanos, animales y plantas, todos ellos relacionados. Así mismo Córdova (2004), afirma que cuenca hidrográfica es el área de escurrimiento del agua lluvia hacia un río o punto determinado. Su contorno o perímetro se encuentra limitado por el lomo o filo de las montañas, conocido

también como la línea divisoria de aguas. En otras palabras, la cuenca hidrográfica tiene forma cóncava como la de un cucharón, donde escurre el agua que llueve hacia las quebradas y a los ríos. El borde de ese cucharón llamado cuenca, lo conforman las montañas más altas alrededor de esos ríos y quebradas.

## **1. División espacial de una cuenca hidrográfica**

Umaña (2002), señala que para el ordenamiento y manejo de una cuenca se ve necesario dividirla en unidades más pequeñas. Estas unidades son las subcuencas, las microcuencas y por último tenemos a las quebradas. También dentro de una cuenca, subcuenca o microcuenca, se establece una división identificándose tres partes de la cuenca: parte Alta, parte media y parte baja. Estas unidades más pequeñas dentro de una cuenca hidrográfica son:

### **a. Subcuenca**

Es un área en la que su drenaje va directamente a un río principal de la cuenca. También se la puede considerar como una subdivisión de una cuenca. Es decir que dentro de una cuenca pueden existir varias subcuencas (Umaña, 2002).

### **b. Microcuenca**

Es un área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca. Es decir que dentro de una subcuenca puede haber varias microcuencas. Las microcuencas son unidades pequeñas y que a la vez son áreas que pueden originar quebradas y riachuelos las cuales drenan de las laderas y pendientes altas. Las microcuencas constituyen las unidades adecuadas para la planificación de acciones para su manejo. En la práctica, las microcuencas se inician en la naciente de los pequeños cursos de agua, uniéndose a las otras corrientes hasta constituirse en la cuenca hidrográfica de un río de gran tamaño (Umaña, 2002).

## **2. Funciones de las cuencas hidrográficas**

### **a. Función hidrológica**

- 1) Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.
- 2) Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
- 3) Descarga del agua como escurrimiento (Umaña, 2002).

**b. Función ecológica**

- 1) Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
- 2) Provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua (Umaña, 2002).

**c. Función ambiental**

- 1) Constituyen sumideros de CO<sub>2</sub>.
- 2) Alberga bancos de germoplasma.
- 3) Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
- 4) Conserva la biodiversidad.
- 5) Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos (Umaña, 2002).

**3. Importancia de las Cuencas hidrográficas**

La mayoría de nuestro planeta (estimándose en un 70%) está cubierto por Agua, siendo este material un bien que facilita la existencia de los Seres Vivos en el planeta, ya que es utilizado por los Organismos Fotosintéticos (es decir, las Especies Vegetales y las Algas) para poder producir su propio alimento mediante el proceso de Fotosíntesis, como también empleado en su proceso de Respiración brindando el Oxígeno que utilizamos para respirar, sirviendo sus reservas de energía como Alimento para Herbívoros y siendo la base de la Cadena Alimentaria (Ponce, 2011).

Entre las distintas masas de agua encontramos en su mayoría los Océanos, que separan los continentes como tierras emergidas, mientras que por otro lado tenemos las conglomeraciones a menor escala, como son los Mares, Ríos y Lagunas, considerándose como tales a la conformación de las denominadas Cuencas Hidrográficas, que tienen una forma en particular y una gran utilidad en su combinación con otros Recursos Hídricos. En lo que respecta a su Rol Hídrico, actúan como un sistema de drenaje de aguas dado por su conformación natural, caracterizada por contar con una pendiente en dirección hacia el Río o Mar cercano, actuando como un afluente y en muchos casos siendo un punto de referencia a la hora de encontrar la División de Aguas, contando sin embargo como característica fundamental de que se trata de

Aguas Superficiales, que se desenvuelven en forma ramificada hasta la zona conocida como Vertiente, donde confluyen con una masa de agua de mayor tamaño (Martínez, 2011).

## **D. CICLO HIDROLÓGICO**

Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua (Musy, 2001). Chereque (1989), menciona que el ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e 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).

### **1. Fases del ciclo hidrológico**

Aparicio (1997), manifiesta que como se trata de un ciclo podríamos considerar todas sus fases comenzando desde cualquier punto, pero lo más intuitivo puede ser comenzar en la Precipitación y considerar qué caminos puede seguir el agua que cae sobre los continentes en las precipitaciones:

#### **a. Precipitación**

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001). Para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua atmosférico. La saturación es una condición esencial para desbloquear la condensación. Los varios procesos termodinámicos son convenientes para realizar la saturación de las partículas atmosféricas inicialmente no saturadas y causar su condensación (Ordóñez, 2011).

### **b. Evaporación**

Es un proceso que ocurre tanto en la superficie terrestre como en la superficie marítima. Consiste en la transformación del agua de un estado líquido a un estado gaseoso, todo esto sucede gracias a fuentes (como la radiación solar) que inciden en la superficie líquida calentándola y a su vez evaporándola, formando finalmente vapor de agua. Aunque la evaporación se presente en milímetros (mm) no es fácil de medir de hecho no es una magnitud que se lo mida en las estaciones meteorológicas (Seoanez, 2001). La evaporación va a depender principalmente de dos elementos, el primero es la temperatura que determina la presión de vapor saturado, y el otro elemento es el intercambio turbulento del viento que está relacionado con la velocidad de viento y la rugosidad de la superficie (Loor, 2017).

### **c. Condensación**

Según Aparicio (1997), afirma que una vez que el agua ya ha llegado a la atmósfera en forma de vapor esta se condensa por el decremento de la temperatura es decir nuevamente se vuelve líquida y estas pequeñas gotas que se originan van formando nubes que finalmente precipitan cuando estas se saturan completamente. Y el agua vuelve a la Tierra continuando de esta manera el ciclo hidrológico. El proceso de condensación es favorecido por la presencia de los núcleos de condensación en la atmósfera. Estos son pequeñas partículas sólidas, de origen orgánico o inorgánico, alrededor de las cuales se va formando una película delgada de agua que va aumentando gradualmente hasta constituir una gota alrededor del núcleo. Los núcleos de condensación formados por partículas higroscópicas como el Cloruro de sodio son particularmente efectivos en este proceso. Dentro de las partículas que constituyen la condensación en la atmósfera se encuentran los granos pequeños de tierra y arena, la sal común desprendida de la espuma formada sobre los océanos, bacterias, esporas de hongos, virus, polen, etc. (Chereque, 1989).

## **2. Procesos asociados al ciclo hidrológico**

### **a. Evapotranspiración**

El agua se evapora desde la superficie de los líquidos, del suelo, de las plantas y de otros objetos. En la parte sólida de la Tierra, las principales fuentes evaporantes son la propia superficie del suelo y la de las plantas. La transpiración es el proceso mediante el cual las plantas evaporan por las estomas de las hojas, el agua que, procedente del suelo, absorben por sus raíces (Fernández, 1995). En condiciones naturales es muy difícil separar el agua que se

evapora desde la propia superficie del suelo de la que se evapora por transpiración desde las plantas. Es más factible evaluar el conjunto del agua evaporada tanto por evaporación desde la superficie suelo como por el proceso transpiratorio de la vegetación existente en esa superficie. A este conjunto se le da el nombre de evapotranspiración. El dato de evapotranspiración es de suma importancia en la planificación del riego de los cultivos. La evapotranspiración depende mucho de las condiciones de humedad en que se encuentre el suelo, por lo que se distinguen la evapotranspiración real, que es la que se produce en las condiciones de humedad que realmente tiene el suelo en determinado momento, y la evapotranspiración potencial, que es la que se produciría si el suelo estuviera saturado de humedad (Quintero, 2015).

### **b. Infiltración**

Se produce cuando el agua en forma de lluvia cae al suelo penetra en la tierra a través de sus poros y se convierte en agua subterránea. Ocurre cuando el agua que alcanza el suelo, penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en la superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente y de la cobertura vegetal (Ibarra & Echeverría, 2004).

Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o, más aún, por la transpiración en las plantas, que la extraen con raíces más o menos extensas y profundas. Otra parte se incorpora a los acuíferos, niveles que contienen agua estancada o circulante. Parte del agua subterránea alcanza la superficie allí donde los acuíferos, por las circunstancias topográficas, intersecan (es decir, cortan) la superficie del terreno (Moreno, 2011).

### **c. Humedad**

La humedad del aire se refiere a la cantidad de agua en estado de vapor que se encuentra contenida en el mismo. La capacidad del aire para contener vapor de agua está en dependencia de la temperatura. A mayor temperatura el aire tendrá una mayor capacidad para contener vapor de agua. Esto se explica fácilmente por la simple razón de que al aumentar la temperatura el aire se dilata, disminuye su densidad y sus moléculas se separan. En un metro cúbico de aire a una temperatura alta existirán menos moléculas que en el mismo volumen a una temperatura más baja. Debido a esto, a mayor temperatura el aire podrá contener mayor

número de moléculas de vapor de agua por unidad de volumen que a temperaturas más bajas. (Quintero, 2015).

#### **d. Escorrentía**

Se llama escorrentía o escurrimiento a la corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales. En hidrología la escorrentía hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo. Según la teoría de Horton, se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo. Esto sólo es aplicable en suelos de zonas áridas y de precipitaciones torrenciales. Esta deficiencia se corrige con la teoría de la saturación, aplicable a suelos de zonas de pluviosidad elevada y constante. Según dicha teoría, la escorrentía se formará cuando los compartimentos del suelo estén saturados de agua (Rodríguez, 2018).

#### **e. Escorrentía superficial**

Es la porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y que fluye sobre las laderas. El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente. Aún le pueden suceder varias cosas: parte es evaporada: desde la superficie de ríos, lagos y embalses también se evapora una pequeña parte otra parte puede quedar retenida como nieve o hielo o en lagos o embalses. (“Escorrentía superficial diferida”). Finalmente, una parte importante es la escorrentía superficial rápida que sigue su camino hacia el mar (Chereque, 2009).

#### **f. Escorrentía subsuperficial**

Es el agua que ha sido previamente infiltrada y no alcanza el almacenamiento subterráneo o acuífero, por lo tanto, debe ser considerada como parte de la escorrentía. Llamada también “interflow” es decir que tras un corto recorrido lateral antes de llegar a la superficie freática acaba saliendo a la superficie (Chereque, 2009).

#### **d. Intercepción**

Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora (Chereque, 2009).

#### **e. Circulación subterránea**

Es el movimiento del agua por debajo de la superficie terrestre, se produce a favor de la gravedad igual que la escorrentía, de la que se puede considerar una versión. Se presenta en dos modalidades:

- 1) Primero, la que se da en la zona vadosa, especialmente en rocas karstificadas, como son a menudo las calizas, y es una circulación siempre pendiente abajo.
- 2) Segundo, la que ocurre en los acuíferos en forma de agua intersticial que llena los poros de una roca permeable, de la cual puede incluso remontar por fenómenos en los que intervienen la presión y la capilaridad (Chereque, 2009).

### **E. BALANCE HÍDRICO**

En teoría el balance hídrico en términos de hidrología estudia el principio de conservación de masas, es decir que para cualquier volumen de agua y durante cualquier período de tiempo las diferencias entre las entradas y salidas estarán condicionadas por la variación del volumen almacenado. De esta forma el estudio del balance hídrico implica mediciones de almacenamiento de los flujos del agua, la diferencia entre el total de entradas y salidas es igual a la variación en el almacenamiento (Loor, 2017).

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{VARIACIÓN DEL ALMACENAMIENTO}$$

Las entradas en la ecuación de balance hídrico comprenden:

- La precipitación (P), en forma de lluvia, que cae sobre la superficie del suelo.
- Las aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca o agua captada desde fuera

Las salidas de agua en la ecuación de balance hídrico conforman:

- La evaporación desde la superficie del cuerpo de agua (E).
- La salida de corrientes de agua superficial y subterránea

Contreras *et al* (1999), mencionan que la ecuación del balance hídrico para cualquier área de estudio sea esta una cuenca natural o cuerpos de agua, señala datos relativos de entrada y

salida del flujo y de la variación del volumen del agua almacenada. Básicamente la ecuación del balance comprende la precipitación (P) que a la vez puede ser en forma de nieve o lluvia que caen dentro de la zona de estudio pudiendo llegar a ser flujo superficial (QsI) o flujo subterráneo (QuI); todas estas como entradas para la ecuación. El balance hídrico encierra todos los elementos del ciclo hidrológico, y consiste en la forma en la que el agua circula entre la atmósfera y la superficie terrestre en una determinada zona, de donde se pueden identificar dos movimientos generales, pudiéndose establecerse la siguiente igualdad:

$$\text{ENTRADAS} = \text{SALIDAS}$$

La ecuación para calcular el balance hídrico se presenta a continuación:

$$P - \text{Etc} - Q - I - E = \Delta S$$

Donde:

P: Precipitación ( $\text{hm}^3$ )

Etc: Evapotranspiración ( $\text{hm}^3$ )

I: Infiltración ( $\text{hm}^3$ )

E: Escorrentía ( $\text{hm}^3$ )

Q: Caudal ( $\text{hm}^3$ )

$\Delta S$ : Variación de almacenamiento de agua en el suelo ( $\text{hm}^3$ )

El balance hídrico además de cuantificar el recurso hídrico presenta un diagnóstico de la situación real del recurso, lo que permite definir estrategias, lineamientos y medidas para su protección y utilización de manera integrada, de esta manera garantizar calidad y cantidad a una determinada población (Aguilar, 2016).

### **1. Características del balance hídrico**

Los estudios de balance hídrico pueden estimarse para cualquier tamaño de masas de agua, el grado de complejidad dependerá también de la extensión de las zonas a estudiarse. Cuanta más pequeña sea la superficie de la cuenca, más complicado es su balance, ya que es más difícil estimar componentes secundarios, tales como intercambio de aguas subterráneas con cuencas adyacentes, almacenamiento de agua, en lagos, embalses, y la dinámica del balance hídrico de bosques y zonas regables. Por su parte los períodos de tiempo para poder realizar un balance varían de acuerdo a los resultados que se deseen adquirir, estos pueden ser horas, días, meses, años. La estimación del balance estará condicionada directamente por las

variables que se cuenten para determinar el cálculo, por lo que se debe considerar la disponibilidad de la información de estaciones meteorológicas (Loor, 2017).

## **2. Importancia de realizar un estudio de balance hídrico**

Sokolov *et al.*, (1981), afirman que las técnicas del balance hídrico, es uno de los principales objetivos en hidrología, son un medio para solucionar importantes problemas hidrológicos teóricos y prácticos. A partir de un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre. El conocimiento de la estructura del balance hídrico de lagos, cuencas superficiales y cuencas subterráneas, es -fundamental para conseguir un uso más racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo, así como para mejorar el control y redistribución de estos; por ejemplo: trasvases de cuencas, control de máximas crecidas, etc.

La información que proporciona el balance hídrico de las cuencas de ríos y lagos para cortos periodos de tiempo (estaciones, meses, semanas y días) se utiliza para explotación de embalses y para predicciones hidrológicas. Después del análisis inicial, utilizado para estimar los componentes del balance hídrico y su ajuste en la ecuación, es posible detectar deficiencias en la distribución de estaciones de observación y descubrir errores sistemáticos de medición. Finalmente, el conocimiento del balance hídrico permite una evaluación indirecta de cualquier componente desconocido dentro de él, por diferencia entre los componentes conocidos; por ejemplo, la evaporación a largo plazo, en una cuenca de un río, puede calcularse por diferencia entre la precipitación y el caudal (Reyes *et al.*, 2018).

## **F. OFERTA HÍDRICA**

Es aquella cantidad de agua que después de haberse precipitado por la cuenca y satisfecho la cuota de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo y del sistema de la cobertura vegetal, escurre por los ríos, quebradas, etc. Se encuentra disponible para satisfacer las actividades sociales y económicas del hombre dentro de la cuenca. Generalmente esta porción de agua que escurre por los ríos se la denomina escorrentía superficial, y su cuantificación conforma el elemento principal de medición en las redes de seguimiento hidrológico. Al cuantificar la escorrentía superficial de la cuenca a partir del balance hídrico se está estimando la oferta de agua superficial de la misma (Faustino & Jiménez, 2000).

La oferta hídrica natural está directamente asociada a la disponibilidad de agua que el ciclo hidrológico provee en un período y lugar dados. Su estimación y variabilidad puede obtenerse por medio de múltiples observaciones in situ o por medio de modelos hidrológicos calibrados (Hall, 2015).

## **1. Precipitaciones**

Según Lozano (1997), afirma que es cualquier agua meteórica recogida en la superficie terrestre, esto incluye lluvia, nieve y granizo. En algunas regiones también se puede incluir dentro de las precipitaciones a la escarcha y al roció. El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, ya que constituye la principal (por no decir la única) entrada de agua a la cuenca. La precipitación ocurre cuando el vapor de agua se condensa en el aire y cae como líquido o sólido a la superficie del suelo. Todas las formas de precipitación se miden sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía sobre una superficie a nivel si la precipitación permanece en el lugar donde cae. (García, 1997).

### **a. Tipos de precipitación**

#### **1) Precipitación ciclónica**

Es la que está asociada al paso de una perturbación ciclónica. Se presentan dos casos: frontal y no frontal. La precipitación frontal puede ocurrir en cualquier depresión barométrica, resultando el ascenso debido a la convergencia de masas de aire que tienden a rellenar la zona de baja presión. La precipitación frontal se asocia a un frente frío o a un frente cálido. En los frentes fríos el aire cálido es desplazado violentamente hacia arriba por el aire frío, dando lugar a nubosidad de gran desarrollo vertical acompañada de chubascos que a veces son muy intensos, así como de tormentas y granizo. La precipitación del frente frío es generalmente de tipo tormentoso, extendiéndose poco hacia delante del frente (Kiely, 1999).

En los frentes cálidos el aire caliente asciende con relativa suavidad sobre la cuña fría, en general de escasa pendiente, dando lugar a una nubosidad más estratiforme que en el frente frío y, por lo tanto, a lluvias y lloviznas más continuas y prolongadas, pero de menor intensidad instantánea (Paz, 2016).

## **2) Precipitación convectiva**

Tiene su origen en la inestabilidad de una masa de aire más caliente que las circundantes. La masa de aire caliente asciende, se enfría, se condensa y se forma la nubosidad de tipo cumuliforme, origen de las precipitaciones en forma de chubascos o tormentas. El ascenso de la masa de aire se debe generalmente a un mayor calentamiento en superficie (Paz, 2016).

## **3) Precipitación orográfica**

Es aquella que tiene su origen en el ascenso de una masa de aire, forzado por una barrera orográfica o montañosa. La orografía juega un papel importante en la cantidad, intensidad, distribución espacial y duración de la precipitación. Sobre el lado de barlovento se producen la mayor cantidad de precipitaciones, mientras que el lado de sotavento es mucho más seco (Paz, 2016).

### **b. Formas de precipitación**

Según Paz (2016), afirma que la precipitación puede adquirir diversas formas como producto de la condensación del vapor de agua atmosférico, formado en el aire libre o en la superficie de la tierra, y de las condiciones locales, siendo las más comunes las que se detallan a continuación:

#### **1) Lluvia**

Según Paz (2016), menciona que lluvia es la forma de precipitación más conocida. Consiste de gotas de agua líquida comúnmente mayores a los 5 mm de diámetro. En algunos países suelen clasificarla según su intensidad como ligera, moderada o fuerte

#### **2) Llovizna**

Según Paz (2016), menciona que en algunas regiones es más conocida como garúa, consiste en pequeñas gotas de agua líquida cuyo diámetro fluctúa entre 0.1 y 0.5 mm; debido a su pequeño tamaño tienen un asentamiento lento y en ocasiones parecen que flotarían en el aire. La llovizna usualmente cae de estratos bajos y rara vez excede de 1 mm/h. Se puede considerar débil, moderada o fuerte dependiendo de la visibilidad.

### **3) Escarcha**

Según Paz (2016), menciona que es un depósito blanco opaco de gránulos de hielo más o menos separados por el aire atrapado y formada por una rápida congelación efectuada sobre gotas de agua sobrecongeladas en objetos expuestos, por lo que generalmente muestran la dirección predominante del viento. Su gravedad específica puede ser tan baja como 0.2 o 0.3.

### **4) Nieve**

Está compuesta de cristales de hielo, de forma hexagonal ramificada, y a menudo aglomerada en copos de nieve, los cuales pueden alcanzar varios centímetros de diámetro. Aparece cuando las masas de aire cargadas de vapor de agua se encuentran con otras cuya temperatura es inferior a 0°C. La densidad relativa de la nieve recién caída varía sustancialmente, pero en promedio se asume como 0.1. La nieve es transparente, aunque las reflexiones de los muchos lados de sus cristales hacen que parezca blanca (Paz, 2016).

### **5) Granizo**

Se forma cuando las gotas de agua sobreenfriadas circulan en una zona de corrientes ascendentes en el interior de un cumulonimbus. El granizo cae de la nube como precipitación sólida de terrones de hielo duro, redondeados o irregulares, cuando adquiere demasiado peso para que las corrientes ascendentes lo mantengan en el aire. Es tal vez la forma de precipitación más destructiva (Paz, 2016).

### **c. Cuantificación de la precipitación**

Para fines prácticos, lo que interesa es determinar la cantidad de precipitación que llega a la superficie terrestre, para lo cual se mide con una regla graduada en milímetros, la altura que alcanzaría en el suelo la lámina de agua si no se filtrara o escurriera. En América Latina la precipitación es medida en milímetros y décimas, mientras que en los Estados Unidos la precipitación es medida en pulgadas y centésimas. Podemos cuantificar las precipitaciones caídas en un punto mediante cualquier recipiente de paredes rectas, midiendo después la lámina de agua recogida. La unidad de medida de las precipitaciones es el milímetro. La intensidad de precipitación, aunque solamente se da en un instante suele expresarse en mm/hora (Ordóñez, 2006).

#### **d. Pluviómetro convencional**

El instrumento utilizado para realizar la medición de las precipitaciones es el pluviómetro que permite recoger la precipitación a través de una boca o superficie cóncava receptora, y depositarla en un envase para su posterior medición. Está conformado por la boca o receptor, el tubo conductor y el envase recolector. El pluviómetro oficial convencional consiste en un cilindro cuya boca receptora mide 200 centímetros cuadrados; un anillo de bronce con borde biselado en el parte superior unido al borde biselado, cuyo fondo tiene forma de embudo y ocupa aproximadamente la mitad del cilindro. El agua recogida va a través del embudo a una vasija de boca estrecha llamada colector, y para evitar la evaporación por calentamiento, está aislada del cilindro exterior. Para la medición del agua recolectada en el pluviómetro se utiliza una probeta de vidrio o de plástico graduada con una escala en milímetros o pulgadas. Las divisiones o rayitas largas definen los milímetros y las divisiones o rayitas cortas ubicadas entre dos rayitas largas, definen las décimas de milímetros (Pierre *et al.*, 2008).

La cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura. El diseño básico de un pluviómetro consiste en una abertura superior (de área conocida) de entrada de agua al recipiente, que luego es dirigida a través de un embudo hacia un colector donde se recoge y puede medirse visualmente con una regla graduada o mediante el peso del agua depositada. Un litro caído en un metro cuadrado alcanzaría una altura de 1 milímetro. Para la medida de nieve se considera que el espesor de nieve equivale aproximadamente a diez veces el equivalente de agua (Barreto, 2008).

#### **G. EVAPOTRANSPIRACION**

Es la consideración conjunta de ambos efectos, es decir tanto de evaporación como de transpiración. Como son difíciles de medir por separado y lo que nos interesa es saber la cantidad de agua que se pierde hacia la atmosfera se ha decidido unir estos dos fenómenos bajo el concepto de ET Evapotranspiración (Davis, 2005).

Cabe destacar que en los océanos existe aproximadamente siete veces más evaporación que en la superficie terrestre (Fernández, 1995). La ET se produce desde: la vegetación y la superficie terrestre después de que haya ocurrido una precipitación, y desde el suelo: es el agua infiltrada en la superficie del suelo, como zonas de descarga, así como cuerpos de agua

que se acercan a la superficie del suelo luego de un largo recorrido en el subsuelo (Navarrete, 2005).

Las unidades en que se mide la evapotranspiración son en milímetros sobre un período dado sea este mm por año o mm por mes. Dentro de las teorías que estudian la evapotranspiración encontramos aquellas que profundizan el flujo de calor absorbido por medio de un balance energético y otras que evalúan el flujo de vapor de agua emitido a la atmósfera. Apartar de estas dos teorías surgen numerosas Fórmulas empíricas y algoritmos que estiman de una forma aproximada la evapotranspiración potencial y real (Loor, 2017).

### **1. Tipos de evapotranspiración**

#### **a. Evapotranspiración potencial (ETP)**

Es la máxima evapotranspiración posible que se produce en condiciones óptimas, es decir cuando el terreno contiene gran cantidad de agua llegando a su capacidad de campo y, además cubierto por vegetación (Ordóñez, 2011).

#### **b. Evapotranspiración real (ETR)**

Es la cantidad de agua que verdaderamente se evapotranspira, tal efecto es muy variable y depende principalmente de los factores climáticos como radiación y viento, además dependerá de la disponibilidad de agua y también de las características de la cobertura vegetal del suelo (Ordóñez, 2011).

#### **c. Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)**

La evapotranspiración de referencia es básicamente la pérdida de agua debido al efecto de evaporación y transpiración de los cultivos (gramíneas o pastos), esto a causa de las condiciones climáticas del lugar. Su estimación se basa en los datos climáticos y usando diferente tipo de fórmulas empíricas en donde la elección para el cálculo depende necesariamente de la disponibilidad de datos que existan en la zona de estudio (Ordóñez, 2011).

La evapotranspiración de referencia que utiliza una pradera de gramíneas como cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) y recomendada por el Manual FAO n° 56 (Allen *et al.*, 1998), es la más utilizada en nuestro ámbito de estudio. La ecuación que permite su cálculo es la denominada FAO Penman-Monteith. Sin embargo, en Estados Unidos se utiliza frecuentemente la alfalfa

como cultivo de referencia para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETR), empleando la ecuación ASCE Penman-Monteith (ASCE-EWRI, 2005). Esta ecuación es válida tanto para el cálculo de ETo como ETR, y tanto para intervalos diarios como horarios. (Allen *et al.*, 1998).

## **2. Métodos de medición y estimación de la evapotranspiración**

Los métodos existentes para la estimación de la evapotranspiración son muy diversos, de forma general se puede citar tres grupos. El primero de ellos es el que utiliza balances tanto hídricos como de energía. En segundo lugar, aparecen los métodos que utilizan fórmulas empíricas que hacen relación hacia parámetros de la zona, condiciones climáticas y coeficientes para los cultivos del área de estudio. Y finalmente el tercer método son aquellos que reproducen el proceso físico de la evapotranspiración basándose en los factores climáticos y los movimientos del agua sea en la planta y en el suelo. Cada uno de estos métodos se aproximan hacia una verdadera estimación de la evapotranspiración, pero el mayor problema siempre será la disponibilidad de los datos necesarios para el cálculo (Tagliaferre, 2013).

Sin embargo, Sánchez (2006), afirma que los métodos utilizados se dividen en dos grandes grupos, directos e indirectos. Para el primer método como su nombre lo indica la evapotranspiración puede ser determinada a partir de medidas directas. El segundo se estima por medio de datos climáticos donde la evapotranspiración es determinada por Fórmula s empíricas.

### **a. Métodos directos**

Fetter (2001), menciona que los métodos directos aportan con datos que están muy cerca de la realidad. Entre los métodos directos tenemos:

#### **1) Lisímetro**

Es un método que nos ofrece información completa acerca del balance hídrico, ya que no solamente es utilizado para medir la evapotranspiración, sino también para la comprobación de fórmulas empíricas en la estimación del ET (Dastante, 1978). El método del lisímetro consiste en utilizar un recipiente de lámina galvanizada en forma de cilindro de aproximadamente  $1\text{m}^3$ , este se lo entierra debajo del cultivo a estudiar, se debe tratar de que el suelo quede en lo posible como se encontraba antes de enterrar este instrumento. Al aislarse la

zona del suelo en que se asientan las raíces de su entorno, tanto los flujos laterales como los de percolación o ascenso capilar son nulos. De esta forma los restantes términos del balance hídrico pueden ser determinados con precisión. En los lisímetros de pesada el incremento o pérdida de agua se mide por el cambio en la masa obtenido pesando el recipiente en el que se encuentra el suelo (Heras, 1970).

## **2) Tanque evaporímetro**

El tanque evaporímetro más conocido es el de tipo “A”. Sus dimensiones son las siguientes, tiene un diámetro de 121 cm y una profundidad de 25,5cm, el nivel del agua se mantiene de 6 a 8 cm por debajo del borde. Este tanque está construido con hierro galvanizado y debe estar situado 15 cm sobre el suelo sobre una tarima de madera (Loor, 2017).

### **b. Métodos indirectos o empíricos**

Alrededor del cálculo de la evapotranspiración existen varias expresiones y métodos para su estimación; entre las ecuaciones empíricas se puede mencionar Thornthwaite, Jensen-Heise y Hargreaves que básicamente usan variables térmicas y de radiación solar únicamente. Existen otras fórmulas empíricas basadas en un ajuste de la evapotranspiración con respecto al déficit de saturación de la atmósfera y correcciones mediante el uso de datos de viento para tomar en consideración los efectos aerodinámicos. La expresión más conocida es la ecuación de Penman (1948) en donde combina la ecuación del balance de energía con la de una ecuación aerodinámica para obtener una expresión que permita calcular la evaporación de una superficie libre de agua, proporcionando una evapotranspiración potencial (ETP), es decir el valor máximo que depende principalmente de los factores atmosféricos (Loor,2017).

### **1) Ecuación de Penman - Monteith**

El método FAO Penman - Monteith fue desarrollado con la definición del cultivo de referencia que es cultivo hipotético de altura de 0.12 m, con una resistencia superficial de  $70 \text{ s m}^{-1}$  y un albedo de 0.23 y que representa la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. Los datos meteorológicos que requiere este método son los siguientes radiación solar, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa máxima, humedad relativa mínima y velocidad de viento (Allen *et al.*, 2006).

El panel de expertos organizado por FAO en 1990 recomienda la adopción del método combinado de Penman–Monteith como un método standard para la determinación de la evapotranspiración de referencia y aconseja sobre el procedimiento de calcular los parámetros involucrados. A pesar de la aparente complejidad, la Penman-Monteithes una fórmula simplificada, puesto que en ella son constantes: el cultivo de referencia, su altura, su albedo y su resistencia superficial; la densidad del aire y el calor latente de vaporización. En cuanto a las unidades, utiliza las del sistema internacional de unidades (SI), por ejemplo, su resultado en [mm/día] milímetros de agua evaporada durante un día; la tensión de vapor en kilopascal (no en milibar ni otra unidad de presión), la energía utilizada en el proceso de la evapotranspiración en [MJ/ m<sup>2</sup> día], megajoule entre unidades de superficie en metros cuadrados y temporal en día y viento en [m/s], metro entre segundo (Guevara, 1998).

## 2) Método de Thornthwaite

Según Guevara (1998), menciona que los cálculos de Thornthwaite (1948) están basados en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes. El método es muy empleado en Hidrología y en la estimación del balance hídrico para Climatología e Hidrología de cuencas. También es empleado en los índices y clasificaciones climáticas. Thornthwaite comprobó que la evapotranspiración era proporcional a la temperatura media afectada de un coeficiente exponencial. Se propone la fórmula:

$$h_e = 16 \cdot (10 \cdot t_m / I)^a$$

Donde

$h_e$  = evapotranspiración mensual sin ajustar (mm/mes)

$t_m$ : temperatura media mensual en °C

$i$  = índice de calor anual

## 3) Método de Blanney y Criddle

Guevara (1998), afirma que Blanney y Criddle desarrollaron una fórmula en el Oeste de los Estados Unidos, en la que hacen intervenir la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz por mes con respecto al total anual. Originalmente los autores diseñaron el método para estimar la evapotranspiración real total de los cultivos y su fórmula es:

$$ET = K * F$$

Donde:

ET = evapotranspiración real total del cultivo expresada como lámina (cm)

K = Coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y de la ubicación de la zona de estudio.

$$F = \sum_1^n f$$

Guevara (1998), menciona que es la suma de los valores “f” de todos los meses (desde el mes 1 hasta el mes n del ciclo vegetativo del cultivo en cuestión).

#### 4) Software Cropwat 10.8

El sistema Cropwat 8.0 fue desarrollado por la FAO, es un programa de computación diseñado para la determinación de requerimientos de riego para diversos cultivos. Adicionalmente, con él es posible establecer tendencias cuantitativas o niveles de adaptabilidad según la disminución en el rendimiento de los cultivos cuando se introducen diversas combinaciones o variaciones de suelo, clima y fechas de siembra. El propósito principal de Cropwat es el de calcular los requerimientos de agua y la programación de riego de los cultivos en base a datos introducidos por el usuario. Estos datos pueden ser directamente ingresados en Cropwat o importados de otras aplicaciones. Para el cálculo de los Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC), Cropwat requiere de datos de evapotranspiración (ETo). Cropwat permite al usuario ingresar valores de ETo, o ingresar datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, lo cual permite al programa Cropwat calcular la ETo aplicando la ecuación de Penman-Monteith (Ramos, 2013).

#### H. ESCORRENTÍA

Se describe como el agua que procede de las precipitaciones y que se mueve por sobre o por debajo del suelo y que finalmente alcanza una corriente para luego ser llevada por este mismo cauce hacia otra cuenca (Aparicio, 2015). La escorrentía comprende el exceso de la precipitación que se almacena después de una lluvia intensa y que se mueve libremente por la superficie del terreno, todo este flujo contribuye para alimentar y aumentar el caudal que circula por las corrientes principales de agua. La corriente de agua puede ser alimentada tanto por el exceso de precipitación como por las aguas subsuperficiales y subterráneas; al aporte subterráneo se lo conoce como caudal base (García, 2005).

### **1. Escorrentía superficial o caudal**

Se produce cuando los poros de suelo están completamente saturados de agua mediante la infiltración, entonces por presencia de la gravedad el agua comienza a escurrirse por la superficie del terreno hasta un cauce más cercano. Hace referencia fundamentalmente al volumen hidráulico de la escorrentía de una cuenca hidrográfica concentrada en el río principal de la misma. El escurrimiento superficial o directo es función de la intensidad de la precipitación y de la permeabilidad de la superficie del suelo, de la duración de la precipitación, del tipo de vegetación, de la extensión de la cuenca hidrográfica considerada, de la profundidad del nivel freático y de la pendiente de la superficie del suelo (García, 2005).

### **2. Caudal efluente**

Son corrientes superficiales y permanentes de agua que se desplaza sobre la superficie terrestre; son de carácter lineal. Los ríos se movilizan por gravedad desde su nacimiento, en lugares de mayor altura, hasta la desembocadura en el nivel de base del río. Se origina por la acción de las aguas de lluvias, de los manantiales y fuentes de aguas subterráneas, así como del deshielo de glaciares. Los de origen natural se encuentran en su mayoría en los deltas fluviales; aunque hay casos en que ocurre en otros tramos de los ríos. Son más frecuentes los efluentes de origen artificial, es decir, de una derivación, acequia o canal que se utiliza con fines de riego o de abastecimiento de agua en regiones relativamente alejadas del cauce del río principal (Tierra, 2013). Las estaciones hidrométricas (llamadas también pluviométricas o hidrológicas) instaladas en alguna sección de un río registran los caudales mediante un dispositivo que registra en el tiempo la variación de niveles de agua y caudales medidos. Estos registros son básicos, nos dan información sobre la distribución temporal y espacial de los recursos hídricos superficiales disponibles. (García, 2005).

### **3. Métodos para medir los caudales de escorrentía**

#### **a. Métodos volumétricos**

La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente se desvía hacia un canal o cañería que descarga en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro. Para los caudales de más de 4 l/s, es adecuado un recipiente de

10 litros de capacidad que se llenará en 2½ segundos. Para caudales mayores, un recipiente de 200 litros puede servir para corrientes de hasta 50 l/s. El tiempo que se tarda en llenarlo se medirá con precisión, especialmente cuando sea de sólo unos pocos segundos (FAO, 2008).

La variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados. Si la corriente se puede desviar hacia una cañería de manera que descargue sometida a presión, el caudal se puede calcular a partir de mediciones del chorro. Si la cañería se puede colocar de manera que la descarga se efectúe verticalmente hacia arriba, la altura que alcanza el chorro por encima del extremo de la tubería se puede medir y el caudal se calcula a partir de una fórmula adecuada (Castro, 2011).

#### **b. Método del flotador**

Según Castro (2011), menciona que este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal, calculándose a partir de la fórmula.

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = A \text{ (m}^2\text{)} \times V \text{ (m/s)}$$

Dónde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>)

A: Área (m<sup>2</sup>)

V: Velocidad (m/s)

La unidad métrica es m<sup>3</sup>/s. Como m<sup>3</sup>/s es una unidad grande, las corrientes menores se miden en litros por segundo (l/s). Para una estimación, la velocidad se calcula arrojando algún objeto que flote al agua, y la sección se estima muy aproximadamente (anchura media x profundidad media). Este procedimiento da grandes errores, pero proporciona un orden de magnitud. A veces se aconseja multiplicar el valor obtenido con flotadores por un coeficiente del orden de 0,7 ó 0,8, ya que con los flotadores suele medirse preferentemente la velocidad en la parte central del cauce, no teniendo en cuenta las partes próximas a las orillas, de velocidades más bajas, obteniéndose un error por exceso. Otro método consiste en verter en la corriente una cantidad de colorante muy intenso y medir el tiempo en que recorre aguas abajo una distancia conocida. El colorante debe añadirse rápidamente con un corte neto, para que se desplace aguas abajo como una nube colorante. Se mide el tiempo que tarda el primer colorante y el último en llegar al punto de medición aguas abajo, y se utiliza la media de los dos tiempos para calcular la velocidad media (Castro, 2011).

### **c. Aforo con tubo pilot**

Su mayor aplicación se encuentra en la medición de velocidades en flujo a presión, es decir, flujos en tuberías. Sin embargo, también se utiliza en la medición de velocidades en canales de laboratorio y en pequeñas corrientes naturales. El tubo de pitot permite medir la velocidad de la corriente a diferentes profundidades, por lo cual se puede conocer la velocidad media en la sección, que, multiplicada por el área de ésta, produce el caudal de la corriente (Castro, 2011).

### **d. Molinete**

La medida exacta de la velocidad se realiza con un molinete<sup>1</sup>. Se mide la velocidad de la corriente en varios puntos del mismo vertical y en varias verticales de la sección del cauce. A la vez que se miden las velocidades se mide la profundidad en cada vertical y la anchura exacta del cauce y, lo que nos permite establecer la sección con bastante precisión. Un molinete mide la velocidad en un único punto y para calcular la corriente total hacen falta varias mediciones. El procedimiento consiste en medir y en trazar sobre papel cuadriculado la sección transversal de la corriente e imaginar que se divide en franjas de igual ancho. La velocidad media correspondiente a cada franja se calcula a partir de la media de la velocidad medida a 0,2 y 0,8 de la profundidad en esa franja. Esta velocidad multiplicada por la superficie de la franja da el caudal de la franja y el caudal total es la suma de las franjas. Para aguas poco profundas se efectúa una única lectura a 0,6 de la profundidad en lugar de la media de las lecturas a 0,2 y 0,8 (FAO, 2008).

## **3. Erosión hídrica**

Los procesos de erosión hídrica están relacionados con las rutas que sigue el agua a través de la superficie del suelo. Durante una tormenta, la parte del agua que cae directamente sobre el suelo es una precipitación directa. Parte de la lluvia es interceptada por la cobertura vegetal, y vuelve a la atmósfera por evaporación, o llega al suelo goteada por las hojas (drenaje foliar), o fluye hacia abajo por los tallos. La precipitación directa y el drenaje foliar provocan erosión por salpicadura. (Morgan, 1997).

Parte de la lluvia que llega al suelo es almacenada en pequeñas depresiones u hondonadas de la superficie o puede infiltrarse en el suelo contribuyendo a su contenido de humedad, o por

percolación a recargar los acuíferos. Cuando el suelo es incapaz de almacenar más agua, el exceso va por su interior y a favor de la pendiente, como flujo sub superficial o flujo interno, o escurre por la superficie provocando erosión como flujo laminar o en regueros y cárcavas (Morgan, 1997).

#### **a. Tasa de erosión**

El conocimiento de la tasa de erosión en un sitio es fundamental para decidir el manejo y las medidas de conservación de suelo más adecuadas, por ello, es importante obtener datos confiables acerca del proceso y la velocidad a la que está perdiéndose el suelo (Pando *et al.*, 2003). Según FAO (2000), indica que una erosión leve presenta valores menores a 10 t/ha/año, una erosión moderada presenta valores que van desde los 10 a los 50 t/ha/año. Una erosión fuerte presenta valores que van desde los 50-200 t/ha/año y la erosión catalogada como muy fuerte presenta valores mayores a las 200 t/ha/año.

#### **b. Evaluación de la erosión hídrica utilizando un Simulador de lluvia**

La simulación de una lluvia natural es todo un reto, pero con el estudio de los diferentes factores que presenta la lluvia y con la utilización de principios físicos y constructivos es posible llegar a obtener una lluvia artificial con diferentes condiciones “similares” a las de una natural. Esto implica diferentes niveles de inversión tanto técnico como económico para su consecución según el esquema de precisión (Monge *et al.*, 2008).

Conviene que todas las características físicas de la lluvia natural sean reproducidas lo más fielmente posible, pero es aceptable cierta flexibilidad en aras de la simplicidad y de la economía de costos. Las principales características deseables de la lluvia simulada son: el tamaño y la distribución de las gotas, la velocidad de caída, que está directamente relacionada con la energía cinética, que es la energía de un cuerpo en movimiento (la energía cinética de la lluvia es la suma de la energía cinética de las gotas individuales), la intensidad de la precipitación y el caudal de la lluvia que puede ser variable. Es conveniente que haya uniformidad de la distribución de la lluvia sobre el área de prueba (Monge *et al.*, 2008).

Con el simulador de lluvia es posible cuantificar la escorrentía, infiltración y pérdida de suelo generados por una regadera de lluvia ajustable a la intensidad sobre un área de prueba definida (Monge *et al.*, 2008). La técnica de la simulación de lluvia básicamente consiste en

aplicar una cantidad de lluvia concreta sobre una parcela de límites conocidos (Ibáñez *et al.*, 2012).

Desde su origen los simuladores de lluvia han pretendido copiar las características de la precipitación pluvial lo más fielmente posible, siendo a partir de los años 60 que, conocidas realmente la dinámica y la física de la lluvia, se intenta reproducir tanto la distribución del tamaño de las gotas como su energía cinética de impacto (Ibáñez *et al.*, 2012).

## **I. INFILTRACIÓN**

Es el proceso por el cual la lluvia se introduce en el interior del suelo. Una parte del agua lluvia se queda retenida en el suelo mientras que otra se almacena en la zona de los acuíferos. El agua que alcanza la zona de los acuíferos se la conoce como agua gravífica, percolación o infiltración profunda. (Mijares, 1999).

### **1. Capacidad de infiltración**

Se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo (Mijares, 1999).

#### **a. Factores que afectan la capacidad de infiltración**

##### **1) Entrada superficial**

La superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan, o retrasen la entrada de agua al suelo (Mijares, 1999).

##### **2) Transmisión a través del suelo**

El agua no puede continuar entrando en el suelo con mayor rapidez que la de su transmisión hacia abajo, dependiendo de los distintos estratos (Mijares, 1999).

##### **3) Acumulación en la capacidad de almacenamiento**

El almacenamiento disponible depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente (Mijares, 1999).

#### **4) Características del medio permeable**

La capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo –arenoso, arcilloso-, la vegetación, la estructura y capas de suelos (Mijares, 1999).

#### **5) Características del fluido**

La contaminación del agua infiltrada por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido, y la cantidad de sales que lleva (Mijares, 1999).

## **2. Métodos para determinar la infiltración**

Los métodos para determinar la infiltración se dividen en métodos directos e indirectos (Mijares, 1999).

### **a. Métodos directos**

Valorar la cantidad de agua infiltrada sobre una superficie de suelo:

#### **1) Infiltrómetro de doble anillo**

El método consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos para a continuación medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior. Esta información nos ayudará a decidir cuál es el tipo de riego, qué caudal deben aportar los goteros o qué medidas adoptar para evitar que las plántulas introducidas en una reforestación sufran un exceso de agua. Aunque es muy posible que al inicio de la experiencia el suelo esté seco o parcialmente húmedo y por lo tanto en condiciones de no saturación, los valores inicialmente muy elevados irán descendiendo con gran rapidez como consecuencia de la presión ejercida por la columna de agua, mayor cuanto más alta sea ésta (Derpsch, 2006).

### **a) Velocidad de infiltración**

La velocidad de infiltración es la tasa a la que el agua entra en el suelo en cada instante, o cantidad de agua infiltrada por unidad de superficie y de tiempo. Disminuye muy rápidamente a lo largo de los primeros momentos del proceso, partiendo de unas condiciones de suelos seco y tiende a estabilizarse asintóticamente a lo largo del tiempo. La infiltración está en función de la textura, pendiente, clima, cobertura vegetal, materia orgánica y labores agrícolas. La velocidad de infiltración no es uniforme, tiende a disminuir mientras transcurre el tiempo desde que comienza la aplicación de agua en el suelo cuando ésta es continua (Porta *et al.*, 1999).

### b) La lámina infiltrada

Se determina mediante la siguiente ecuación

$$LAM = K' \cdot T^{n'} \text{ (mm, min)}$$

Donde:

LAM = Lamina acumulada infiltrada en el suelo (mm)

K' = Constante que representa la velocidad de infiltración para T= 1.

n' = Pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo.

T = Tiempo de infiltración. (min)

### 3) La velocidad de infiltración instantánea

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$V_{ii} = n' \cdot K' \cdot T^{(n'-1)}$$

Donde:

V<sub>ii</sub> = Velocidad de infiltración instantánea. (mm/min)

K' y n' = Son constantes típicas de cada suelo.

K' es un valor positivo y n' es un valor que varía entre 0 y -1.

T = Tiempo de infiltración. (min)

Como la ecuación de lámina es una ecuación de potencia se necesita linealizar la misma para lo cual se aplican logaritmos a ambos lados de la ecuación, y así mediante el criterio de mínimos cuadrados se halla el valor de K' y n'

$$LAM = K' \cdot T^{n'} \text{ (mm, min)}$$

$$\text{Log LAM} = \text{Log } K' + \text{LOG } (T^{n'})$$

$$\text{Log LAM} = \text{Log } K' + \text{LOG } (T^{n'})$$

$$\text{Log LAM} = \text{Log } K' + n' \cdot \text{LOG } T$$

Donde esta expresión es semejante a la ecuación de una recta de la forma:

$$Y = b + m \cdot X$$

Donde:

$$Y = \text{Log LAM}$$

$$X = \text{Log } T$$

$$m = n' \text{ (pendiente de la recta)}$$

$$b = \text{Log } K'$$

#### 4) Velocidad de infiltración básica:

Según el SCS (1985), la infiltración básica se logra cuando el tiempo T en horas es mayor o igual a  $-10*(n'-1)$ . ( $T \geq -10*(n'-1)$ )

$$T \geq -10*(n'-1)$$

Donde:

n: es una constante típica de cada suelo

T= Tiempo de infiltración (min)

Finalmente se reemplaza este tiempo que nos dio en la anterior ecuación y obtenemos la velocidad de infiltración básica.

## 2) Clasificación e interpretación de la velocidad de infiltración del suelo

La metodología propuesta por USDA (1985), y ajustada por Cisneros (2003), indica que la que la velocidad de infiltración se clasifica de la siguiente manera como se indica en la tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación e interpretación de la velocidad de infiltración del suelo.

Rango (mm/h)	Clase	Denominación
> 250	1	Muy Rápida
150 – 250	2	Rápida
65 – 150	3	Moderadamente rápida
20 – 65	4	Rápida
5 – 20	5	Moderadamente Lenta
1,5 – 5	6	Lenta
< 1,5	7	Muy lenta

Fuente: USDA (2006).

## J. DEMANDA HIDRICA

Representa el volumen de agua utilizada para las diferentes actividades socioeconómicas en un lugar y tiempo determinado (IDEAM, 2004). El cálculo de la demanda hídrica se efectúa a partir de las concesiones otorgadas por la autoridad ambiental dentro de una cuenca o microcuenca hidrográfica (Sabas & Paredes, 2009).

### 1. Demanda hídrica de los cultivos

Se define como la cantidad de agua necesaria para que los cultivos puedan desarrollar su máximo potencial reproductivo. La planta necesita de una cierta cantidad de agua para poder realizar sus procesos fisiológicos como son: respiración y fotosíntesis. Para determinar la

demanda hídrica se requiere conocer la evapotranspiración de los cultivos y la eficiencia de aplicación de agua (Caguana, 2015).

#### a. Evapotranspiración de referencia

Se la denomina como la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas (Sánchez, 2001). Las necesidades de agua de los cultivos están dadas por la suma de la evaporación directa desde el suelo más la transpiración de las plantas, que es lo que comúnmente se conoce como evapotranspiración y es una cantidad que varía según el clima y el cultivo (Calvache, 2012). Siendo su fórmula de cálculo la siguiente:

$$E_{to} = E_v * K_p$$

Dónde:

$E_{to}$ : evapotranspiración de cultivo de referencia (mm/día).

$E_v$ : evaporación acumulada (mm).

$K_p$ : interpolación de datos climáticos: humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), barlovento.

**Tabla 2.** Coeficientes del tanque evaporímetro ( $K_p$ ) para el tanque Clase A situado en una superficie cultivada para diversas localidades y ambientes con varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa.

<b>Tanque Clase A</b>		<b>Tanque situado en una superficie cultivada</b>		
<b>HR media</b>		<b>Baja &lt; 40</b>	<b>Media 40–70</b>	<b>Alta &gt; 70</b>
<b>Velocidad del viento (m/s)</b>	<b>Distancia del cultivo a barlovento (m)</b>			
<b>Baja &lt;2</b>	1	0,55	0,65	0,75
	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,7	0,8	0,85
	1000	0,75	0,85	0,85
<b>Moderada 2 – 5</b>	1	0,5	0,6	0,65
	10	0,6	0,7	0,75
	100	0,65	0,75	0,8
	1000	0,7	0,8	0,8
<b>Alta 5 – 8</b>	1	0,45	0,5	0,6
	10	0,55	0,6	0,65
	100	0,6	0,65	0,7
	1000	0,65	0,7	0,75

<b>Muy alta &gt;8</b>	1	0,4	0,45	0,5
	10	0,45	0,55	0,6
	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,55	0,6	0,65

Fuente: FAO, (2006).

### a. Evapotranspiración del Cultivo

La evapotranspiración de un cultivo se determina a partir de datos climáticos, integrando, además, los factores de resistencia propios de cada cultivo. Las diferencias en evaporación y transpiración entre los cultivos sembrados y la evapotranspiración de referencia pueden ser integradas en un coeficiente único del cultivo ( $K_c$ ) o separadas en dos coeficientes: un coeficiente basal del cultivo ( $K_{cb}$ ) y un coeficiente de evaporación del suelo ( $K_e$ ), por lo que  $K_c = K_{cb} + K_e$ . El procedimiento a seguir dependerá del propósito de los cálculos, la exactitud requerida y la información disponible. Según (FAO, 2006), la evapotranspiración de cultivo ( $E_c$ ), se calcula en base a la siguiente fórmula.

$$E_c = E_o * K_c$$

Donde:

$E_c$ : evapotranspiración de cultivo (mm/mes)

$E_o$ : evapotranspiración potencial (mm/mes)

$K_c$ : coeficiente de cultivo

Según FAO (2006), manifiesta que para la determinación del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) se utiliza la fórmula de Hargreaves, que se describe a continuación:

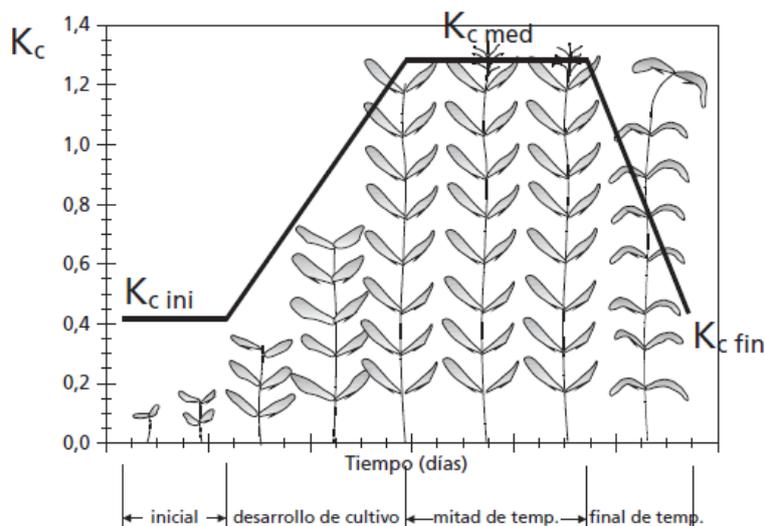
$$K_c = 0,01335 + 0,04099 * c - 0,00040 * c^2$$

Donde:

Los valores 0.01335, 0.04099 y 0.00040 son constantes.

$c$ : Ciclo de desarrollo de cultivo (días).

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo bajo estas condiciones supone que no existen limitaciones de ningún tipo en el desarrollo de estos. Que no existe ninguna limitación debido a estrés hídrico o salino, densidad del cultivo, plagas y enfermedades, presencia de malezas o baja fertilidad. Debido a las variaciones en las características propias del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento,  $K_c$  cambia desde la siembra hasta la cosecha. En la siguiente figura se presenta en forma esquemática, dichos cambios (FAO, 2006).



**Figura 1.** Curva generalizada del coeficiente del cultivo

Fuente: (Estudios FAO Riego y Drenaje, 2011)

### **b. Programación del riego para los cultivos**

La programación del riego es una metodología que permite determinar el nivel óptimo de riego

a aplicar a los cultivos. Esta consiste en establecer la frecuencia (¿Cuándo regar?) y tiempo de riego (¿Cuánto regar?) de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas del predio. Una apropiada programación del riego permite optimizar el uso del agua y maximizar la producción y calidad de los productos agrícolas. Para programar el riego es esencial estimar tanto el agua que consumen los cultivos o su evapotranspiración y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo explorado por las raíces del cultivo. La programación del riego es entonces un procedimiento que permite establecer el momento oportuno del riego y cuánta agua aplicar a los cultivos (Schulbach, 1999).

### **c. Determinación de los parámetros hídricos del suelo**

Para diseñar y operar correctamente un riego se debe conocer la lámina neta (LN) que se deberá aplicar a un determinado cultivo en un determinado suelo. La LN depende de la profundidad del suelo explorado de las raíces, del abatimiento máximo permitido del agua en el suelo y de los parámetros hídricos del suelo: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y el agua disponible (AD) Si bien conocer los parámetros hídricos es imprescindible para regar correctamente hay pocos proyectos de riego en que los mismos se determinan adecuadamente Los mismos se pueden determinar en laboratorio con

equipamiento adecuado, pero también se pueden determinar a campo, con una precisión equivalente, con la única condición de tener algunas precauciones metodológicas (Petillo *et al.*, 2012).

### 1) Capacidad de campo

Se refiere al momento en que luego del drenaje el suelo no pierde más agua, ya que los poros más pequeños retienen el agua contra la fuerza de gravedad y los poros más grandes son ocupados mayormente por aire. Esta situación es muy favorable para el desarrollo de los cultivos ya que encuentran agua abundante retenida con una energía que es fácilmente superada por la succión de las raíces al mismo tiempo que el suelo está suficientemente aireado para permitir la respiración radicular. (Pizarro, 1996). La fórmula utilizada para determinar capacidad de campo fue la siguiente:

$$\%H = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Donde:

%H: porcentaje de humedad

Ph: peso suelo húmedo (gramos)

Ps: peso suelo seco (gramos)

(Petillo *et al.*, 2012)

### 2) Punto de marchitez permanente

El contenido de agua puede descender por debajo de la capacidad de campo como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas. La película de agua que rodea las partículas se hace cada vez más fina y a medida que el contenido de humedad disminuye, se hace más difícil la absorción del agua por las raíces, hasta alcanzar el denominado punto de marchitez permanente que se caracteriza porque las plantas absorben el agua del suelo con mucha dificultad y experimentan marchitez irreversible, (15 bares). (Pizarro, 1996). La determinación del PMP se estima con la formula (Silva *et al.*, 1988), y se describe a continuación:

$$HP\% \text{ PMP} = HP\% \text{ CC} * 0,74 - 5$$

Donde:

HP% PMP: contenido de agua a punto de marchitez permanente.

HP% CC: contenido de agua a capacidad de campo.

0,74 – 5: son constantes.

### 3) Densidad aparente

Es el peso seco del suelo dividido para el volumen imperturbado del mismo. El volumen imperturbado se refiere al que ocupa en el suelo sin ser modificado es decir manteniendo su porosidad. La determinación de campo por lo tanto consiste en extraer una muestra de suelo y determinar el volumen imperturbado que ocupaba dicha muestra (Pizarro, 1996). La fórmula para determinar la densidad aparente se describe a continuación:

$$Da = \frac{Ps}{V}$$

Donde:

Da = densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>).

Ps = peso seco (g).

V = volumen (cm<sup>3</sup>).

(Petillo *et al.*, 2012).

### 4) Capacidad de campo y punto de marchitez permanente en volumen

Para la determinación de estas variables se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\%HCC \text{ en volumen} = \%HCC * Da$$

$$\%HPMP \text{ en volumen} = \%HPMP * Da$$

Donde:

%HCC en volumen: porcentaje de humedad de capacidad de campo en volumen.

%HPMP en volumen: porcentaje de humedad de punto de marchitez permanente en volumen.

%HCC: porcentaje de humedad de capacidad de campo en peso.

%CC: porcentaje de humedad de punto de marchitez permanente en peso.

Da: densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>).

(Petillo *et al.*, 2012).

### 5) Agua disponible

Es la cantidad de agua retenida en un suelo entre las humedades correspondientes a los puntos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente (Calvache. 2011). Según León (2012), el cálculo del agua útil se basará en la siguiente ecuación:

$$AU = (CC - PMP) * Da * Z$$

Dónde:

AU = agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en raíces (mm).

CC = Capacidad de campo.

PMP = Punto de marchitez permanente.

Da = Densidad aparente del suelo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Z = profundidad radicular (mm).

### **i. Lámina de riego**

Se refiere a una determinada cantidad de agua que se debe aplicar al suelo para que satisfaga las necesidades del cultivo; depende de la capacidad de almacenamiento de agua y del peso específico aparente del suelo, así como de la profundidad de raíces o zona de absorción, se expresa en milímetros o centímetros (mm o cm) (Valverde, 2007).

### **ii. Lámina neta de riego (Ln)**

Es la cantidad de agua que debe quedar en la zona de raíces de las plantas, para llevar el suelo a capacidad de campo después de un riego, y que, a su vez, corresponderá a la cantidad de agua que puede consumir el cultivo entre dos riegos consecutivos. Para determinar la lámina neta de riego, es necesario conocer la humedad aprovechable del suelo, el umbral de riego y la profundidad de raíces que se van a mojar (Callejas, 2002). La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$Ln = UR (\%) * AU$$

Dónde:

UR = Umbral de riego (%)

AU = agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en raíces (mm).

El umbral depende de la sensibilidad del cultivo a la reducción de agua disponible en el suelo, factores climáticos y factores económicos. Para cultivos delicados y valor económico importante como hortalizas y flores los valores se ubican entre 0,3 y 0,4 (30 % - 40 %). En cultivos menos delicados los valores se reducen al 50 % (León, 2012).

### 3) Frecuencia de riego

Schulbach (1999), manifiesta que la frecuencia de riego permite estimar el número de días transcurridos entre dos riegos consecutivos. Se puede estimar mediante la siguiente fórmula:

$$Fr = \frac{Ln}{Etc \text{ día}}$$

Donde:

Fr: frecuencia de riego (días)

Ln: lamina neta de riego (mm).

Etc día: evapotranspiración del cultivo (mm) (León, 2012).

### 4) Lámina bruta de riego (Lb)

Según Romero (2016), manifiesta que la lámina bruta corresponde a la cantidad de agua que debe aplicarse en cada riego a la superficie del terreno. Esta depende de la eficiencia de riego o la aplicación que se tenga. Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$Lb = (Etc * Fr) / Ef$$

Dónde:

Lb= Lámina bruta de riego (mm).

Etc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Fr = Frecuencia de riego (días).

Ef = Eficiencia de aplicación de agua (León, 2012).

### 5) Volumen de riego

Según Romero (2016), manifiesta que el volumen de riego a aplicar se determina como:

$$V = Lb * \text{Área}$$

Donde:

V= Volumen de riego a aplicar (mm/ha).

Lb= Lámina bruta de riego (mm).

Área cultivada (ha) (León, 2012).

## 2. Caudales concesionados

El módulo de concesiones de agua permite contar con información relevante de cada uno de los registros existentes, otorgados por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) para el

área de estudio, y al mismo tiempo visualizar su distribución e identificar los posibles tramos críticos de la red hídrica en donde la disponibilidad de agua puede ser afectada.

Las prioridades de uso del agua en el país son: consumo humano, riego, caudal ecológico, actividades productivas, recreacionales y culturales. Entre las principales causas de conflictos por el agua se pueden mencionar: la creciente demanda de la población frente a la limitación física del recurso, la sobreexplotación de las fuentes debido a la falta de conocimiento de la disponibilidad real y la toma informal (SENAGUA, 2010).

**Tabla 3.** Escala de valoración del índice de escasez del recurso hídrico

<b>Categoría</b>	<b>Rango</b>	<b>Color</b>	<b>Explicación</b>
<b>Alto</b>	>50%	Rojo	Demanda alta
<b>Media alto</b>	21-50%	Naranja	Demanda apreciable
<b>Medio</b>	11-20%	Amarillo	Demanda baja
<b>Mínimo</b>	1-10%	Verde	Demanda muy baja
<b>No significativo</b>	<1%	Azul	Demanda no significativa

Fuente UNESCO, 2002

## **K. CAUDAL ECOLÓGICO**

Es el caudal mínimo necesario en una fuente o curso fluvial, para preservar la conservación de los ecosistemas fluviales actuales, en atención a los usos de agua, comprometidos, a los requerimientos físicos de la corriente fluvial, para mantener su estabilidad y cumplir sus funciones tales como, dilución de contaminantes, conducción de sólidos, recarga de acuíferos y mantenimientos de las características paisajísticas del medio. Después de los usos de agua para las diferentes actividades humanas hay que mantener un caudal para la naturaleza, que sirve para conservar la biodiversidad y las funciones ambientales (Oyola, 2017).

### **1. Métodos cuantitativos de determinación del caudal ecológico**

Richter *et al.*, (1997), manifiestan que la selección del método a utilizar depende de muchos factores, incluyendo los objetivos y requerimientos técnicos establecidos por la normativa, la adecuación a las características hidrológicas y ambientales del sistema fluvial objeto de

análisis, la escala de trabajo y la cantidad y calidad de los datos disponibles. Las metodologías se describen a continuación:

#### **a. Métodos hidrológicos**

Se basa fundamentalmente en el cálculo de un caudal mínimo teóricamente suficiente para mantener las características del sistema fluvial, para ello se analizan los registros históricos de caudal. Como ejemplos cabe citar el método de Tennant o Montana (Orth & Maughan, 1981) y el Range of Variability Approach (Richter *et al.*, 1997). Los criterios o variaciones del método hidrológico para definir el caudal ecológico son los siguientes:

- 1) El caudal ecológico corresponde al 10 % del valor del caudal medio mensual multianual del río
- 2) A partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el caudal promedio multianual de mínimo 5 a máximo 10 años que permanece el 97.5% del tiempo y cuyo periodo de recurrencia es de 2.33años.
- 3) Se considerará como caudal ecológico el caudal de permanencia en la fuente durante el 90 % del tiempo.
- 4) El caudal ecológico corresponde al 25 % de los volúmenes anuales en condiciones de oferta media (IDEAM, 2000).
- 5) El caudal ecológico se considera el caudal mínimo histórico de la serie hidrológica.
- 6) El caudal ecológico es el 50 % del caudal mínimo del estiaje del año
- 7) El caudal ecológico es la media de los caudales mínimos mensuales registrados durante una serie de años (Richter *et al.*, 1997).

Dentro de los métodos hidrológicos tenemos los siguientes:

#### **b. Método del IDEAM**

Establece el índice de escasez de aguas superficiales. Estima un caudal ecológico – $Q_e$ – constante, que será igual a un porcentaje de descuento o porcentaje del caudal medio mensual multianual igual al 25%, proporcionan una estimación de caudales de baja resolución (Domínguez, 2005).

#### **c. Índices con la curva de duración de caudales**

La curva de duración de caudales es una de las técnicas más usadas para extraer información y es una forma de visualizar el rango completo de caudales, desde los caudales mínimos a los máximos registrados (Smakhtin, 2001). La curva se construye a partir de datos de caudales

diarios, mensuales o anuales donde se presenta la relación entre ciertos rangos de caudales y el porcentaje de tiempo en que cada uno de esos rangos es igualado o excedido (Silveira & Silveira, 2003; Domínguez & Finotti, 2005).

#### **d. Método de Tennant (1976) o de Montana**

Para su aplicación se estudian tres variables, consideradas fundamentales en la capacidad de acogida del medio para las especies piscícolas; éstas son: el porcentaje de perímetro mojado con respecto a la anchura del lecho, la profundidad y la velocidad media (Arthington & Zalucki, 1998).

Arthington & Zalucki (1998), afirman que la evolución de los valores de estas tres variables en función del caudal, expresado en porcentaje del caudal medio anual, según los autores, justifica los intervalos elegidos. El 10% del caudal medio es un mínimo a respetar imperativamente, para evitar una fuerte degradación del medio. El caudal se obtiene utilizando los criterios expuestos en la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Caudales mínimos según el método de Montana

<b>Estado ecológico</b>	<b>Valores recomendados Para el caudal ecológico (%)</b>		<b>Efectos</b>
	<b>Periodo húmedo</b>	<b>Periodo seco</b>	
<b>Lavado o máximo</b>	200		Limpieza del sustrato para evitar el estancamiento
<b>Rango óptimo</b>	60-100		
<b>Excepcional</b>	40	60	Para los primeros períodos de crecimiento de la mayor parte de formas de vida
<b>Excelente</b>	30	50	
<b>Bueno</b>	20	40	
<b>Regular</b>	10	30	Caudal recomendado para mantener los hábitats y la vida
<b>Pobre o mínimo</b>	10	10	Permite salvaguardar algunos hábitats para la vida acuática
<b>Degradación severa</b>	10 del caudal promedio al caudal mínimo		Severa degradación de la mayor parte de los elementos del entorno

Fuente: (IDEAM, 2005)

En la actualidad, el método de Montana se aplica de una forma más sencilla, considerando sólo tres caudales obtenidos del módulo interanual ( $Q_m$ ), a saber:

- 1) Caudal mínimo: 0,1 considerado como un mínimo absoluto.
- 2) Caudal bueno: 0,3 considerado como el caudal que proporciona hábitat suficiente para la mayoría de las especies acuáticas presentes en el tramo.
- 3) Caudal excelente: 0,6 considerado como el caudal que proporciona hábitat suficiente y satisface además otros usos recreativos del cauce (Bozeman, 1976).

#### **e. Métodos holísticos**

Los métodos Holísticos constituyen una aproximación a una visión global del río basada en la Teoría de Ecosistemas Fluviales, en la que los caudales son el soporte básico para el ecosistema fluvial. Es la metodología que más volumen de información requiere y la más compleja y detallada y entre los ejemplos se pueden citar la Building Block Methodology (BBM) (Palmer, 1999) y la Downstream Response to Imposed Flow Transformation (DRIFT) (King *et al.*, 2003).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

#### 1. Localización

La microcuenca de la quebrada de Quillalli se encuentra ubicada en la parte nor-occidental de la subcuenca del río Ambato, posee una superficie de 2909,05 ha, la misma que forma parte de las parroquias Quisapincha (en su mayor parte) seguido de. Ambatillo y San Bartolomé de Pinllo pertenecientes al cantón Ambato (PACT, 2015).

#### 2. Ubicación geográfica

Según el GADPT (2015), la microcuenca de la quebrada de Quillalli se encuentra ubicado en las Coordenadas Proyectadas UTM de la zona 17S. Datum WGS84.

X: 758628

Y: 9865074

Altitud: 2600-4120 m.s.n.m

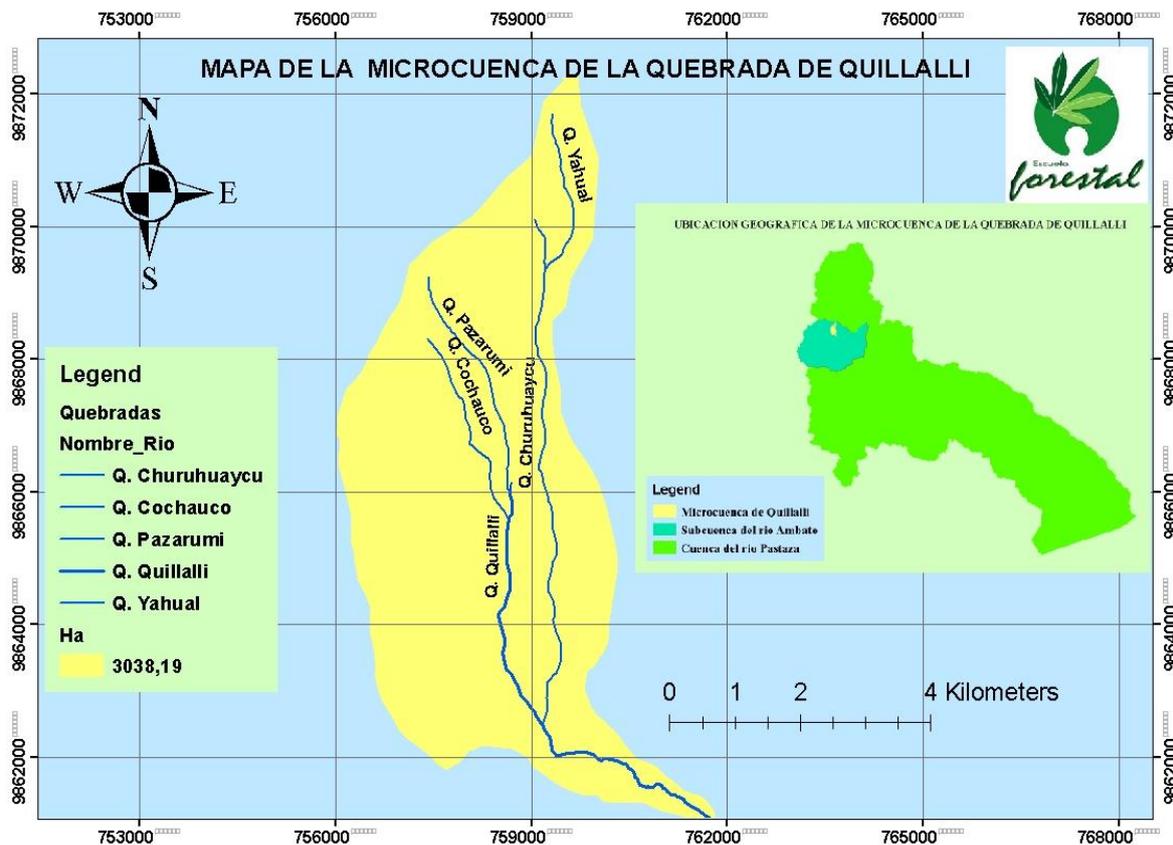


Figura 2. Mapa de los principales afluentes de la microcuenca de la quebrada de Quillalli.

### **3. Características climáticas**

**Temperatura:** 8°C - 14°C.

**Humedad relativa:** 84,30% promedio

**Precipitación:** 500 –1200 mm/año.

(PDOTQ, 2015)

### **4. División hidrográfica e hidrológica**

De acuerdo con las divisiones hidrográficas, la microcuenca de la quebrada de Quillalli pertenece a la vertiente del Atlántico, cuenca del río Pastaza, subcuenca del río Ambato y microcuenca de la quebrada de Quillalli (SENAGUA, 2010).

## **B. MATERIALES Y EQUIPOS**

### **1. Materiales de campo**

GPS, cámara fotográfica, pluviómetros caseros, caudalímetro, bandeja de escurrimiento, cilindro de infiltración doble anillo, fundas plásticas, baldes de 12 litros c/u, libreta de campo, pico, pala, soportes de madera.

### **2. Materiales de oficina y de laboratorio**

Computador, software ArcGIS 10.5, estufa, cilindros muestreadores, balanza eléctrica, esfero, lápiz, calculadora.

## **C. METODOLOGÍA**

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos en esta investigación se realizó el siguiente trabajo

## **1. Oferta hídrica de la microcuenca**

### **a. Determinación de la precipitación**

#### **1) Instalación de los pluviómetros caseros**

Los pluviómetros caseros fueron instalados en el campo siguiendo las normas de la Organización Mundial de Meteorología

- i. Utilizando un listón de madera de 1,50m de longitud, un galón de 4 litros, un embudo, y un corcho, se procedió a armar e instalar los pluviómetros caseros en campo
- ii. En el sitio de instalación los pluviómetros caseros fueron colocados y nivelados a 1,5 metros de altura, medido desde el ras del suelo hasta la parte superior de los mismos
- iii. El criterio utilizado para la ubicación de los pluviómetros caseros fue de acuerdo al rango altitudinal, para lo cual con el programa ArcGIS 10.5, utilizando el shape curvas de nivel de la microcuenca y con información recopilada del Plan de ordenamiento territorial de Quisapincha (2015) sobre las zonas altitudinales existentes en el sitio se realizaron mapas temáticos, donde se determinaron tres zonas: alta (3600-4120 m.s.n.m), media (2600-3200 m.s.n.m) y baja (2200-2600 m.s.n.m).
- iv. Se registró la precipitación durante el periodo enero a junio del 2018.
- v. Al tratarse de un estudio de balance hídricos requirieron de datos de precipitación de un año, por lo tanto, se completó los seis datos faltantes con registros de la estación meteorológica ubicada en la zona para el periodo julio a diciembre 2017.

#### **a. Calibración del pluviómetro casero**

1) Se determinó el área de la abertura del embudo. Su diámetro fue de 16,5cm, y su radio de 8,25 cm. Usando la fórmula del área del círculo se tiene que:

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = \pi (8,25\text{cm})^2$$

$$A = 213,82\text{cm}^2$$

Luego se midió el volumen de lluvia almacenada en el recipiente con una probeta expresada en milímetros. Para determinar la precipitación en función del área se dividió el volumen de agua recolectada en el pluviómetro expresado en milímetros para el área del embudo expresada en  $\text{cm}^2$ .

2) Para determinar la oferta hídrica para los cultivos se trabajó con el valor de la precipitación efectiva la cual se obtiene de multiplicar la precipitación total por un factor de corrección 0,7 valor que se obtuvo del documento denominado “Hablemos de riego” (CONGOPE, 2014).

## **2. Demanda hídrica en la microcuenca de Quillalli**

### **a. Demanda hídrica requerida por los cultivos**

1) Para la determinación de la demanda hídrica de los cultivos se requirió de información cartográfica donde se realizaron mapas temáticos con el software ArcGis 10.5, y se identificó el uso de suelo con su respectiva superficie en las tres zonas altitudinales. Permitiendo de esta forma conocer los cultivos más representativos y en general toda la vegetación existente en la microcuenca.

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

Para su determinación se utilizaron los datos de evaporación del tanque clase “A” de la estación meteorológica Quisapincha ubicada en la zona de estudio y se utilizó la siguiente ecuación propuesta por la FAO (2006):

$$Eto = Ev * Kp$$

Dónde:

Eto = evapotranspiración de cultivo de referencia (mm/día)

Ev = Evaporación acumulada (mm), información que se obtuvo del tanque clase “A”

Kp = datos climáticos: humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), barlovento.  
(León & Trezza, 1998).

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

Se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$Etc = Eto * Kc$$

Donde:

Etc: evapotranspiración de cultivo (mm/día)

Eto: evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

Kc: coeficiente de cultivo

Para la determinación del coeficiente de cultivo (Kc) se utilizó la fórmula de Hargreaves, que se describe a continuación:

$$K_c = 0,01335 + 0,04099 * c - 0,00040 * c^2$$

Donde:

Los valores 0.01335, 0.04099 y 0.00040 son constantes.

c: Ciclo de desarrollo de cultivo (días)

(FAO, 2006).

#### **d. Determinación de los parámetros hídricos del suelo**

##### **1) Determinación de la capacidad de campo (CC) en peso**

Para su determinación se utilizó la metodología propuesta por Ekanayake (1994), la cual se explica a continuación:

- i. En las zonas de muestreo se marcó en el suelo una superficie de aproximadamente 1m x 1m., con la ayuda de una azada se eliminó toda la vegetación en ese sitio.
- ii. Entonces se construyó un bordo de tierra apisonada de unos 10 cm de altura, de modo que rodease el cuadrado. Posterior a esto se echó agua en el sitio marcado, asegurando la saturación del perfil del suelo. Transcurrido un periodo de 30 horas se sacaron muestras de suelo, a una profundidad de 40 cm por ser la profundidad del horizonte A. Estas muestras se colocaron en bolsas plásticas, se las selló y etiquetó debidamente, para ser llevadas al laboratorio de suelos.
- iii. En el laboratorio, las muestras se colocaron en cilindros metálicos y con la balanza de precisión se registró el peso húmedo, se colocaron en la estufa a 105 °C durante 24 horas, registrándose el peso seco. La fórmula utilizada para determinar el porcentaje de humedad mediante el método gravimétrico se describe a continuación:

$$\%HS = \frac{Ph-Ps}{Ps} * 100$$

Donde:

%HS = Porcentaje de humedad por peso

Ph: peso suelo húmedo (gramos)

Ps: peso suelo seco (gramos)

Dicho valor de porcentaje de humedad es equivalente al valor de Capacidad de Campo (García, Puppo, Hayashi y Morales, 2015).

## 2) Punto de marchitez permanente (PMP) en peso

Fue determinado mediante la siguiente ecuación dada por Silva (citado por García *et al.*, 2015).

$$\text{HP\% PMP} = \text{HP\% CC} * 0,74 - 5$$

Donde

HP% PMP: contenido de agua a punto de marchitez permanente

HP% CC: contenido de agua a capacidad de campo

0,74 – 5: son constantes

## 3) Determinación de la densidad aparente (Dap)

Para su determinación se siguió la metodología propuesta por Petillo *et al.*, (2012), la cual se describe a continuación:

- i. En las zonas de muestreo se marcó en el suelo una superficie de 50 x 50 cm, tomando en consideración que la superficie este perfectamente horizontal, para la precisión de los resultados que se obtengan.
- ii. Nivelada la superficie, con una pala de corte se marcó un cuadrado de 20 x 20 cm, percatándose que la pala de corte ingrese al suelo en forma vertical, sin hacer palanca, ya que pudiese deformar el pozo a construir falseando el volumen de la muestra.
- iii. Marcados los bordes del pozo, se extrajo el suelo de su interior, y se colocó en una bolsa plástica, y posterior las paredes del pozo se forraron con una funda plástica
- iv. Se llenó el pozo con agua, utilizando una jarra graduada, indicar que un pozo de unos 20 x 20 x 40 cm tiene un volumen de aproximadamente 12 litros. El pozo se llenó con agua hasta que su nivel se iguale con el del pozo
- v. La tierra extraída de la excavación se secó para lo cual se pesó toda la muestra y, después de mezclarla bien, se extrajo una submuestra la misma que se secó, facilitando así esta labor
- vi. La densidad aparente se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$D_a = \frac{P_s}{V}$$

Donde:

Da: densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>).

Ps: peso suelo seco (g).

V: volumen (cm<sup>3</sup>) (Petillo *et al.*, 2012).

#### 4) Determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente en volumen

Mediante las fórmulas señaladas por (García *et al.*, 2015) se obtuvo la humedad y el punto de marchitez permanente en volumen, como se indica a continuación:

%HCC en volumen:  $\%HCC * Da$

%HPMP en volumen:  $\%HPMP * Da$

Donde:

%HCC en volumen: porcentaje de humedad de capacidad de campo en volumen.

%HPMP en volumen: porcentaje de humedad de punto de marchitez permanente en volumen.

%HCC: porcentaje de humedad de capacidad de campo en peso.

%CC: porcentaje de humedad de punto de marchitez permanente en peso.

Da: densidad aparente del suelo ( $\text{g/cm}^3$ ).

#### 5) Determinación del agua para riego

##### a) Agua útil o agua aprovechable

Para su determinación, se utilizó la siguiente ecuación:

$$AU = (CC - PMP) * Da * Z$$

Dónde:

AU: agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en raíces (mm).

CC: Capacidad de campo (%)

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

Da: Densidad aparente del suelo ( $\text{g/cm}^3$ ).

Z: Profundidad radicular (mm).

(León, 2012).

##### b) Lámina neta de riego

La ecuación de cálculo utilizada fue,

$$Ln = UR (\%) * AU$$

Dónde:

UR: Umbral de riego (%)

AU: agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en raíces (mm)

(León, 2012).

### c) Frecuencia de riego

Se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{Ln}{\text{Etc día}}$$

Donde:

Fr: frecuencia de riego (días)

Ln: lamina neta de riego (mm)

Etc día: evapotranspiración del cultivo (mm)

(León, 2012).

### d) Lámina bruta

Se determinó mediante la ecuación:

$$Lb = \frac{\text{Etc} * Fr}{Ef}$$

Dónde:

Lb= Lámina bruta de riego (mm)

Etc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Fr = Frecuencia de riego (días)

Ef = Eficiencia de aplicación de agua

El valor de la eficiencia de riego (Ef) utilizado para la investigación fue de 0,60, dato que corresponde a un sistema de riego por gravedad, dado que es el que predomina en la zona de estudio (León, 2012).

### e) Volumen de riego

El volumen de riego a aplicar se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$V = Lb * \text{Área}$$

Donde:

V= Volumen de riego a aplicar (litros)

Lb= Lámina bruta de riego (mm),

Área cultivada (m<sup>2</sup>)

(León, 2012).

### **f) Programación del riego**

Para cálculo de la programación del riego se utilizó la metodología propuesta por el CONGOPE (2014):

- i. Se determinó la lámina neta mediante la fórmula expresada anteriormente, que dice:

$$L_n = UR (\%) * AU$$

- ii. Se determinó la demanda hídrica del cultivo en mm durante todo el ciclo vegetativo, utilizando la fórmula propuesta por la FAO (2006), que dice  $E_{tc} = E_{to} * K_c$
- iii. Se calculó el número total de riegos a aplicarse durante el ciclo del cultivo mediante la siguiente expresión:

$$E_{tc} \text{ total} / \text{Lámina neta por aplicación}$$

(CONGOPE, 2014)

- iv. Se estableció el intervalo entre riegos en días, utilizando la siguiente fórmula

$$F_r = \frac{L_n}{E_{tc} \text{ día}}$$

(León, 2012)

- v. Se determinó la lámina neta de agua a entregarse por mes y el valor resultante se comparó con las necesidades hídricas del cultivo para cada mes.
- vi. Cuando la lámina neta supero a la demanda hídrica, el riego fue suficiente y por el contrario cuando la lámina neta, resulto menor a la demanda hídrica entonces se realizó una nueva programación del riego utilizando la misma metodología.

### **6) Reprogramación del riego**

- i. Se lo realizó cuando el riego no suplía la demanda hídrica del cultivo. Se tomaron los meses donde se presentó déficit, se determinó la demanda hídrica y el número total de riegos a efectuarse durante estos meses.
- ii. Se calculó el intervalo entre riegos mediante la siguiente expresión:

$$\text{Ciclo del cultivo (días)} / \text{número de riegos}$$

(CONGOPE, 2014)

- iii. De la misma forma se determinó el volumen de agua a entregarse por mes en este periodo de déficit, partiendo de la cantidad de lámina neta entregada en un determinado intervalo de días, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Intervalo de días} \rightarrow L_n$$

30 días→x

(CONGOPE, 2014).

- iv. Luego se comparó esta cantidad de lámina neta mensual con la demanda hídrica mensual del cultivo.

### **7) Determinación del tiempo de riego.**

Se determinó mediante la metodología propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2006), la cual se describe a continuación:

- i. Esta prueba se realizó en las principales coberturas vegetales en las zonas alta, media y baja de la microcuenca.
- ii. Se limpió la superficie del suelo, quitando todo obstáculo que pudiese impedir el flujo normal del agua, teniendo cuidado de no alterar la estructura del suelo.
- iii. Entonces se enterró el cilindro de infiltración doble anillo a 10 cm de profundidad del suelo.
- iv. Posteriormente se agregó agua suavemente primero en el anillo exterior y luego en el anillo interior.
- v. Se registró inmediatamente el tiempo y el nivel del agua infiltrada en el anillo interno. Al inicio las mediciones fueron cada 30 segundos y luego el intervalo de tiempo para la toma de las mediciones se extendió.
- vi. Con los datos obtenidos en campos determinó las variables que se necesitaron para determinar la velocidad de infiltración básica, para la posterior determinación del tiempo de riego, como se muestra a continuación:

#### **a) La lámina infiltrada**

Se determinó mediante la ecuación propuesta por Kiastiakov (1962):

$$LAM = K' * T^{n'}$$

Donde:

LAM: Lamina acumulada infiltrada en el suelo (mm).

K': Constante que representa la velocidad de infiltración para  $t = 1$ .

N': Pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo.

T: Tiempo de infiltración. (Min)

### **b) La velocidad de infiltración instantánea**

Se calculó mediante la ecuación propuesta por Kiastiakov (1962):

$$V_{ii} = n' * K' * T^{(n'-1)}$$

Donde:

Vii: Velocidad de infiltración instantánea. (mm/min)

K': Constante que representa la velocidad de infiltración para  $t = 1$ .

n': Pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo.

T: Tiempo de infiltración. (min)

### **8) Determinación de la escorrentía e infiltración.**

Para la determinación de la escorrentía e infiltración se utilizó la metodología propuesta por Monge *et al.*, (2008), que se describe a continuación:

- i. Estas variables se determinaron en base a la pendiente de la microcuenca.
- ii. Definido los sitios de ensayo, se enterró la bandeja de escurrimiento a 5 cm de profundidad del suelo y en el desfogue de la bandeja se colocó una bolsa plástica con el objetivo de recolectar el agua y sedimento que allí se arrastre.
- iii. Con la regadera y utilizando 15 litros de agua se simuló una precipitación dentro de la bandeja de escurrimiento.
- iv. Concluido la simulación de precipitación, se recogió la bolsa plástica con el agua y el material sedimentado. Se registró el volumen de agua escurrida e infiltrada, y con el material sedimentado se realizó la prueba de contenido de humedad mediante el secado en la estufa, para la determinación de la erosión hídrica de la microcuenca.
- v. Al finalizar de esta práctica se procedió a definir la cantidad de agua escurrida e infiltrada en los  $0,50m^2$  de superficie de la bandeja de escurrimiento, lo que sirvió para estimar la escorrentía e infiltración que se produciría en toda la superficie de la microcuenca.

### **9) Caudal afluente**

- i. Para la determinación del caudal primero se realizó el reconocimiento de las quebradas Quillalli, Churuhuaycu, Cochauc y Pazarumi. Dónde se definieron los puntos de aforo.
- ii. Ubicada la sección para el aforo se midió el ancho de la quebrada con el fin de establecer los tirantes y así poder calcular el caudal con ayuda del caudalímetro OTT ADC (medidor de corrientes acústica digital). Se colocó el sensor del caudalímetro en la parte céntrica de cada

tirante teniendo cuidado que la hélice no choque con el borde ni con el fondo de la quebrada, Esta información se tomó de manera mensual y se registró en una tabla preestablecida

#### **e. Demanda hídrica para consumo domestico**

El cálculo de la demanda hídrica para consumo doméstico se realizó de la siguiente manera

##### **1) Determinación de las concesiones en la microcuenca**

Se recopiló información de SENAGUA acerca de las concesiones de agua otorgadas en la microcuenca, lo que sirvió para el cálculo de demanda hídrica para consumo doméstico en la zona de estudio (Sabas & Cuervo, 2009).

#### **4. Determinación del caudal ecológico de los principales afluentes de la microcuenca**

El caudal ecológico en los principales afluentes de la microcuenca se determinó utilizando la metodología propuesta por Montana (1976), la cual establece que el caudal ambiental se debe mantener en los cauces durante el periodo húmedo y el periodo seco. Y para cada periodo el caudal ecológico será una fracción del caudal medio mensual, que será del 30% en la época seca y del 10% en la época húmeda, como se indica en la tabla 4.

#### **5. Determinación del balance hídrico**

Una vez determinadas las variables que se necesitan para el cálculo del balance hídrico, se aplicó la ecuación propuesta por Ordóñez (2011), la cual se presenta a continuación:

$$P - Etc - I - R - Q = \Delta S$$

Dónde:

P: Precipitación ( $hm^3$ ).

Etc: Evapotranspiración del cultivo ( $hm^3$ ).

I: Infiltración ( $hm^3$ ).

R: Escorrentía ( $hm^3$ ).

Q: Caudal afluente ( $hm^3/año$ ).

$\Delta S$ : Variación de almacenamiento de agua en el suelo ( $hm^3/año$ ).



## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. OFERTA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA

#### 1. Precipitación

La ubicación de los pluviómetros caseros se detalla a continuación:

**Tabla 5.** Puntos de ubicación de los pluviómetros caseros

Zona	Coordenadas	
	X	Y
Alta	757912	9867421
Alta	757432	9868286
Alta	757440	9869046
Alta	759762	9866066
Media	756935	9866740
Media	759647	9870057
Media	759458	9870869
Media	759983	9861999
Baja	760865	9861545
Baja	757421	9863106
Baja	759607	9863924
Baja	758602	9869833

**A= alta M=media B= baja**

Elaborado por: López, I. 2018

#### a. **Precipitación de acuerdo a las zonas altitudinales de la microcuenca**

**Tabla 6.** Precipitación por zonas altitudinales de la microcuenca

Mes	Precipitación (mm)		
	Zona baja	Zona media	Zona alta
<b>Enero</b>	60,43	71,12	79,56
<b>Febrero</b>	72,52	79,67	88,23
<b>Marzo</b>	69,18	92,32	109,56
<b>Abril</b>	73,26	107,34	113,34
<b>Mayo</b>	72,67	106,43	111,87
<b>Junio</b>	69,56	94,34	106,45

<b>Julio</b>	54,31	79,23	94,23	
<b>Agosto</b>	49,28	61,19	88,23	
<b>Septiembre</b>	39,76	50,12	72,9	
<b>Octubre</b>	37,51	51,23	69,34	
<b>Noviembre</b>	29,84	48,23	59,78	
<b>Diciembre</b>	48,21	55,34	58,67	
<b>Total</b>	<b>676,53</b>	<b>896,56</b>	<b>1052,16</b>	<b>Promedio 875,08 mm</b>

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a los datos de precipitación presentados en la tabla 6 se puede evidenciar que en la zona alta fue donde se produjo la mayor cantidad de precipitación con un total de 1052,16 mm/año, seguido de la zona media con 896,56 mm/año y la zona baja con 676,53 mm/año, en promedio la microcuenca registro una precipitación de 875,08 mm. El mes con mayor cantidad de precipitación en toda la microcuenca fue abril con 97,98 mm/mes, y en contraste el mes con menor cantidad de precipitación fue noviembre con un promedio de 45,95 mm/mes.

Según INAMHI (2014) y UNOCANT (2010), manifiestan que la mayor precipitación se da en las zonas altas de las cuencas, es decir donde se encuentran los ecosistemas naturales, la misma que oscila entre los 900 a 1600 mm anuales. Por el contrario, en las zonas medias y bajas, donde se encuentran las áreas agrícolas, la precipitación promedio no sobrepasa los 600 mm.

#### **b. Determinación de la oferta hídrica en los cultivos de acuerdo a su superficie en las zonas alta, media y baja**

**Tabla 7.** Cálculo de la oferta hídrica de acuerdo a la superficie

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Precip. Efectiva (mm/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Precip. m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>Precip/superficie (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Precip/superficie (hm<sup>3</sup>)</b>
<b>ZONA BAJA</b>					
Cultivo de rye grass	292,98	473,57	4736	1387468,32	1,39
Pasto de corte Avena	8,26	292,33	2923	24146,79	0,02
Papa	110,89	229,93	2299	254968,27	0,25
Haba	275,67	284,71	2847	784862,81	0,78
Plantación de	86,15	473,57	4736	407981,42	0,41

eucalipto					
Cebada	22,11	272,23	2722	60190,05	0,06
Vegetación herbácea	29,58	473,57	4736	140082,30	0,14
Vegetación arbustiva húmeda	9,84	473,57	4736	46599,39	0,05
<b>Subtotal</b>	<b>835,48</b>	<b>2973,49</b>	<b>29734,88</b>	<b>3106299,34</b>	<b>3,11</b>
<b>ZONA MEDIA</b>					
Papa	581,32	425,33	4253	2472551,61	2,47
Cebolla blanca	58,80	291,83	2918	171596,04	0,17
Haba	266,52	388,76	3888	1036120,49	1,04
Maíz	121,95	356,45	3565	434695,65	0,43
Avena forrajera	114,98	441,32	4413	507423,99	0,51
Plantación de eucalipto	56,70	627,59	6276	355844,66	0,36
Plantación de pino	28,44	627,59	6276	178487,16	0,18
Rye grass	22,12	627,59	6276	138823,35	0,14
Alfalfa	0,68	627,59	6276	4267,63	0,004
Vegetación herbácea	38,92	627,59	6276	244258,81	0,24
Vegetación arbustiva	107,12	627,59	6276	672276,55	0,67
<b>Subtotal</b>	<b>1397,55</b>	<b>5669,24</b>	<b>56692,44</b>	<b>6216345,94</b>	<b>6,22</b>
<b>ZONA ALTA</b>					
Cultivo de pasto azul y trébol	63,83	736,512	7365	73651	0,07
Avena forrajera	0,43	492,27	4923	2116,75	0,002
Plantación de Pino	62,61	736,51	7365	461130,16	0,46
Cultivo de papa	6,2	440,41	4404	27305,54	0,03
Cultivo de haba	3,34	438,39	4384	14642,19	0,01
Vegetación arbustiva de altura	20	736,512	7365	147302,40	0,15
vegetación nativa de páramo	519,61	736,51	7365	3826990,00	3,83
<b>Subtotal</b>	<b>676,02</b>	<b>3580,61</b>	<b>43171</b>	<b>4553138,26</b>	<b>4,55</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>498,45</b>			<b>0,53</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2909,05</b>	<b>12223,34</b>	<b>129598,49</b>	<b>13875783,54</b>	<b>13,88</b>

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 7, se evidencia que existe una variación notable del volumen de lluvia dentro de las tres zonas altitudinales. En la zona baja se registró una precipitación efectiva de 3,11 hm<sup>3</sup> en una superficie de 835,48 ha, para la zona media la precipitación efectiva fue de 6,22 hm<sup>3</sup> en una superficie de 1397,55 ha y para la zona alta se registró una precipitación efectiva de 4,55 hm<sup>3</sup> para una superficie de 676,02 ha. En promedio la microcuenca registró

una precipitación efectiva de 498,45 mm/año y de 0,53 hm<sup>3</sup>/año. En total durante todo el año la microcuenca de la quebrada de Quillalli presentó una precipitación efectiva de 13,88 hm<sup>3</sup> en una superficie de 2909,05 ha.

## **B. DEMANDA HIDRICA DE LA MICROCUENCA**

Para la determinación de esta variable se requirió de la siguiente información:

### **1. Poblaciones beneficiarias**

**Tabla 8.** Comunidades beneficiarias del proyecto

<b>Comunidad</b>	<b>Número de habitantes</b>	<b>Zona</b>
<b>Quishuar</b>	236	A
<b>San pedro</b>	256	A
<b>Condorloma</b>	175	A
<b>Ninallugshe</b>	312	A
<b>Total</b>	<b>979</b>	
<b>Santa lucia</b>	325	M
<b>Pucara chico</b>	176	M
<b>Pucara grande</b>	1520	M
<b>Cachilvana grande</b>	1800	M
<b>Total</b>	<b>3821</b>	
<b>Quindialo</b>	416	B
<b>Quillalli</b>	512	B
<b>Total</b>	<b>928</b>	
<b>Total, número de habitantes en la microcuenca</b>	<b>5728</b>	

**A= alta    M= media    B= baja**

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 8 un total de 10 comunidades con una población de 5728 personas habitan en la microcuenca de la quebrada de Quillalli. De los cuales 928 habitantes pertenecen a la zona baja, 3821 habitantes se encuentran en la zona media y 979 habitantes se encuentran en la zona alta. Notándose que la mayor cantidad de habitantes se encuentran en la zona media de la microcuenca por lo tanto la mayor demanda hídrica en función de la población se encontrara en esta zona.

## 2. Uso actual del suelo en las zonas baja media y alta

**Tabla 9.** Uso de suelo en las zonas baja, media y alta

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie (ha)</b>
<b>ZONA BAJA</b>	
Rye grass	292,98
Haba	275,67
Papa	110,89
Plantación de Eucalipto	86,15
Vegetación herbácea	29,58
Cebada	22,11
Vegetación arbustiva húmeda	9,84
Avena forrajera	8,26
<b>Total</b>	<b>835,48</b>
<b>ZONA MEDIA</b>	
Papa	581,32
Haba	266,52
Maíz	121,95
Avena forrajera	114,98
Vegetación arbustiva alta	107,12
Cebolla blanca	58,80
Plantación de eucalipto	56,70
Vegetación herbácea	38,92
Plantación de pino	28,44
Rye grass	22,12
Alfalfa	0,68
<b>Total</b>	<b>1397,55</b>
<b>ZONA ALTA</b>	
Vegetación nativa de páramo	519,61
Cultivo de pasto azul y trébol	63,83
Plantación de Pino	62,61
Cultivo de rye grass	28,83
Vegetación arbustiva alta	20
Cultivo de papa	6,2
Cultivo de haba	3,34
Avena forrajera	0,43
<b>Total</b>	<b>676,02</b>

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 9 indica que en la zona baja predominan los pastos como el rye grass con 292,98 ha y la avena forrajera con 8,26 ha esto debido a la gran cantidad de ganado bovino y ovino existente según el PDOTQ (2015). El mapa temático de la zona se indica en el anexo 4.

Se indica también que en la zona media predomina la actividad agrícola, especialmente el cultivo de papa con una superficie de 581,32 ha, seguido del cultivo del maíz con una superficie de 121,95 ha, se tiene también el cultivo de avena forrajera con 114,98 ha y de rye grass con una superficie de 22,12 ha. El mapa temático de la zona se indica en el anexo 5.

Se tiene además que en la zona alta predomina la vegetación nativa de páramo con una superficie de 519,61 ha, seguido de pastizales como el pasto azul y trébol con una superficie de 63,83 ha, luego se tiene algunas plantaciones de pino con una superficie de 62,61ha, también predominan, cultivos de rye grass con una extensión de 28,83ha El mapa temático de la zona se indica en el anexo 6.

#### **b. Distribución actual del uso de suelo en toda la microcuenca**

**Tabla 10.** Distribución actual del uso de suelo

<b>Usos.</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Actividad agrícola	1950,08	67,03
Páramo	519,61	17,86
Plantaciones forestales	233,90	8,04
Vegetación arbustiva	205,48	7,06
<b>Total</b>	<b>2909,05</b>	<b>100</b>

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 10 de las 2909,05 ha., que conforman la cobertura vegetal de la microcuenca de la quebrada de Quillalli, 1950,08 ha., que representan el 67,03 % pertenecen a las actividades agrícolas, el ecosistema páramo ocupa 519,61 ha que corresponden apenas al 17,86%, las plantaciones forestales con 233,90 ha que corresponden al 8,04 %., y finalmente se tiene a la vegetación arbustiva con 205,48 ha que corresponde al 7,06% de toda la cobertura vegetal. Según el PDOTQ (2015), la constante presión de ampliación de la frontera agrícola contrasta con la reducción de los bosques y vegetación nativa, con efectos en la reducción de fuentes hídricas, erosión y empobrecimiento de los suelos, esto se corrobora con los resultados presentados ya que se evidencia una clara disminución del ecosistema páramo con 519,61 ha., frente a la actividad agrícola con 1712,23 ha.

#### **6. Determinación de los parámetros hídricos del suelo en función de los cultivos en la zona alta, media y baja de la microcuenca de la quebrada de Quillalli**

**Tabla 11.** Parámetros hídricos del suelo en función de los cultivos en la microcuenca de la quebrada de Quillalli en la zona baja, media y alta

Parámetros hídricos del suelo	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Agua útil (mm)	Lámina neta de riego (mm)	Frecuencia de riego (días)	Lamina bruta (mm)	Volumen de riego (mm/sup)
<b>Zona baja</b>								
Papa	14,70	6,02	1,38	47,87	19,18	9	31,5	6946,38
Rye grass	15,23	6,52	1,39	61,38	27,62	16	47,2	11062,92
Haba	16,69	7,52	1,46	66,97	30,13	14	51,33	14149,11
Avena forrajera	16,66	6,42	1,39	50,04	22,51	12,51	39	979,68
Cebada	16,66	6,42	1,44	77,77	38,88	17	65,70	1452,62
<b>Promedio</b>	<b>15,98</b>			<b>60,80</b>		<b>14</b>		
<b>Zona media</b>								
Papa	34,04	20,95		65,52	22,93	7,43	35,81	20817,06
Haba	23,08	12,31	1,12	49,28	22,17	11,25	36,11	780,12
Avena forrajera	22,13	11,60	1,26	55,44	30,49	16,21	48	5519,05
Maíz	26,92	15,19	1,18	103,84	41,53	21,19	69	8365,77
Rye grass	34,09	20,56	1,17	65,52	39,31	29,12	65	796,05
Alfalfa	32,77	19,58	1,18	155,76	85,66	93	142,60	1740,70
<b>Promedio</b>	<b>28,83</b>			<b>82,56</b>		<b>30</b>		
<b>Zona alta</b>								
Pasto azul y trébol	49,42	32,06	1,11	88,92	53,35	39	89,7	1538,08
Papa	44,81	28,60	1,09	69,76	24,41	17	41,36	256,43
Haba	33,81	20,35	1,08	56,66	25,67	16	42,66	113,99
Avena forrajera	44,81	28,60	1,09	69,76	24,41	20	41,36	17,78
<b>Promedio</b>	<b>43,21</b>			<b>71,27</b>		<b>22</b>		

La tabla 11 indica los parámetros hídricos del suelo en función de los cultivos en la microcuenca de la quebrada de Quillalli. En la zona baja vemos que la capacidad de retención de agua o capacidad de campo es baja con 15,98% en promedio para todos los cultivos, y también lo es el agua disponible para las plantas con un promedio de 60,80 mm. Se evidencia también que en promedio el riego tiene una frecuencia de 14 días. Lo anterior descrito se puede explicar con lo expuesto por el PDOTQ (2015), indica que el suelo de esta zona presenta una textura arenosa y por tanto posee una alta macroporosidad razón por la cual debe ser regado con más frecuencia.

En la zona media se evidencia que la capacidad de retención del agua es alta en comparación con la zona baja ya que en promedio para todos los cultivos se tiene 28,83 %, y lo es también el agua disponible para las plantas ya que en promedio se tiene 82,56 mm. Se evidencia también que en promedio el riego tendrá una frecuencia de 30 días, el mismo que es bajo en comparación a la zona baja. De acuerdo al PDOTQ (2015), el suelo de esta zona presenta una textura limo-arenosa el mismo que posee una mayor cantidad de agua disponible para las plantas, pues retienen mucha más agua que los suelos arenosos a capacidad de campo, aunque su punto de marchitamiento también es mayor.

En la zona alta se evidencia que la capacidad de campo registra los valores más altos en toda la microcuenca con un promedio de 43,21 %. El agua disponible para las plantas también presenta los valores más altos ya que en promedio se tiene 71,27 mm. Se evidencia también que en promedio el riego tendrá una frecuencia de 22 días, el mismo que es bajo en comparación a la zona baja. De acuerdo al PDOTQ (2015), el suelo de esta zona presenta una textura franco-limosa-arcillosa, el mismo que retienen mayor cantidad de agua y aunque una gran parte de ella es retenida con mucha fuerza y no está disponible para las plantas, presentan una gran cantidad de agua disponible o agua útil.

## **7. Evaporación de la microcuenca**

**Tabla 12.** Evaporación de acuerdo a las zonas altitudinales en la microcuenca

<b>Mes</b>	<b>Zona baja (mm)</b>	<b>Zona media (mm)</b>	<b>Zona alta (mm)</b>
<b>Enero</b>	108,81	102,61	80,14
<b>Febrero</b>	100,52	83,44	65,24
<b>Marzo</b>	107,57	96,72	74,75
<b>Abril</b>	94,8	88,5	66,72

<b>Mayo</b>	89,9	87,42	66,78
<b>Junio</b>	89,1	77,7	55,56
<b>Julio</b>	92,07	78,74	61,53
<b>Agosto</b>	102,61	91,45	71,02
<b>Septiembre</b>	106,5	95,4	73,93
<b>Octubre</b>	109,43	103,23	80,22
<b>Noviembre</b>	110,4	97,2	82,96
<b>Diciembre</b>	112,84	102,3	79,14
<b>Total</b>	<b>1224,55</b>	<b>1104,71</b>	<b>956,56 Promedio 1095,27 mm</b>

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 12 indica la cantidad de evaporación que se han generado en cada zona de la microcuenca, así tenemos que en la zona baja se han producido 1224,55 mm/año, en la zona media 1104,71 mm/año y en la zona alta se ha producido 956,56 mm/año, en promedio la microcuenca de la quebrada de Quillalli presento una evaporación de 1095,27 mm/año, de acuerdo a estos resultados se evidencia una clara disminución de la evaporación conforme se avanza en altitud, esto puede ser explicado con lo expuesto por PDOTQ (2015), que dice que el tipo de clima predominante en la zona de páramo es el Ecuatorial de alta montaña con una temperatura que oscila entre los 3 a 12 °C., en la zona media se tiene la presencia del clima Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo con una temperatura que oscila entre los 12 a 14°C y en la parte baja de la microcuenca se tiene el clima Ecuatorial Mesotérmico seco con una temperatura que va de los 14°C a los 17°C. Estas diferencias climáticas y de temperatura que existen en toda la microcuenca hacen que la cantidad de evaporación sea variable.

## **8. Ciclo productivo de los cultivos**

**Tabla 13.** Ciclo productivo de los cultivos en la zona baja, media y alta de la microcuenca de Quillalli

<b>Cultivos</b>	<b>Zona baja (días)</b>	<b>Zona media (días)</b>	<b>Zona alta (días)</b>
Papa	210	225	240
Rye grass	60 c/corte	90 c/corte	
Haba	240	240	270
Cebada	240		
Maíz		240	
Cebolla blanca		210	
Plantación de Eucalipto	365	365	365
Plantación de pino	365	365	365
Vegetación herbácea húmeda	365	365	365
Avena forrajera	180	210	210

Alfalfa		90 c/corte	
Pasto azul y trébol			90c/corte
Vegetación arbustiva	365	365	365
Plantación de eucalipto	365	365	365

Elaborado por: López, I. 2018.

En la tabla 13 se observa que el ciclo de cultivo en la zona alta se alarga, con relación a las zonas media y baja donde se evidencia una menor duración del ciclo. Como se observa, en el caso del cultivo de la papa donde su ciclo dura 210 días en la zona baja, en la zona media es de 225 días y en la zona alta su ciclo dura 240 días.

## **9. Demanda hídrica y programación del riego de los cultivos en la zona baja**

### **a. Evapotranspiración y programación del riego para el cultivo de la papa (*Solanum Tuberosum*)**

#### **1) Evapotranspiración del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)**

**Tabla 14.** Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Mes	Evap (mm/día)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)	Etc (mm /mes)
<b>Junio</b>	2,97	0,85	2,53	0,51	1,31	39,18
<b>Julio</b>	3,31	0,85	2,81	0,85	2,68	83,18
<b>Agosto</b>	3,55	0,85	3,02	1,03	3,12	96,84
<b>Septiembre</b>	3,53	0,85	3,00	1,04	3,15	94,48
<b>Octubre</b>	3,68	0,85	3,13	0,90	2,82	87,34
<b>Noviembre</b>	3,64	0,85	3,09	0,58	1,82	54,65
<b>Diciembre</b>	3,46	0,85	2,94	0,11	0,33	10,36
<b>Total</b>						466,05

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 14 indica que durante el periodo junio a diciembre la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de agosto con 96,84mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue diciembre con 10,36mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Mencionar que el cultivo de la papa durante todo su ciclo vegetativo presentó una demanda hídrica de 466,05 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por INIAP (2011), que dice que el requerimiento hídrico de la papa durante todo el ciclo varía desde los 400 a 500 mm, además indica que la etapa crítica del cultivo se presenta durante la floración y la tuberización.

## 2) Programación del riego

1. De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta es de 19,18 mm que se aplicaran en el riego con una frecuencia de 9 días

2. La demanda hídrica durante todo el ciclo vegetativo para el cultivo de la papa es de 466,05 mm de acuerdo a la tabla 14.

3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo del cultivo, fue de  $466,05 \text{ mm} / 19,18 \text{ mm}$

= 24,29 riegos que redondeando da 24 riegos Vemos luego el volumen de agua a entregarse por mes mediante la siguiente expresión

$$9\text{días} \rightarrow 19,18\text{mm}$$

$$30\text{días} \rightarrow x = 63,93 \text{ mm}$$

**Tabla 15.** Programación del riego para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Mes	Precip. (mm/mes)	Etc (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Ln (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Junio</b>	48,69	39,18	9,52	63,93	73,45
<b>Julio</b>	38,02	83,18	-45,17	63,93	18,76
<b>Agosto</b>	34,50	96,84	-62,35	63,93	1,58
<b>Septiembre</b>	27,83	94,48	-66,65	63,93	-2,72
<b>Octubre</b>	26,26	87,34	-61,09	63,93	2,84
<b>Noviembre</b>	20,89	54,65	-33,76	63,93	30,17
<b>Diciembre</b>	33,75	10,36	23,38	63,93	87,31
<b>Total</b>	229,93	466,05		447,51	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 15 durante los meses de junio, julio, agosto, octubre noviembre, y diciembre la lámina neta de riego sería suficiente, sin embargo durante septiembre que es el mes de mayor demanda hídrica el riego resulta insuficiente, por lo que nos toca reprogramar el riego para este periodo, siguiendo la metodología anterior:

Entonces calculamos el número de riegos para este periodo de 30 días de déficit hídrico y tendremos:  $94,48 / 19,18 = 4,92$  redondeando nos da un total de 5 riegos. Lo que significa que 5 riegos en 30 días representan un riego cada 6 días En el mes tendríamos  $(30 / 6) 19,18 = 97,92 \text{ mm}$  valor que al comparar con las necesidades del cultivo tendríamos:

**Tabla 16.** Reprogramación del riego para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Mes	Precip. Efectiva (mm/mes)	Nh (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Ln (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
Septiembre	27,83	94,48	-66,65	97,92	31,27

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 16 durante el mes de septiembre se regaría con una lámina neta de 19,18 mm con una frecuencia de 6 días y en total se aplicaría una lámina neta mensual de 97,92 mm.

### a. Evapotranspiración y programación del riego para el cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*)

#### 1) Evapotranspiración para el cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*)

**Tabla 17.** Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de avena forrajera

Mes	Evap (mm/día)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)	Etc (mm /mes)
<b>Enero</b>	3,51	0,85	2,98	0,58	1,75	54,14
<b>Febrero</b>	3,59	0,85	3,05	0,93	2,85	79,90
<b>Marzo</b>	3,47	0,85	2,95	1,06	3,13	97,18
<b>Abril</b>	3,16	0,85	2,69	0,96	2,60	78,04
<b>Mayo</b>	2,9	0,85	2,47	0,65	1,61	49,83
<b>Junio</b>	2,97	0,85	2,52	0,11	0,29	8,61
<b>Total</b>						367,70

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 17 indica que durante el periodo enero a junio la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de abril con 78,04 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue junio con 8,61mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Mencionar que el cultivo de avena forrajera durante todo su ciclo vegetativo presento una demanda hídrica de 367,70mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por Terán *et al*, (2007), que expresan que la función de agua para avena forrajera respondió a una ecuación de segundo orden con un requerimiento hídrico de 390 mm de agua aplicada para todo el ciclo del cultivo a través del programa Aquacrop

## 2) Programación del riego

1.- De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta para avena forrajera es de 22,51 mm que se aplicaran mediante el riego durante un intervalo de 13 días

2.- La necesidad hídrica durante el ciclo vegetativo de cultivo de avena forrajera fue de 367,7mm (según la tabla 17)

3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo del cultivo fue de  $367,7\text{mm}/22,51\text{ mm} = 16,33$  que redondeando nos da 16 riegos.

4. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes mediante la siguiente expresión:

$$13\text{días.} \rightarrow 22,51\text{ mm}$$

$$30\text{días} \rightarrow x = 51,91\text{mm}$$

**Tabla 18.** Programación del riego para un cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*)

Mes	Precipitación (mm/mes)	Etc (mm/mes)	Req. Riego	Ln (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Enero</b>	42,30	54,14	-11,84	51,91	40,07
<b>Febrero</b>	50,76	79,90	-29,14	51,91	22,77
<b>Marzo</b>	48,42	97,18	-48,75	51,91	3,16
<b>Abril</b>	51,28	78,04	-26,76	51,91	25,15
<b>Mayo</b>	50,86	49,83	1,04	51,91	52,95
<b>Junio</b>	48,69	8,61	40,08	51,91	91,99
<b>Total</b>	292,33	367,7		311,46	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 18 durante todos los meses que dura el ciclo vegetativo de avena forrajera la lámina neta de riego de 51,91 mm siempre supera a la demanda hídrica, por lo tanto, el riego sería suficiente.

### c. Evapotranspiración y programación del riego para el cultivo de haba (*Vicia faba*)

#### 1) Evapotranspiración para el cultivo de haba (*Vicia faba*)

**Tabla 19.** Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de haba (*Vicia faba*)

Mes	Evap (mm/mes)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)	Etc (mm/ mes)
-----	------------------	----	-----------------	----	-----------------	------------------

Agosto	3,55	0,85	3,02	0,46	1,40	43,33
Septiembre	3,53	0,85	3,00	0,79	2,36	70,94
Octubre	3,68	0,85	3,13	0,99	3,09	95,80
Noviembre	3,64	0,85	3,09	1,06	3,29	98,65
Diciembre	3,46	0,85	2,94	1,01	2,98	92,33
Enero	3,51	0,85	2,98	0,84	2,50	77,47
Febrero	3,59	0,85	3,05	0,54	1,64	45,92
Marzo	3,47	0,85	2,95	0,11	0,33	10,27
Total						534,72

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 19 indica que durante el periodo agosto a marzo la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de noviembre con 98,65 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue marzo con 10,27 mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Mencionar que el cultivo de haba durante todo su ciclo vegetativo presento una demanda hídrica de 534,72 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por INIAP (2014) y por Crystal (2000), que mencionan que los valores máximos de Kc para el cultivo de haba se alcanzan en la floración manteniéndose durante la fase media, finalmente decrece durante la fase de maduración, el cultivo de haba necesita de 600 a 1000 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas interandinas.

## 2) Programación del riego para el cultivo de haba

- 1.- De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta es de 30,13 mm que se aplicara mediante el riego cada 14 días
- 2.- La demanda hídrica total es de 534,72 mm según la tabla 19
3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo vegetativo es de  $= 534,72 \text{ mm} / 30,13 \text{ mm} = 17,74$  riegos que redondeando nos da 18 riegos
4. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes, mediante la siguiente expresión

$$14 \text{ días.} \rightarrow 30,13 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 64,56 \text{ mm}$$

**Tabla 20.** Programación del riego para un cultivo de haba (*Vicia faba*)

Mes	Precip. (mm/mes)	Etc (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Ln (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Agosto</b>	34,496	43,33	-8,84	64,56	55,72

<b>Septiembre</b>	27,832	70,94	-43,11	64,56	21,45
<b>Octubre</b>	26,257	95,80	-69,54	64,56	-4,98
<b>Noviembre</b>	20,888	98,65	-77,77	64,56	-13,21
<b>Diciembre</b>	33,747	92,33	-58,58	64,56	5,98
<b>Enero</b>	42,301	77,47	-35,17	64,56	29,39
<b>Febrero</b>	50,764	45,92	4,84	64,56	69,40
<b>Marzo</b>	48,426	10,27	38,15	64,56	102,71
<b>Total</b>	284,711	534,72		511,44	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 20 durante los meses de agosto, septiembre, diciembre, enero, febrero, y marzo la lámina neta de riego sería suficiente, sin embargo durante octubre y noviembre que son los meses de mayor demanda hídrica el riego resulta insuficiente, por lo que se debe reprogramar el riego, siguiendo la metodología anterior:

Entonces calculamos el número de riegos para este periodo de 60 días, y tendremos:  $194,45/30,13=6,45$  que redondeando nos da 6 riegos. Lo que significa que 6 riegos en 60 días representan un riego cada 10 días. En el mes tendríamos  $(30/6) 30,13 = 150,65$ mm de lámina neta mensual valor que al comparar con las necesidades del cultivo tendríamos:

**Tabla 21.** Reprogramación del riego para un cultivo de haba (*Vicia faba*)

<b>Mes</b>	<b>Precip. Efectiva(mm /mes)</b>	<b>Nh(mm/mes)</b>	<b>Req. riego</b>	<b>Ln(mm/mes)</b>	<b>Balance hídrico(mm/mes)</b>
Octubre	26,25	95,80	-69,55	150,65	81,1
Noviembre	20,88	98,65	-77,77	150,65	72,88

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 21 durante los meses de octubre y noviembre se regaría con una lámina neta de 20,13 mm con una frecuencia de 10 días con una lámina neta mensual de 81,11mm. y de 72,88 mm respectivamente.

#### d. Evapotranspiración y programación del riego para el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*)

##### 1) Evapotranspiración en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*)

Tabla 22. Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*)

Mes	Evap (mm/mes)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)	Etc (mm/mes)
Junio	2,97	0,85	2,81	0,46	1,30	39,10
Julio	3,31	0,85	3,02	0,78	2,38	73,72
Agosto	3,55	0,85	3,00	0,98	2,96	91,90
Septiembre	3,53	0,85	3,13	1,06	3,32	99,74
Octubre	3,68	0,85	3,09	1,01	3,13	97,13
Noviembre	3,64	0,85	2,94	0,83	2,46	73,90
Diciembre	3,46	0,85	2,94	0,53	1,58	49,00
Enero	3,51	0,85	2,98	0,11	0,34	10,39
<b>Total</b>						<b>534,88</b>

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 22 indica que durante el periodo junio a enero la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de septiembre con 99,74 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue enero con 10,39 mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Mencionar que el cultivo de la cebada durante todo su ciclo vegetativo presento una demanda hídrica de 534,88 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado Crystal (2000), que dice que el cultivo de cebada requiere de 500 a 700 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo, estando nuestros resultados dentro del rango manifestado.

##### 2) Programación del riego

1.- De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta para el cultivo de cebada es de 38,88 mm mismos que se aplicaran mediante el riego durante un intervalo de 18 días.

2.- La necesidad hídrica total para el cultivo de *Hordeum vulgare* es de 534,88 mm (según la tabla 22).

3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo vegetativo del cultivo es de  $= 534,88 \text{ mm} / 38,88 \text{ mm} = 13,75$  que redondeando nos da 14 riegos

4. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes y decimos que en un mes tendríamos  $(30 / 14) 38,88 = 83,31$  mm que comparando con las necesidades del cultivo nos daría:

18 días.  $\rightarrow 38,88$  mm

30 días  $\rightarrow x = 83,31$  mm

**Tabla 23.** Programación del riego en un cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*)

Mes	Precip (mm/mes)	Etc (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Ln (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Junio</b>	48,69	39,10	9,59	83,31	73,72
<b>Julio</b>	38,01	73,72	-35,70	83,31	47,61
<b>Agosto</b>	34,49	91,90	-57,40	83,31	25,91
<b>Septiembre</b>	27,83	99,74	-71,91	83,31	11,4
<b>Octubre</b>	26,25	97,13	-70,88	83,31	12,43
<b>Noviembre</b>	20,88	73,90	-53,01	83,31	30,3
<b>Diciembre</b>	33,74	49,00	-15,26	83,31	68,05
<b>Enero</b>	42,30	10,39	31,91	83,31	115,22
<b>Total</b>	272,23	532,88		666,48	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 23 durante todos los meses que dura el ciclo del cultivo de cebada la lámina neta de riego a aplicarse sería suficiente, por lo que no se debería realizar una nueva programación del riego.

## **10. Demanda hídrica y programación del riego de los cultivos en la zona media**

### **a. Evapotranspiración y programación del riego para el cultivo de papa**

#### **1) Evapotranspiración para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*)**

**Tabla 24.** Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Mes	Evap (mm/día)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)	Etc (mm/mes)
<b>Noviembre</b>	3,34	0,80	2,77	0,48	1,35	40,65
<b>Diciembre</b>	3,19	0,80	2,64	0,82	2,17	67,46
<b>Enero</b>	3,28	0,80	2,72	1,01	2,75	85,48
<b>Febrero</b>	3,22	0,80	2,67	1,06	2,83	79,45
<b>Marzo</b>	3,18	0,80	2,63	0,96	2,55	79,24
<b>Abril</b>	3,03	0,80	2,51	0,73	1,84	55,30
<b>Mayo</b>	2,71	0,80	2,24	0,35	0,79	24,78

<b>Mediados junio</b>	2,62	0,80	2,17	0,11	0,24	3,71
<b>Total</b>						436,06

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 24 indica que durante el periodo noviembre a mediados de junio la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de enero con 85,48 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico, y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue junio con 3,71 mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Mencionar que el cultivo de papa durante todo su ciclo vegetativo presento una demanda hídrica de 436,06 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por INIAP (2014), que dice que el requerimiento hídrico de la papa durante todo el ciclo varía desde los 400 a 500 mm., además indica que la etapa crítica del cultivo se presenta durante la floración y la tuberización).

## 2) Programación del riego

1. De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta es de 22,93 mm que se aplicara mediante el riego durante un intervalo de 7 días
- 2.- La necesidad hídrica del cultivo de la papa durante todo su ciclo vegetativo es de 436,06 mm (según la tabla 28).
3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo es de  $= 436,06 \text{ mm} / 22,93 \text{ mm} = 19,01$  riegos que redondeando nos da 19 riegos
4. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes y decimos que en un mes tendríamos, mediante la siguiente expresión:

$$7 \text{ días.} \rightarrow 22,93 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 98,27 \text{ mm}$$

**Tabla 25-** Programación del riego para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Mes	Precip (mm/mes)	Etc(mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Ln (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Noviembre</b>	33,761	40,65	-6,89	98,27	91,38
<b>Diciembre</b>	38,738	67,46	-28,72	98,27	69,55
<b>Enero</b>	49,784	85,48	-35,70	98,27	62,57
<b>Febrero</b>	55,769	79,45	-23,68	98,27	74,59
<b>Marzo</b>	64,624	79,24	-14,61	98,27	83,66
<b>Abril</b>	75,138	55,30	19,84	98,27	118,11
<b>Mayo</b>	74,501	24,78	49,73	98,27	148,00

<b>Mediados de junio</b>	33,019	3,71	29,31	98,27	127,58
<b>Total</b>	425,334	436,06		786,16	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 25 durante todos los meses que duro el ciclo vegetativo del cultivo de la papa la lámina neta de riego a aplicare es suficiente, por lo que no se debe realizar una nueva programación del riego.

## **b. Evapotranspiración y programación del riego para el cultivo de cebolla blanca (*Pisum sativum*)**

### **1) Evapotranspiración para el cultivo de cebolla blanca (*Pisum sativum*)**

**Tabla 26.** Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de cebolla blanca (*Pisum sativum*)

<b>Mes</b>	<b>Evap(mm/día)</b>	<b>Kp</b>	<b>Eto(mm/día)</b>	<b>Kc</b>	<b>Etc (mm/día)</b>	<b>Etc (mm/mes)</b>
<b>Agosto</b>	3,04	0,83	2,52	0,51	1,30	40,46
<b>Septiembre</b>	3,36	0,83	2,78	0,85	2,39	71,77
<b>Octubre</b>	3,36	0,83	2,78	1,03	2,88	89,50
<b>Noviembre</b>	3,34	0,83	2,77	1,04	2,90	87,29
<b>Diciembre</b>	3,19	0,83	2,64	0,90	2,38	73,93
<b>Enero</b>	3,28	0,83	2,72	0,58	1,60	49,69
<b>Febrero</b>	3,22	0,83	2,67	0,11	0,30	8,51
<b>Total</b>						421,16

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 26 indica que durante el periodo agosto a febrero la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de octubre con 89,50 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico, y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue febrero con 8,51 mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Mencionar que el cultivo de cebolla blanca durante todo su ciclo vegetativo presento una demanda hídrica de 421,16 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por Pinzón (2009), que dice que las necesidades de agua de la cebolla blanca están alrededor de los 300 a 600 milímetros., estando nuestros resultados dentro del rango manifestado.

## 2) Programación del riego

1. De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta de riego es de 12,96 mm que se aplicaran durante un intervalo de 7 días

2.- La necesidad hídrica del cultivo es de 421,16 mm (según la tabla 26).

3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo del cultivo es de  $= 421,16 \text{ mm} / 12,96 \text{ mm} = 32,49$  riegos que redondeando nos da 32 riegos. Vemos luego el volumen de agua que estamos entregando por mes mediante la siguiente expresión:

$$7 \text{ días.} \rightarrow 12,96 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 55,54 \text{ mm}$$

**Tabla 27.** Programación del riego para el cultivo de cebolla blanca (*Pisum sativum*)

Mes	Precip. (mm/mes)	Etc (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Ln (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
Agosto	42,833	40,46	2,37	55,54	53,17
Septiembre	35,084	71,77	-36,68	55,54	18,86
Octubre	35,861	89,50	-53,63	55,54	1,91
Noviembre	33,761	87,29	-53,52	55,54	2,02
Diciembre	38,738	73,93	-35,19	55,54	20,35
Enero	49,784	49,69	0,09	55,54	55,63
Febrero	55,769	8,51	47,25	55,54	102,79
<b>Total</b>	291,83	421,16	-	388,78	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 27 durante todos los meses que duro el ciclo vegetativo de la cebolla blanca la lámina neta de riego a aplicarse es suficiente por lo que no es necesario realizar una nueva programación del riego

### c. Evapotranspiración y programación del riego en el cultivo de haba (*Vicia faba*)

#### 1) Evapotranspiración en el cultivo de haba (*Vicia faba*)

**Tabla 28.** Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de haba (*Vicia faba*)

Mes	Evap(mm/día)	Kp	Eto(mm/día)	Kc	Etc (mm/día)	Etc (mm/mes)
Septiembre	3,36	0,80	2,78	0,46	1,29	38,76
Octubre	3,36	0,80	2,78	0,78	2,20	68,13
Noviembre	3,34	0,80	2,77	0,98	2,74	82,17
Diciembre	3,19	0,80	2,64	1,06	2,81	87,24
Enero	3,28	0,80	2,72	1,01	2,76	85,47

<b>Febrero</b>	3,22	0,80	2,67	0,83	2,24	62,68
<b>Marzo</b>	3,18	0,80	2,63	0,53	1,42	43,98
<b>Abril</b>	3,03	0,80	2,51	0,11	0,28	8,48
<b>Total</b>						476,89

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 28 indica que durante el periodo septiembre a abril la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de diciembre con 87,24 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico, y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue abril con 8,48 mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Esto se corrobora con lo manifestado por INIAP (2014), que dice que los valores máximos de Kc para el cultivo de haba se alcanzan en la floración manteniéndose durante la fase media, finalmente decrece durante la fase de maduración.

Mencionar además que el cultivo de haba durante todo su ciclo vegetativo presento una demanda hídrica de 476,89 mm. Según Crystal (2000), menciona que el cultivo de haba necesita de 600 a 1000 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas interandinas, posibles diferencias con nuestros datos pueden ser debido resultado de diferentes condiciones edafoclimáticas del lugar de estudio

## 2) Programación del riego

1. De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta es de 22,17 mm que se aplicaran mediante el riego en un intervalo de 11 días
2. La necesidad hídrica durante todo el ciclo vegetativo es de 476,89 mm (Según la tabla 24).
3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo vegetativo del cultivo es =  $476,89 \text{ mm} / 22,17 \text{ mm} = 25,51$  riegos que redondeando nos da 26 riegos
4. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes mediante la siguiente expresión:

$$11 \text{ días.} \rightarrow 22,17 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 60,46 \text{ mm}$$

**Tabla 29.** Programación del riego para el cultivo de haba (*Vicia faba*)

<b>Mes</b>	<b>Precip. (mm/mes)</b>	<b>Etc (mm/mes)</b>	<b>Req. Riego</b>	<b>Ln (mm/mes)</b>	<b>Balance hídrico (mm/mes)</b>
<b>Septiembre</b>	35,084	38,76	-3,67	60,46	56,79

<b>Octubre</b>	35,861	68,13	-32,27	60,46	28,19
<b>Noviembre</b>	33,761	82,17	-48,40	60,46	12,06
<b>Diciembre</b>	38,738	87,24	-48,50	60,46	11,96
<b>Enero</b>	49,784	85,47	-35,68	60,46	24,78
<b>Febrero</b>	55,769	62,68	-6,91	60,46	53,55
<b>Marzo</b>	64,624	43,98	20,65	60,46	81,11
<b>Abril</b>	75,138	8,48	66,66	60,46	127,12
<b>Total</b>	388,759	476,89		483,68	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 29 durante todos los meses que duro el ciclo vegetativo de la haba la lámina neta de riego a aplicarse es suficiente por lo que no es necesario reprogramar el riego

#### **d. Evapotranspiración y programación del riego en el cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*)**

##### **1) Evapotranspiración para el cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*)**

**Tabla 30.** Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*)

<b>Mes</b>	<b>Evap</b>	<b>Kp</b>	<b>Eto/día</b>	<b>Kc</b>	<b>Etc/día</b>	<b>Etc mes</b>
<b>Enero</b>	3,28	0,80	2,72	0,51	1,41	43,66
<b>Febrero</b>	3,22	0,80	2,67	0,85	2,29	64,21
<b>Marzo</b>	3,18	0,80	2,64	1,03	2,73	84,72
<b>Abril</b>	3,03	0,80	2,51	1,04	2,64	79,18
<b>Mayo</b>	2,71	0,80	2,25	0,90	2,02	62,76
<b>Junio</b>	2,62	0,80	2,17	0,58	1,28	38,32
<b>Julio</b>	2,72	0,80	2,26	0,11	0,25	7,79
<b>Total</b>						380,64

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 30 indica que durante el periodo enero a julio la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de marzo con 84,72 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico, y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue julio con 7,79 mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Mencionar que el cultivo de avena forrajera durante todo su ciclo vegetativo presento una demanda hídrica de 380,54 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por Terán *et al*, (2007), manifiestan que la función de agua para avena forrajera respondió a una ecuación de segundo orden con un requerimiento hídrico de 390 mm de agua aplicada para todo el ciclo del cultivo a través del programa Aquacrop.

## 2) Programación del riego

1. De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta es igual a 30,49 mm que se aplicaran mediante el riego con un intervalo de 16 días

2.- La necesidad hídrica total del cultivo es de 380,64 mm (Según la tabla 30).

3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo vegetativo el cultivo es de  $= 380,64 \text{ mm} / 30,49 \text{ mm} = 12,48$  riegos que redondeando nos da 12 riegos. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes mediante la siguiente expresión:

$$16 \text{ días.} \rightarrow 30,49 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 76,72 \text{ mm}$$

**Tabla 31.** Programación del riego para el cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*)

Mes	Precip. (mm/mes)	Eto (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Ln (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Enero</b>	49,78	43,66	6,13	76,22	82,35
<b>Febrero</b>	55,76	64,21	-8,44	76,22	67,78
<b>Marzo</b>	64,62	84,72	-20,10	76,22	56,12
<b>Abril</b>	75,13	79,18	-4,04	76,22	72,18
<b>Mayo</b>	74,50	62,76	11,74	76,22	87,96
<b>Junio</b>	66,03	38,32	27,72	76,22	103,94
<b>Julio</b>	55,46	7,79	47,67	76,22	123,89
<b>Total</b>	441,31	380,64		533,54	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 31 durante todos los meses que duro el ciclo vegetativo del cultivo de avena forrajera la lámina neta de riego a aplicarse es suficiente por lo que no es necesario reprogramar el riego

## e. Evapotranspiración y programación del riego en el cultivo de maíz (*Zea mays*)

### 1) Evapotranspiración en el cultivo de maíz (*Zea mays*)

**Tabla 32.** Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de maíz (*Zea mays*)

Mes	Evap (mm/día)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Eto (mm/día)	Etc (mm/mes)
<b>Agosto</b>	3,04	0,83	2,52	0,48	1,17	36,23
<b>Septiembre</b>	3,36	0,83	2,79	0,82	2,20	65,94
<b>Octubre</b>	3,36	0,83	2,79	1,01	2,76	85,41
<b>Noviembre</b>	3,34	0,83	2,77	1,06	2,95	88,39

<b>Diciembre</b>	3,19	0,83	2,65	0,96	2,68	83,12
<b>Enero</b>	3,28	0,83	2,72	0,73	2,28	70,69
<b>Febrero</b>	3,22	0,83	2,67	0,56	1,44	40,22
<b>Marzo</b>	2,74	0,83	2,27	0,11	0,26	7,67
<b>Total</b>						477,67

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 32 indica que durante el periodo agosto a marzo la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de noviembre con 88,39 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico, y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue marzo con 7,67 mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Mencionar que el cultivo de maíz durante todo su ciclo vegetativo presento una demanda hídrica de 477,67 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por INIAP (2011), que dice que las fases de floración y llenado de grano son las más críticas para obtener la máxima producción, y por tanto son las etapas que mayor recurso hídrico demandan, además indica que el cultivo de maíz, dependiendo de las condiciones climáticas, y sin considerar otros factores de producción, requiere a lo largo de su ciclo de 500-800 mm de agua bien distribuida de acuerdo con sus fases fenológicas, estando nuestros resultados dentro del rango manifestado.

## 2) Programación del riego

- 1.-De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta es de 20,76 mm que se aplicaran mediante el riego en un intervalo de 21 días
- 2.- La necesidad hídrica durante todo el ciclo vegetativo es de 477,67mm (Según la tabla 32)
3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo del cultivo es =  $477,67 \text{ mm} / 41,53 \text{ mm} = 11,50$  riegos que redondeando da 12 riegos.
4. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes mediante la siguiente expresión:

$$21 \text{ días.} \rightarrow 20,76 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 59,32 \text{ mm}$$

**Tabla 33.** Programación del riego para el cultivo de maíz (*Zea mays*)

Mes	Precipitación (mm/mes)	Etc (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Ln (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Agosto</b>	42,833	36,23	6,60	59,32	65,92
<b>Septiembre</b>	35,084	65,94	-30,85	59,32	28,47
<b>Octubre</b>	35,861	85,41	-49,55	59,32	9,77
<b>Noviembre</b>	33,761	88,39	-54,63	59,32	4,69

<b>Diciembre</b>	38,738	83,12	-44,39	59,32	14,93
<b>Enero</b>	49,784	70,69	-20,90	59,32	38,42
<b>Marzo</b>	55,769	7,67	15,55	59,32	74,87
<b>Total</b>	356,454	477,67		415,24	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 33 durante todos los meses que duro el ciclo vegetativo del cultivo de maíz la lámina neta de riego a aplicarse es suficiente por lo que no es necesario reprogramar el riego

#### f. Evapotranspiración y programación del riego para el cultivo de rye grass (*Lolium perenne*)

##### 1) Evapotranspiración del cultivo de rye grass (*Lolium perenne*)

Tabla 34. Cálculo de Etc para Rye grass en 60 días cada corte

Mes	Evap (mm/día)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Eto (mm/día)	Etc (mm/mes)	Mes
<b>Primer corte</b>							
<b>Enero</b>	3,28	0,83	2,72		1,06	2,89	89,70
<b>Febrero</b>	3,22	0,83	2,67		0,11	0,30	8,41
						<b>Subtotal</b>	98,11
<b>Segundo corte</b>							
<b>Marzo</b>	2,74	0,83	2,27		1,06	2,42	74,93
<b>Abril</b>	2,62	0,83	2,17		0,11	0,24	7,33
						<b>Subtotal</b>	82,26
<b>Tercer corte</b>							
<b>Mayo</b>	2,56	0,83	2,12		1,06	2,26	70,01
<b>Junio</b>	2,44	0,83	2,03		0,11	0,23	6,83
						<b>Subtotal</b>	76,83
<b>Cuarto corte</b>							
<b>Julio</b>	2,5	0,83	2,08		1,06	2,21	68,37
<b>Agosto</b>	2,81	0,83	2,33		0,11	0,26	8,12
						<b>Subtotal</b>	76,49
<b>Quinto corte</b>							
<b>Septiembre</b>	2,98	0,83	2,47		1,06	2,63	78,87
<b>Octubre</b>	3,03	0,83	2,51		0,11	0,28	8,76
						<b>Subtotal</b>	87,62
<b>Sexto corte</b>							
<b>Noviembre</b>	3,24	0,83	2,68		1,06	2,86	85,75
<b>Diciembre</b>	2,97	0,83			0,11		
			2,46			0,28	8,59
						<b>Subtotal</b>	94,33

<b>Total</b>	515,65
--------------	--------

La tabla 34 indica los valores de evapotranspiración real (Etc) en el cultivo de rye grass durante todos sus cortes a lo largo del año. El cultivo presento una evapotranspiración real de 98,11mm durante su primer corte, para su segundo corte presenta una Etc de 82,26 mm, durante su tercer corte presento una Etc de 76,83 mm, para su cuarto corte presento una Etc 76,49 mm , en su quinto corte presento una Etc de 87,62 mm y finalmente durante su último corte presento una Etc de 94,33 mm, esto se correlaciona con lo manifestado por Terán *et al* (2007), indican que la función de producción para pasto rye grass en el entorno edafoclimático respondió a una línea recta en la cual el segmento más prolongado presenta un máximo de 410 mm anuales de acuerdo al modelo Aquacrop, posibles discrepancias con el requerimiento hídrico obtenidas en la presente investigación con 515,65 mm para rye grass pueden ser debido a diferentes condiciones edafoclimáticas en la zona de estudio.

### 3) Programación del riego para el cultivo de rye grass (*Lolium perenne*)

1. De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta para el rye grass es de 39,31 mm que se aplicara mediante el riego en un intervalo de 29 días para cada corte
- 2.- La necesidad hídrica total para el cultivo de rye grass es de 515,65 mm (Según la tabla 34)
3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo vegetativo el cultivo es de =  $515,65\text{mm}/39,31\text{mm} = 8,61$  riegos que redondeando nos da 9 riegos en todo el año. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes mediante la siguiente expresión:

$$29 \text{ días.} \rightarrow .39, 31 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 40,66 \text{ mm}$$

**Tabla 35.** Programación del riego para el cultivo de rye grass

Mes	Precip. (mm/mes)	Etc (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Lámina neta (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Primer corte</b>					
<b>Enero</b>	49,784	89,70	-39,916	40,66	
<b>Febrero</b>	55,769	8,41	47,359	40,66	88,019
	<b>Subtotal</b>	98,11			
<b>Segundo corte</b>					
<b>Marzo</b>	64,624	72,22	-10,306	40,66	30,354
<b>Abril</b>	75,138	7,06	67,808	40,66	108,468
	<b>Subtotal</b>	79,29			
<b>Tercer corte</b>					

<b>Mayo</b>	74,501	67,48	4,491	40,66	45,151
<b>Junio</b>	66,038	6,58	59,208	40,66	99,868
	<b>Subtotal</b>	74,06			
<b>Cuarto corte</b>					
<b>Julio</b>	55,461	65,90	-12,90	40,66	27,751
<b>Agosto</b>	42,833	7,83	34,71	40,66	75,373
	<b>Subtotal</b>	73,73			
<b>Quinto corte</b>					
<b>Septiembre</b>	35,084	76,02	-43,78	40,66	-3,126
<b>Octubre</b>	35,861	8,44	27,10	40,66	67,761
	<b>Subtotal</b>	84,46			0,744
<b>Sexto corte</b>					
<b>Noviembre</b>	33,761	82,65	-48,89	40,66	-8,23
<b>Diciembre</b>	38,738	8,28	30,46	40,66	71,12
	<b>Subtotal</b>	90,92			
<b>Total</b>	627,592	515,65		487,92	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 35 durante todos los meses que duro el ciclo vegetativo del cultivo del rye grass con excepción de septiembre la lámina neta a aplicarse sería suficiente, entonces debemos reprogramar el riego para este mes de déficit, siguiendo la metodología anterior. Por lo que calculamos el número de riegos durante estos 30 días y tendremos=  $76,02 \text{ mm} / 39,31 \text{ mm} = 1,93$  redondeando nos da 2 riegos que en 30 días significan un riego cada 15 días, La lámina neta mensual en septiembre se determina mediante la siguiente expresión:

$$15 \text{ días.} \rightarrow 39,31 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 78,62 \text{ mm}$$

**Tabla 36.** Reprogramación del riego para el cultivo de rye grass

<b>Mes</b>	<b>Precip. (mm/mes)</b>	<b>Etc(mm/mes)</b>	<b>Req. Riego (mm/mes)</b>	<b>Ln(mm/mes)</b>	<b>Balance hídrico (mm/mes)</b>
Septiembre	35,08	76,02	--40,93	78,62	37,68

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 36 durante el mes de septiembre se regaría con una lámina neta de 19,18 mm con una frecuencia de 6 días y la lámina neta mensual a aplicarse sería de 37,68 mm.

### **g. Evapotranspiración para una plantación de pino**

**Tabla 37.** Cálculo de Etc para una plantación de pino

<b>Mes</b>	<b>Evap.</b>	<b>Kp</b>	<b>Eto</b>	<b>Kc</b>	<b>Etc</b>	<b>Etc</b>
------------	--------------	-----------	------------	-----------	------------	------------

	(mm/día)		(mm/día)		(mm/día)	(mm/mes)
<b>Enero</b>	3,31	0,80	2,75	0,32	0,89	27,53
<b>Febrero</b>	2,98	0,80	2,47	0,57	1,43	40,09
<b>Marzo</b>	3,12	0,80	2,59	0,78	2,02	62,65
<b>Abril</b>	2,95	0,80	2,45	0,92	2,27	68,18
<b>Mayo</b>	2,82	0,80	2,34	1,02	2,39	74,16
<b>Junio</b>	2,59	0,80	2,15	1,06	2,28	68,48
<b>Julio</b>	2,54	0,80	2,11	1,04	2,21	68,48
<b>Agosto</b>	2,95	0,80	2,45	0,97	2,40	74,38
<b>Septiembre</b>	3,18	0,80	2,64	0,85	2,26	67,94
<b>Octubre</b>	3,33	0,80	2,76	0,68	1,89	58,45
<b>Noviembre</b>	3,24	0,80	2,69	0,45	1,22	36,51
<b>Diciembre</b>	3,3	0,80	2,74	0,16	0,46	14,34
<b>Total</b>						661,19

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 37 indica que durante el periodo enero a diciembre la mayor demanda evapotranspirativa se presentó en el mes de agosto con 74,38 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico, y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue diciembre con 14,34 mm. Mencionar que la plantación de pino durante el tiempo de estudio presentó una demanda hídrica de 661,19 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por Vinuesa (2003), que señala que la plantación de pino necesita de 700 a 1200 mm de precipitación anual en las condiciones climáticas propias de la sierra ecuatoriana; posibles discrepancias con los datos obtenidos en la presente investigación pueden darse debido a las diferentes condiciones edafoclimáticas que se tienen dentro de la zona de estudio.

#### **h. Evapotranspiración y programación del riego para el cultivo de alfalfa (*Medica sativa*)**

##### **1) Evapotranspiración para el cultivo de alfalfa (*Medica sativa*)**

**Tabla 38.** Cálculo de Etc para un cultivo de alfalfa.

Mes	Evap (mm/día)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)	Etc (mm/mes)
<b>Primer corte</b>						
<b>Enero</b>	3,31	0,83	2,75	0,03	0,09	2,69
<b>Febrero</b>	2,98	0,83	2,47	0,96	2,39	67,06
<b>Marzo</b>	3,12	0,83	2,59	0,11	0,29	9,03
					<b>Subtotal</b>	78,77
<b>Segundo corte</b>						
<b>Abril</b>	2,95	2,95	2,4485	0,03	0,08	2,32

<b>Mayo</b>	2,82	2,82	2,3406	0,96	2,27	70,26
<b>Junio</b>	2,59	2,59	2,1497	0,11	0,24	7,25
<b>Subtotal</b>						79,82
<b>Tercer corte</b>						
<b>Julio</b>	2,54	0,83	2,1082	0,03	0,07	2,06
<b>Agosto</b>	2,95	0,83	2,4485	0,96	2,37	73,50
<b>Septiembre</b>	3,18	0,83	2,6394	0,11	0,30	8,91
<b>Subtotal</b>						84,47
<b>Cuarto corte</b>						
<b>Octubre</b>	3,33	0,83	2,76	0,03	0,09	2,70
<b>Noviembre</b>	3,24	0,83	2,69	0,96	2,60	78,12
<b>Diciembre</b>	3,30	0,83	2,74	0,11	0,31	9,55
<b>Subtotal</b>						90,37
<b>Total</b>						333,44

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 38 indica los valores de evapotranspiración en el cultivo de alfalfa durante todos sus cortes en el año. El cultivo presento una evapotranspiración de 78,77 mm durante su primer corte, para su segundo corte presento una Etc de 79,82 mm, durante su tercer corte presento una Etc de 84,47 mm, y durante su cuarto corte presento una Etc de 90,37 mm, obteniéndose un total de cuatro cortes a lo largo del año lo que se corrobora con lo manifestado por Gutiérrez (2002), que dice que las cortas que se le pueden dar a un alfalfar durante un año suelen ser de unas cinco o seis en alfalfas de regadío y dos o tres en alfalfas de secano.

## 2) Programación del riego

1. De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta es de 85,66 mm que se aplicaran mediante el riego durante un intervalo de 93 días
- 2.- Conocer la necesidad de agua en mm durante el ciclo vegetativo para este caso es de 333,44 mm (Según la tabla 43).
3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo vegetativo el cultivo es de  $= 333,44 \text{ mm} / 85,66 \text{ mm} = 3,89$  riegos que redondeando nos da 4 riegos
4. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes mediante la siguiente expresión

93 días.  $\rightarrow 85,66 \text{ mm}$

30 días  $\rightarrow x = 27,63 \text{ mm}$

**Tabla 39.** Programación del riego para el cultivo de alfalfa (*Medica sativa*)

Mes	Precipitación (mm/mes)	Eto (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Lámina neta (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Primer corte</b>					
<b>Enero</b>	49,784	2,68	56,96	27,63	128,33
<b>Febrero</b>	55,769	67,05	-16,92	27,63	54,45
<b>Marzo</b>	64,624	9,02	36,32	27,63	107,69
<b>Segundo corte</b>					
<b>Abril</b>	75,138	2,32	51,31	27,63	122,68
<b>Mayo</b>	74,501	70,26	-9,22	27,63	62,15
<b>Junio</b>	66,038	7,25	38,47	27,63	109,84
<b>Tercer corte</b>					
<b>Julio</b>	55,461	2,06	38,84	27,63	110,21
<b>Agosto</b>	42,833	73,50	-41,16	27,63	30,21
<b>Septiembre</b>	35,084	8,91	17,08	27,63	88,45
<b>Cuarto corte</b>					
<b>Octubre</b>	35,861	2,70	45,21	27,63	116,58
<b>Noviembre</b>	33,761	78,12	-13,79	27,63	57,58
<b>Diciembre</b>	38,738	9,55	67,22	27,63	138,59
<b>Total</b>	603,75	333,44		331,56	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 39 durante todos los meses que dura el ciclo vegetativo de la alfalfa con excepción de agosto la lámina neta a aplicarse sería suficiente, sin embargo durante este mes donde se presenta un déficit se debe reprogramar el riego siguiendo la metodología anterior. El número de riegos durante estos 30 días es de  $73,50 \text{ mm} / 27,63 \text{ mm} = 2,66$  redondeando nos da 3 riegos que en 30 días significan un riego cada 10 días. La lámina neta mensual se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$10 \text{ días.} \rightarrow 27,63 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 82,89 \text{ mm}$$

**Tabla 40.** Reprogramación del riego para el cultivo de rye grass

Mes	Precip. Efectiva	Etc (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Ln(mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
Agosto	42,83	73,50	-41,16	82,89	41,73

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 40 durante el mes de agosto se regaría con una lámina neta de 27,63 mm con una frecuencia de 10 días y la lámina neta mensual a aplicarse es de 82,89 mm.

### i. Evapotranspiración de la vegetación arbustiva

Tabla 41. Cálculo del requerimiento para la vegetación arbustiva húmeda

Mes	Evap	Kp	Eto/ día (mm)	Kc	Etc/día	Etc/mes (mm)
<b>Enero</b>	3,31	0,80	2,75	0,3232	0,89	27,53
<b>Febrero</b>	2,98	0,80	2,47	0,5788	1,43	40,09
<b>Marzo</b>	3,12	0,80	2,59	0,7804	2,02	62,65
<b>Abril</b>	2,95	0,80	2,45	0,9282	2,27	68,18
<b>Mayo</b>	2,82	0,80	2,34	1,0220	2,39	74,16
<b>Junio</b>	2,59	0,80	2,15	1,0619	2,28	68,48
<b>Julio</b>	2,54	0,80	2,11	1,0478	2,21	68,48
<b>Agosto</b>	2,95	0,80	2,45	0,9799	2,40	74,38
<b>Septiembre</b>	3,18	0,80	2,64	0,8580	2,26	67,94
<b>Octubre</b>	3,33	0,80	2,76	0,6822	1,89	58,45
<b>Noviembre</b>	3,24	0,80	2,69	0,4525	1,22	36,51
<b>Diciembre</b>	3,3	0,80	2,74	0,1688	0,46	14,34
<b>Total</b>						661,19

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 41 indica los valores de evapotranspiración real para la vegetación arbustiva húmeda existente en la cuenca media el valor máximo registrado a lo largo del año fue de 74,38 mm en agosto debido a que en este periodo se suscitan la menor cantidad de lluvias, en contraste el valor mínimo registrado se presentó durante el mes de diciembre con 14,34 mm.

## 11. Demanda hídrica y programación del riego en los cultivos de la zona alta

### a. Evapotranspiración y programación del riego para los cultivos de pasto azul y trébol.

#### 1) Evapotranspiración para el cultivo de pasto azul (*Poa pratensis*) y trébol (*Trifolium sp.*).

Tabla 42. Cálculo del requerimiento hídrico de un cultivo de pasto azul y trébol

Mes	Evap (mm/día)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)	Etc (mm/ mes)
<b>Primer corte</b>						

<b>Enero</b>	3,07	0,78	2,39	0,93	2,24	69,43
<b>Febrero</b>	2,8	0,78	2,18	0,96	2,11	59,21
<b>Marzo</b>	2,78	0,78	2,17	0,11	0,24	7,57
					<b>Subtotal</b>	136,21
<b>Segundo corte</b>						
<b>Abril</b>	2,66	0,78	2,07	0,93	1,94	58,21
<b>Mayo</b>	2,38	0,78	1,86	0,96	1,80	55,72
<b>Junio</b>	2,02	0,78	1,58	0,11	0,18	5,32
					<b>Subtotal</b>	119,26
<b>Tercer corte</b>						
<b>Julio</b>	2,06	0,78	1,61	0,93	1,50	46,58
<b>Agosto</b>	2,35	0,78	1,83	0,96	1,77	55,02
<b>Septiembre</b>	2,7	0,78	2,11	0,11	0,24	7,11
					<b>Subtotal</b>	108,72
<b>Cuarto corte</b>						
<b>Octubre</b>	2,87	0,78	2,24	0,93	2,09	64,90
<b>Noviembre</b>	2,92	0,78	2,28	0,96	2,21	66,16
<b>Diciembre</b>	2,85	0,78	2,22	0,11	0,25	7,76
					<b>Subtotal</b>	138,82
<b>Total</b>						503,01

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 42 indica que en el primer corte para el cultivo de pasto azul y trébol se determinó una evapotranspiración real de 136,21mm, para su segundo corte fue de 119,26 mm, durante su tercer corte presento una evapotranspiración real de 108,72 mm, y en su último corte presentó una evapotranspiración real de 138,82 mm, esto se correlaciona con lo manifestado por Crystal (2000), que señala que el cultivo de pasto azul y trébol necesita de 700 a 1200 mm de precipitación durante su ciclo vegetativo.

## 2) Programación del riego

1. De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta para el cultivo de pasto azul y tréboles de 53,35mm que se aplicaran mediante el riego durante un intervalo de 39 días.
2. La demanda hídrica total del cultivo es de 503,01 mm (Según la tabla 42)
3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo vegetativo el cultivo es de  $503,01\text{mm}/53,85\text{ mm} = 9,34$  riegos que redondeando nos da 9 riegos durante todo el año
4. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes, mediante la siguiente expresión:

$$39 \text{ días.} \rightarrow 53,85 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 41,42 \text{ mm}$$

**Tabla 43.** Programación del riego para el cultivo de pasto azul y trébol

Mes	Precipitación (mm/mes)	Etc (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Lámina neta (mm/me)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Primer corte</b>					
<b>Enero</b>	55,692	69,43	13,73	41,42	55,15
<b>Febrero</b>	61,761	59,21	-2,55	41,42	38,87
<b>Marzo</b>	76,692	7,57	-69,12	41,42	-27,70
<b>Subtotal</b>		136,21			
<b>Segundo corte</b>					
<b>Abril</b>	79,338	58,21	-21,12	41,42	20,30
<b>Mayo</b>	78,309	55,72	-22,59	41,42	18,83
<b>Junio</b>	74,515	5,32	-69,19	41,42	-27,77
<b>Subtotal</b>		119,26			
<b>Tercer corte</b>					
<b>Julio</b>	65,961	46,58	-19,38	41,42	22,04
<b>Agosto</b>	61,761	55,02	-6,74	41,42	34,68
<b>Septiembre</b>	51,03	7,11	-43,92	41,42	-2,50
		108,72			
<b>Cuarto corte</b>					
<b>Octubre</b>	48,538	64,90	16,36	41,42	57,78
<b>Noviembre</b>	41,846	66,16	24,31	41,42	65,73
<b>Diciembre</b>	41,069	7,76	-33,31	41,42	8,11
		138,82			
<b>Total</b>	736,512	503,01		497,02	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 43 durante todos los meses del ciclo vegetativo del pasto azul y trébol la lámina neta de riego a aplicarse que es de 41,42 mm en cada mes es suficiente frente a la demanda hídrica mensual.

## **b. Evapotranspiración y programación del riego para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)**

### **1) Evapotranspiración para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).**

**Tabla 44.** Cálculo del requerimiento hídrico para un cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Mes	Evap (mm/día)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Eto (mm/día)	Etc (mm/mes)
<b>Junio</b>	2,02	0,78	1,58	0,4632	0,73	21,90
<b>Julio</b>	2,06	0,78	1,61	0,7881	1,27	39,26
<b>Agosto</b>	2,35	0,78	1,83	0,9879	1,81	56,14
<b>Septiembre</b>	2,7	0,78	2,11	1,0628	2,24	67,15

<b>Octubre</b>	2,87	0,78	2,24	1,0127	2,27	70,28
<b>Noviembre</b>	2,92	0,78	2,28	0,8376	1,91	57,23
<b>Diciembre</b>	2,85	0,78	2,22	0,5374	1,19	37,04
<b>Enero</b>	3,07	0,78	2,39	0,1123	0,27	8,34
<b>Total</b>						357,33

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 44 indica que durante el periodo junio a noviembre la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de octubre con 70,28 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico, y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue enero con 8,34 mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Mencionar que el cultivo de papa durante todo su ciclo vegetativo presento una demanda hídrica de 357,33 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por INIAP (2014), que dice que el requerimiento hídrico de la papa durante todo el ciclo varía desde los 400 a 500 mm., además indica que la etapa crítica del cultivo se presenta durante la floración y la tuberización. Posibles discrepancias con el requerimiento hídrico obtenido en la presente investigación pueden ser debido a factores como: periodos prolongados de luminosidad, verano con fuertes vientos, ubicación geográfica, altitudinal y topográfica en la zona de estudio INAMHI (2010).

## 2) Programación del riego

1. La lámina neta para el cultivo de papa es de 24,41 mm que se aplicara mediante el riego durante un intervalo de 17 días
2. La necesidad hídrica total del cultivo es de 357,33mm
3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo vegetativo el cultivo es de  $357,33\text{mm}/24,41\text{ mm}=14,63$  riegos que redondeando nos da 15 riegos.
4. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes mediante la siguiente expresión

$$17 \text{ días. } \rightarrow 24,41 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días } \rightarrow x = 43,07 \text{ mm}$$

**Tabla 45.** Programación del riego para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

<b>Mes</b>	<b>Precip. (mm/mes)</b>	<b>Eto (mm/mes)</b>	<b>Req. riego</b>	<b>Ln(mm/mes)</b>	<b>Balance hídrico (mm/mes)</b>
<b>Junio</b>	55,69	21,90	29,37	43,07	72,44
<b>Julio</b>	35,98	39,26	-13,81	43,07	29,26
<b>Agosto</b>	55,86	56,14	-12,70	43,07	30,37

<b>Septiembre</b>	68,80	67,15	-3,82	43,07	39,25
<b>Octubre</b>	80,75	70,28	10,96	43,07	54,03
<b>Noviembre</b>	75,88	57,23	13,70	43,07	56,77
<b>Diciembre</b>	59,66	37,04	26,80	43,07	69,87
<b>Enero</b>	51,24	8,34	43,69	43,07	86,76
<b>Total</b>	483,88	357,33		344,56	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 45 durante todos los meses que duro el ciclo vegetativo de la papa la lámina neta mensual a aplicarse de 43,07 mm es suficiente frente a la demanda hídrica mensual del cultivo por lo que no es necesario realizar una nueva programación del riego.

### c. Evapotranspiración y programación del riego para el cultivo de haba (*Vicia faba*)

#### 1) Evapotranspiración para el cultivo de haba (*Vicia faba*)

**Tabla 46.** Cálculo la evapotranspiración del cultivo de haba (*Vicia faba*)

<b>Mes</b>	<b>Evap (mm/día)</b>	<b>Kp</b>	<b>Eto (mm/día)</b>	<b>Kc</b>	<b>Etc (mm/mes)</b>	<b>Balance hídrico (mm/mes)</b>
<b>Agosto</b>	2,35	0,78	1,83	0,41	0,77	23,83
<b>Septiembre</b>	2,7	0,78	2,11	0,72	1,53	45,91
<b>Octubre</b>	2,87	0,78	2,24	0,93	2,09	64,90
<b>Noviembre</b>	2,92	0,78	2,28	1,04	2,38	71,40
<b>Diciembre</b>	2,85	0,78	2,22	1,05	2,35	72,77
<b>Enero</b>	3,07	0,78	2,39	0,96	2,32	71,88
<b>Febrero</b>	2,8	0,78	2,18	0,78	1,71	47,81
<b>Marzo</b>	2,78	0,78	2,17	0,49	1,08	33,38
<b>Abril</b>	1,33	0,78	1,04	0,01	1,60	0,20
<b>Total</b>						389,89

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 46 indica que durante el periodo agosto a abril la mayor demanda evapotranspirativa del cultivo se presentó en el mes de diciembre con 72,77 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico, y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue abril 0,20 mm donde el cultivo se encuentra en la etapa de maduración. Mencionar que el cultivo de haba durante todo su ciclo vegetativo presento una demanda hídrica de 389,89 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por INIAP (2014), que dice que los valores máximos de Kc para el cultivo de haba se alcanzan en la floración manteniéndose durante la fase media, finalmente decrece durante la fase de maduración.

Además, Crystal (2000), menciona que el cultivo de haba necesita de 600 a 1000 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas interandinas, posibles discrepancias con los datos en la presente investigación pueden ser debido a las diferentes condiciones edafoclimáticas que se tiene en el lugar de estudio

### 3) Programación del riego

1 De acuerdo a la tabla 11 la lámina neta es de 25,67 mm mismos que se aplicaran mediante el riego con un intervalo de 16 días

2.- La necesidad hídrica durante el ciclo vegetativo para el cultivo es de 389,89 mm (Según la tabla 46).

3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo vegetativo del cultivo es de  $389,89 \text{ mm} / 25,67 \text{ mm} = 14,63$  riegos que redondeando nos da 15 riegos

4. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes, mediante la siguiente expresión:

$$16 \text{ días.} \rightarrow 25,67 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 48,13 \text{ mm}$$

**Tabla 47.** Programación del riego para el cultivo de haba (*Vicia faba*)

Mes	Precip. (mm/mes)	Eto (mm/mes)	Req. Riego (mm/mes)	Ln(mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Agosto</b>	61,76	26,32	35,44	48,13	83,57
<b>Septiembre</b>	51,03	49,79	1,24	48,13	49,37
<b>Octubre</b>	48,53	68,56	-20,02	48,13	28,11
<b>Noviembre</b>	41,84	72,62	-30,78	48,13	17,35
<b>Diciembre</b>	41,06	69,78	-28,72	48,13	19,41
<b>Enero</b>	55,69	62,17	-6,49	48,13	41,64
<b>Febrero</b>	61,76	32,86	28,89	48,13	77,02
<b>Marzo</b>	76,69	7,55	69,14	48,13	117,27
<b>Total</b>	438,38	389,68		385,04	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 47 durante los meses que duro el ciclo vegetativo del cultivo de haba la lámina neta de 48,13 mm satisface la demanda hídrica mensual por lo que no es necesario realizar una nueva programación del riego

### d. Evapotranspiración y programación del riego en el cultivo de avena forrajera.

#### 1) Cálculo de Etc para el ciclo de cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*).

**Tabla 48.** Cálculo de la Etc cultivo de avena (*Avena sativa*)

Mes	Evap	Kp	Eto/día	Kc	Etc/día	Etc mes
<b>Enero</b>	3,07	0,78	2,39	0,51	1,24	38,40
<b>Febrero</b>	2,80	0,78	2,10	0,85	1,87	52,47
<b>Marzo</b>	2,78	0,78	2,16	1,03	2,25	69,60
<b>Abril</b>	2,66	0,78	2,07	1,04	2,18	65,32
<b>Mayo</b>	2,38	0,78	1,85	0,90	1,67	51,80
<b>Junio</b>	2,02	0,78	1,57	0,58	0,93	27,77
<b>Julio</b>	2,06	0,78	1,60	0,11	0,18	5,55
<b>Total</b>	3,07	0,78				310,90

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 54 indica que durante el periodo de enero a julio el valor máximo de evapotranspiración para el cultivo de avena forrajera se presentó en marzo con 69,60 mm durante la etapa de mayor desarrollo fenológico descendiendo hasta un mínimo de 0,20 mm durante la etapa de maduración, *Avena Sativa* presento una evapotranspiración real de 380,64mm durante todo su ciclo vegetativo, esto se corrobora con lo manifestado por Terán *et al*, (2007), y expresan que la función de agua para avena forrajera respondió a una ecuación de segundo orden con un requerimiento hídrico de en 390 mm de agua aplicada para todo el ciclo del cultivo a través del programa Aquacrop

#### 3) Programación del riego

1. La lámina neta es de 24,41 mm de acuerdo a la tabla 13 que se aplicaran mediante el riego durante un intervalo de 17 días
2. La necesidad hídrica total del cultivo es de 310,90mm de acuerdo a la tabla 54.
3. El número de riegos a aplicarse durante todo el ciclo vegetativo el cultivo es de  $310,90 \text{ mm} / 24,41 \text{ mm} = 12,73$  riegos que redondeando nos da 13 riegos. Vemos luego que volumen de agua estamos entregando por mes mediante la siguiente expresión:

$$14 \text{ días.} \rightarrow 24,41 \text{ mm}$$

$$30 \text{ días} \rightarrow x = 52,30 \text{ mm}$$

**Tabla 49.** Programación del riego para el cultivo de Avena forrajera (*Avena sativa*)

Mes	Precip.	Eto	Req. Riego	Ln	Balance hídrico
-----	---------	-----	------------	----	-----------------

	(mm/mes)	(mm/mes)	(mm/mes)	(mm/mes)	(mm/mes)
<b>Enero</b>	55,69	38,40	17,29	52,30	17,29
<b>Febrero</b>	61,76	52,47	9,29	52,30	9,29
<b>Marzo</b>	76,69	69,60	7,09	52,30	7,09
<b>Abril</b>	79,33	65,32	14,02	52,30	14,02
<b>Mayo</b>	78,30	51,80	26,51	52,30	26,51
<b>Junio</b>	74,51	27,77	46,75	52,30	46,75
<b>Julio</b>	65,96	5,55	60,41	52,30	60,41
<b>Total</b>	492,26	310,91		366,11	

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 49 durante los meses que duro el ciclo vegetativo del cultivo de avena forrajera la lámina neta a aplicarse cada mes que es de 52,30 mm satisface la demanda hídrica mensual por lo que no es necesario realizar una nueva programación del riego

#### e. Evapotranspiración para una plantación de pino

Tabla 50. Cálculo de la Etc para una plantación de pino

Mes	Evap (mm/día)	Kp	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/mes)	Balance hídrico (mm/mes)
<b>Enero</b>	3,07	0,78	2,39	0,32	0,78	24,29
<b>Febrero</b>	2,8	0,78	2,18	0,58	1,28	35,79
<b>Marzo</b>	2,78	0,78	2,17	0,78	1,71	52,97
<b>Abril</b>	2,66	0,78	2,07	0,93	1,94	58,20
<b>Mayo</b>	2,38	0,78	1,86	1,02	1,91	59,09
<b>Junio</b>	2,02	0,78	1,58	1,06	1,67	50,24
<b>Julio</b>	2,06	0,78	1,61	1,04	1,68	51,97
<b>Agosto</b>	2,35	0,78	1,83	0,96	1,78	55,03
<b>Septiembre</b>	2,7	0,78	2,11	0,83	1,77	52,95
<b>Octubre</b>	2,87	0,78	2,24	0,65	1,46	45,26
<b>Noviembre</b>	2,92	0,78	2,28	0,41	0,94	28,06
<b>Diciembre</b>	2,85	0,78	2,22	0,11	0,25	7,84
<b>Total</b>			2,39			521,70

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 50 indica que durante el periodo enero a diciembre la mayor demanda evapotranspirativa se presentó en el mes de agosto con 55,03 mm siendo esta etapa la de mayor desarrollo fenológico, y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue diciembre con 7,84 mm. Mencionar que la plantación de pino durante el tiempo de estudio presento una demanda hídrica de 521,70 mm, lo que se correlaciona con lo manifestado por Vinuesa (2003), que señala que la plantación de pino necesita de 700 a 1200 mm de precipitación anual en las condiciones climáticas propias de la sierra ecuatoriana; posibles discrepancias

pueden darse debido a las diferentes condiciones edafoclimáticas que se tienen dentro de la zona de estudio.

#### f. Evapotranspiración para la vegetación arbustiva y nativa de páramo

**Tabla 51.** Cálculo de la Etc para la vegetación arbustiva húmeda y nativa del páramo

Mes	Evap	Kp	Eto/ día (mm)	Kc	Etc/día	Etc/mes (mm)
<b>Enero</b>	3,07	0,78	2,39	0,3272	0,78	24,29
<b>Febrero</b>	2,8	0,78	2,18	0,5853	1,28	35,79
<b>Marzo</b>	2,78	0,78	2,17	0,7880	1,71	52,97
<b>Abril</b>	2,66	0,78	2,07	0,9351	1,94	58,20
<b>Mayo</b>	2,38	0,78	1,86	1,0267	1,91	59,09
<b>Junio</b>	2,02	0,78	1,58	1,0628	1,67	50,24
<b>Julio</b>	2,06	0,78	1,61	1,0434	1,68	51,97
<b>Agosto</b>	2,35	0,78	1,83	0,9685	1,78	55,03
<b>Septiembre</b>	2,7	0,78	2,11	0,8381	1,77	52,95
<b>Octubre</b>	2,87	0,78	2,24	0,6522	1,46	45,26
<b>Noviembre</b>	2,92	0,78	2,28	0,4107	0,94	28,06
<b>Diciembre</b>	2,85	0,78	2,22	0,1138	0,25	7,84
<b>Total</b>			2,39			521,70

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 51 indica que durante el periodo enero a diciembre la mayor demanda evapotranspirativa se presentó en el mes de agosto con 55,03 mm, y el mes de menor demanda evapotranspirativa fue diciembre con 7,84 mm. Mencionar que la vegetación arbustiva y nativa de páramo durante el tiempo de estudio presento una demanda hídrica de 521,70 mm.

#### 12. Demanda hídrica de los cultivos en la zona baja media y alta

**Tabla 52.** Cálculo de la evapotranspiración real de acuerdo a la superficie y ciclo vegetativo en cada cultivo

Cultivo	Superficie (ha)	Etc (mm/m <sup>2</sup> )	Etc m <sup>3</sup> /ha	Etc/sup (m <sup>3</sup> )	Etc/sup (hm <sup>3</sup> )
<b>ZONA BAJA</b>					
<b>Cultivo de rye grass</b>	292,98	667,54	6675	1955758,69	1,96
<b>Pasto de corte Avena</b>	8,26	366,70	3667	30289,42	0,03
<b>Papa</b>	110,89	466,05	4661	516802,85	0,52
<b>Haba</b>	275,67	534,72	5347	1474062,62	1,47
<b>Plantación de</b>	86,15	751,30	7513	647244,95	0,65

<b>eucalipto</b>					
<b>Cebada</b>	22,11	534,88	5349	118261,97	0,12
<b>Vegetación herbácea</b>	29,58	751,30	7513	222234,54	0,22
<b>Vegetación arbustiva húmeda</b>	9,84	751,30	7513	73927,92	0,07
<b>Subtotal</b>	<b>835,48</b>	<b>4823,79</b>	<b>48237,90</b>	<b>5038582,96</b>	<b>5,04</b>
<b>ZONA MEDIA</b>					
<b>Papa</b>	581,32	436,06	4361	2534903,99	2,53
<b>Cebolla blanca</b>	58,80	421,16	4212	247642,08	0,25
<b>Haba</b>	266,52	476,89	4769	1271007,23	1,27
<b>Maíz</b>	121,95	477,93	4779	582835,64	0,58
<b>Avena forrajera</b>	114,98	380,64	3806	437659,87	0,44
<b>Plantación de eucalipto</b>	56,70	661,19	6612	374894,73	0,37
<b>Plantación de pino</b>	28,44	661,19	6612	188042,44	0,19
<b>Rye grass</b>	22,12	545,19	5452	120596,03	0,12
<b>Alfalfa</b>	0,68	333,44	3334	2267,39	0,0000 01
<b>Vegetación herbácea</b>	38,92	661,19	6612	257335,15	0,26
<b>Vegetación arbustiva</b>	107,12	661,19	6612	708266,73	0,71
<b>Subtotal</b>	<b>1397,55</b>	<b>5716,07</b>	<b>57160,70</b>	<b>6725451,27</b>	<b>6,72</b>
<b>ZONA ALTA</b>					
<b>Cultivo de pasto azul y trébol</b>	63,83	503	5030	321064,90	0,32
<b>Avena forrajera</b>	0,43	310,90	3109	1336,87	0,0001
<b>Plantación de Pino</b>	62,61	521,69	5217	326630,11	0,33
<b>Cultivo de papa</b>	6,2	357,33	3573	22154,46	0,02
<b>Cultivo de haba</b>	3,34	389,89	3899	13022,33	0,01
<b>Vegetación arbustiva de altura</b>	20	521,69	5217	104338,00	0,10
<b>vegetación nativa de páramo</b>	519,61	521,69	5217	2710753,41	2,71
<b>Subtotal</b>	<b>676,02</b>	<b>3126,190</b>	<b>31261,900</b>	<b>3499300,07</b>	<b>3,49</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>525,62</b>			<b>0,59</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2909,05</b>	<b>13666,050</b>	<b>136660,500</b>	<b>15263334,30</b>	<b>15,25</b>

Elaborado por: López, I. 2018

En la tabla 52 se indica que, durante el tiempo de estudio, la zona baja registró una Etc de 5,04 hm<sup>3</sup> para una superficie de 835,48 ha, para la zona media fue de 6,72 hm<sup>3</sup> para una superficie de 1397,55 ha y para la zona alta se registró una Etc de 3,49 hm<sup>3</sup> en una superficie de 676,02 ha. La demanda hídrica total de los cultivos en la microcuenca de la quebrada de Quillalli durante el tiempo de estudio fue de 15,25 hm<sup>3</sup>.

#### a. Balance hídrico de los cultivos en la zona baja, media y alta de la microcuenca.

**Tabla 53.** Requerimiento hídrico de los cultivos en la zona baja, media y alta de la microcuenca

Zona	Superficie (ha)	Oferta (hm <sup>3</sup> /año)	Demanda (Hm <sup>3</sup> /año)	Balance hídrico (Hm <sup>3</sup> /sup)	Observación
Baja	835,48	3,11	5,04	-1,93	Déficit
Media	1397,55	6,22	6,72	-0,50	Déficit
Alta	676,02	4,55	3,49	1,06	Superávit
<b>Total</b>	<b>2909,05</b>	<b>13,88</b>	<b>15,25</b>	<b>-1,37</b>	<b>Déficit</b>

Elaborado por: López, I. 2018

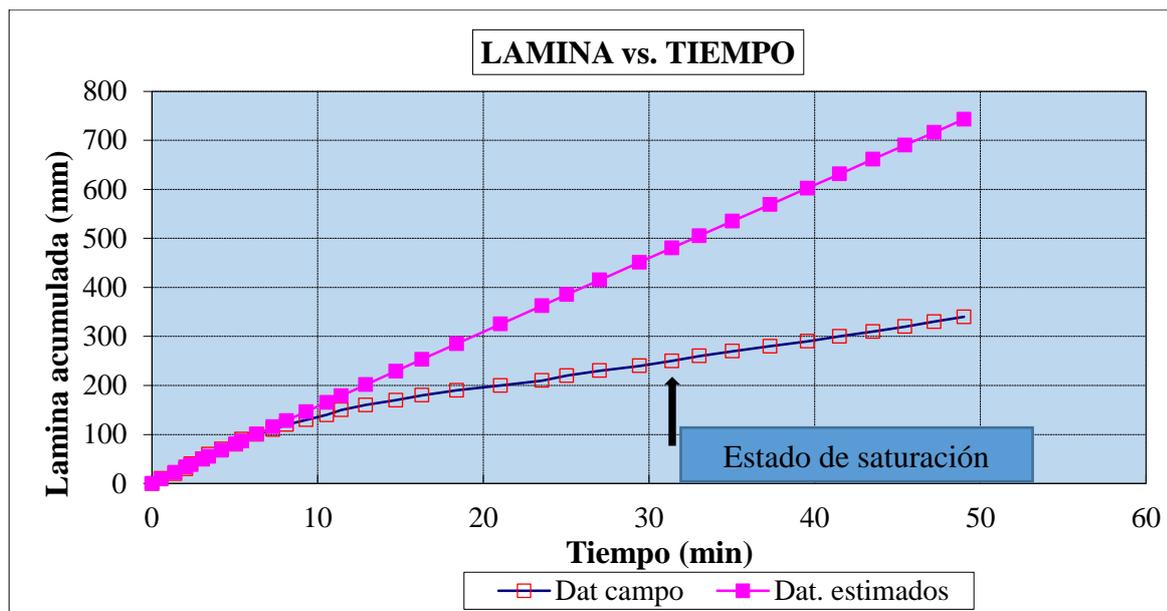
La tabla 53 indica que durante el tiempo de estudio en la zona baja la oferta hídrica fue de 3,11hm<sup>3</sup> frente a una demanda hídrica de 5,04 hm<sup>3</sup>, en la zona media la oferta hídrica es de 6,22hm<sup>3</sup> con una demanda hídrica de 6,72hm<sup>3</sup>, la zona alta presento una oferta hídrica de 4,55hm<sup>3</sup> frente a una demanda hídrica de 3,49hm<sup>3</sup>. Como se evidencia la oferta hídrica es mayor en la zona media, esto se debe a que aquí se tiene la mayor superficie de la microcuenca con 1397,55 ha. Por otra parte, en la zona alta donde se tiene apenas 676,02 ha de extensión se tiene una oferta hídrica de 4,55 hm<sup>3</sup>.

La demanda hídrica es mayor en la zona baja de la microcuenca con 5,04 hm<sup>3</sup> presentando un déficit de 1,93 hm<sup>3</sup>, la zona media también presenta déficit hídrico con 0,50 hm<sup>3</sup>. La zona alta es la que presenta superávit del recurso hídrico con 1,06Hm<sup>3</sup>. En total la microcuenca de la quebrada de Quillalli presento un déficit hídrico de 1,37 hm<sup>3</sup> recurso necesario para abastecer los requerimientos hídricos de los cultivos.

### 13. Tiempo para riego

#### a. Cuenca baja

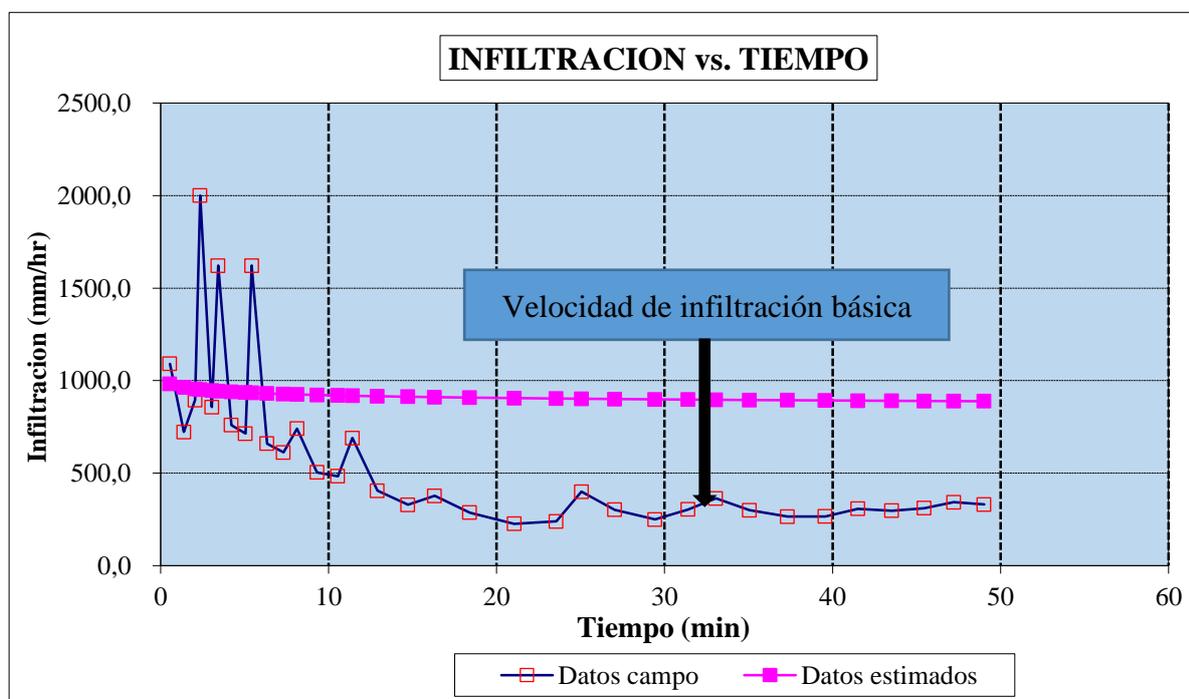
##### 1) Suelo con cultivo



**Gráfico 1.** Lámina vs Tiempo, suelo con cultivo

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 1 indica que a los 29,43 minutos cuando se han infiltrado unos 240mm de agua la capacidad de infiltración disminuye considerablemente, ya que el suelo ha llegado al estado de saturación y ya no se produce infiltración sino escorrentía

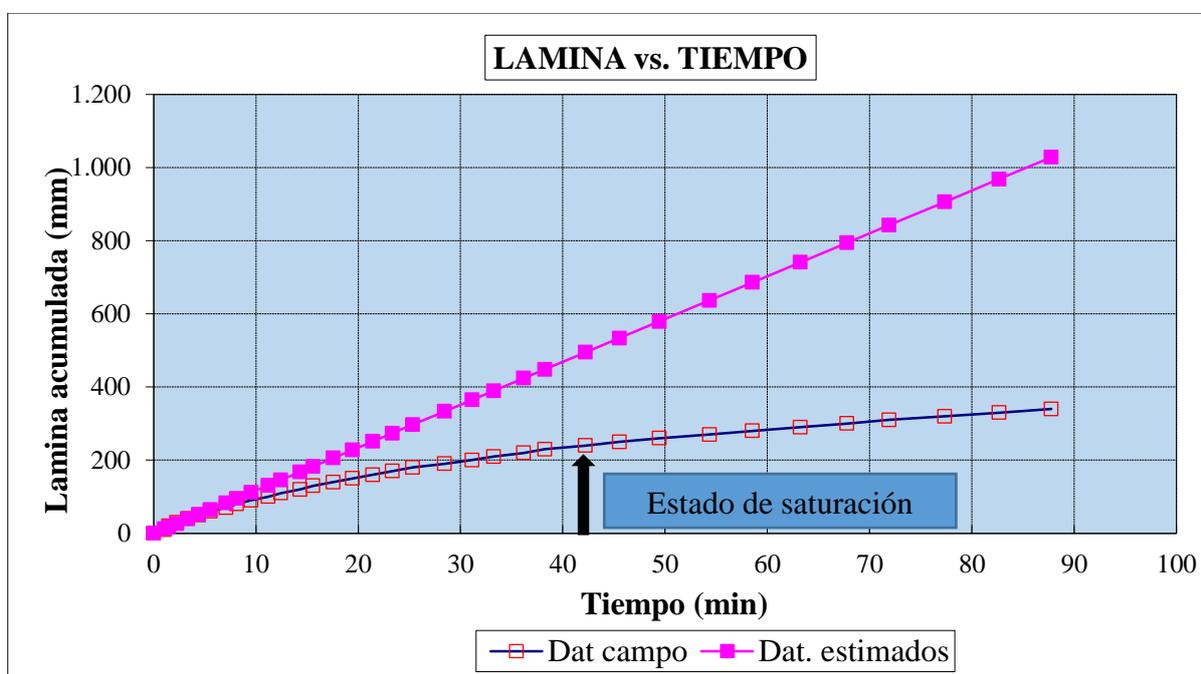


**Gráfico 2.** Curva infiltración vs tiempo, suelo con cultivo

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 2 indica que la velocidad de infiltración básica se alcanza a los 29,43 minutos cuando se estabiliza en 250mm/h. notándose una alta capacidad de infiltración, esto puede ser explicado por Gómez *et al.*, (2014), y manifiestan que en un suelo con cultivos la infiltración es moderadamente rápida ya que su estructura está constantemente alterada, presentando además rotaciones de su cobertura vegetal, ello influye en la cantidad de grietas causadas por los diversos cultivos, y en los movimientos de la tierra aumentando con ello la capacidad de infiltración, de acuerdo con esta dinámica este suelo con cultivos debe ser regado por 29,43 minutos para alcanzar el estado de saturación.

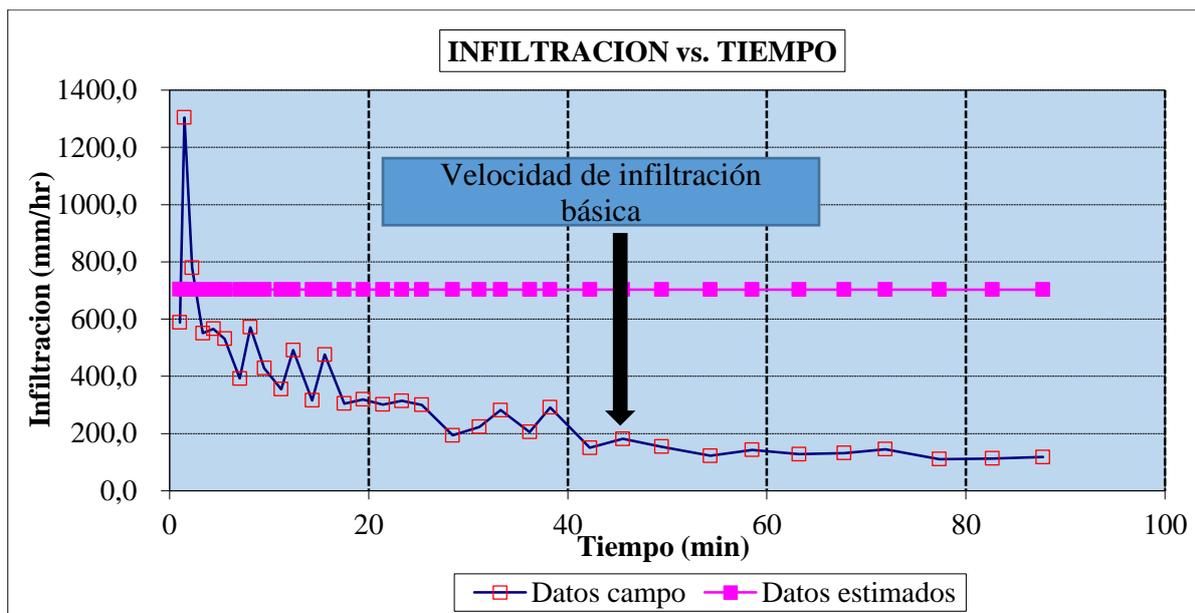
## 2) Suelo sin cobertura vegetal



**Gráfico 3.** Lámina vs tiempo, suelo sin cobertura vegetal

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 3 indica que a los 42,22 minutos cuando se han infiltrado unos 240mm de agua la capacidad de infiltración disminuye considerablemente, ya que el suelo ha llegado al estado de saturación y ya no se produce infiltración sino escorrentía.

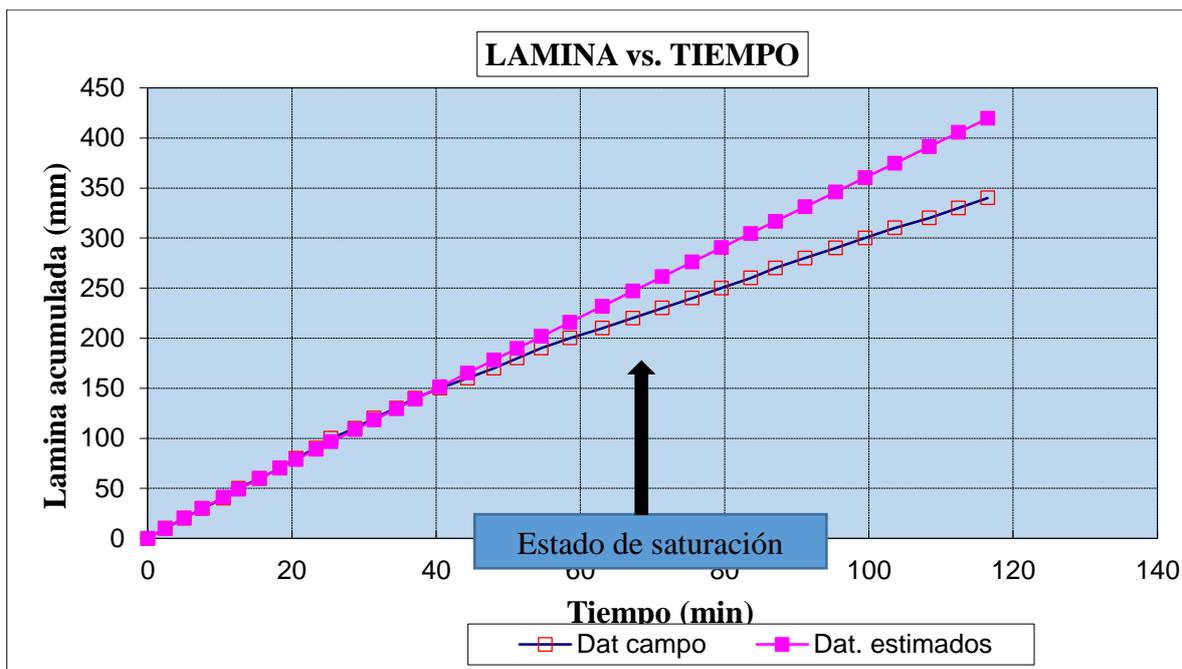


**Gráfico 4.** Curva de infiltración vs tiempo, suelo sin cobertura vegetal

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 4 indica que la velocidad de infiltración básica se alcanza a los 42,22 minutos cuando se estabiliza en 240 mm/h. Se evidencia que la velocidad de infiltración en este suelo desnudo es moderada lo que puede ser explicado por Derpsch (2006), indica que los suelos que están sin cobertura vegetal por un tiempo corto no presentan problemas de infiltración por la caída de las gotas de lluvia sobre su superficie ya que inmediatamente se aplicara la siembra directa u otro sistema de cobertura vegetal. En base a lo anterior expuesto este tipo de suelo debe ser regado por un tiempo 49,43 minutos para alcanzar el estado de saturación.

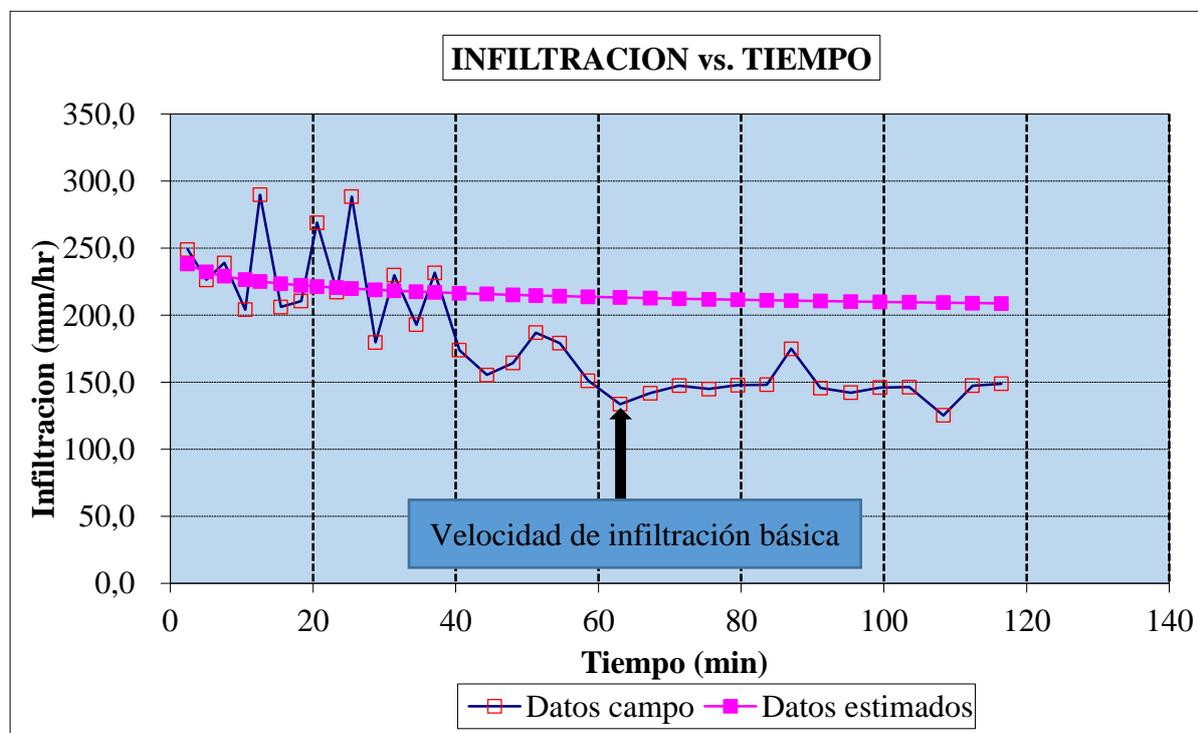
### 3) Suelo con pastizal



**Gráfico 5.** Lámina vs tiempo, suelo con pastizal

Elaborado por: López, I. 2018

El grafico 5 indica que la infiltracion es progresiva hasta llegar al minuto 63,04 cuando el suelo ha infiltrado unos 210mm de agua ya que ha llegado al estado de saturacion y lo tanto ya no existe infiltración, sino escorrentia.



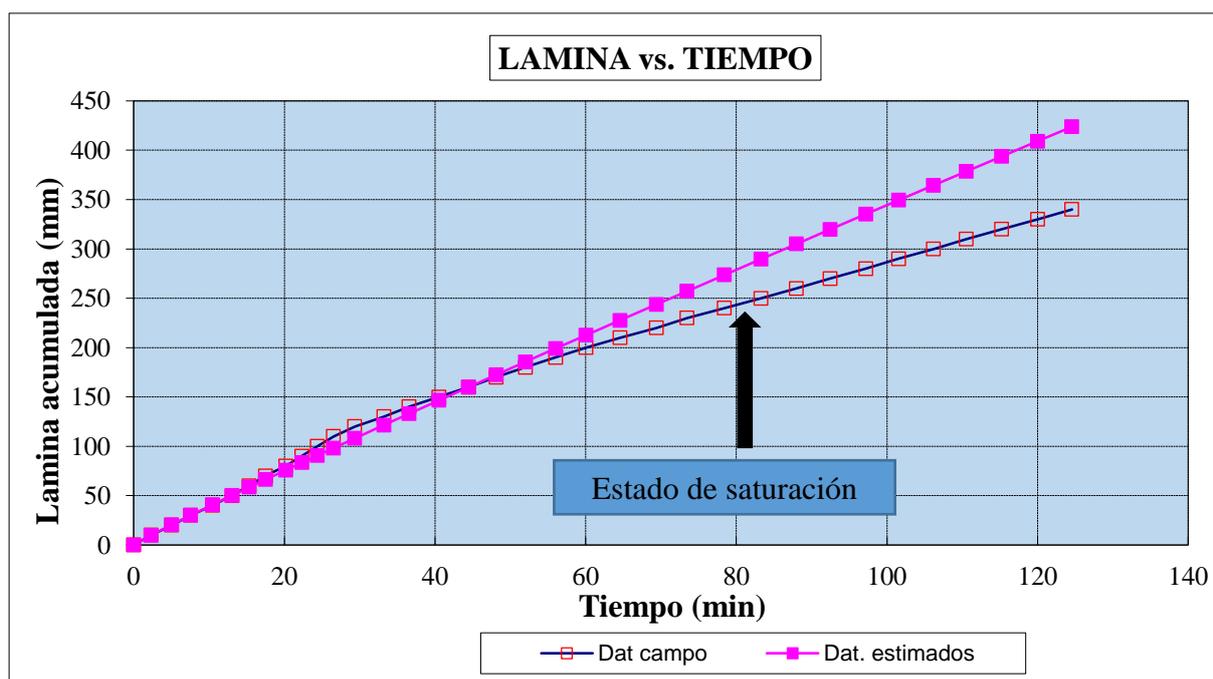
**Gráfico 6.** Curva infiltración vs tiempo, suelo con pastizal

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 6 indica que la velocidad de infiltración básica se alcanza a los 63,04 minutos cuando se estabiliza en 133,60mm/h. notándose que este tiempo es mucho mayor al compararlo con las coberturas anteriores, lo cual puede ser explicado por Gómez *et al.*, (2014), y manifiestan que las tierras con pastizales presentan una menor tasa de infiltración básica promedio y la alcanzan en un tiempo mayor en comparación con las tierras agrícolas y forestales, ya que su cobertura vegetal está constituida mayormente por gramíneas que forman matas gruesas y altas usados para el pastoreo de llamas, ovinos y vacunos, en forma continua y simultánea, sin ningún criterio técnico. Por lo cual este suelo se encuentra dentro de la categoría de infiltración moderada. De acuerdo con esta dinámica este suelo debe ser regado por 63,04 minutos para alcanzar el estado de saturación.

## b. Cuenca media

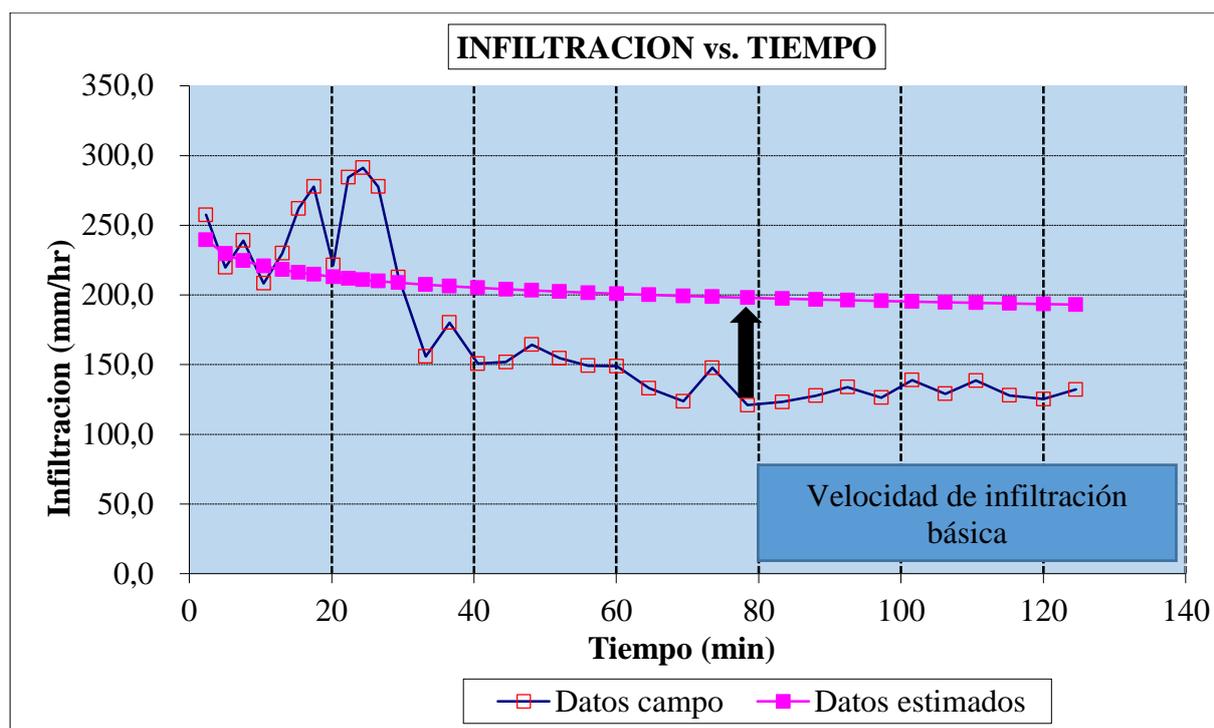
### 1) Suelo sin cobertura vegetal



**Gráfico 7-** Lamina vs tiempo, suelo sin cobertura vegetal

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 7 indica la cantidad de agua que se infiltra en un suelo sin cobertura vegetal, llegando al estado de saturación a partir del minuto 78,44 cuando se han infiltrado 240 mm de agua, desde este instante ya no se produce infiltración sino más bien escorrentía.

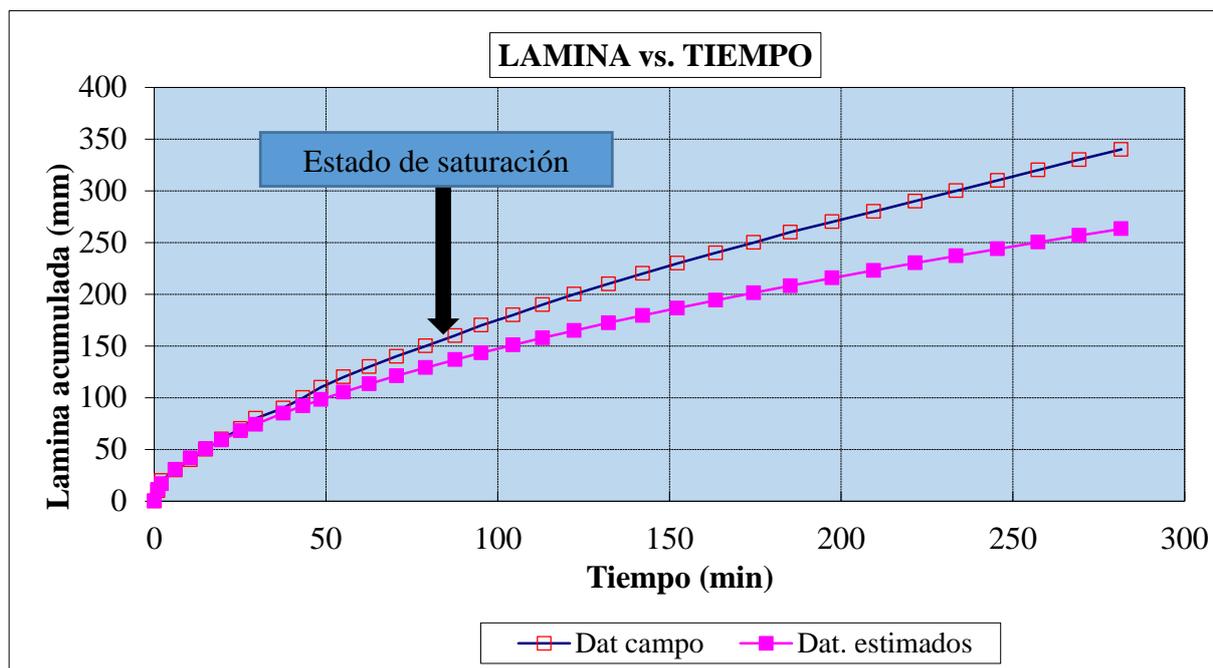


**Gráfico 8.** Curva Infiltración vs tiempo, suelo sin cobertura vegetal

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 8 indica que la velocidad de infiltración básica se alcanza a los 78,44 minutos cuando se estabiliza en 121mm/h. Cabe recalcar que el suelo de esta zona presenta una textura franco limo-arenosa PDOT Quisapincha (2015), y por tal motivo posee un moderado grado de infiltración al compáralo con el suelo de la cuenca baja donde se tuvo una alta capacidad de infiltración. De acuerdo con esta dinámica, a este suelo debe ser regado durante 78,44 minutos para alcanzar el estado de saturación.

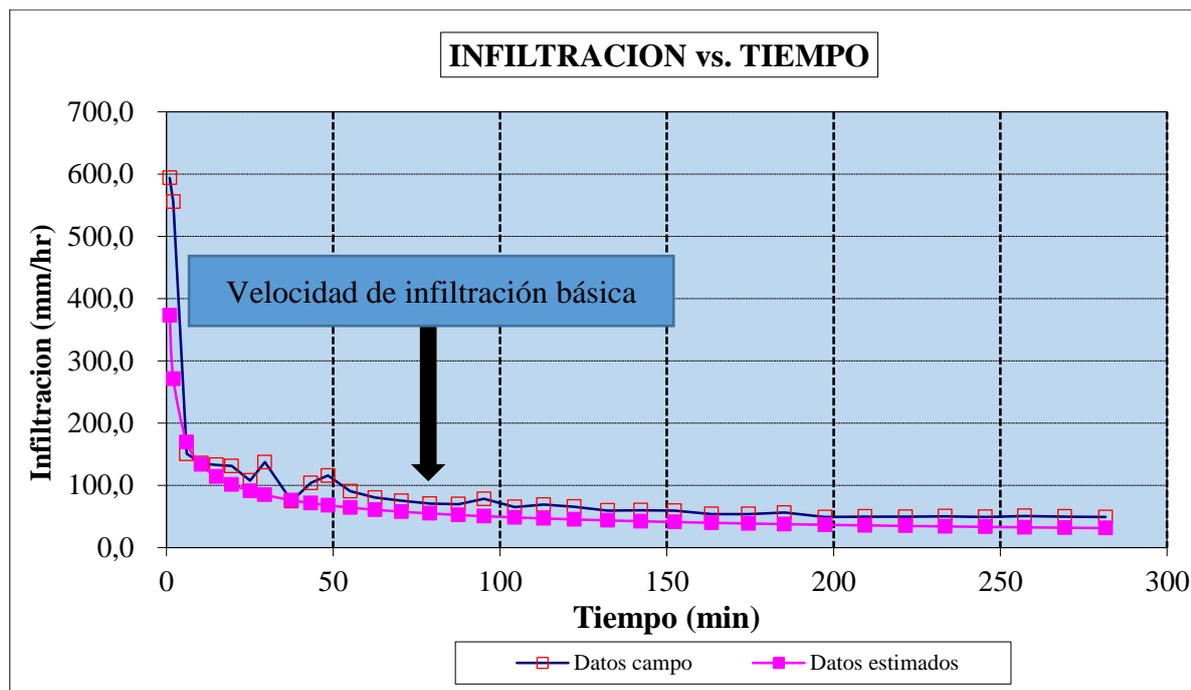
## 2) Suelo con cultivo



**Gráfico 9.** Lamina vs tiempo, suelo con cultivo

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 9 indica la cantidad de agua que se infiltra en un suelo con cultivos, llegando al estado de saturación a partir del minuto 79,01 cuando se han infiltrado 150 mm de agua, desde este instante ya no se produce infiltración sino más bien escorrentía.

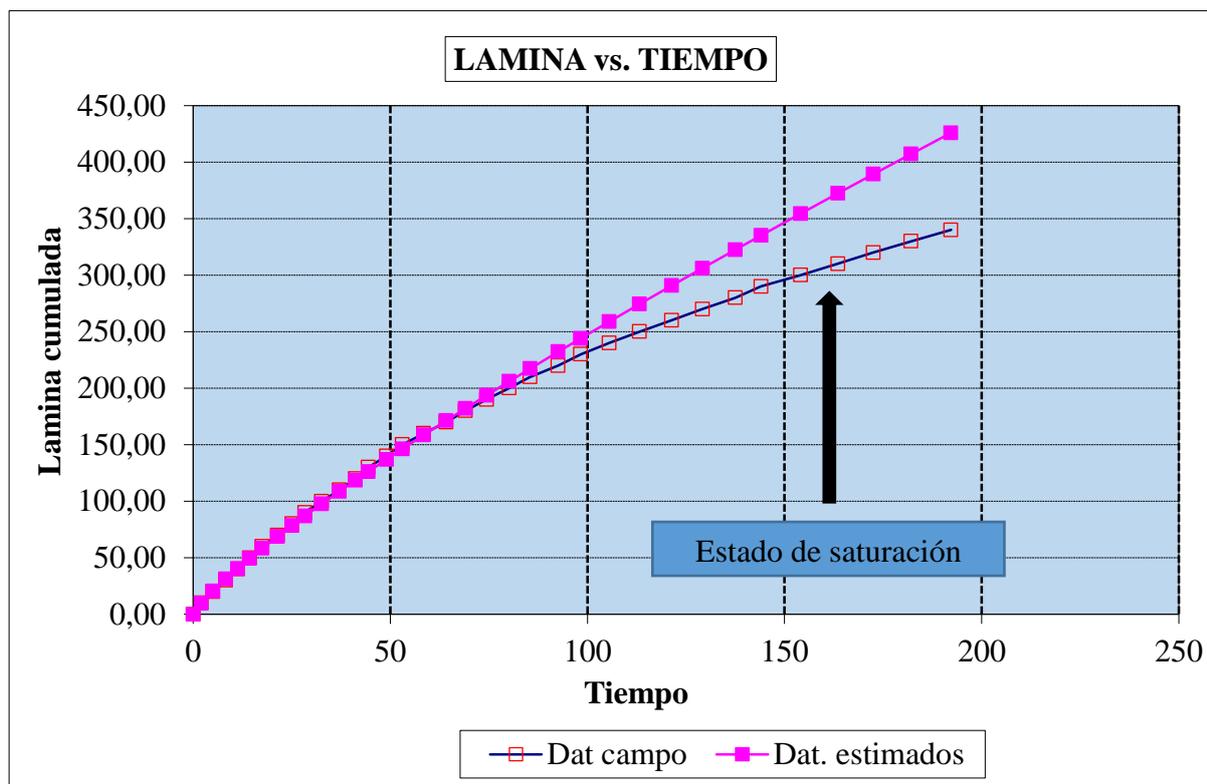


**Gráfico 10.** Curva de infiltración vs tiempo, suelo con cultivo

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 10 indica que la velocidad de infiltración básica se alcanza a los 79,01 minutos cuando se estabiliza en 70,6mm/h., lo cual es un tiempo mucho menor al compararlo con los pastizales donde se necesita más tiempo, lo cual puede ser explicado por Gómez *et al.*, (2014), manifiestan que en un suelo con cultivos la infiltración es moderadamente rápida ya que su estructura está constantemente alterada, presentando además rotaciones de su cobertura vegetal, ello influye en la cantidad de grietas causadas por los diversos cultivos, y en los movimientos de la tierra aumentando con ello la capacidad de infiltración. De acuerdo con esta dinámica este suelo debe ser regado por 79,01 minutos para alcanzar el estado de saturación.

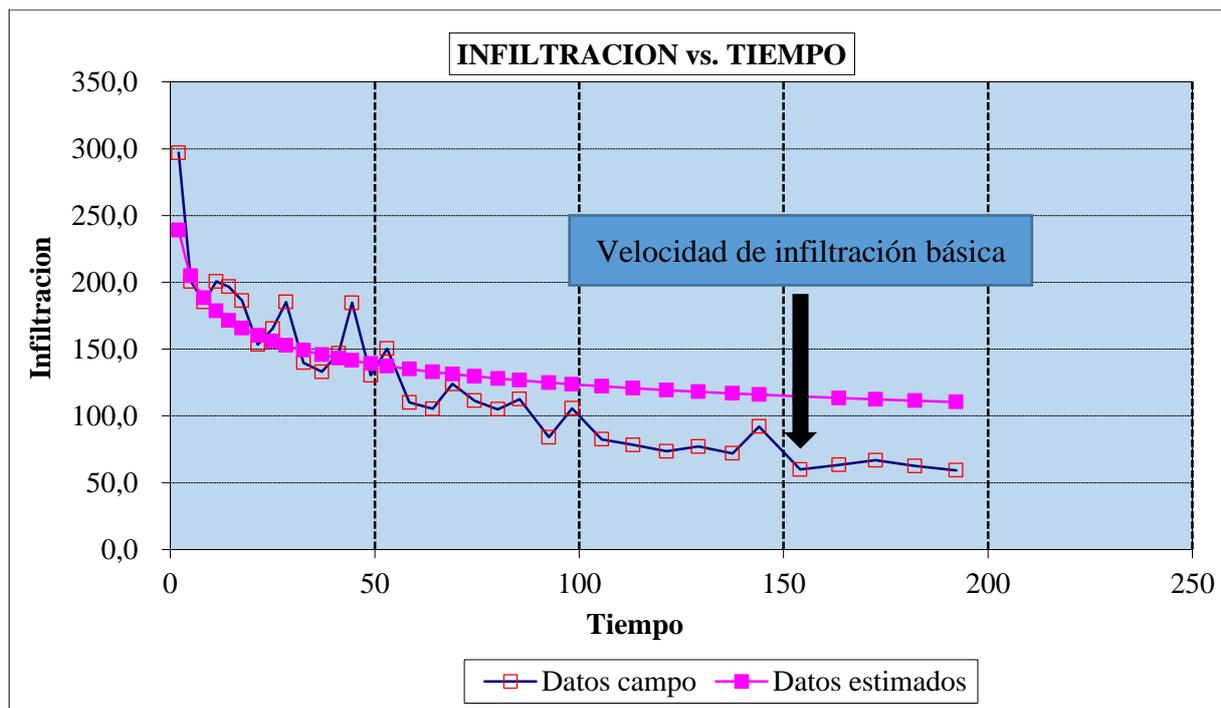
### 3) Suelo con pastizal



**Gráfico 11.** Lámina vs tiempo, suelo con pastizal

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 11 indica la cantidad de agua que se infiltra en un suelo con pastizales llegando al estado de saturación a partir del minuto 154,05 minutos cuando se han infiltrado 300 mm de agua donde ya no se produce infiltración sino más bien escorrentía.



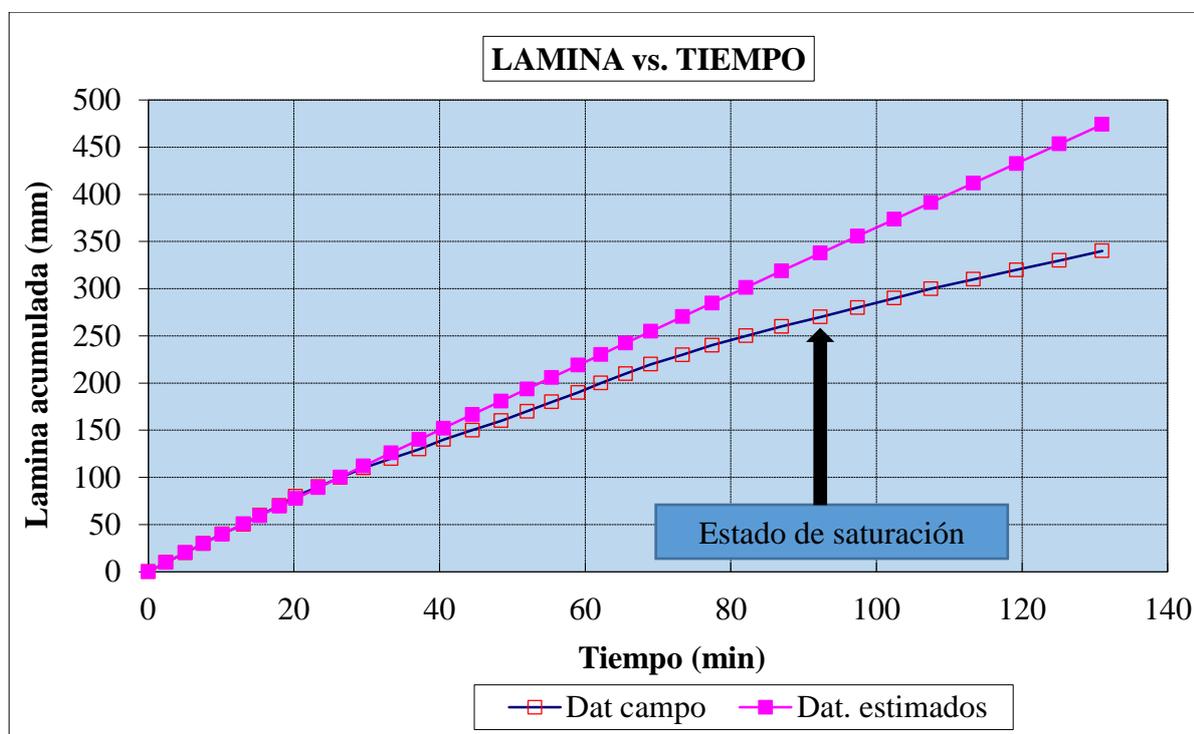
**Gráfico 12.** Curva infiltración vs tiempo, suelo con pastizal

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 12 indica que la velocidad de infiltración básica se alcanza en un tiempo de 154,05 minutos cuando se estabiliza en 59,90 mm/h, notándose que este tiempo es mucho mayor al compararlo con las coberturas anteriores, esto puede ser explicado por Gómez *et al.*, (2014), manifiestan que las tierras con pastizales presentan una menor tasa de infiltración básica promedio y la alcanzan en un tiempo mayor en comparación con las tierras agrícolas y forestales, ya que su cobertura vegetal está constituida mayormente por gramíneas que forman matas gruesas y altas usados para el pastoreo de llamas, ovinos y vacunos, en forma continua y simultánea, sin ningún criterio técnico. De acuerdo con esta dinámica este suelo debe ser regado por 154,05 minutos para alcanzar el estado de saturación.

### c. Cuenca alta

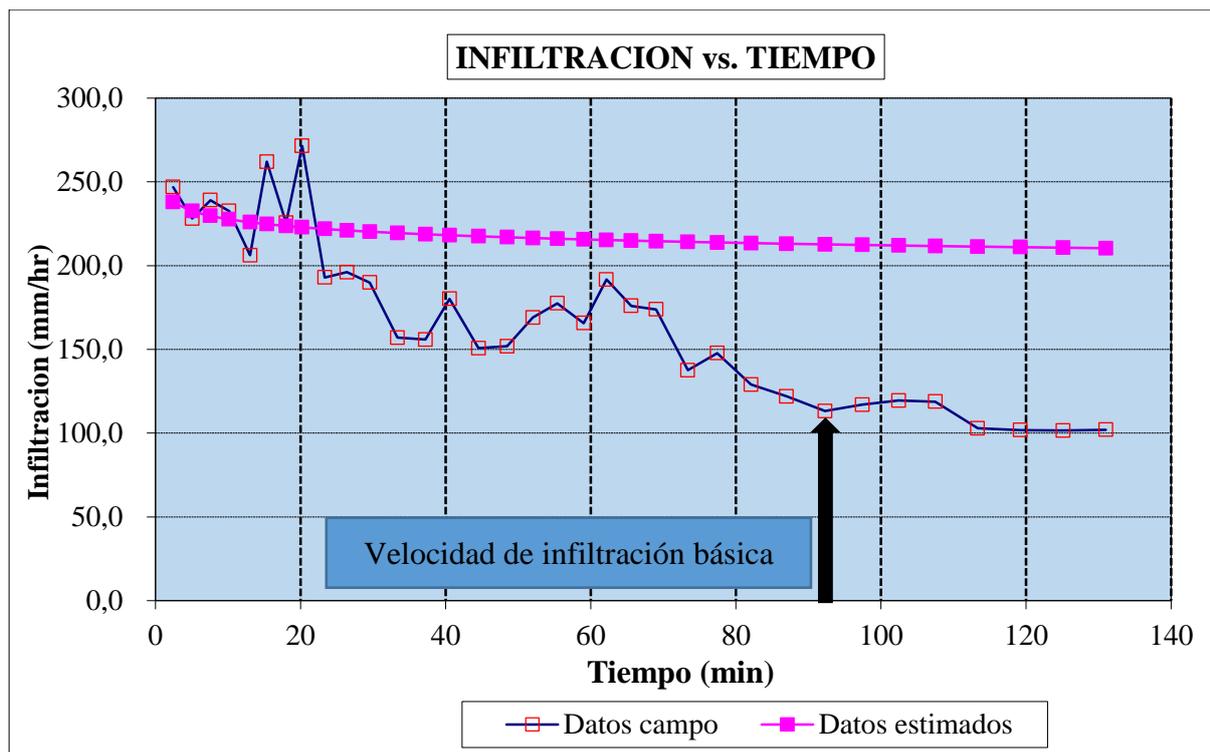
#### 1) Suelo con cultivo



**Gráfico 13.** Lamina vs tiempo, suelo con cultivo

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 13 indica la cantidad de agua que se infiltra en un suelo con cultivo llegando al estado de saturación a partir del minuto 92,31 cuando se han infiltrado 270 mm de agua donde no se produce infiltración sino más bien escorrentía.

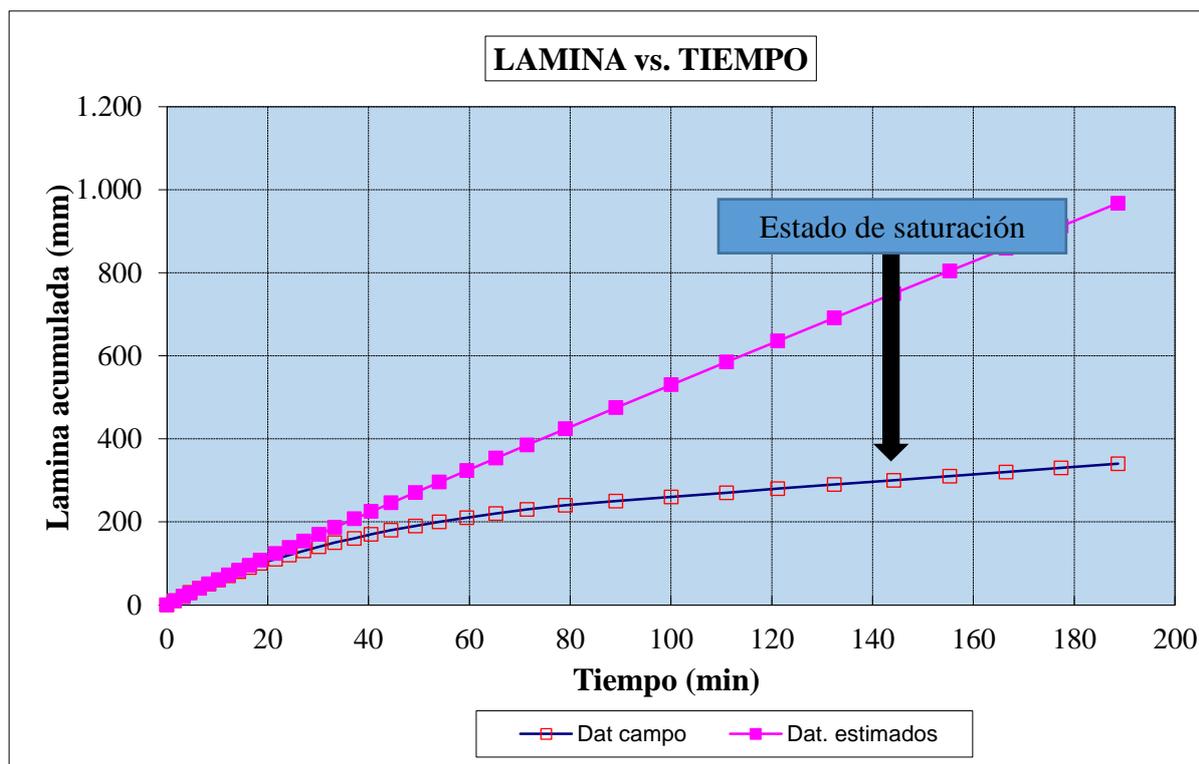


**Gráfico 14.** Infiltración vs tiempo, suelo con cultivo

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 14 indica que la velocidad de infiltración básicas alcanza a los 92,31 minutos cuando se estabiliza en 113,20 mm/h, notándose que este tiempo es mucho mayor al compararlo con un suelo con cultivo de la cuenca media donde se alcanzaba este estado a los 79,01 minutos, esto puede ser explicado con lo expuesto en el plan de manejo de páramos de la UNOCANT (2009), que dice que los suelos de esta zona presentan una textura franco-limosa-arcillosa. La misma que posee un bajo poder de infiltración por presentar un alto porcentaje de microporos que se saturan rápidamente, según la cátedra de Geología y Mineralogía (Oñate, 2005). De acuerdo con esta dinámica este suelo debe ser regado por 92,31 minutos para alcanzar el estado de saturación.

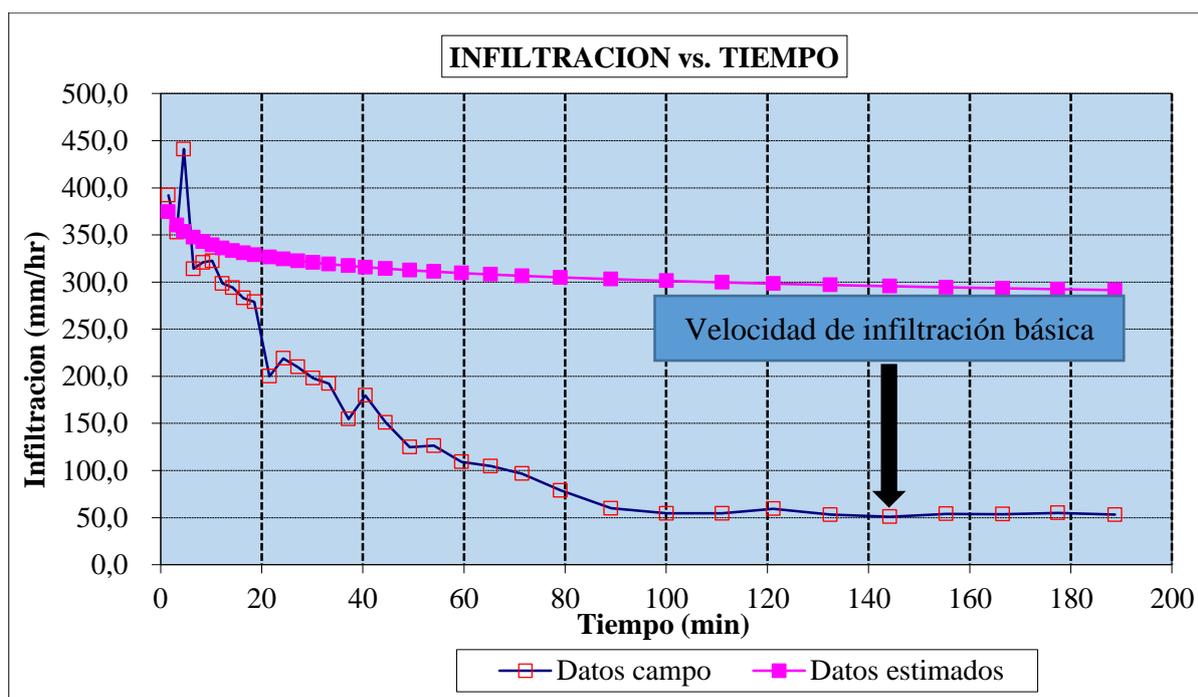
## 2) Suelo desnudo



**Gráfico 15.** Lamina vs tiempo, suelo desnudo

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 15 indica que a los 144,23 minutos cuando se han infiltrado 300 mm de agua la capacidad de infiltración disminuye considerablemente, ya que el suelo ha llegado al estado de saturación y ya no se produce infiltración sino escorrentía.

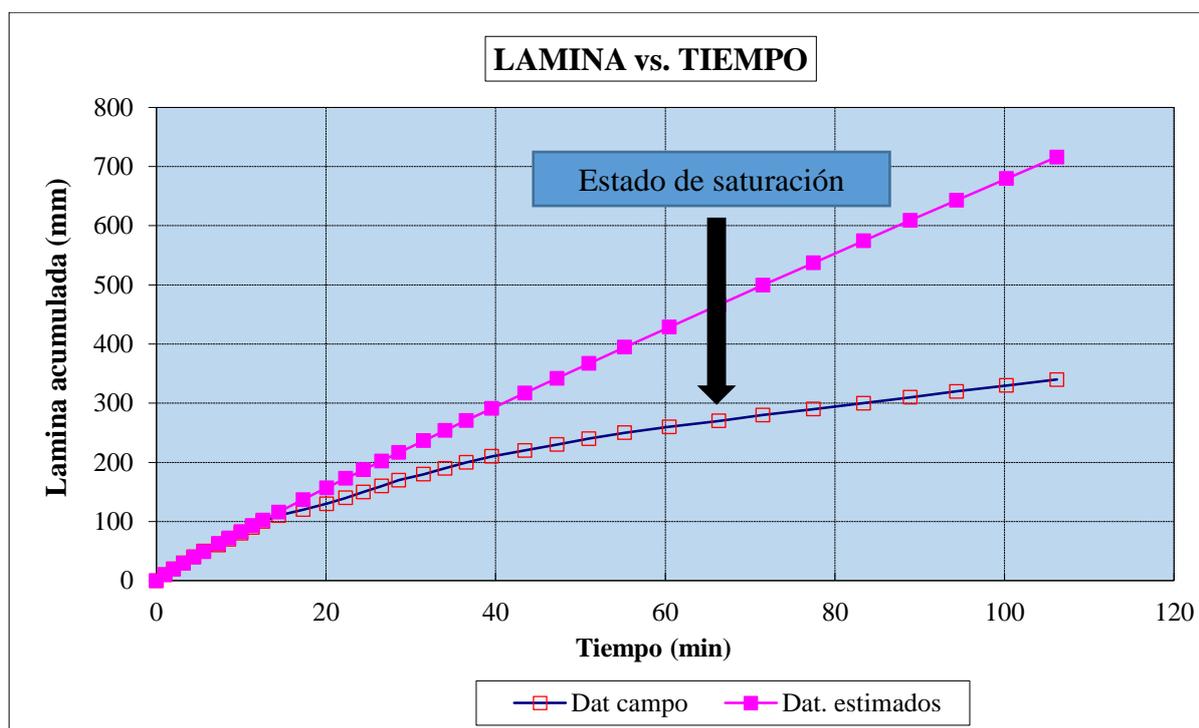


**Gráfico 16.** Curva infiltración vs tiempo, suelo desnudo

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 16 indica que la velocidad de infiltración básica se alcanza a los 144,23 minutos cuando se estabiliza en 50,90 mm/h, notándose que este tiempo es mucho mayor al compararlo con un suelo con cultivo y con vegetación nativa de páramo en la misma zona donde se alcanzaba el estado de saturación a los 92,31 y 66,33 minutos respectivamente, esto puede ser explicado con lo expuesto por Harrold *et al.*, (1972), manifiestan que las gotas de lluvia que caen durante un año en una hectárea de un terreno a suelo desnudo ejercen un impacto de energía equivalente a 50 toneladas de dinamita. Esta energía imprimida desagrega el suelo en partículas muy pequeñas que obstruyen los poros, provocando una selladura superficial que impide la rápida infiltración. Debido al sellamiento, sólo una pequeña parte del agua de lluvia consigue infiltrarse, siendo que la mayor parte se escurre superficialmente, perdiéndose para las plantas y causando, al descender las laderas, daños apreciables por erosión. De acuerdo a esta dinámica que presenta este tipo de suelo, debe ser regado por un tiempo de 144,23 minutos para alcanzar el estado de saturación.

### 3) Suelo con vegetación nativa de páramo



**Gráfico 17.** Lamina vs tiempo, vegetación nativa de páramo

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 17 indica que a los 66,33 minutos de haber iniciado el ensayo cuando se han infiltrado 270 mm de agua la capacidad de infiltración disminuye considerablemente, ya que el suelo ha llegado al estado de saturación. En donde ya no se produce infiltración sino escorrentía.

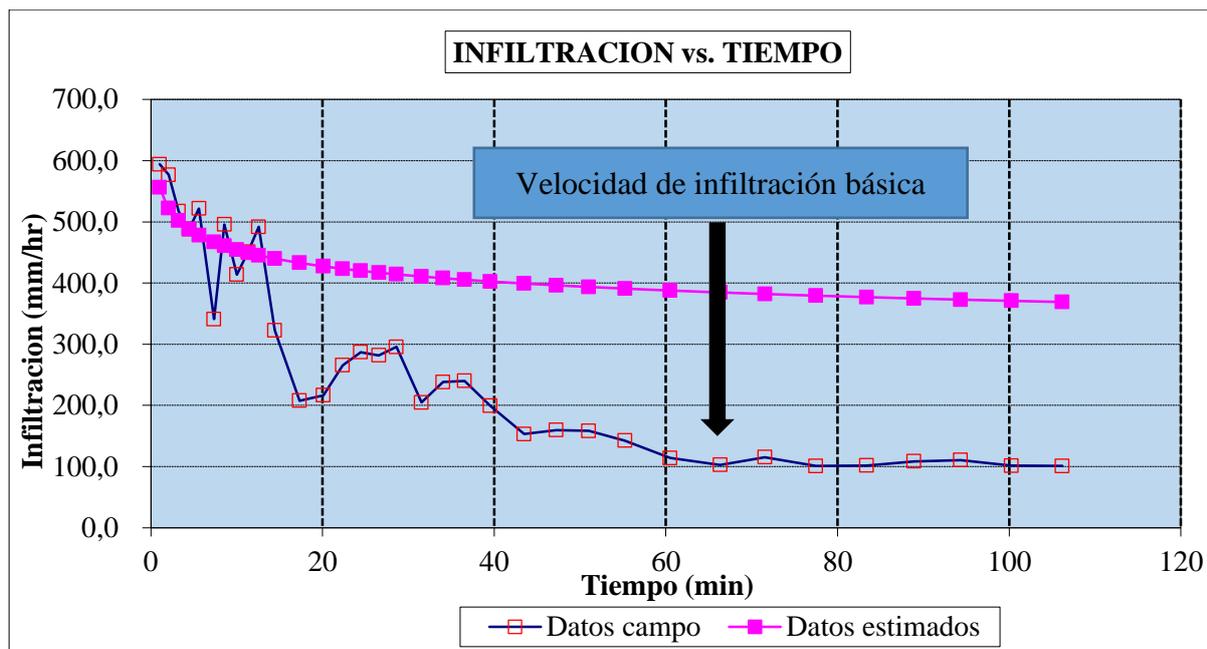


Gráfico 18. Lamina vs tiempo, vegetación nativa de páramo

Elaborado por: López, I. 2018

El gráfico 18 indica que la velocidad de infiltración básica se alcanza a los 66,33 minutos cuando se estabiliza en 102,73mm/h, notándose que este tiempo es mucho menor al compararlo con un suelo con cultivos y con suelo desnudo de la misma zona. De acuerdo a esta dinámica este tipo de suelo tiene una alta capacidad de infiltración. Estas diferencias pueden ser explicadas con lo expuesto por Arcos (2010), manifiesta que en los parches de vegetación nativa la tasa de infiltración es cuatro veces mayor que en los parches de vegetación alterada debido principalmente a la presencia de capas de hojarasca sobre la superficie del suelo de páramo lo que retarda el escurrimiento de la superficie y proporciona más tiempo para que el agua se infiltre.

**d. Clasificación e interpretación de la velocidad de infiltración en la zona baja, media y alta de la microcuenca de la quebrada de Quillalli.**

Según la metodología propuesta por USDA (2006) y ajustada por Cisneros (2003), la velocidad de infiltración se clasifico e interpretó de la siguiente manera:

Tabla 54. Clasificación e interpretación de la velocidad de infiltración básica en la zona baja, media y alta.

Velocidad de	Tiempo	Clase	Denominación
--------------	--------	-------	--------------

	<b>infiltración básica (mm/h) (min)</b>			
<b>Cuenca baja</b>				
Suelo con cultivo	250	29,43	1	Muy rápida
Suelo con pastizal	133,60	63,04	3	Moderadamente rápida
Suelo desnudo	240	42,22	1	Muy rápida
<b>Cuenca media</b>				
Suelo con cultivo	70,6	79,01	3	Moderadamente rápida
Suelo con pastizal	59,90	154,05	4	Moderada
Suelo desnudo	121	78,44	3	Moderadamente rápida
<b>Cuenca alta</b>				
Suelo con cultivo	113,20	92,31	3	Moderadamente rápida
Suelo desnudo	50,90	144,23	4	Moderada
Suelo con vegetación nativa de páramo	102,73	66,33	4	Moderada

Elaborado por: López, I. 2018

En la tabla 54 la microcuenca de la quebrada de Quillalli presenta suelos que por su velocidad de infiltración se ubican entre los rangos de: muy rápida en la parte baja, moderadamente rápida en la parte media) y moderada en la parte alta. Según esta información es evidente que el suelo de la parte baja y media no tienen la suficiente capacidad para retener la humedad debido a la clase textural del suelo franca arenosa y franca limo arenosa respectivamente, por tal razón requieren de una mayor frecuencia de riego.

Por otra parte, en la zona alta observamos que la vegetación nativa de páramo posee una alta capacidad de infiltración en comparación con las demás coberturas. Esto se debe a que el ecosistema páramo dadas sus características topográficas, y edafológicas hacen que sean buenos captadores de agua (Arcos, 2010).

#### **14. Escorrentía e infiltración**

##### **a. Topografía de la microcuenca de la quebrada de Quillalli**

**Tabla 55.** Clasificación de pendientes presentes en la microcuenca

<b>Pendientes</b>	<b>%</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Pendiente muy baja	<12°	1067,66

Pendiente baja	12°-25°	1689,81
Pendiente media	25°-50 <sup>a</sup>	276,59
Pendiente alta	50°-70°	2,48
Pendiente muy alta	>70°	2,30

Elaborado por: López I, 2018

La tabla 55 indica la clasificación de las pendientes geográficas existentes en la microcuenca de la quebrada de Quillalli. La mayor cantidad de superficie la abarca la categoría pendiente muy baja que es menor a los 2°, con una extensión de 1067,66ha, seguido de la categoría pendiente baja que va desde los 12 ° a los 25 ° con una superficie de 1689,81 ha. Las pendientes comprendidas entre los 25° y los 50 ° abarcan una superficie de 276,59ha, seguido de las pendientes que van desde los 50 ° a los 70 ° con una extensión de 2,48 ha y seguido de las pendientes mayores a 70 ° con una superficie de 2,30 ha.

La microcuenca presenta mayormente pendientes que van desde muy bajas a bajas, esto permite que exista una menor cantidad de escorrentía superficial disminuyendo el fenómeno de la erosión hídrica, más aún en tierras labradas con el empleo de maquinaria agrícola. Las pruebas de escorrentía e infiltración se realizaron en base a la pendiente y de acuerdo al uso de suelo más representativo de la microcuenca- Así se tiene que para la zona baja la escorrentía e infiltración se determinaron en un suelo con pastos, en la zona media se determinó en un suelo con cultivos y mientras que para la zona alta se determinó en la vegetación nativa de páramo. Los respectivos cálculos de estas dos variables se presentan a continuación:

#### **b. Escorrentía e infiltración en la microcuenca de la quebrada de Quillalli**

Tabla 56. Cálculo de la escorrentía e infiltración en la microcuenca de la quebrada de Quillalli

Pendientes microcuenca	Precip. (mm)	Volum agua (mm)	Volum E (mm/m <sup>2</sup> )	Volum I (mm/m <sup>2</sup> )	Volum E (mm/m <sup>2</sup> )	Volum I (mm/m <sup>2</sup> )	Volum E (m <sup>3</sup> /ha)	Volum I (m <sup>3</sup> /ha)	Superfi/microc ha	Volum total E (hm <sup>3</sup> /sup)	Volum total I (hm <sup>3</sup> /sup)
<b>Suelo con pasto (Zona baja)</b>											
Pendiente muy baja <12°	676,53	15000	5.756,00	9.244	259,61	416,92	2596,0	4.169,23	752,33	1,95	3,14
pendiente baja 12°-25°	676,53	15000	6.543,00	8.457,00	295,10	381,43	2951,02	3.814,28	176,30	0,52	0,67
Pendiente media 25°-50°	676,53	15000	8.765,98	6.234,02	395,36	281,17	3953,63	2.811,67	47,78	0,19	0,13
Pendiente alta 50°-70°	676,53	15000	10.876,23	4.123,77	490,54	185,99	4905,40	1.859,90	7,57	0,04	0,01
<b>Suelo con cultivo(Z. media)</b>									<b>Subtotal</b>	<b>2,70</b>	<b>3,96</b>
Pendiente muy baja <12°	896,56	15000	8567,45	6432,55	512,08	384,48	5120,82	3844,78	632,65	3,24	2,43
pendiente baja 12°-25°	896,56	15000	11456,7	3543,22	684,78	211,78	6847,79	2117,81	575,29	3,94	1,22
Pendiente media 25°-50°	896,56	15000	12345,7	2654,22	737,92	158,64	7379,16	1.586,44	200,96	1,48	0,32
Pendiente alta 50°-70°	896,56	15000	14345,3	654,68	857,43	39,13	8574,29	391,31	0,06	0,00	0,00
<b>Vegetación nativa páramo (Z. alta)</b>									<b>Subtotal</b>	<b>8,66</b>	<b>3,97</b>
Pendiente muy baja <12°	1017,34	15000	1563,55	13436,45	106,04	911,30	1.060,44	9.112,96	168,90	0,18	1,54
pendiente baja	1017,34	15000	2082,58	12917,42	141,25	876,09	1.412,46	8.760,94	27,88	0,04	0,24

<b>12°-25°</b>												
<b>Pendiente media 25°-50<sup>a</sup></b>	1017,34	15000	3475,56	11524,44	235,72	781,62	2.357,22	7.816,18	11,80	0,03	0,09	
<b>Pendiente alta 50°-70°</b>	1017,34	15000	3970,75	11524,44	269,31	748,03	2.693,07	7.480,33	0,09	0,0002	0,00	
<b>Pendiente muy alta &gt;70°</b>	1017,34	15000	4362,45	11029,25333	295,87	721,47	2.958,73	7.214,67	2,30	0,01	0,02	
										<b>Subtotal</b>	<b>0,26</b>	<b>1,89</b>
<b>Total</b>											<b>11,62</b>	<b>9,82</b>
<b>Precip = Precipitación</b>	<b>Volum = Volumen</b>			<b>E = Escorrentía</b>		<b>I = Infiltración</b>		<b>Sup = superficie</b>				

De acuerdo a la tabla 56 en la zona baja se producen 2,70 hm<sup>3</sup> de escorrentía y 3,96 hm<sup>3</sup> de infiltración con una precipitación 676,53 mm. En la zona media la escorrentía es de 8,66hm<sup>3</sup>y la infiltración de 3,97 hm<sup>3</sup>con una precipitación promedio de 896,56 mm y en la zona alta se tiene una escorrentía de 0,26 hm<sup>3</sup> con una infiltración de 1,89 hm<sup>3</sup> con una precipitación promedio anual 1017,34 mm. En total, la microcuenca de la quebrada de Quillalli presento una escorrentía de 11,62 hm<sup>3</sup> frente a una infiltración de 9,82 hm<sup>3</sup>.

### **c. Erosión hídrica de la microcuenca**

La erosión hídrica se determinó de acuerdo al uso de suelo más representativo en cada zona de la microcuenca y también en base a la pendiente que presenta la misma. Así se tiene que para la zona baja la erosión hídrica se determinó en un suelo con pastos, en la zona media se determinó en un suelo con cultivos y mientras que para la zona alta la erosión hídrica se determinó en la vegetación nativa de páramo. Los respectivos cálculos de erosión hídrica en cada zona de la microcuenca se presentan a continuación:

Tabla 57. Cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca de la quebrada de Quillalli

Microcuenca Quillalli	Determinación de la Erosión del suelo en la estufa						Determinación de la erosión del suelo de la microcuenca de la quebrada de Quillalli								
	Precip bandeja (mm)	Escorren. (mm)	Psh (g)	Pss (g)	Psh-Pss (g)	Erosión (g)	Ha	Erosión (kg/ha)	t/ha	Sup. (ha)	erosión (t/sup)	Precip Prom.	Erosión (kg/ha)	Total erosión en (t/sup)	
<b>Suelo con pasto (Zona baja)</b>															
<b>Pendiente muy baja &lt;12°</b>	15000	5756,00	8,04	6,04	2,00	6,04	10000	60,40	0,06	752,33	45,44	676,53	2,72	2,05	
<b>Pendiente baja 12°-25°</b>	15000	6543	10	9,13	0,87	9,13	10000	91,30	0,09	176,30	16,10	676,53	4,12	0,73	
<b>Pendiente media 25°-50<sup>a</sup></b>	15000	8765,98	15,56	12,76	2,80	12,76	10000	127,60	0,13	47,78	6,10	676,53	5,76	0,27	
<b>Pendiente alta 50°-70°</b>	15000	10876,23	19,76	14,34	5,42	14,34	10000	143,40	0,14	7,57	1,09	676,53	6,47	0,05	
<b>Suelo con cultivo (Z. media)</b>													<b>Subtotal</b>	3,09	
<b>Pendiente muy baja &lt;12°</b>	15000	8567,45	17,34	9,56	7,78	9,56	10000	95,60	0,10	632,65	60,48	896,56	5,71	3,62	
<b>Pendiente baja 12°-25°</b>	15000	11456,7	19,71	13,67	6,04	13,67	10000	136,70	0,14	575,29	78,64	896,56	8,17	4,70	
<b>Pendiente media 25°-50<sup>a</sup></b>	15000	12345,7	26,41	19,67	6,74	19,67	10000	196,70	0,20	200,96	39,53	896,56	11,76	2,36	
<b>Pendiente alta 50°-70°</b>	15000	14345,3	32,76	23,78	8,98	23,78	10000	237,80	0,24	0,06	0,01	896,56	14,21	0,00	

<b>Vegetación nativa(Z. alta)</b>													<b>Subtotal</b>	10,68
<b>Pendiente muy baja &lt;12°</b>	15000	1678,77	8,45	4,45	4,00	4,45	10000	44,50	0,04	168,9	7,52	1017,34	3,01	0,50
<b>Pendiente baja 12°-25°</b>	15000	3655,00	15,26	6,67	8,59	6,67	10000	66,70	0,07	27,88	1,86	1017,34	4,52	0,12
<b>Pendiente media 25°-50<sup>a</sup></b>	15000	4123,66	23,45	8,54	14,91	8,54	10000	85,40	0,09	11,8	1,01	1017,34	5,79	0,06
<b>Pendiente alta 50°-70°</b>	15000	6345,66	29,06	10,23	18,83	10,23	10000	102,30	0,10	0,09	0,01	1017,34	6,93	0,0006
<b>Pendiente muy alta &gt;70°</b>	15000	8456,77	44,65	15,87	28,78	15,87	10000	158,70	0,16	2,3	0,37	1017,34	10,76	0,02
													<b>Subtotal</b>	0,73
													<b>Total</b>	14,50
<b>Escorren</b> = Escorrentía <b>Psh</b> = peso suelo húmedo <b>Pss</b> = peso suelo seco <b>t</b> = tonelada <b>Precip</b> = precipitación <b>Sup</b> = superficie														

Elaborado por: López, I. 2018

**Tabla 58.** Resumen del cálculo de la erosión hídrica en la zona alta, media y baja

Zona altitudinal	Precip. mm/año	Superficie (ha)	Erosión kg/ha	Total, erosión en T/sup
<b>Suelo con pasto Zona baja</b>				
<b>Pendiente muy baja &lt;12°</b>	676,53	752,33	2,72	3,11
<b>Pendiente baja 12°-25°</b>	676,53	176,30	4,12	0,91
<b>Pendiente media 25°-50<sup>a</sup></b>	676,53	47,78	5,76	0,39
<b>Pendiente alta 50°-70°</b>	676,53	7,57	6,47	0,07
<b>Suelo con cultivo Z, media</b>			<b>Subtotal</b>	<b>4,48</b>
<b>Pendiente muy baja &lt;12°</b>	896,56	632,65	5,71	3,62
<b>Pendiente baja 12°-25°</b>	896,56	575,29	8,17	4,70
<b>Pendiente media 25°-50<sup>a</sup></b>	896,56	200,96	11,76	2,36
<b>Pendiente alta 50°-70°</b>	896,56	0,06	14,21	0,00
<b>Cuenca alta</b>			<b>Subtotal</b>	<b>10,68</b>
<b>Pendiente muy baja &lt;12°</b>	1017,34	168,9	3,01	0,50
<b>Pendiente baja 12°-25°</b>	1017,34	27,88	4,52	0,12
<b>Pendiente media 25°-50<sup>a</sup></b>	1017,34	11,8	5,79	0,06
<b>Pendiente alta 50°-70°</b>	1017,34	0,09	6,93	0,0006
<b>Pendiente muy alta &gt;70°</b>	1017,34	2,3	10,76	0,02
<b>Precip. Promedio</b>	<b>939,94</b>		<b>Subtotal</b>	<b>0,73</b>
			<b>Total</b>	<b>14,50</b>

Elaborado por: López, I. 2018

En la tabla 58 se presenta el resumen del cálculo de la erosión hídrica que se produjo en la microcuenca. Se tiene que en la zona baja en el cultivo de pastos se produjo una erosión hídrica de 4,48 t/ha/año con una precipitación de 676,53 mm/año. En la zona media se produjo una erosión hídrica de 10,68t/ha/año con una precipitación de 896,56mm/año. En la zona alta la erosión hídrica que se produjo fue de 0,73t/ha/año con una precipitación de 1017,34 mm/año. En total la microcuenca presento una erosión hídrica de 14,50 t/ha/año con una precipitación de 939,94 mm/año. Esto se correlaciona con lo manifestado por FAO (2000), que dice que las tasas de erosión menores a 10 t/ha/año se clasifican como un nivel leve, el rango comprendido entre 10 – 50 t/ha/año, son considerados como erosión moderada. De acuerdo a esto la erosión hídrica que se produjo en la zona de estudio que fue de 14,50 t/ha/año se la considera como de grado moderada.

## 15. Caudal de la microcuenca de la quebrada de Quillalli

### a. Caudal aforado de la microcuenca

**Tabla 59.** Caudal promedio de los principales afluentes de la microcuenca de la quebrada de Quillalli

Mes	Q (l/s)
Enero	142,44
Febrero	185,18
Marzo	205,37
Abril	236,37
Mayo	205,83
Junio	192,86
Julio	145,72
Agosto	123,83
Septiembre	85,39
Octubre	74,79
Noviembre	95,39
Diciembre	139,96
<b>Caudal promedio</b>	<b>152,76</b>

Elaborado por: López, I. 2018

De acuerdo a la tabla 59 el caudal promedio aforado en los principales afluentes de la microcuenca fue de 152,76 l/s. Según SENAGUA (2010), el caudal total en una microcuenca se obtiene de la sumatoria entre el caudal aforado y el caudal concesionado, de acuerdo a información obtenida de la misma Secretaria Nacional del Agua el caudal concesionado en la zona a los diferentes usuarios es de 131,89 l/s. este dato se ajustó con un factor de corrección de 0,8 (Díaz, 2007), dándonos un valor de 105.51l/s, y se obtiene un caudal total de 258,27 l/s. Durante el año de estudio el caudal promedio en la microcuenca registro un valor de 4,73 hm<sup>3</sup>/año.

### b. Cálculo de la Oferta neta

La oferta neta del caudal se determina, ajustando la oferta total, con una reducción del 40 %, avalado por la UNESCO, que representa el caudal para mantener el régimen hidrológico mínimo y sostenimiento de los ecosistemas. (Para facilitar el cálculo los datos expresados en l/s se transformaron a m<sup>3</sup>/s) con esta reducción se obtiene 0,11 m<sup>3</sup>/s, como se indica en la tabla 60:

**Tabla 60.** Cálculo de la oferta neta en la microcuenca de la quebrada de Quillalli

Microcuen.	Q aforado (m <sup>3</sup> /s)	Q concesionario SENAGUA (m <sup>3</sup> /s)	Q concesionado ajustado fc 0,8 (m <sup>3</sup> /s)	Q total (m <sup>3</sup> /s)	Q total reducido m <sup>3</sup> /s	Oferta neta (m <sup>3</sup> /s)
Quebrada de Quillalli	0,15	0,13	0,10	0,25	0,10	0,11

Elaborado por: López, I. 2018

### c. Cálculo del índice de escasez del recurso hídrico

Según Díaz (2007), el índice de escasez se determina con el caudal total y el caudal concesionado existente, La microcuenca de la quebrada de Quillalli posee un caudal total de 0,25 m<sup>3</sup>/s y un caudal concesionado ajustado de 0,10m<sup>3</sup>/s, como se indica a continuación:

Índice de escasez = (Caudal concesionado x 100 %) / Caudal total.

Índice de escasez = (0,10 m<sup>3</sup>/s x 100%) / 0,25m<sup>3</sup>/s.

Índice de escasez = 40%

**Tabla 61.** Cálculo del índice de escasez respecto a la oferta.

Microcuenca	Q aforado (m <sup>3</sup> /s)	Qc SENAGUA (m <sup>3</sup> /s)	Qc ajustado fc 0,8 (m <sup>3</sup> /s)	Q total (m <sup>3</sup> /s)	Índice de escasez %	Apreciación de la escasez
Quillalli	0,15	0,13	0,10	0,25	40	Demanda apreciable

Elaborado por: López, I. 2018

La tabla 61 indica que el índice de escasez del recurso hídrico es del 40 % valor que es inferior al 50 %, esto según la tabla 3 propuesta por la UNESCO lo clasifica como demanda apreciable esto significa que los caudales concesionados o en uso son altos con respecto a la oferta hídrica, cuyo caudal corre el peligro para mantener el régimen hídrico mínimo, por lo tanto, será necesario regular las futuras concesiones de agua y buscar optimizar el uso y aprovechamiento del recurso.

La tabla 61 indica también que el caudal total en la zona de estudio es de 0,25 m<sup>3</sup>/s. de los cuales 0,10 m<sup>3</sup>/s están concesionados para los diferentes usuarios, quedándonos con 0,15 m<sup>3</sup>/s

disponibles para las futuras adjudicaciones. Pero a su vez es necesario contar con un mínimo de 0,11 m<sup>3</sup>/s de caudal ecológico, lo que nos deja con 0,04 m<sup>3</sup>/s de caudal disponible para las futuras adjudicaciones. Esto nos indica que la microcuenca de la quebrada de Quillalli está llegando al límite de su capacidad para proveer agua a sus usuarios.

#### d. Determinación de la demanda hídrica para consumo humano

##### 1) Captaciones de agua existentes dentro de la microcuenca

Tabla 62. Captaciones de agua existentes dentro de la microcuenca

Concesiones	Uso	Caudal concesionado (l/s)
<b>Junta Administradora Agua Potable de Ambatillo</b>	Uso domestico	9,1
<b>Comunidad Ambatillo Alto</b>	Uso domestico	1,2
<b>Directorio provincial del caserío Chamballa Santa Lucia</b>	Uso domestico	6,86
<b>Cabildo de la comunidad de Puganza, de la parroquia Quisapincha</b>	Riego	7,7
<b>Gavilánez Luz</b>	Riego	13,11
<b>Núñez Espín Blanca</b>	Riego	1,59
<b>Mera Gavilánez Luis Alberto</b>	Riego	1,68
<b>Tinajero Jaime</b>	Riego	20,5
<b>Hacienda de Tinajero Ligia María</b>	Riego	29
<b>Moradores sector de Puganza Grande</b>	Uso domestico	7,98
<b>Comunidad de padres redentoristas</b>	Uso domestico	0,36
<b>Núñez Espín blanca Luzmila y otros</b>	Riego	13,11
<b>Centro de Quisapincha</b>	Riego	12
<b>Directorio Ac. Milin Verde Loma Quilopuso</b>	Riego	7,7
<b>Caudal total concesionado (l/s)</b>		<b>131,89</b>

Elaborado por: López L, 2018.

De acuerdo a la tabla 62 según SENAGUA (2018), dentro de la microcuenca de la quebrada de Quillalli existen un total de 14 concesiones de agua con un caudal total aforado de 131,89<sup>l</sup>/s. El caudal mínimo concesionado es de 0,36<sup>l</sup>/s para uso doméstico y corresponde a la comunidad de padres redentoristas ubicado en la zona baja de la microcuenca, mientras que el caudal máximo en concesión es de 29 l/s utilizado para riego y corresponde a la hacienda de Tinajero Ligia María ubicada en la misma zona.

**Tabla 63.** Distribución del agua de acuerdo a su uso en la microcuenca de la quebrada de Quillalli

Descripción	Caudal (l/s)	Número de concesiones
Riego	106,39	9
Consumo	25,50	5
<b>Total</b>	<b>131,89</b>	<b>14</b>

Elaborado por: López L, 2018.

La tabla63indica que del total de concesiones existentes en la microcuenca 9 alimentan a los sistemas de agua de riego con un caudal de 106,39 l/s. Mientras que 5 concesiones sirven para abastecer las necesidades de consumo doméstico con un caudal de 25,50 l/s,

### C. CAUDAL ECOLÓGICO DE LOS PRINCIPALES AFLUENTES DE LA MICROCUENCA

Para la determinación del caudal ecológico en los principales afluentes de la microcuenca se utilizó la metodología propuesta por Montana (1976), la cual se describe en la tabla 4 de este documento.

#### 1. Caudal ecológico de la quebrada Churuhuaycu

**Tabla 64.** Caudal ecológico de la quebrada de Churuhuaycu

Mes	Q (l/s)	Q uso (l/s)	Q. ecológico (l/s)	Q. ecológico (l/s) (Total)
Enero	33,32	29,99	3,33	30,14 l/s durante la época húmeda
Febrero	48,03	43,23	4,80	
Marzo	53,07	47,76	5,31	
Abril	57,21	51,49	5,72	
Mayo	57,53	51,78	5,75	
Junio	52,27	47,04	5,23	59,33 l/s durante la época seca
Julio	44,56	31,19	13,37	
Agosto	39,05	27,34	11,72	
Septiembre	27,08	18,96	8,12	
Octubre	21,67	15,17	6,50	
Noviembre	27,08	18,96	8,12	
Diciembre	38,32	26,82	11,50	
<b>Promedio</b>	<b>41,59</b>	<b>34,14</b>	<b>7,46</b>	
<b>Total</b>	<b>499,19</b>	<b>409,73</b>	<b>89,47</b>	

Elaborado por: López L, 2018.

La tabla 64 indica que la oferta hídrica durante el tiempo de estudio en la quebrada de Churuhuaycu fue de 499,19 l/s. El mes donde se registró la mayor oferta hídrica fue mayo con 57,53 l/s, con un caudal de uso de 51,49 l/s y el caudal ecológico a mantenerse en este cauce durante la época húmeda corresponde al 10 % del caudal total lo que nos da un valor de 5,75 l/s.

En contraste la menor oferta hídrica registrada fue en octubre con 21,67 l/s, con un caudal de uso de 15,17 l/s y el caudal ecológico a mantenerse durante la época seca fue del 30 % del caudal total lo que nos dio un valor de 6,50 l/s. En total la quebrada de Churuhuaycu presento un caudal ecológico de 30,14 l/s a preservarse durante la época húmeda y de 59,33 l/s a preservarse durante la época seca.

## **2. Caudal ecológico de la quebrada Cochauco**

**Tabla 65.** Caudal ecológico de la quebrada de Cochauco

<b>Mes</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>Q uso (l/s)</b>	<b>Q ecológico (l/s)</b>	<b>Q. ecológico (l/s) (Total)</b>
Enero	24,32	21,89	2,43	21,94 l/s durante la época húmeda
Febrero	32,03	28,83	3,20	
Marzo	35,07	31,56	3,51	
Abril	44,21	39,79	4,42	
Mayo	40,53	36,48	4,05	
Junio	43,27	38,94	4,33	
Julio	32,56	22,79	9,77	35,93 l/s durante la época seca
Agosto	27,05	18,94	8,12	
Septiembre	18,08	12,66	5,42	
Octubre	17,67	12,37	5,30	
Noviembre	9,08	6,36	2,72	
Diciembre	15,32	10,72	4,60	
<b>Promedio</b>	<b>28,27</b>	<b>23,44</b>	<b>4,82</b>	
<b>Total</b>	<b>339,19</b>	<b>281,33</b>	<b>57,87</b>	

Elaborado por: López L, 2018.

La tabla 65 indica que la oferta hídrica durante el tiempo de estudio en la quebrada de Cochauco fue de 339,19 l/s. El mes donde se registró la mayor oferta hídrica fue abril con 44,21 l/s, con un caudal de uso de 39,79 l/s y el caudal ecológico a mantenerse en este cauce durante la época húmeda corresponde al 10 % del caudal total lo que nos da un valor de 4,42 l/s.

En contraste la menor oferta hídrica registrada fue en noviembre con 9,08 l/s, con un caudal de uso de 6,36 l/s. y el caudal ecológico a mantenerse durante la época seca fue del 30% del caudal total lo que nos dio un valor de 2,72 l/s. En total la quebrada de Cochauco presento un caudal ecológico de 21,94l/s a preservarse durante la época húmeda y de 35,93l/s a preservarse durante la época seca.

### 3. Caudal en la quebrada de Pazarumi

**Tabla 66.** Caudal en la quebrada de Pazarumi

Mes	Q (l/s)	Q uso (l/s)	Q ecológico (l/s)	Q ecológico (l/s) (Total)
Enero	28,35	25,52	2,84	21,72 l/s durante la época húmeda
Febrero	37,23	33,51	3,72	
Marzo	39,45	35,51	3,95	
Abril	47,39	42,65	4,74	
Mayo	35,21	31,69	3,52	
Junio	29,54	26,59	2,95	
Julio	18,02	12,61	5,41	36,75l/s durante la época seca
Agosto	15,34	10,74	4,60	
Septiembre	10,45	7,32	3,14	
Octubre	9,78	6,85	2,93	
Noviembre	31,56	22,09	9,47	
Diciembre	37,34	26,14	11,20	
<b>Promedio</b>	<b>28,31</b>	<b>23,44</b>	<b>4,87</b>	
<b>Total</b>	<b>339,66</b>	<b>281,22</b>	<b>58,47</b>	

Elaborado por: López L, 2018.

La tabla 66 indica que la oferta hídrica durante el tiempo de estudio en la quebrada de Pazarumi fue de 339,66 l/s. El mes donde se registró la mayor oferta hídrica fue abril con 47,39 l/s, el caudal de uso fue de 42,65 l/s y el caudal ecológico a mantenerse en este cauce durante la época húmeda corresponde al 10% del caudal total lo que nos da un valor de 4,74 l/s.

En contraste la menor oferta hídrica se registró en octubre con 9,78 l/s, con un caudal de uso de 6,85 l/s y el caudal ecológico a mantenerse durante la época seca fue del 30% del caudal total lo que nos dio un valor de 2,93 l/s. En total la quebrada de Pazarumi presento un caudal ecológico de 21,72l/s a preservarse durante la época húmeda y de 36,75 l/s a preservarse durante la época seca.

#### 4. Caudal en la quebrada de Quillalli

**Tabla 67.** Caudal en la quebrada de Quillalli

Mes	Q (l/s)	Q uso (l/s)	Q ecológico (l/s)	Q ecológico (l/s) (Total)
Enero	56,45	50,81	5,65	43,02 l/s durante la época húmeda
Febrero	67,89	61,10	6,79	
Marzo	77,78	70,00	7,78	
Abril	87,56	78,80	8,76	
Mayo	72,56	65,30	7,26	
Junio	67,78	61,00	6,78	
Julio	50,58	35,41	15,17	67,51 l/s durante la época seca
Agosto	42,39	29,67	12,72	
Septiembre	29,78	20,85	8,93	
Octubre	25,67	17,97	7,70	
Noviembre	27,67	19,37	8,30	
Diciembre	48,98	34,29	14,69	
<b>Promedio</b>	<b>54,59</b>	<b>45,38</b>	<b>9,21</b>	
<b>Total</b>	<b>655,09</b>	<b>544,57</b>	<b>110,53</b>	

Elaborado por: López L, 2018.

La tabla 67 indica que la oferta hídrica durante el tiempo de estudio en la quebrada de Quillalli fue de 655,09 l/s. El mes donde se registró la mayor oferta hídrica fue abril con 87,56 l/s, el caudal de uso fue de 78,80 l/s y el caudal ecológico a mantenerse en este cauce durante la época húmeda corresponde al 10% del caudal total lo que nos dio un valor de 8,76l/s.

En contraste la menor oferta hídrica se registró en octubre con 25,67 l/s, con un caudal de uso de 17,97 l/s y el caudal ecológico a mantenerse durante la época seca fue del 30% del caudal total lo que nos dio un valor de 7,70 l/s. En total la quebrada de Quillalli presento un caudal ecológico de 43,02 l/s a preservarse durante la época húmeda y de 67,51 l/s a preservarse durante la época seca.

En total el caudal ecológico a preservarse durante la época húmeda en la microcuenca de la quebrada de Quillalli fue de 116,82 l/s y durante la época seca fue de 199,52 l/s.

## D. CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO

La ecuación para calcular el balance hídrico propuesta por Ordóñez (2011), se presenta a continuación:

$$P - Etc - Q - I - E = \Delta S$$

Los datos para el cálculo de balance hídrico fueron transformados a  $\text{hm}^3$ , para una mejor comprensión e interpretación de los resultados, como se muestra a continuación:

**Tabla 68.** Cálculo de balance hídrico de la microcuenca de la quebrada de Quillalli

<b>P</b> ( $\text{hm}^3/\text{año}$ )	<b>Etc</b> ( $\text{hm}^3/\text{año}$ )	<b>Q</b> ( $\text{hm}^3/\text{año}$ )	<b>I</b> ( $\text{hm}^3/\text{año}$ )	<b>E</b> ( $\text{hm}^3/\text{año}$ )	<b>=<math>\Delta S</math></b> ( $\text{hm}^3/\text{año}$ )	<b>Observación</b>
13,88	15,25	4,73	9,82	11,62	-27,54	Déficit

Elaborado por: López L, 2018.

De acuerdo a la tabla 68 la fórmula planteada por Ordóñez (2011), para el cálculo de balance hídrico indica que para las 2909,05 ha que conforman la microcuenca de la quebrada de Quillalli se tiene un déficit hídrico de 27,54  $\text{hm}^3$  de acuerdo a los factores climáticos, edáficos, topográficos que presento la zona. Esta falta del recurso hídrico explica el por qué la población al no tener agua para riego realice actividades agrícolas durante las épocas de lluvia es decir durante el primer semestre del año, aunque durante los últimos años esto ha cambiado y ya no se tiene etapas definidas de invierno y verano debido a las consecuencias del cambio climático.

## **VI. CONCLUSIONES**

La oferta hídrica que se produjo en la microcuenca de la quebrada de Quillalli fue de 13,88 hm<sup>3</sup>/año. La zona media registró el mayor volumen de lluvias con 6,22 hm<sup>3</sup>/año, y en contraste la zona baja presentó la menor oferta hídrica con 3,11 hm<sup>3</sup>/año.

La demanda hídrica en los principales cultivos de la microcuenca fue de 15,25 hm<sup>3</sup>. La zona media registró la mayor demanda hídrica con 6,72 hm<sup>3</sup>/año, y en contraste la menor demanda hídrica se registró en la zona alta con un volumen de 3,49 hm<sup>3</sup>/año, esto debido a la presencia de una notable superficie de páramo lo que permite captar, almacenar y regular el recurso hídrico.

La demanda hídrica para consumo doméstico en la microcuenca fue de 25,50 l/s, información obtenida de las concesiones de agua otorgadas por SENAGUA a los diferentes usuarios de la microcuenca.

La zona media de la microcuenca es la que presentó la mayor cantidad de erosión hídrica con 10,68 t/ha/año, esto debido a la carencia de cubierta vegetal durante las labores de pre-siembra y etapas vegetativas iniciales de los cultivos lo que hace que se produzca una importante pérdida de suelo.

El caudal ecológico promedio a preservarse durante el tiempo de estudio en la quebrada de Churuhuaycu fue de 30,14 l/s durante la época húmeda y de 59,33 l/s durante la época seca. En la quebrada de Cochauco fue de 21,94 l/s durante la época húmeda y de 35,93 l/s durante la época seca. La quebrada de Pazarumi presentó un caudal ecológico de 21,72 l/s a preservarse durante la época húmeda y de 36,75 l/s a preservarse durante la época seca. La quebrada de Quillalli presentó un caudal ecológico de 43,02 l/s a preservarse durante la época húmeda y de 67,51 l/s a preservarse durante la época seca. En total la microcuenca de la quebrada de Quillalli presentó un caudal ecológico de 116,82 l/s a preservarse durante la época húmeda y de 199,52 l/s a preservarse durante la época seca.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda el uso de esta información de balance hídrico en las comunidades de la microcuenca con el afán de que el recurso agua permanezca en cantidad aun en meses donde las precipitaciones son escasas y las necesidades de agua para la zona son cotidianas.

Los aforos en los principales afluentes de la microcuenca como se los venía realizando deberían continuar todo esto con el fin de poder llevar un registro y monitoreo constante del recurso, para que así los tomadores de decisiones puedan realizar proyectos tomando en cuenta el caudal ecológico a preservarse en la zona

Se debería tecnificar los sistemas de riego, para regular y normar el acceso al agua, esto permitirá que la población se beneficie de una manera más equitativa del agua para riego incrementando los turnos y la superficie regable.

Se debería capacitar más a la población acerca del cuidado manejo e importancia del ecosistema páramo especialmente en la parroquia Quisapincha, ya que si bien en la zona existe un plan de manejo páramos, aún existen muchas personas que mantienen especies mayores en este ecosistema.

## VIII. RESUMEN

La presente investigación propone: determinar el balance hídrico en la microcuenca de la quebrada de Quillalli en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua; mediante la ecuación propuesta por Ordóñez (2011), que dice  $P - Etc - I - R - Q = \Delta S$ . Se determinó la oferta hídrica de la microcuenca para lo cual se instalaron 12 estaciones pluviométricas caseras en toda la microcuenca, esto se lo hizo con el fin de medir la variable precipitación. Por otra parte, para la determinación de la demanda hídrica se utilizaron los datos de evapotranspiración del tanque clase "A" de la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio, esto se lo realizó con el fin de determinar el requerimiento hídrico de los cultivos. Se realizaron también pruebas de infiltración y escorrentía, para lo cual se utilizó la bandeja de escurrimiento, y para la determinación del tiempo de riego se utilizó el cilindro de infiltración doble anillo. Al realizar los respectivos cálculos de las diferentes variables, se obtuvo como resultado una precipitación promedio de 498,45 mm/año lo que representó un volumen de 13,88 hm<sup>3</sup>/año, la evapotranspiración de los cultivos fue de 525,62 mm/año lo que representó un volumen de 15,25 hm<sup>3</sup>/año, la escorrentía registró un volumen de 11,62 hm<sup>3</sup>/año, el volumen de infiltración fue de 9,82 hm<sup>3</sup>/año, y el caudal afluente registró un volumen de 4,73 hm<sup>3</sup>/año. Por otra parte, el caudal ecológico total a preservarse en la zona de estudio fue de 116,82 l/s durante la época húmeda y de 199,52 l/s durante la época seca. Estos datos se reemplazaron en la ecuación de balance hídrico y se registró que la microcuenca de la quebrada de Quillalli presentó un déficit hídrico de 27,54 hm<sup>3</sup>. Se determinó entonces que en la zona de estudio la oferta hídrica no satisface a la demanda hídrica.

**Palabras clave:** BALANCE HÍDRICO - MICROCUENCA - OFERTA HÍDRICA - DEMANDA HÍDRICA - LÁMINA DE RIEGO.

**Por:** Iván López



*REVISADO*  
*21 Enero 2019*  
*[Signature]*

## IX. SUMMARY

### ABSTRACT

The present investigation proposes: to determine the hydric balance in the microbasin of the Quebrada de Quillalli in Ambato small administrative district, Tungurahua province; by the equation proposed by Ordóñez (2011), which says  $P - Etc - I - R - Q = \Delta S$ . The water supply of the micro-basin was determined, and 12 homemade pluviometric stations were installed throughout the micro-basin, this was done in order to measure the precipitation variable. On the other hand, for determining the water demand, the evapotranspiration of the "A" tank from the meteorological station closest to the study area were used, this was done in order to determine the water requirement of the crops. Infiltration and runoff tests were also carried out, for which the drip tray was used, and for the determination of the irrigation time the double ring infiltration cylinder was used. When performing the calculations of the different variables, an average rainfall of 498.45 mm / year was obtained as a result, which represented a volume of 13.88 hm<sup>3</sup> / year, the evapotranspiration of the crops was 525.62 mm / year, which represented a volume of 15, 25 hm<sup>3</sup>/year, the runoff registered a volume of 11.62 hm<sup>3</sup> / year, the volume of infiltration was 9.82 hm<sup>3</sup> / year, and the affluent flow registered a volume of 4.73 hm<sup>3</sup> / year. On the other hand, the total ecological flow to be preserved in the study area was 116.82 l/s during the wet season and 199.52 l/s during the dry season. These data were replaced in the water balance equation and registered that the microbasin of the Quebrada de Quillalli presented a water deficit of 27.54 hm<sup>3</sup>. So, it was determined that in the study area It was then determined that in the study area the water supply does not meet water demand.

**Keywords:** WATER BALANCE - MICROBASIN- WATER SUPPLY -WATER DEMAND - IRRIGATION SHEET.



## X. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, J. (2016). Análisis de la disponibilidad hídrica en relación con los problemas de acceso al agua para consumo humano en las comunidades de la cuenca alta del río Turrubares, Puriscal, *Costa Rica* (Tesis de grado. Ingeniero Forestal.). Universidad Nacional. Heredia - Costa Rica.
2. Allen, R., Santos, C., Gavilán, P., Lorite, I., Tasumi, M., & Fercres, E. (2007). *Mejora de la gestión de los recursos hídricos por medio de la integración de técnicas de teledetección y modelos de simulación*. Andalucía - Colombia.
3. Amancha, P. (2015). *Determinación de la permeabilidad de los suelos basados en la metodología del Infiltrómetro de mini disco en la zona de Yanahurco, Napo* (Tesis pregrado. Ingeniero Civil). Universidad Central del Ecuador. Quito - Ecuador.
4. Álvarez, R., Ramírez, A., Vázquez, P., Ontiveros, C., & López, R. (2012). *Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco*. Universidad y Ciencia Trópico Húmedo. Recuperado el 15 de diciembre de 2018, de <http://www.universidadyciencia.ujat.mx/sistema/documentos/volumenes/28-1-2012/714.pdf>.
5. Caguana, J. (2015). *Determinación del balance y demanda hídrica en la microcuenca del río Atapo, parroquia Palmira, cantón Guamote, provincia de Chimborazo*. (Tesis de grado. Ingeniero Forestal). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.
6. Sandoval, C. (2009). *Balance hídrico para riego en la microcuenca del río Blanco*. (Tesis de grado. Ingeniero Civil). Universidad Politécnica Salesiana. Quito - Ecuador.
7. Callejas, M. (2002). *Descubriendo la Ciencia por medio de la relación Suelo – Agua – Planta*. Recuperado el 11 de octubre de 2018, de <http://es.scribd.com/doc/51617656/imp-riego-1>.

8. Calvache, M. (1993). *Requerimientos hídricos de cultivos agrícolas en la zona de Tumbaco- Pichincha*. Quito. pp. 41-48.
9. Campaña, D. (2015). *Aplicación del modelo Rusle para el cálculo de erosión hídrica en la microcuenca del río Perlaví* (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.
10. Cano, G., & López, J. (2000). *Cuencas hidrográficas*. Recuperado el 24 de octubre de 2018 de <https://www.monografias.com/trabajos96/cuencas-hidrograficas/cuencas-hidrograficas.shtml>.
11. Castro, H. (2011). *Sistema de abastecimiento de agua potable para las comunidades de Timboicito y Fancaroinza, región Chaco Chuquisaqueño* (Tesis grado. Ingeniero Civil). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia.
12. Castro, L., Carvajal, Y., & Monsalve, E. (2006). *Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental*. Bogotá- Colombia: Universidad de Bogotá.
13. Chassaigne, A., Ávila, M., & Madriz, J. (2012). *Calibración de pluviómetro y termohigrómetros de estaciones meteorológicas automáticas*. *Aldea mundo* 63(3-4): 185-192.
14. Contreras, T., García, M., Sánchez, D., Marín, R., Guzmán H., Wilches, J., Olaya, G., Cañas, H., Vargas, O., Domínguez, C., Rodríguez, G., & Niño, R. (1999). *Sistema de información componente hidrológico redes, mediciones, observaciones y procesos básicos*. Recuperado el 24 de octubre de 2018, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsiaia/fulltext/ideam.pdf>.
15. Córdova, M. (2017). *Calidad del agua en la microcuenca del río Challhuahuacho comparado con los estándares de Calidad ambiental para riego y bebedero) en la zona De Challhuahuacho, cotabamba* (Tesis de grado. Ingeniero Geólogo). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca - Perú.
16. Costa, C., Domínguez, E., Gonzalo., & Vanegas, R. (2005). *El índice de escasez del agua ¿Un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico?* Bogotá - Colombia.

17. Emerson, A., & Parra, R. (2012). *Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales* (Tesis de grado. Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Medellín - Colombia.
18. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). Libro 56 *Guía para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos*. Recuperado el 12 de diciembre del 2018, de <http://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>.
19. Faustino, J., & Jiménez, L. (2000). *Plan de ordenamiento del recurso hídrico quebrada Miraflores*. Corporación Autónoma de Nariño. Recuperado el 21 de octubre de 2018, de <https://docplayer.es/4330785-Plan-de-ordenamiento-del-recurso-HÍDRICO-quebrada-miraflores.html>.
20. García, W. (2006). *El sistema complejo de la cuenca hidrográfica* (archivo pdf). Recuperado el 24 de octubre de 2018, de [www.medellin.unal.edu.co/.../Plnaifi\\_Cuencas.../Sistema%20CuencaHidrográfica.pdf](http://www.medellin.unal.edu.co/.../Plnaifi_Cuencas.../Sistema%20CuencaHidrográfica.pdf).
21. García, T., & Lozano, R (1997). *Precipitación total anual y mensual*. Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de [http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/2651\\_HM\\_Precipitaci%C3%B3n\\_total\\_3\\_FI.pdf/615f94b0-9b09-472c-a9ca-31f481be3746](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/2651_HM_Precipitaci%C3%B3n_total_3_FI.pdf/615f94b0-9b09-472c-a9ca-31f481be3746).
22. García, M., Puppo, L., Hayashi, R., & Morales, P. (2015). *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo*. Recuperado el 15 de octubre de 2018 de <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determin%20los%20parametros%20HÍDRICOS%20de%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>.
23. Gómez, C., Cerrón, R., Capcha, T., & Orihuela, C. (2014). *Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullca*. Revista continental. 4.1; 33-40.

24. Guevara, D. (1998). *La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia*, Eto. Terra Nueva Etapa. 22; 31-72.
25. Hall, J., Kirn, V., & Yanguas, E. (2015). *La gestión de las cuencas hidrográficas para asegurar los servicios ecosistémicos en las laderas del neotrópico*. Banco Interamericano de Desarrollo. Panamá - Panamá.
26. Hargreaves G. H., & Samani Z. A. (1984). *Economic considerations of deficit irrigation*. J. Irrig. Drain. Eng. 100: pp. 343-358.
27. Ibarra, P., Echeverría, M. (2004). *Relaciones clima suelo vegetación*, Zaragoza - España. pp. 200 - 210.
28. Instituto Nacional de Investigación Agropecuario. (2013). *La importancia del agua en el cultivo de papa*. Recuperado el 20 de septiembre del 2018, de <http://innovagro.wordpress.com>.
29. Lala, H. (2017). *Análisis de la sostenibilidad de la producción de agua en la microcuenca del río Pita mediante la determinación de la huella hídrica y disponibilidad de agua*. (Tesis de grado. Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente). Escuela Superior Politécnica del Ejercito. Sangolquí - Ecuador.
30. León, J. (2012). *Riegos y drenajes*. Riobamba: E – COPYCENTER. pp. 13 –57.
31. León, J., & Trezza, R. (1998). *Determinación de evapotranspiración del cultivo y Kc*. Centro Internacional de Riegos. Utah. pp. 3 – 18.
32. Lituma, J., & Medina, W. (2007). *Manual para Manejo Sustentable de las Cuencas Hidrográficas*. (Tesis de grado. Ingeniero Forestal). Universidad Nacional de Loja. Loja - Ecuador.
33. Loor, S. (2017). *Estudio de balance hídrico superficial de las cuencas hidrográficas sector San Juan y San Bartolomé en el área de intercepción con el bosque y vegetación protector Aguarongo*. (Tesis de grado. Ingeniero Ambiental). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca - Ecuador.

34. López, E. (2015). *Método de Blanney-Criddle para determinar la evapotranspiración de los cultivos*. Revista Iberoamericana del agua. 2(23)23;23.
35. Martínez, A. (2004). *Necesidades hídricas en cultivos hortícolas*. Recuperado EL 16 de diciembre de 2018, de [http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh177/034\\_041.pdf](http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh177/034_041.pdf).
36. Mijares, A. (1999). *Infiltración*. Recuperado el 21 de octubre de 2018, de <http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/lvega/ARCHIVOS/INFIL.htm>.
37. Monasterio, P., Pierre, F., Barreto, T., Alejos, G., Maturat, W., & Tablante, J. (2008). *El pluviómetro artesanal: una manera práctica de medir la precipitación*. Instituto Nacional de Investigaciones. Recuperado el 17 de diciembre de 2018, de [http://sian.inia.gob.ve/inia\\_divulga/divulga\\_11/rid11\\_monasterio\\_45-48.pdf](http://sian.inia.gob.ve/inia_divulga/divulga_11/rid11_monasterio_45-48.pdf).
38. Monge, R. (2009). *Manual de operación del simulador de lluvia para la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión de suelos*. Proyecto microcuenca plantón-pacayas documento técnico n° 5 área suelos y aguas. San José-Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
39. Moreno, T. (2011). *Circulación de la materia en el planeta*. Recuperado el 25 de octubre de 2018, de <https://www.monografias.com/trabajos82/circulacion-materia-planeta/circulacion-materia-planeta2.shtml>.
40. Musy, E. (2009). *El ciclo hidrológico*. Recuperado el 23 de octubre de 2018, de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf).
41. Navarrete, O. (2005). *El ciclo del agua*. Recuperado el 21 de octubre de 2018, de <https://www.monografias.com/trabajos109/ensayo-ciclo-del-agua/ensayo-ciclo-delagua.shtml>.
42. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Quisapincha. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial de Quisapincha*. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Quisapincha. Ambato.

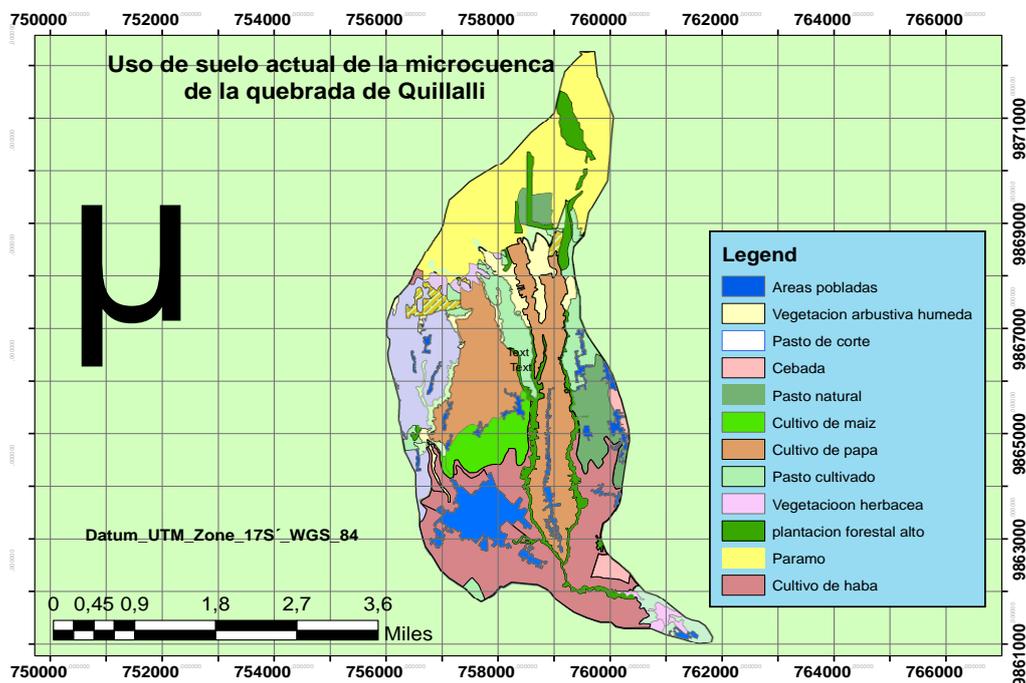
43. Pérez, C., & Shinomi, Y. (2016). *Manejo integral de cuencas hidrográficas*. Recuperado el 14 de noviembre de 2018, de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR32793.pdf>.
44. Pérez, G. (2015). *Ciclo hidrológico, precipitación*. Recuperado el 23 de octubre de 2018, de <http://www.ciclohidrologico.com/precipitacion>.
45. Pizarro, R., Flores, P. Sanguesa, C., & Martínez, E. (2003). *Curvas de infiltración. Sociedad estándares de ingeniería para aguas y suelos*. Recuperado el 25 de noviembre de 2018, de <https://studylib.es/doc/5364880/m%C3%B3dulo-3-curvas-de-infiltraci%C3%B3n>.
46. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2006). *2º Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Recuperado el 18 de diciembre de 2018, de [https://www.iaea.org/technicalcooperation/documents/Factsheets/Water Spanish.pdf](https://www.iaea.org/technicalcooperation/documents/Factsheets/Water%20Spanish.pdf).
47. Quinteros, T. (2015). *El ciclo hidrológico del agua*. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de <https://es.scribd.com/document/389986070/Parametros-de-calidad-del-agua>.
48. Ramos, M., (2012). *Parámetros de diseño para un sistema tecnificado de riego por aspersión*. (Tesis grado. Ingeniero Agrónomo). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.
49. Reyes, I., Bolaños, G., & González, F., (2018). *Balance hídrico de las presas Hoover y Glenn Canyon ubicadas sobre el cauce del río Colorado*. Recuperado el 25 de octubre de 2018, de [https://www.ina.gob.ar/congreso\\_hidraulica/resumenes/LADHI\\_2018\\_RE\\_387.pdf](https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_387.pdf)
50. Sabas, C., & Paredes, D. (2009). *Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del río barbas*. Scientia et Technica. 2.42; 405-409.
51. Santos, V., & Castro, A. (2012). *Estudio de la pérdida del recurso suelo mediante el cálculo de tasas de erosión y propuesta de estrategias de manejo de suelos, determinadas por las características socio-ambientales de los Andes Ecuatorianos*.

- (Tesis grado. Ingeniero en Ciencias Geográficas y Desarrollo Sustentable). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito - Ecuador.
52. Santos, D., Fernández, R., Pazos, C., & Arraras, R. (2006). *Método de Blanney-Criddle para determinar la evapotranspiración de los cultivos*. Revista Iberoamericana del agua 15(1), 14.
  53. Sokolov, A., & Chapman, T. (1981). *Métodos de cálculo de balance hídrico*. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001377/137771so.pdf>.
  54. Tapia, C. (2009). *Establecimiento de una red de monitoreo participativo de caudales en los afluentes de la microcuenca Alta del río Guargagualla para conocer la oferta hídrica* (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.
  55. Tierra, R. (2013). *Determinación de la oferta hídrica del río Sicalpa, para la definición de políticas del uso óptimo del agua en el cantón Colta provincia de Chimborazo*. (Tesis grado. Ingeniero Forestal). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.
  56. Torrero, A. (2009). *Análisis del balance hídrico para el río Cataratas y Chubut*. Revista de Ciencias Agrarias y Tecnología de los Alimentos. Recuperado el 15 de diciembre de 2018, de <http://www.uca.edu.ar/uca/common/grupo5/files/Vol25-lakkis.pdf>.
  57. Umaña, E. (2002) *Manejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua*. Universidad Nacional Agraria. San Nicolás - Nicaragua.
  58. Uribe, A., & Navas, R. (2015). *Generalidades sobre caudal ecológico y huella hídrica*. Lima: Unidades Tecnológicas Santander.
  59. Valencia, N. (2017). *Estimación de caudales ecológicos mediante métodos hidrológicos, hidráulicos y ecológicos*. Universidad Pontificia Javeriana. Bogotá - Colombia.
  60. Vera, H., Acuña, J., & Yerrén J. (2008). *Balance hídrico superficial de las cuencas de los ríos Chira y Piura*. Dirección general de hidrología y recursos hídricos. Recuperado

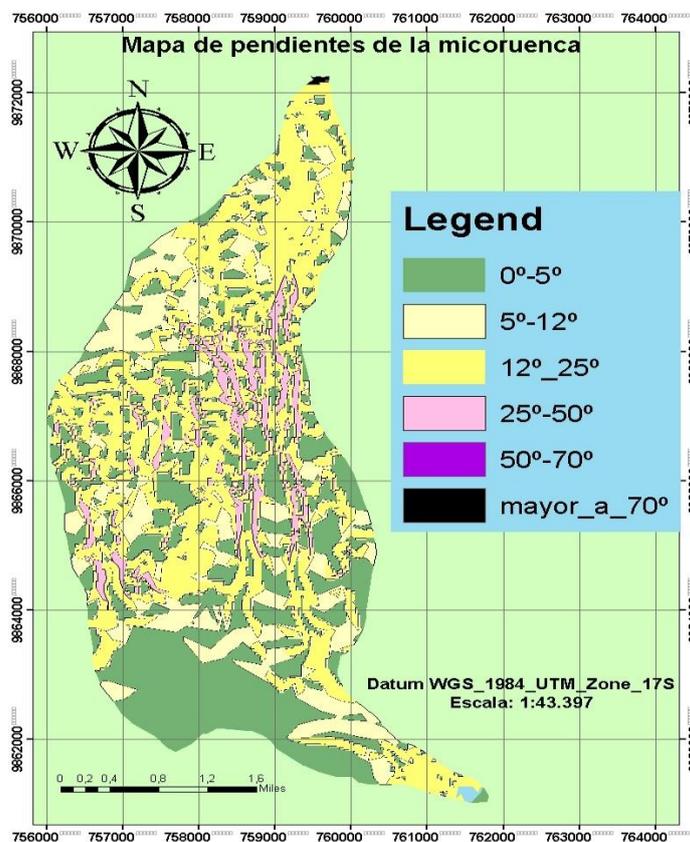
el 5 de enero del 2019, de [http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/Paper\\_BHSCHP.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/Paper_BHSCHP.pdf).

- 61.** Waldo, C., Labat, D., Guyot, J., Bardin, S., & Ordóñez, J. (2011). *Modelos de balance hídrico mensual en la cuenca hidrográfica del Amazonas en Perú: cuenca del río Ucayali*. Revista Peruana Geo-Atmosférica. Recuperado el 16 de diciembre de 2018, de [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers17-08/010070672.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers17-08/010070672.pdf).

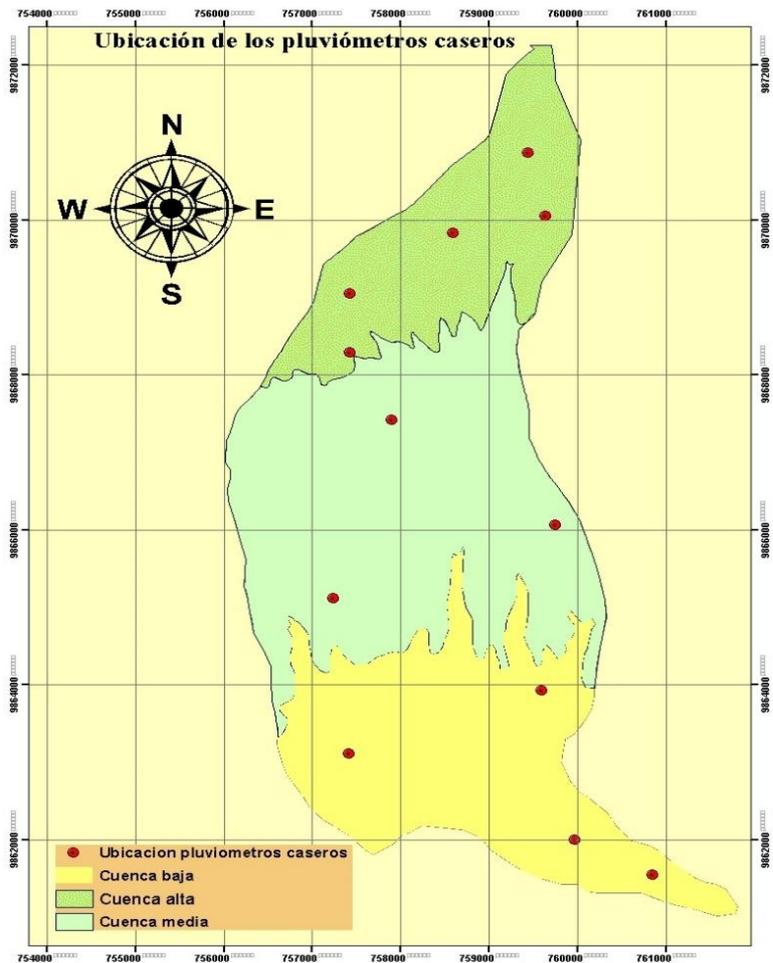
# XI. ANEXOS



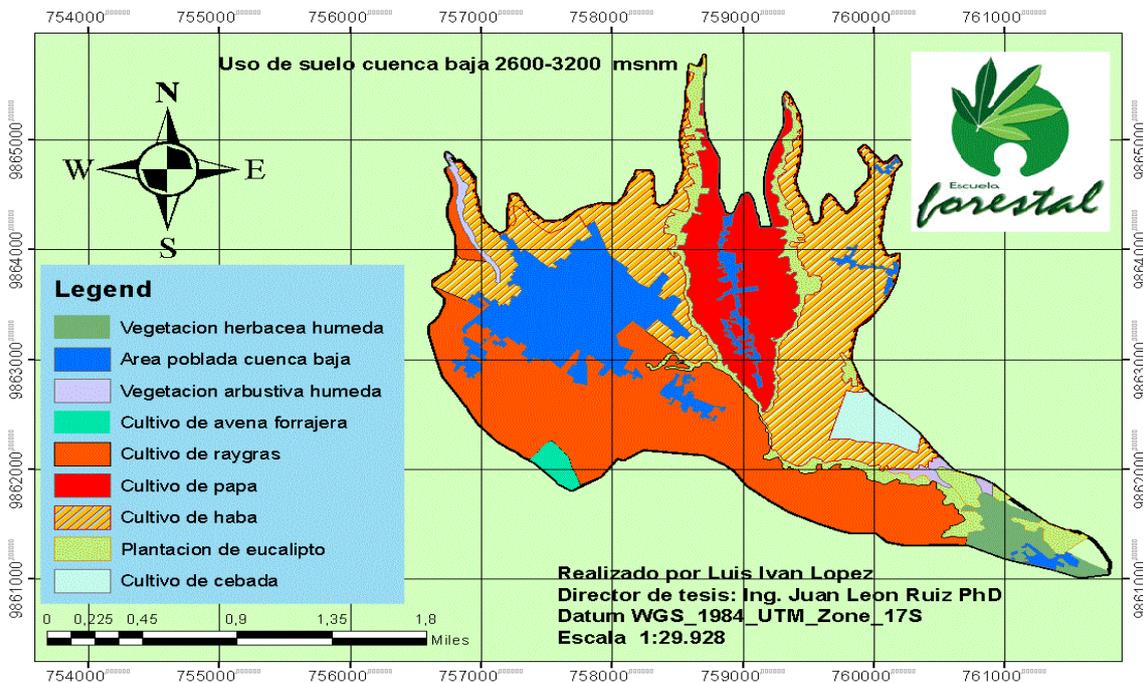
Anexo 1. Mapa de uso de suelo actual de la microcuenca de la quebrada de Quillali



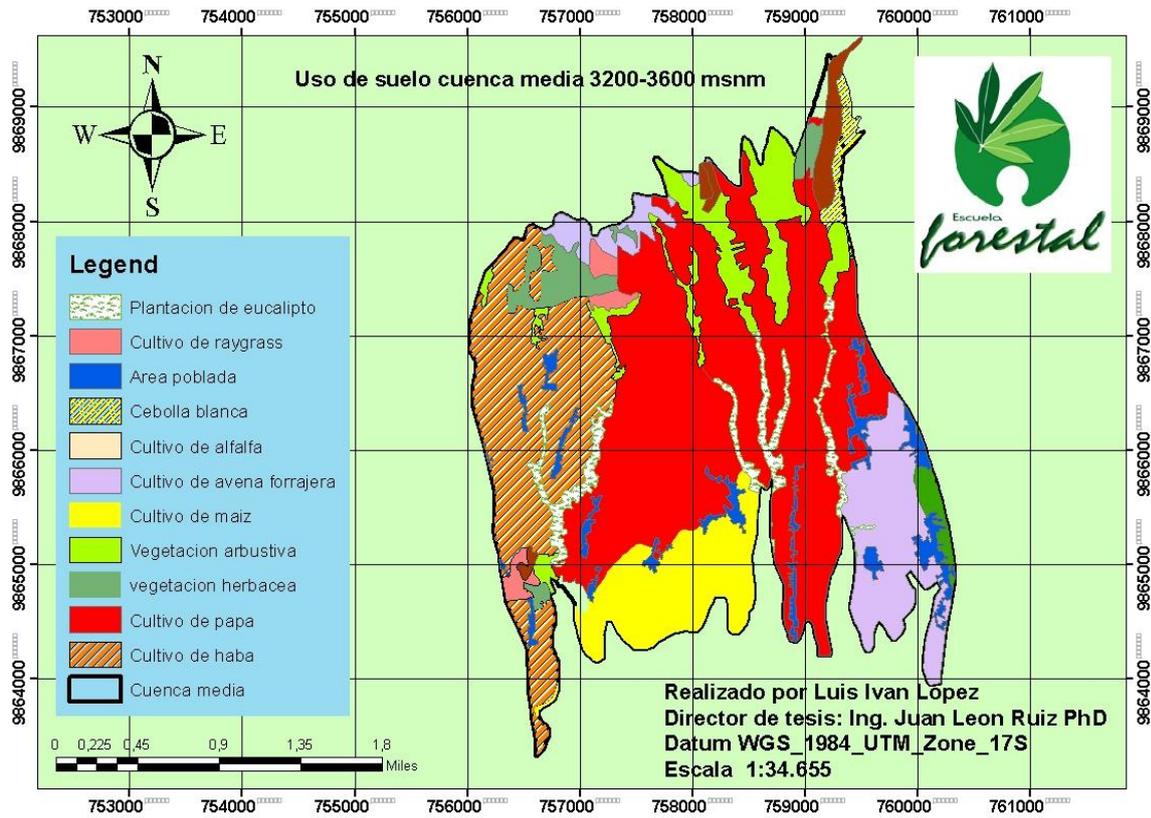
Anexo 2. Mapa de pendientes de la microcuenca de la quebrada de Quillali



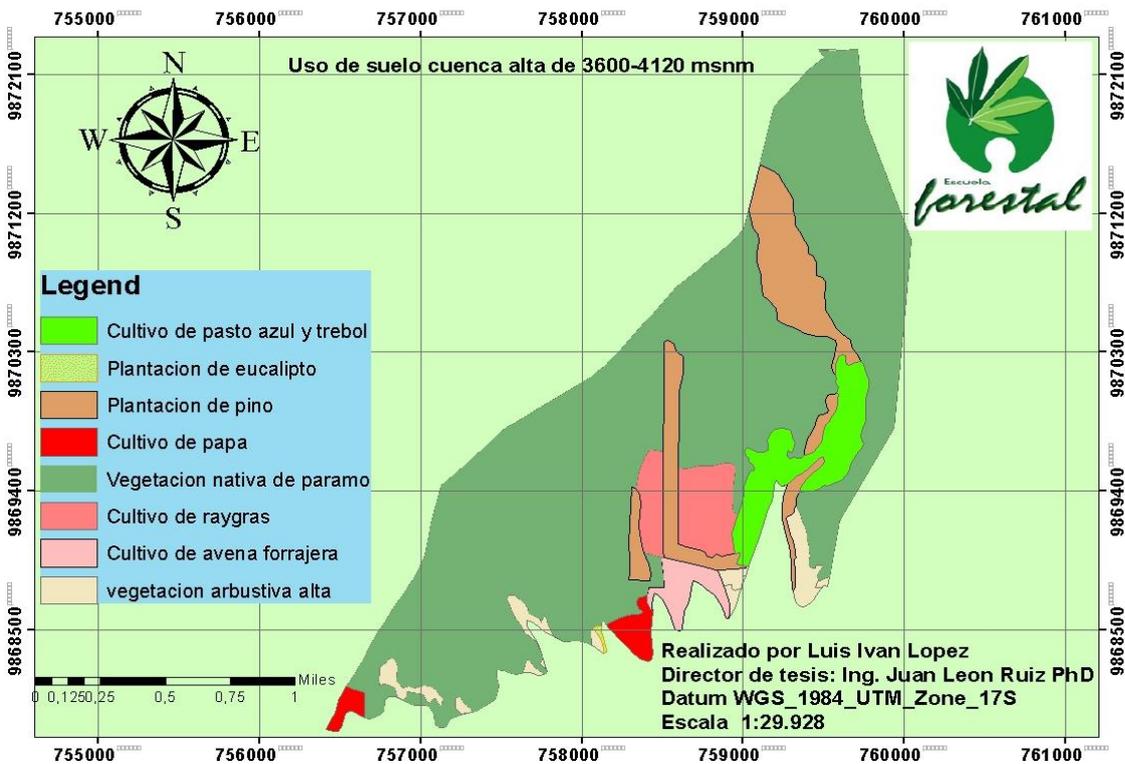
Anexo 3 Ubicación de los pluviómetros caseros



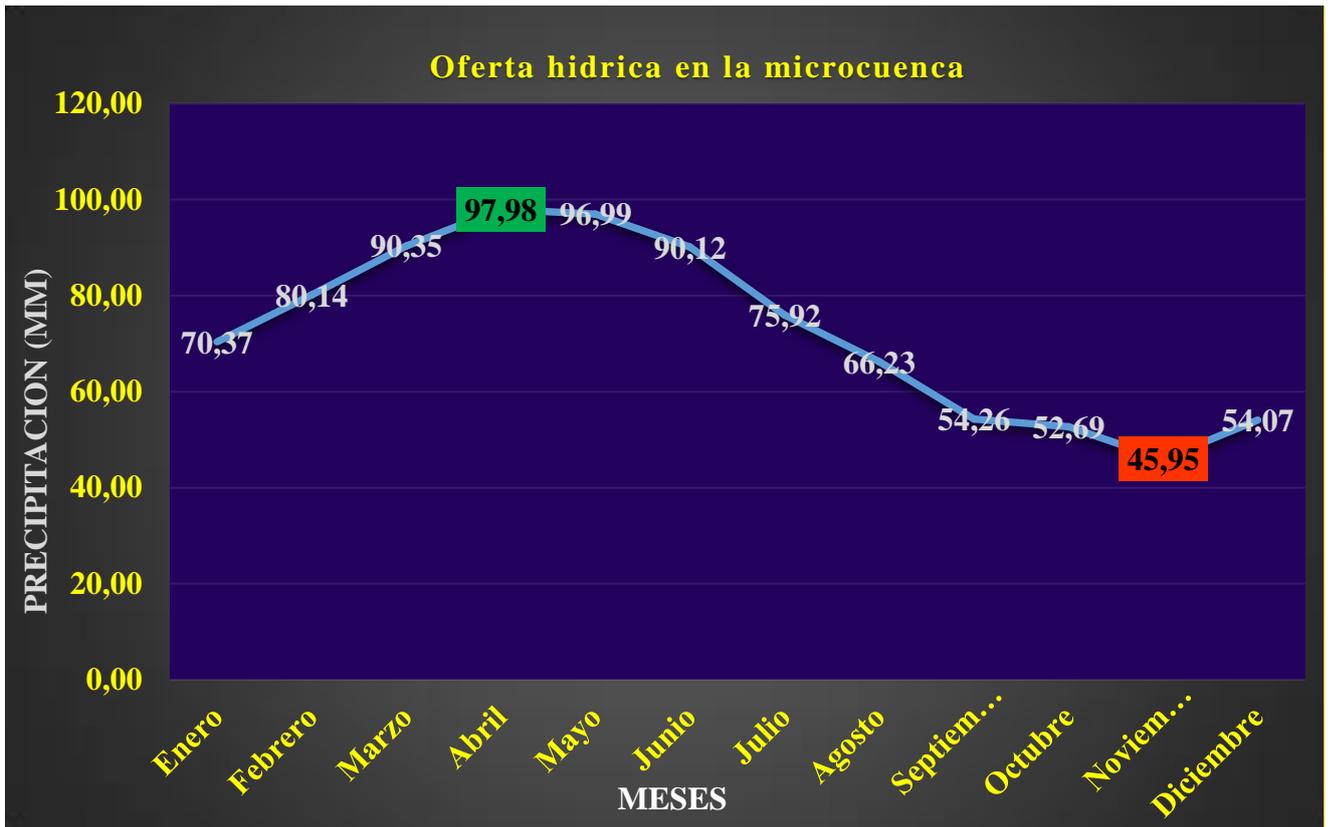
Anexo 4. Mapa del uso actual del suelo en la cuenca baja



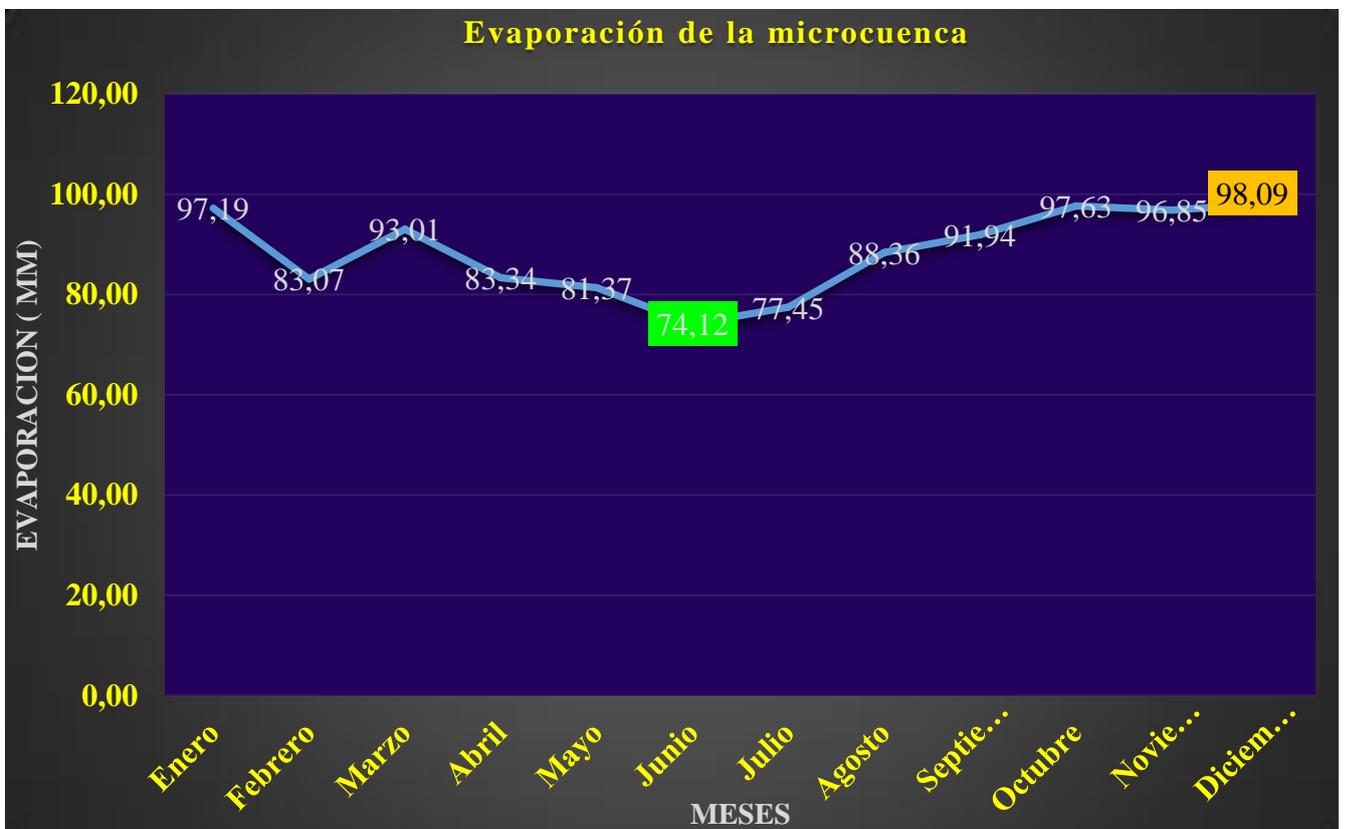
Anexo 5. Mapa del uso actual del suelo en la cuenca media



Anexo 6. Mapa del uso actual del suelo en la cuenca alta



Anexo 7 Oferta hídrica en la microcuenca



Anexo 8. Evaporación de la microcuenca

r2 = 0,9918845 0,9990305  
 Intercepto= 0,9880685 1,7019031  
 Pendiente= 0,9758479 0,7568498

Tiempo		Lectura de escala	Lamina		Infiltración	
Tiempo acumulado minutos	Intervalo de tiempo entre lectura (min)	Nivel del agua. (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lamina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración instantánea	
A	$B = (A_{i+1} - A_i)$	C	$E = (C_{i+1} - C_i) \text{ ó } (C_{i+1} - D_i)$	$F = F_{i-1} + E_i$	$G = E_i/B_i$	$H = G * 60$
0		35,00	0,00	0,00		
1	1	34,00	10,00	10,00	10,000	600,0
2,08	1,08	33,00	10,00	20,00	9,259	555,6
3,45	1,37	32,00	10,00	30,00	7,299	438,0
4,54	1,09	31,00	10,00	40,00	9,174	550,5
5,09	0,55	30,00	10,00	50,00	18,182	1090,9
6,05	0,96	29,00	10,00	60,00	10,417	625,0
7,22	1,17	28,00	10,00	70,00	8,547	512,8
8,31	1,09	27,00	10,00	80,00	9,174	550,5
9,51	1,2	26,00	10,00	90,00	8,333	500,0
10,52	1,01	25,00	10,00	100,00	9,901	594,1
11,52	1	24,00	10,00	110,00	10,000	600,0
12,52	1	23,00	10,00	120,00	10,000	600,0

Y	X	Valores Estimados	
Log LAM	Log T	Lamina	Velocidad
		(mm)	(mm/hr)
		0,0000	
1,0000	0,0000	9,7290	569,6419
1,3010	0,3181	19,8815	559,6546
1,4771	0,5378	32,5760	552,8566
1,6021	0,6571	42,5849	549,2028
1,6990	0,7067	47,6121	547,6881
1,7782	0,7818	56,3564	545,4073
1,8451	0,8585	66,9685	543,0834
1,9031	0,9196	76,8174	541,2423
1,9542	0,9782	87,6242	539,4819
2,0000	1,0220	96,6942	538,1684
2,0414	1,0615	105,6537	536,9894
2,0792	1,0976	114,5944	535,9109

13,58	1,06	22,00	10,00	130,00	9,434	566,0
15,28	1,7	21,00	10,00	140,00	5,882	352,9
16,53	1,25	20,00	10,00	150,00	8,000	480,0
19,02	2,49	19,00	10,00	160,00	4,016	241,0
21,33	2,31	18,00	10,00	170,00	4,329	259,7
23,33	2	17,00	10,00	180,00	5,000	300,0
25,43	2,1	16,00	10,00	190,00	4,762	285,7
27,52	2,09	15,00	10,00	200,00	4,785	287,1
30,45	2,93	14,00	10,00	210,00	3,413	204,8
32,57	2,12	13,00	10,00	220,00	4,717	283,0
35,53	2,96	12,00	10,00	230,00	3,378	202,7
38,42	2,89	11,00	10,00	240,00	3,460	207,6
40,53	2,11	10,00	10,00	250,00	4,739	284,4
42,59	2,06	9,00	10,00	260,00	4,854	291,3
45,05	2,46	8,00	10,00	270,00	4,065	243,9
47,49	2,44	7,00	10,00	280,00	4,098	245,9
49,53	2,04	6,00	10,00	290,00	4,902	294,1
52,28	2,75	5,00	10,00	300,00	3,636	218,2
55,21	2,93	4,00	10,00	310,00	3,413	204,8
57,54	2,33	3,00	10,00	320,00	4,292	257,5
59,57	2,03	2,00	10,00	330,00	4,926	295,6
62,25	2,68	1,00	10,00	340,00	3,731	223,9

2,1139	1,1329	124,0528	534,8600
2,1461	1,1841	139,1851	533,3385
2,1761	1,2183	150,2857	532,3266
2,2041	1,2792	172,3390	530,5257
2,2304	1,3290	192,7354	529,0590
2,2553	1,3679	210,3514	527,9150
2,2788	1,4053	228,8089	526,8172
2,3010	1,4396	247,1420	525,8132
2,3222	1,4836	272,7873	524,5299
2,3424	1,5128	291,3055	523,6780
2,3617	1,5506	317,1127	522,5789
2,3802	1,5846	342,2596	521,5929
2,3979	1,6078	360,5903	520,9198
2,4150	1,6293	378,4644	520,2964
2,4314	1,6537	399,7820	519,5912
2,4472	1,6766	420,8985	518,9297
2,4624	1,6949	438,5330	518,4029
2,4771	1,7183	462,2775	517,7268
2,4914	1,7420	487,5431	517,0454
2,5051	1,7600	507,6116	516,5294
2,5185	1,7750	525,0801	516,0971
2,5315	1,7941	548,1201	515,5488

**Anexo 9.** Calculo infiltración cuenca baja suelo sin cobertura vegetal

r2 = 0,965319446 0,99903057  
 Intercepto= 1,069541766 1,70190316  
 Pendiente= 0,99963671 0,75684988

Tiempo		Lectura de escala	Lamina		Infiltración	
Tiempo Acumulado minutos	Intervalo de tiempo entre lectura (min)	Nivel del agua. (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lamina Acumulada (mm)	Velocidad de infiltración instantánea	
A	$B = (A_{i+1} - A_i)$	C	$E = (C_{i+1} - C_i)$ ó $(C_{i+1} - D_i)$	$F = F_{i-1} + E_i$	$G = E_i/B_i$	$H = G * 60$
0		35,00	0,00	0,00		
1,02	1,02	34,00	10,00	10,00	9,804	588,2
1,48	0,46	33,00	10,00	20,00	21,739	1304,3
2,25	0,77	32,00	10,00	30,00	12,987	779,2
3,34	1,09	31,00	10,00	40,00	9,174	550,5
4,4	1,06	30,00	10,00	50,00	9,434	566,0
5,53	1,13	29,00	10,00	60,00	8,850	531,0
7,06	1,53	28,00	10,00	70,00	6,536	392,2
8,11	1,05	27,00	10,00	80,00	9,524	571,4
9,51	1,4	26,00	10,00	90,00	7,143	428,6
11,2	1,69	25,00	10,00	100,00	5,917	355,0
12,42	1,22	24,00	10,00	110,00	8,197	491,8

Y	X	Valores Estimados	
Log LAM	Log T	Lamina	Velocidad
		(mm)	(mm/hr)
		0,0000	
1,0000	0,0086	11,9712	703,9342
1,3010	0,1703	17,3677	703,8391
1,4771	0,3522	26,3995	703,7319
1,6021	0,5237	39,1830	703,6310
1,6990	0,6435	51,6132	703,5605
1,7782	0,7427	64,8630	703,5021
1,8451	0,8488	82,8015	703,4397
1,9031	0,9090	95,1114	703,4042
1,9542	0,9782	111,5236	703,3635
2,0000	1,0492	131,3344	703,3217
2,0414	1,0941	145,6350	703,2953

14,32	1,9	23,00	10,00	120,00	5,263	315,8
15,58	1,26	22,00	10,00	130,00	7,937	476,2
17,55	1,97	21,00	10,00	140,00	5,076	304,6
19,43	1,88	20,00	10,00	150,00	5,319	319,1
21,42	1,99	19,00	10,00	160,00	5,025	301,5
23,33	1,91	18,00	10,00	170,00	5,236	314,1
25,33	2	17,00	10,00	180,00	5,000	300,0
28,43	3,1	16,00	10,00	190,00	3,226	193,5
31,12	2,69	15,00	10,00	200,00	3,717	223,0
33,25	2,13	14,00	10,00	210,00	4,695	281,7
36,17	2,92	13,00	10,00	220,00	3,425	205,5
38,23	2,06	12,00	10,00	230,00	4,854	291,3
42,22	3,99	11,00	10,00	240,00	2,506	150,4
45,53	3,31	10,00	10,00	250,00	3,021	181,3
49,43	3,9	9,00	10,00	260,00	2,564	153,8
54,33	4,9	8,00	10,00	270,00	2,041	122,4
58,53	4,20	7,00	10,00	280,00	2,381	142,9
63,23	4,7	6,00	10,00	290,00	2,128	127,7
67,78	4,55	5,00	10,00	300,00	2,198	131,9
71,91	4,13	4,00	10,00	310,00	2,421	145,3
77,34	5,43	3,00	10,00	320,00	1,842	110,5
82,65	5,31	2,00	10,00	330,00	1,883	113,0
87,75	5,1	1,00	10,00	340,00	1,961	117,6

2,0792	1,1559	167,9055	703,2590
2,1139	1,1926	182,6737	703,2374
2,1461	1,2443	205,7628	703,2070
2,1761	1,2885	227,7962	703,1810
2,2041	1,3308	251,1180	703,1561
2,2304	1,3679	273,5014	703,1343
2,2553	1,4036	296,9389	703,1133
2,2788	1,4538	333,2656	703,0838
2,3010	1,4930	364,7867	703,0607
2,3222	1,5218	389,7450	703,0438
2,3424	1,5583	423,9593	703,0223
2,3617	1,5824	448,0961	703,0081
2,3802	1,6255	494,8453	702,9828
2,3979	1,6583	533,6260	702,9635
2,4150	1,6940	579,3179	702,9425
2,4314	1,7350	636,7239	702,9184
2,4472	1,7674	685,9275	702,8994
2,4624	1,8009	740,9872	702,8796
2,4771	1,8311	794,2882	702,8619
2,4914	1,8568	842,6680	702,8468
2,5051	1,8884	906,2748	702,8282
2,5185	1,9172	968,4743	702,8112
2,5315	1,9432	1028,2126	702,7960

Anexo 10. Calculo infiltración cuenca baja suelo con cultivo

r2 = 0,999194731 0,99903057

Intercepto= 0,645126088 1,70190316

Pendiente= 0,945901626 0,75684988

Tiempo		Lectura de escala	Lamina		Infiltración	
Tiempo acumulado minutos	Intervalo de Tiempo entre lectura (min)	Nivel del agua. (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lamina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración instantánea (mm/min)	(mm/hr)
A	$B = (A_{i+1} - A_i)$	C	$E = (C_{i+1} - C_i)$ ó $(C_{i+1} - D_i)$	$F = F_{i-1} + E_i$	$G = E_i/B_i$	$H = G * 60$
0		35,00	0,00	0,00		
2,33	2,33	34,00	10,00	10,00	4,292	257,5
5,06	2,73	33,00	10,00	20,00	3,663	219,8
7,57	2,51	32,00	10,00	30,00	3,984	239,0
10,45	2,88	31,00	10,00	40,00	3,472	208,3
13,06	2,61	30,00	10,00	50,00	3,831	229,9
15,35	2,29	29,00	10,00	60,00	4,367	262,0
17,51	2,16	28,00	10,00	70,00	4,630	277,8
20,22	2,71	27,00	10,00	80,00	3,690	221,4
22,33	2,11	26,00	10,00	90,00	4,739	284,4
24,39	2,06	25,00	10,00	100,00	4,854	291,3
26,55	2,16	24,00	10,00	110,00	4,630	277,8

Y	X	Valores Estimados	
Log LAM	Log T	Lamina (mm)	Velocidad (mm/hr)
		0,0000	
1,0000	0,3674	9,8312	239,4694
1,3010	0,7042	20,4731	229,6307
1,4771	0,8791	29,9685	224,6806
1,6021	1,0191	40,6546	220,7958
1,6990	1,1159	50,1994	218,1487
1,7782	1,1861	58,4882	216,2503
1,8451	1,2433	66,2449	214,7156
1,9031	1,3058	75,9043	213,0506
1,9542	1,3489	83,3762	211,9096
2,0000	1,3872	90,6342	210,9004
2,0414	1,4241	98,2089	209,9345

29,37	2,82	23,00	10,00	120,00	3,546	212,8
33,22	3,85	22,00	10,00	130,00	2,597	155,8
36,55	3,33	21,00	10,00	140,00	3,003	180,2
40,53	3,98	20,00	10,00	150,00	2,513	150,8
44,48	3,95	19,00	10,00	160,00	2,532	151,9
48,13	3,65	18,00	10,00	170,00	2,740	164,4
52,01	3,88	17,00	10,00	180,00	2,577	154,6
56,03	4,02	16,00	10,00	190,00	2,488	149,3
60,06	4,03	15,00	10,00	200,00	2,481	148,9
64,57	4,51	14,00	10,00	210,00	2,217	133,0
69,42	4,85	13,00	10,00	220,00	2,062	123,7
73,48	4,06	12,00	10,00	230,00	2,463	147,8
78,44	4,96	11,00	10,00	240,00	2,016	121,0
83,31	4,87	10,00	10,00	250,00	2,053	123,2
88,01	4,7	9,00	10,00	260,00	2,128	127,7
92,49	4,48	8,00	10,00	270,00	2,232	133,9
97,24	4,75	7,00	10,00	280,00	2,105	126,3
101,56	4,32	6,00	10,00	290,00	2,315	138,9
106,21	4,65	5,00	10,00	300,00	2,151	129,0
110,54	4,33	4,00	10,00	310,00	2,309	138,6
115,23	4,69	3,00	10,00	320,00	2,132	127,9
120,02	4,79	2,00	10,00	330,00	2,088	125,3
124,56	4,54	1,00	10,00	340,00	2,203	132,2

2,0792	1,4679	108,0485	208,7912
2,1139	1,5214	121,4005	207,4044
2,1461	1,5629	132,8813	206,3354
2,1761	1,6078	146,5293	205,1848
2,2041	1,6482	160,0029	204,1551
2,2304	1,6824	172,3955	203,2859
2,2553	1,7161	185,5135	202,4351
2,2788	1,7484	199,0490	201,6214
2,3010	1,7786	212,5655	200,8652
2,3222	1,8100	227,6340	200,0800
2,3424	1,8415	243,7751	199,2976
2,3617	1,8662	257,2400	198,6857
2,3802	1,8945	273,6354	197,9848
2,3979	1,9207	289,6787	197,3407
2,4150	1,9445	305,1140	196,7557
2,4314	1,9661	319,7852	196,2279
2,4472	1,9878	335,2987	195,6970
2,4624	2,0067	349,3722	195,2373
2,4771	2,0262	364,4846	194,7651
2,4914	2,0435	378,5249	194,3445
2,5051	2,0616	393,6990	193,9081
2,5185	2,0793	409,1622	193,4813
2,5315	2,0954	423,7875	193,0931

**Anexo 11.** Calculo infiltración cuenca media suelo sin cobertura vegetal

r2 = 0,997925531 0,99903057  
 Intercepto= 0,733005103 1,70190316

Pendiente= 0,830297514 0,756849884

Tiempo		Lectura de escala Lamina			Infiltración	
Tiempo Acumulado Minutos	Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Nivel del agua. (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lamina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración Instantánea	
A	$B = (A_{i+1} - A_i)$	C	$E = (C_{i+1} - C_i)$ ó $(C_{i+1} - D_i)$	$F = F_{i-1} + E_i$	$G = E_i/B_i$	$H = G * 60$
					(mm/min)	(mm/hr)
0	0	35,00	0,00	0,00		
2,02	2,02	34,00	10,00	10,00	4,950	297,0
5,01	2,99	33,00	10,00	20,00	3,344	200,7
8,25	3,24	32,00	10,00	30,00	3,086	185,2
11,24	2,99	31,00	10,00	40,00	3,344	200,7
14,29	3,05	30,00	10,00	50,00	3,279	196,7
17,51	3,22	29,00	10,00	60,00	3,106	186,3
21,42	3,91	28,00	10,00	70,00	2,558	153,5
25,05	3,63	27,00	10,00	80,00	2,755	165,3
28,29	3,24	26,00	10,00	90,00	3,086	185,2
32,58	4,29	25,00	10,00	100,00	2,331	139,9
37,09	4,51	24,00	10,00	110,00	2,217	133,0
41,18	4,09	23,00	10,00	120,00	2,445	146,7
44,43	3,25	22,00	10,00	130,00	3,077	184,6
49,03	4,6	21,00	10,00	140,00	2,174	130,4

Y	X	Valores Estimados	
Log LAM	Log T	Lamina (mm)	Velocidad (mm/h)
		0,0000	
1,0000	0,3054	9,6948	239,0954
1,3010	0,6998	20,6100	204,9396
1,4771	0,9165	31,1842	188,3066
1,6021	1,0508	40,3138	178,6786
1,6990	1,1550	49,2068	171,5451
1,7782	1,2433	58,2509	165,7301
1,8451	1,3308	68,8622	160,1573
1,9031	1,3988	78,4209	155,9585
1,9542	1,4516	86,7546	152,7722
2,0000	1,5130	97,5449	149,1552
2,0414	1,5693	108,6313	145,9094
2,0792	1,6147	118,4882	143,3421
2,1139	1,6477	126,2021	141,5062
2,1461	1,6905	136,9593	139,1600

53,02	3,99	20,00	10,00	150,00	2,506	150,4
113,22	7,67	10,00	10,00	250,00	1,304	78,2
121,39	8,17	9,00	10,00	260,00	1,224	73,4
129,17	7,78	8,00	10,00	270,00	1,285	77,1
137,51	8,34	7,00	10,00	280,00	1,199	71,9
144,03	6,52	6,00	10,00	290,00	1,534	92,0
154,05	10,02	5,00	10,00	300,00	0,998	59,9
163,52	9,47	4,00	10,00	310,00	1,056	63,4
172,51	8,99	3,00	10,00	320,00	1,112	66,7
182,11	9,6	2,00	10,00	330,00	1,042	62,5
192,23	10,12	1,00	10,00	340,00	0,988	59,3

**Anexo 12.** Cálculo de infiltración en la cuenca media suelo con pastizal

2,1761	1,7244	146,1514	137,3246
2,3979	2,0539	274,3926	120,7353
2,4150	2,0842	290,7348	119,3161
2,4314	2,1112	306,1240	118,0649
2,4472	2,1383	322,4473	116,8179
2,4624	2,1585	335,0914	115,9032
2,4771	2,1877	354,3359	114,5878
2,4914	2,2136	372,3295	113,4336
2,5051	2,2368	389,2480	112,4080
2,5185	2,2603	407,1502	111,3796
2,5315	2,2838	425,8495	110,3621

Intercepto= 0,403411993 1,70190316

Pendiente= 0,927273573 0,75684988

Tiempo		Lectura de escala	Lamina		Infiltración	
Tiempo Acumulado Minutos	Intervalo de Tiempo entre Lectura (min)	Nivel del agua. (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lamina Acumulada (mm)	Velocidad de infiltración instantánea	
					(mm/min)	(mm/h)
A	B= (A <sub>i+1</sub> - A <sub>i</sub> )	C	E= (C <sub>i+1</sub> - C <sub>i</sub> ) ó (C <sub>i+1</sub> - D <sub>i</sub> )	F=F <sub>i-1</sub> + E <sub>i</sub>	G = E <sub>i</sub> /B <sub>i</sub>	H = G*60
0		35,00	0,00	0,00		
4,41	4,41	34,00	10,00	10,00	2,268	136,1
9,28	4,87	33,00	10,00	20,00	2,053	123,2
14,35	5,07	32,00	10,00	30,00	1,972	118,3
19,5	5,15	31,00	10,00	40,00	1,942	116,5
25,1	5,6	30,00	10,00	50,00	1,786	107,1
30,42	5,32	29,00	10,00	60,00	1,880	112,8
36,31	5,89	28,00	10,00	70,00	1,698	101,9
42,1	5,79	27,00	10,00	80,00	1,727	103,6
48,45	6,35	26,00	10,00	90,00	1,575	94,5
55,03	6,58	25,00	10,00	100,00	1,520	91,2
62,1	7,07	24,00	10,00	110,00	1,414	84,9
69,12	7,02	23,00	10,00	120,00	1,425	85,5
77,01	7,89	22,00	10,00	130,00	1,267	76,0
111,32	9,42	18,00	10,00	170,00	1,062	63,7

Y	X	Valores Estimados	
Log LAM	Log T	Lamina (mm)	Velocidad (mm/h)
		0,0000	
1,0000	0,6444	10,0227	126,4455
1,3010	0,9675	19,9799	119,7857
1,4771	1,1569	29,9316	116,0479
1,6021	1,2900	39,7765	113,4884
1,6990	1,3997	50,2681	111,4238
1,7782	1,4832	60,0767	109,8769
1,8451	1,5600	70,7918	108,4716
1,9031	1,6243	81,2018	107,3107
1,9542	1,6853	92,4997	106,2199
2,0000	1,7406	104,0936	105,2407
2,0414	1,7931	116,4390	104,3196
2,0792	1,8396	128,5961	103,5102
2,1139	1,8865	142,1534	102,6997
2,2304	2,0466	200,0531	99,9842

121,31	9,99	17,00	10,00	180,00	1,001	60,1
131,4	10,09	16,00	10,00	190,00	0,991	59,5
142,05	10,65	15,00	10,00	200,00	0,939	56,3
153,35	11,3	14,00	10,00	210,00	0,885	53,1
164,05	10,7	13,00	10,00	220,00	0,935	56,1
175,53	11,48	12,00	10,00	230,00	0,871	52,3
186,43	10,9	11,00	10,00	240,00	0,917	55,0
198,4	11,97	10,00	10,00	250,00	0,835	50,1
209,05	10,65	9,00	10,00	260,00	0,939	56,3
221,01	11,96	8,00	10,00	270,00	0,836	50,2
231,51	10,50	7,00	10,00	280,00	0,952	57,1
241,56	10,05	6,00	10,00	290,00	0,995	59,7
274,46	11,33	3,00	10,00	320,00	0,883	53,0
286,21	11,75	2,00	10,00	330,00	0,851	51,1
297,32	11,11	1,00	10,00	340,00	0,900	54,0

**Anexo 13.** Cálculo de la infiltración en la cuenca alta suelo con de pastizal

2,2553	2,0839	216,6478	99,3612
2,2788	2,1186	233,3079	98,7855
2,3010	2,1524	250,7921	98,2272
2,3222	2,1857	269,2395	97,6819
2,3424	2,2150	286,6163	97,2039
2,3617	2,2444	305,1685	96,7269
2,3802	2,2705	322,7017	96,3041
2,3979	2,2975	341,8705	95,8692
2,4150	2,3203	358,8547	95,5053
2,4314	2,3444	377,8533	95,1197
2,4472	2,3646	394,4710	94,7991
2,4624	2,3830	410,3251	94,5066
2,5051	2,4385	461,9013	93,6331
2,5185	2,4567	480,2097	93,3480
2,5315	2,4732	497,4705	93,0899

r2 = 0,998423094 0,99903057  
 Intercepto= 0,828311338 1,70190316  
 Pendiente= 0,947879762 0,756849884

Tiempo		Lectura de escala Lamina			Infiltración	
Tiempo acumulado Minutos	Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Nivel del agua. (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lamina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración instantánea (mm/min) (mm/h)	
A	$B = (A_{i+1} - A_i)$	C	$E = (C_{i+1} - C_i)$ ó $(C_{i+1} - D_i)$	$F = F_{i-1} + E_i$	$G = E_i/B_i$	$H = G * 60$
0	0	35,00	0,00	0,00		
1,53	1,53	34,00	10,00	10,00	6,536	392,2
3,23	1,7	33,00	10,00	20,00	5,882	352,9
4,59	1,36	32,00	10,00	30,00	7,353	441,2
6,50	1,91	31,00	10,00	40,00	5,236	314,1
8,37	1,87	30,00	10,00	50,00	5,348	320,9
10,23	1,86	29,00	10,00	60,00	5,376	322,6
12,24	2,01	28,00	10,00	70,00	4,975	298,5
14,28	2,04	27,00	10,00	80,00	4,902	294,1
16,40	2,12	26,00	10,00	90,00	4,717	283,0
18,55	2,15	25,00	10,00	100,00	4,651	279,1
21,55	3	24,00	10,00	110,00	3,333	200,0
24,29	2,74	23,00	10,00	120,00	3,650	219,0
27,15	2,86	22,00	10,00	130,00	3,497	209,8
30,18	3,03	21,00	10,00	140,00	3,300	198,0

Y	X	Valores Estimados	
Log LAM	Log T	Lamina (mm)	Velocidad (mm/h)
		0,0000	
1,0000	0,1847	10,0781	374,6189
1,3010	0,5092	20,4632	360,3098
1,4771	0,6618	28,5516	353,7708
1,6021	0,8129	39,7059	347,4134
1,6990	0,9227	50,4596	342,8650
1,7782	1,0099	61,0312	339,2977
1,8451	1,0878	72,3431	336,1402
1,9031	1,1547	83,7249	333,4503
1,9542	1,2148	95,4635	331,0533
2,0000	1,2683	107,2874	328,9345
2,0414	1,3334	123,6685	326,3745
2,0792	1,3854	138,5256	324,3449
2,1139	1,4338	153,9404	322,4686
2,1461	1,4797	170,1795	320,6952

33,30	3,12	20,00	10,00	150,00	3,205	192,3
37,18	3,88	19,00	10,00	160,00	2,577	154,6
40,52	3,34	18,00	10,00	170,00	2,994	179,6
44,49	3,97	17,00	10,00	180,00	2,519	151,1
49,30	4,81	16,00	10,00	190,00	2,079	124,7
54,05	4,75	15,00	10,00	200,00	2,105	126,3
59,54	5,49	14,00	10,00	210,00	1,821	109,3
65,27	5,73	13,00	10,00	220,00	1,745	104,7
71,48	6,21	12,00	10,00	230,00	1,610	96,6
79,08	7,6	11,00	10,00	240,00	1,316	78,9
89,08	10	10,00	10,00	250,00	1,000	60,0
100,07	10,99	9,00	10,00	260,00	0,910	54,6
111,07	11	8,00	10,00	270,00	0,909	54,5
121,17	10,1	7,00	10,00	280,00	0,990	59,4
132,45	11,28	6,00	10,00	290,00	0,887	53,2
144,23	11,78	5,00	10,00	300,00	0,849	50,9
155,34	11,11	4,00	10,00	310,00	0,900	54,0
166,52	11,18	3,00	10,00	320,00	0,894	53,7
177,44	10,92	2,00	10,00	330,00	0,916	54,9
188,72	11,28	1,00	10,00	340,00	0,887	53,2

**Anexo 14.** Cálculo de infiltración en la vegetación nativa de páramo

2,1761	1,5224	186,8123	319,0551
2,2041	1,5703	207,3843	317,2276
2,2304	1,6077	225,0032	315,8084
2,2553	1,6483	245,8476	314,2737
2,2788	1,6928	270,9734	312,5966
2,3010	1,7328	295,6605	311,1015
2,3222	1,7748	324,0535	309,5369
2,3424	1,8147	353,5425	308,0580
2,3617	1,8542	385,3500	306,6022
2,3802	1,8981	424,0825	304,9918
2,3979	1,9498	474,7539	303,1048
2,4150	2,0003	530,1014	301,2725
2,4314	2,0456	585,1822	299,6394
2,4472	2,0834	635,5056	298,2832
2,4624	2,1221	691,4511	296,9026
2,4771	2,1591	749,6119	295,5870
2,4914	2,1913	804,2377	294,4460
2,5051	2,2215	859,0024	293,3813
2,5185	2,2491	912,3086	292,4117
2,5315	2,2758	967,1929	291,4739



**Anexo 15.** Instalación de los pluviómetros caseros en la microcuenca



**Anexo 16.** Determinación de capacidad de campo



**Anexo 17.** Construcción y forrado de las paredes del pozo



**Anexo 18.** Llenado de agua en el hoyo para determinar densidad aparente



**Anexo 19.** Peso de la muestra en campo y en el laboratorio para determinar capacidad de campo y densidad aparente



**Anexo 20.** Determinación de la infiltración y escurrentía en campo



**Anexo 21.** Determinación de la escorrentía en suelo con pasto y con cultivo



**Anexo 22.** Determinación del caudal en la quebrada de Quillalli