



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

**“DETERMINACIÓN DEL BALANCE Y DEMANDA HÍDRICA EN
LA MICROCUENCA DEL RÍO ATAPO, PARROQUIA PALMIRA,
CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO EN INGENIERA FORESTAL**

AUTOR
CAGUANA PINGUIL JOSÉ

RIOBAMBA - ECUADOR

2015

HOJA DE CERTIFICACIÓN

El tribunal de tesis CERTIFICA que:

El trabajo de investigación titulado “*DETERMINACIÓN DEL BALANCE Y DEMANDA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ATAPO, PARROQUIA PALMIRA, CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*”, de responsabilidad del señor Egresado **José Caguana Pinguil**, ha sido prolijamente revisado, quedando autorizada su presentación.

TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Juan León Ruiz. -----

DIRECTOR.

Ing. Eduardo Cevallos. -----

MIEMBRO.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES.

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL.

2015

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, José Caguana Pinguil, declaro que el presente trabajo de tesis es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos u 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.

Riobamba, 14 de Diciembre del 2015

José Caguana Pinguil

CI: 030154561-2

AUTIRÍA

La autoría del presente trabajo investigativo es de propiedad intelectual y exclusiva del autor y de la escuela de ingeniería Forestal de la ESPOCH.

DEDICATORIA

Este sencillo y valioso trabajo dedico a Dios por darme salud y vida para cumplir mis sueños, a mis padres Miguel y Dolores que son los pilares fundamentales de mi formación personal y profesional que con paciencia, esmero, esfuerzo y fortaleza supieron guiar mi camino. A mis hermanos quienes conforman el hermoso cuadro de mi adorada familia.

De manera particular a Mariana, todo un compendio de fortaleza y ternura, que con su carisma me inspiró a seguir luchando incansablemente por el sendero de la vida.

José.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a la Carrera de Ingeniería Forestal de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a los profesores de la Escuela de Ingeniería Forestal por haberme transmitido sus conocimientos su apoyo y su amistad, de manera particular a mis Directores: Ing. Juan León Ruíz e Ing. Eduardo Cevallos, quienes con su apoyo técnico y humanístico hicieron posible la culminación del presente trabajo de investigación.

Al Consorcio MCCH-CESA Chimborazo, de manera especial al Ing. Aurelio Silva Jara, por brindar su apoyo incondicional en la ejecución del estudio de balance hídrico, ya que sin su sustento no hubiera alcanzado a cumplir con el objetivo del estudio.

A las autoridades y profesores de la Facultad de Recursos Naturales quienes transmitieron sus conocimientos su apoyo y su amistad.

Gracias...

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 01. Pendientes de la microcuenca.	73
Cuadro 02. Coordenadas de ubicación de los equipos meteorológicos.	77
Cuadro 03. Comunidades beneficiarias.	85
Cuadro 04. Inventario de flora de la microcuenca del río Atapo.	87
Cuadro 05. Inventario de fauna de la microcuenca del río Atapo.	88
Cuadro 06. Distribución actual de uso del suelo de la microcuenca del río Atapo.	89
Cuadro 07. Principales cultivos agrícolas y su distribución.	91
Cuadro 08. Uso actual del suelo, Zona Alta: 3750 - 4280 (msnm).	93
Cuadro 09. Uso actual del suelo, Zona Media: 3300 - 3750 (msnm).	93
Cuadro 10. Uso actual del suelo, Zona Baja: 2800 - 3300 (msnm).	94
Cuadro 11. Precipitación promedio por zonas.	95
Cuadro 12. Precipitación promedio por mes.	96
Cuadro 13. Cálculo de precipitación en la microcuenca del río Atapo.	97
Cuadro 14. Evapotranspiración promedio mensual por zonas.	99
Cuadro 15. Evapotranspiración promedio mensual por zonas.	100
Cuadro 16. Evapotranspiración promedio mensual por zonas.	101
Cuadro 17. Datos meteorológicos mensual (julio 2012 - junio 2013).	103
Cuadro 18. Ciclo productivo de cultivo.	103
Cuadro 19. Datos hidrometeorológicos (julio 2012 - junio 2013).	105
Cuadro 20. Resumen de los diferentes componentes para el cálculo hídrico.	106
Cuadro 21. Cálculo para determinar la demanda hídrica de los cultivos.	107
Cuadro 22. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) en 180 días.	108
Cuadro 23. Requerimiento hídrico para el cultivo de papa.	109
Cuadro 24. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de haba (<i>Vicia faba</i>) en 240 días.	109
Cuadro 25. Demanda hídrica para el cultivo de haba.	111
Cuadro 26. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de arveja (<i>Pisum sativum</i>) en 120 días.	111
Cuadro 27. Demanda hídrica para el cultivo de arveja.	112
Cuadro 28. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de Cebada (<i>Hordium vulgare</i>) en 210 días.	112
Cuadro 29. Demanda hídrica para el cultivo de cebada.	114
Cuadro 30. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de Chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>) en 240 días.	114
Cuadro 31. Demanda hídrica para el cultivo de Chocho.	115
Cuadro 32. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) en 240 días.	115
Cuadro 33. Demanda hídrica para el cultivo de Quinoa.	117
Cuadro 34. Cálculo de ETc para plantación de pino (<i>Pinus radiata</i>) en 365 días.	117
Cuadro 35. Demanda hídrica para plantación de Pino.	118
Cuadro 36. Cálculo de ETc para el pasto cultivado en 365 días.	118
Cuadro 37. Demanda hídrica para pasto cultivado.	120
Cuadro 38. Cálculo de ETc para el desierto en 365 días.	120
Cuadro 39. Demanda hídrica para zona desértica.	121

Cuadro 40. Oferta y Demanda hídrica para 2800 - 3300 msnm.	121
Cuadro 41. Déficit y/o excedente hídrico para cultivos de 2800 - 3300 msnm.	122
Cuadro 42. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) en 180 días.	123
Cuadro 43. Demanda hídrica para el cultivo de papa.	124
Cuadro 44. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de haba (<i>Vicia faba</i>) en 180 días.	125
Cuadro 45. Demanda hídrica para el cultivo de haba.	126
Cuadro 46. Cálculo de ETc para ciclo de cultivo de arveja (<i>Pisum sativum</i>) en 180 días.	126
Cuadro 47. Demanda hídrica para el cultivo de arveja.	128
Cuadro 48. Cálculo de ETc para ciclo de cultivo de Cebada (<i>Hordium vulgare</i>) en 210 días.	128
Cuadro 49. Demanda hídrica para el cultivo de cebada.	129
Cuadro 50. Cálculo de Etc para ciclo de cultivo de Chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>) en 210 días.	130
Cuadro 51. Demanda hídrica para el cultivo de Chocho.	131
Cuadro 52. Cálculo de ETc para ciclo de cultivo de Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) en 210 días.	131
Cuadro 53. Demanda hídrica para el cultivo de quinoa.	132
Cuadro 54. Cálculo de ETc pasto natural en 365 días.	133
Cuadro 55. Demanda hídrica para pasto natural.	134
Cuadro 56. Cálculo de ETc para pasto cultivado en 365 días.	134
Cuadro 57. Demanda hídrica para pasto cultivado.	135
Cuadro 58. Oferta y Demanda hídrica para cultivos de 3300 -3750 msnm.	135
Cuadro 59. Déficit y/o excedente hídrico para cultivos de 3300 -3750 msnm.	136
Cuadro 60. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) en 180 días.	137
Cuadro 61. Demanda hídrica para el cultivo de papa.	138
Cuadro 62. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de haba (<i>Vicia faba</i>) en 180 días.	138
Cuadro 63. Demanda hídrica para el cultivo de haba.	140
Cuadro 64. Cálculo de ETc para páramo (<i>Fistuca sp</i>) en 365 días.	140
Cuadro 65. Demanda hídrica para páramo.	141
Cuadro 66. Cálculo de ETc para plantación de pino (<i>Pinus radiata</i>) en 365 días.	142
Cuadro 67. Demanda hídrica para plantación de pino.	143
Cuadro 68. Cálculo de ETc para pasto natural en 365 días.	143
Cuadro 69. Demanda hídrica para pasto natural.	144
Cuadro 70. Cálculo de ETc para pasto cultivado en 365 días.	145
Cuadro 71. Demanda hídrica para pasto cultivado.	146
Cuadro 72. Oferta y demanda hídrico para cultivos de 3750 - 4280 msnm.	146
Cuadro 73. Determinación de la ETc para cultivos de 3750 - 4280 msnm.	147
Cuadro 74. Requerimiento hídrico para cultivos en la microcuenca.	147
Cuadro 75. Demanda hídrico de cultivos en la microcuenca Atapo.	148
Cuadro 76. Cálculo de la velocidad de infiltración de suelos de San Carlos de Tipin.	152
Cuadro 77. Cálculo de infiltración de Palmira Dávalos.	157
Cuadro 78. Cálculo de infiltración Atapo Culibrillas.	162

Cuadro 79. Cálculo de infiltración Santa Cruz.	167
Cuadro 80. Cálculo de infiltración de suelos de Atapo Quilloturo.	172
Cuadro 81. Cálculo de infiltración en los suelos de Atapo Quichalán.	177
Cuadro 82. Velocidad de infiltración.	181
Cuadro 83. Tipos de pendientes presentes en la microcuenca.	183
Cuadro 84. Escorrentía e infiltración para la precipitación registrada durante el estudio.	185
Cuadro 85. Cálculo para determinar la escorrentía e infiltración de la microcuenca del río Atapo.	187
Cuadro 86. Resumen del cálculo de erosión.	188
Cuadro 87. Cálculo de la erosión hídrica del suelo de la microcuenca del río Atapo.	190
Cuadro 88. Caudal aforado en la microcuenca del río Atapo.	191
Cuadro 89. Determinación de caudal de la microcuenca del río Atapo.	193
Cuadro 90. Índice de escasez respecto a la oferta.	194
Cuadro 91. Caudal ecológico.	194
Cuadro 92. Distribución de agua de acuerdo al uso.	196
Cuadro 93. Sistemas de riego y consumo.	198
Cuadro 94. Caudal concesionado en la microcuenca del río Atapo.	200
Cuadro 95. Caudal concesionado por organizaciones.	201
Cuadro 96. Determinación del balance hídrico de la microcuenca del río Atapo.	202

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01. Ubicación geográfica de la microcuenca del río Atapo.....	73
Gráfico 02. División del sistema hídrico de la microcuenca del río Atapo.....	74
Gráfico 03. Uso actual del suelo de la microcuenca.....	90
Gráfico 04. Desarrollo de la actividad agrícola.....	92
Gráfico 05. Desarrollo de la actividad agrícola.....	96
Gráfico 06. Desarrollo de la actividad agrícola.....	100
Gráfico 7. Balance hídrico de acuerdo al requerimiento de cultivos.....	149
Gráfico 8. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.....	153
Gráfico 9. Curvas de infiltración vs tiempo.....	153
Gráfico 10. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.....	158
Gráfico 11. Curvas de infiltración vs tiempo.....	158
Gráfico 12. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.....	163
Gráfico 13. Curvas de infiltración vs tiempo.....	163
Gráfico 14. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.....	168
Gráfico 15. Curvas de infiltración vs tiempo.....	168
Gráfico 16. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.....	173
Gráfico 17. Curvas de infiltración vs tiempo.....	173
Gráfico 18. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.....	178
Gráfico 19. Curvas de infiltración vs tiempo.....	178
Gráfico 20. Caudal aforado en la microcuenca del río Atapo.....	192
Gráfico 21. Captaciones hídricas de la microcuenca del río Atapo.....	196
Gráfico 22. Distribución hídrica en la microcuenca.....	197
Gráfico 23. Legalización de las captaciones de la microcuenca.....	197
Gráfico 24. Tipo de riegos aplicados en la microcuenca.....	199

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	DETERMINACIÓN DEL BALANCE Y DEMANDA HÍDRICA EN LA MICROCUEENCA DEL RÍO ATAPO, PARROQUIA PALMIRA, CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO	1
II.	INTRODUCCIÓN	1
A.	JUSTIFICACIÓN	2
B.	OBJETIVOS	3
	1. Objetivo general	3
	2. Objetivos específicos	3
C.	HIPÓTESIS	3
	1. Hipótesis nula.....	3
	2. Hipótesis alternante.....	3
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
A.	MICROCUEENCAS HIDROGRÁFICAS	4
	1. La microcuenca hidrográfica	4
	2. Partes de una cuenca hidrográfica.....	10
B.	CICLO HIDROLOGICO.....	12
	1. Ciclo hidrológico (o del agua)	12
C.	BALANCE HIDRICO	17
	1. Balance hídrico	17
	2. Monitoreo hidrometeorológico y meteorológico	19
D.	OFERTA HÍDRICA	20
	1. Precipitación.....	20
	2. Pluviógrafo (KARL KOLB)	23
E.	EVAPOTRANSPIRACIÓN	27
	1. Proceso de evapotranspiración.....	27
	2. Factores que afectan la evapotranspiración	33
	3. Métodos para determinar la evapotranspiración	35
F.	ESCORRENTÍA.....	39
	1. Precipitaciones naturales o simuladas.....	39
	2. Escorrentía superficial o caudal	40
	3. Caudal efluente	40
	4. Medición de caudales.....	42
G.	INFILTRACIÓN	46
	1. Proceso de infiltración	48
	2. Distribución de la precipitación en el suelo	49
	3. Parámetros de la infiltración	51
	4. Factores que intervienen en la capacidad de infiltración	51
	5. Medida de la velocidad de infiltración.....	52
	6. Medición del contenido de humedad del suelo.....	53
H.	LA COBERTURA VEGETAL EN EL RÉGIMEN HÍDRICO	54
	1. La vegetación en la fase atmosférica del régimen hídrico	55
	2. La vegetación en la fase terrestre del régimen hídrico.....	57
	3. Usos del suelo cubierta superficial y régimen hídrico	58
	4. El agua contenida en el suelo.....	60
	5. Contenido de agua en el suelo.....	63
	6. Determinación del contenido de agua en el suelo.....	64

7. Especies vegetales.....	65
I. DEMANDA HÍDRICA	68
1. Demanda hídrica neta, DHN	69
2. Concesiones de agua	70
3. Agua requerida por los cultivos	71
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	72
A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR	72
1. Localización	72
2. Ubicación geográfica	72
3. Características climáticas	72
4. Topografía de la microcuenca del río Atapo.....	73
5. División hidrográfica e hidrológica	74
B. MATERIALES Y EQUIPOS	75
1. Materiales de campo	75
2. Materiales de oficina	75
C. METODOLOGIA.....	75
1. Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca.....	75
2. Determinación de la demanda hídrica de la microcuenca.....	79
V. RESULTADOS Y DESCUSIÓN	85
A. OFERTA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA	85
1. Socialización	85
2. Población beneficiaria.....	85
3. Inventario de flora y fauna.....	87
4. Uso actual del suelo	89
5. Patrón de cultivos.....	91
6. Uso del suelo de acuerdo al rango altitudinal	93
7. Precipitación de la microcuenca	95
8. Cálculo de la precipitación.....	97
B. DEMANDA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA	99
1. Evapotranspiración de la microcuenca (ET _o).....	99
2. Requerimiento hídrico de los cultivos (ET _c)	103
3. Demanda hídrica de los cultivos ET _c (2800 – 3300 msnm).....	108
4. Demanda hídrica de cultivos ET _c (3300 – 3750 msnm).....	123
5. Demanda hídrica de cultivos ET _c (3750 – 4280 msnm).....	137
6. Infiltración.....	150
7. Infiltración de San Carlos de Tipín y P Dávalos (2800- 3300 msnm).....	152
8. Infiltración de A Culebrillas y A Santa Cruz (3300- 3750 msnm).....	162
9. Infiltración de A Quilluturo y A Quichalan (3750- 4280 msnm)	172
10. Escorrentía.....	182
11. Erosión hídrica de la microcuenca	188
12. Caudal de la microcuenca del rio Atapo.....	191
b. Caudal disponible de la microcuenca.....	192
13. Captaciones de agua en la microcuenca	195
14. Los sistemas.....	198
15. Las concesiones de agua.....	200
16. Cálculo de balance hídrico	201
17. Diseño y calibración de pluviómetro y tanque evaporación casero	204
VI. CONCLUSIONES.....	206

VII. RECOMENDACIONES.....	207
VIII. RESUMEN	208
IX. SUMMARY	209
X. BIBLIOGRAFÍA	210
XI. ANEXO	216

I. DETERMINACIÓN DEL BALANCE Y DEMANDA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ATAPO, PARROQUIA PALMIRA, CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO

II. INTRODUCCIÓN

En nuestros días en todo el mundo se reconoce que el agua es un bien fundamental para la vida y para el desarrollo, ha cobrado tanta importancia que incluso el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo en su informe sobre el desarrollo humano y el agua dice: “que la escasez de agua no es un problema de la falta de agua, sino de cómo el agua está repartida”. Es decir, no es solo un problema de escasez de agua en la naturaleza, sino, sobre todo, un problema político.

Nuestro país es privilegiado en cuanto a la disponibilidad de agua. Sin embargo, hay problemas de escasez en algunas regiones y sectores. El aprovechamiento del agua en el Ecuador se caracteriza por un continuo incremento en la utilización de los recursos hídricos para mantener el desarrollo socio-económico, un uso irracional del agua que en las últimas décadas a ocasionando serios conflictos entre los usuarios.

Por otra parte la actividad agropecuaria ejerce presiones sobre el ambiente ocasionando el deterioro de los recursos naturales, especialmente de los recursos hídricos y sus fuentes naturales.

Las demandas han superado la capacidad del estado en atender, frente a esta situación el conocimiento cuantitativo y cualitativo del recurso hídrico es básico en el desarrollo de las políticas de gestión del recurso hídrico del país.

El disponer de una información oportuna y confiable de la oferta y demanda hídrica de las microcuencas, cuencas es de gran utilidad para el desarrollo de los diferentes planes estratégicos, en este caso, del manejo del recurso hídrico.

Para la aplicación de lo antes mencionado, es necesario realizar estudios del balance hídrico en los sistemas hidrográficos, que básicamente permiten obtener la información general de los parámetros hidrológicos y de la dinámica hídrica en las fuentes naturales.

Determinar el balance hídrico es muy importante, más aún por su directa influencia en el desarrollo socio-económico de un país, permite tener información de las entradas y salidas de agua, a la vez permite saber el porcentaje de la demanda que puede abastecer de acuerdo a la oferta hídrica que producen las microcuencas, cuencas, entre otros, y permiten tener proyecciones para el desarrollo de programas nacionales, de proyectos puntuales y mejorar las políticas de gestión integral del recurso hídrico del país.

A. JUSTIFICACIÓN

La escasez y la mala distribución del recurso hídrico en la actualidad han conducido a los usuarios y al propio estado a la búsqueda de fuentes alternativas del recurso, siendo así que se han desarrollado importantes inversiones para mitigar la demanda, incrementando la oferta del agua mediante transvases, procedentes de otras cuencas o ríos. Esta problemática hace evidente la necesidad del uso óptimo, racional y sostenible del recurso hídrico enmarcado bajo un enfoque integral, evaluando la disponibilidad y la calidad del agua desde sus nacimientos.

Otro factor muy importante que debemos considerar es, desde donde viene el agua a las parcelas de riego, en la serranía ecuatoriana el agua generalmente proviene desde los páramos ubicados desde los 3200 hasta 4100 msnm, la que cumple un factor importante como almacenador y regulador del drenaje de agua desde la parte alta hacia la baja.

La determinación del balance hídrico en una microcuenca, permite conocer el volumen real de la oferta hídrica, frente al volumen de demanda hídrica, a más es un prerequisite básico para el desarrollo de la gestión integral del recurso hídrico.

Además los problemas de concesiones de agua para riego, uso doméstico y entre otros muchas veces no han sido otorgadas de acuerdo a las necesidades reales de los beneficiarios peor aún han tenido procesos de seguimiento para evaluar los resultados o los impactos que se generan luego de la misma.

Por todo lo anteriormente descrito, la presente investigación busca recomendar la utilización del agua de manera más eficiente, aplicando técnicas adecuadas en su uso, riego, consumo doméstico, industrias o entre otras; con la información obtenida del

balance hídrico de la microcuenca, como herramienta básica permitirá evitar problemas en el desarrollo y ejecución de proyectos orientados a la gestión hídrica, así optimizar el aprovechamiento del recurso agua, incrementando la productividad agropecuaria, incentivar el desarrollo de la soberanía alimentaria y el buen vivir de la colectividad, a la vez minimizar los impactos generados en el ecosistema páramo lugar donde se regula la dinámica hídrica, razón por la cual es justificado realizar este estudio.

B. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Determinar el balance y demanda hídrica de la microcuenca del río Atapo, parroquia Palmira, cantón Guamote, provincia de Chimborazo.

2. Objetivos específicos

- a. Determinar oferta hídrico de la microcuenca.
- b. Determinar la demanda hídrica para consumo doméstico y riego.

C. HIPÓTESIS

1. Hipótesis nula

La disponibilidad hídrica de la microcuenca no abastece la demanda actual de agua.

2. Hipótesis alternante

La disponibilidad hídrica de la microcuenca abastece la demanda actual de agua.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS

1. La microcuenca hidrográfica

Una microcuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro las cuencas hidrográficas se perfilan como las unidades de división funcionales con más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua.

Una microcuenca o una cuenca hidrológica se diferencian en que esta se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas “acuíferos” (Barreto, 2010).

Según (FAO, 2014), las microcuencas son unidades geográficas que se apoyan principalmente en el concepto hidrológico de división del suelo. Los procesos asociados al recurso agua tales como escorrentía, calidad, erosión hídrica, producción de sedimentos, etc., normalmente se analizan sobre esas unidades geográficas.

Es una parte de terreno, delimitado por las partes altas de las montañas donde el agua de la lluvia se concentra y se consume en el suelo, para salir después por un cauce principal y desembocar en una fuente abierta, como una quebrada, río o lago.

La microcuenca se define como “una pequeña cuenca de primer o segundo orden, en donde vive un cierto número de familias (Comunidad) utilizando y manejando los recursos del área, principalmente el suelo, agua, vegetación, incluyendo cultivos y vegetación nativa, y fauna, animales domésticos y silvestres.

(García, 2005). Manifiesta que desde el punto de vista operativo, la microcuenca posee un área que puede ser planificada por un técnico contando con recursos locales y/o un número de familias que pueda ser tratado como un núcleo social que comparte algunos intereses comunes (agua, camino, organización, etc.).

La microcuenca es el ámbito lógico para planificar el uso y manejo de los recursos naturales buscando la sustentabilidad de los sistemas de producción, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y nutricional. Es en este espacio donde ocurren las interacciones más fuertes entre el uso y manejo de los recursos naturales (acción antrópica) y el comportamiento de estos mismos recursos (reacción del ambiente).

Ningún otro ámbito de acción que pudiera ser considerado (municipio, cantón, caserío, finca, asociación de productores, cooperativa, ruta o sector, etc.) guarda esta relación de forma tan estrecha y tangible.

En la microcuenca ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos (relacionados a los bienes y servicios producidos en su área), sociales (relacionados a los patrones de comportamiento de los usuarios directos e indirectos de los recursos de la cuenca) y ambientales (relacionados al comportamiento o reacción de los recursos naturales frente a los dos aspectos anteriores). Por ello, las acciones a desarrollarse en la microcuenca deben considerar todas estas interacciones.

Si bien el significado de cuenca hidrográfica es de conocimiento público, es importante remarcar la necesidad de considerar 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.

Desde el punto de vista operativo, la microcuenca posee un área que puede ser planificada mediante la utilización de recursos locales y un número de familias que puede ser tratado como un núcleo social que comparte intereses comunes (agua, servicios básicos, Infraestructura, organización, entre otros).

Cabe destacar que en la microcuenca ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos (relacionados a los bienes y servicios producidos en su área), sociales (asociados a los patrones de comportamiento de las poblaciones usuarias directas e indirectas de los recursos de la cuenca) y ambientales (vinculados al comportamiento o reacción de los recursos naturales frente a los dos aspectos anteriores). Por ello, la planificación del uso y manejo de los distintos recursos en la microcuenca debe considerar todas estas interacciones (Pineda C, 2013).

a. Concepto de cuenca hidrográfica

(Mass, 2014), manifiesta que una cuenca hidrográfica es la superficie de terreno definida por el patrón de escurrimiento del agua, es decir, es el área de un territorio que desagua en una quebrada, en un río, en un lago, en un pantano, en el mar o en un acuífero subterráneo. En un valle, toda el agua proveniente de lluvias y riego, que corre por la superficie del suelo (lo que se denomina agua de escurrimiento) desemboca en corrientes fluviales, quebradas y ríos, que fluyen directamente al mar.

También describe que una cuenca es una especie de embudo natural, cuyos bordes son los vértices de las montañas y la boca es la salida del río o arroyo. Puede ser tan pequeña como la palma de la mano, o tan grande como un continente completo

b. Definición de una cuenca hidrográfica

Según (Faustino, 2000), 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. También se define como una unidad fisiográfica conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua definidos por el relieve.

c. Importancia de las cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas son algo más que sólo áreas de desagüe en o alrededor de nuestras comunidades. Son necesarias para brindar un hábitat a plantas y animales, y proporcionan agua potable para la gente, sus cultivos, animales e industrias.

También nos proporcionan la oportunidad para divertirnos y disfrutar de la naturaleza. La protección de los recursos naturales en nuestras cuencas es esencial para mantener la salud y el bienestar de todos los seres vivos, tanto en el presente como en el futuro (Dardón, 2002).

d. Componentes de la cuenca

(CODERECH, 2007). Si bien la cuenca se divide en alta, media y baja; en cada una de estas zonas existen una serie de elementos o componentes propias de la zona.

1) Factores climáticos

Se refiere a todo relacionado al clima y el tiempo. Lluvia, radiación solar diario, velocidad y dirección del viento, evaporación, humedad relativa, nubosidad y entre otros, en relación de qué sucede con estos factores a través del tiempo.

2) Factores físicos

El agua, el suelo, el subsuelo y el aire constituyen el ambiente físico de una cuenca.

3) Factores bióticos

La flora (bosques, cultivos y en general la vegetación) y la Fauna (animales) constituyen el ambiente biológico de la cuenca.

4) Factores socioeconómicos

(Nicolay, 2007). Las comunidades que habitan en la cuenca aprovechan y transforman los recursos naturales para su beneficio (cultivos, ganadería, leña, minería, etc) también construyen obras de infraestructura de servicio y producción (acueductos, alcantarillados, vías, escuelas, hospitales y otros), las cuales elevan su nivel de vida y desarrollo en la región.

5) Interacción de los factores

Los factores anteriormente mencionados son igual de importantes, y el deterioro o mala utilización de alguno de ellos pone en peligro el futuro de la cuenca y sus habitantes.

Por esto se requiere un manejo integral y equilibrado de los factores componentes de la cuenca, con lo que se asegura la regularidad y la calidad de las corrientes de agua.

a. Funciones de la cuenca

La cuenca funciona como un todo, si bien tiene componentes, estos de forma separada no son funcionales. La cuenca cumple diversas funciones, tales como:

1) Función hidrológica

- Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar manantiales, manantiales, ríos y arroyos.
- Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
- Descarga del agua como escurrimiento.

2) Función ecológica

- 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. (permiten que el agua intercambie elementos con el suelo).

- Provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones con las características físicas y biológicas del agua.

3) Función ambiental

- Constituyen sumideros de CO₂. (Capturan y retienen carbono)
- Alberga bancos de germoplasma.
- Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
- Conserva la biodiversidad.

4) Función socioeconómica

- Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población.
- Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

Según (García, 2005), para comprender el por qué la cuenca hidrográfica es un sistema, es necesario explicar que: En la cuenca hidrográfica existen entradas y salidas, por ejemplo, el ciclo hidrológico permite cuantificar que a la cuenca ingresa una cantidad de agua por medio de la precipitación y otras formas; y luego existe una cantidad que sale de la cuenca, por medio de su río principal en las desembocaduras o por el uso que adquiera el agua.

- En la cuenca hidrográfica se producen interacciones entre sus elementos, por ejemplo, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas.
- En la cuenca hidrográfica existen interrelaciones, por ejemplo, la degradación de un recurso como el agua, está en relación con la falta de educación ambiental, con la falta de aplicación de leyes, con las tecnologías inapropiadas, etc.

El sistema de la cuenca hidrográfica, a su vez está integrado por los subsistemas siguientes:

- ❖ Biológico, que integran esencialmente la flora y la fauna, y los elementos cultivados por el hombre.
- ❖ Físico, integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima (temperatura, radiación, evaporación, etc.).
- ❖ Económico, integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre, en agricultura, recursos naturales, ganadería, industria; servicios (caminos, carreteras, energía, asentamientos y ciudades)
- ❖ Social, integrado por los elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, salud, educación, vivienda, culturales, organizacionales, políticos, etc. Los elementos que integran los subsistemas variarán de acuerdo al medio en el que se ubique la cuenca y al nivel de intervención del factor humano.

2. Partes de una cuenca hidrográfica

(Nicolay, 2007). Una cuenca hidrográfica se puede decir que está compuesta por determinadas partes, según el criterio que se utilice.

a. Altitud

Si el criterio utilizado es la altura, se podrían distinguir la parte alta, media y baja, sucesivamente, en función de los rangos de altura que tenga la cuenca. Si la diferencia de altura es significativa y varía de 0 a 2,500 msnm, es factible diferenciar las tres partes, si esta diferencia es menor, por ejemplo de 0 a 1000 msnm, posiblemente sólo se distingan dos partes, y si la cuenca es casi plana será menos probable establecer partes.

Generalmente este criterio de la altura, se relaciona con el clima y puede ser una forma de establecer las partes de una cuenca.

b. Topografía

Otro criterio muy similar al anterior es la relación con el relieve y la forma del terreno, las partes accidentadas forman las montañas y laderas, las partes onduladas, casi planas y planas, forman los valles; y finalmente otra parte es la zona por donde discurre el río principal y sus afluentes, a esta se le denomina cauce.

c. División de una cuenca

La cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el curso principal. El trazo de la red hídrica es fundamental para delimitar los espacios en que se puede dividir la cuenca. A un curso principal llega un afluente secundario, este comprende una subcuenca. Luego al curso principal de una subcuenca, llega un afluente terciario, este comprende una microcuenca, además están las quebradas que son cauces menores.

d. Cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica

Según el concepto de ciclo hidrológico, toda gota de lluvia que cae al suelo, continua en forma de escurrimiento e infiltración, luego va a lugares de concentración, allí parte se evapora y vuelve al espacio para formar el ciclo.

Luego que la gota de lluvia se infiltra, satura el suelo, pasa a percolación profunda y recarga los acuíferos. En este desplazamiento vertical, el agua se puede encontrar con estratos impermeables (rocas duras) que movilizarán las partículas de agua dependiendo de la forma y tipo de rasgos geológicos.

Cuando el relieve y fisiografía, tienen una forma y simetría diferente a la configuración geológica de la cuenca, se puede decir que existe una cuenca subterránea, que cambia la dirección del flujo subsuperficial para alimentar a otra cuenca hidrográfica. A ésta configuración se denomina cuenca hidrológica, la cual adquiere importancia cuando se tenga que realizar el balance hidrológico.

Cuando la divisoria de la cuenca hidrográfica es diferente de la divisoria de la cuenca hidrológica, los flujos subsuperficiales y el movimiento del agua en el suelo se presenta muy distinta.

Es muy importante conocer esta característica interna de la cuenca, porque en algunos casos se realiza el balance hidrológico sin considerar los aportes o fugas de una cuenca vecina a otra. Un caso particular son las cuencas ubicadas en terrenos cársticos. (Nicolay, 2007).

e. El sistema hídrico

También a la cuenca hidrográfica se le reconoce como un área de terreno conformada por un sistema hídrico, el cual tiene un río principal, sus afluentes secundarios, terciarios, de cuarto orden o más. El sistema hídrico refleja un comportamiento de acuerdo a cómo se están manejando los recursos agua, suelo y bosque; y qué actividades o infraestructuras afectan su funcionamiento.

Todo punto de la tierra puede relacionarse con el espacio de una cuenca hidrográfica, a veces corresponde a las partes altas, laderas, lugares ondulados, sitios planos y zonas bajas, que pueden localizarse hasta en las zonas costeras, cuando la cuenca conduce su drenaje a un océano o mar (Díaz C. , 2005)

B. CICLO HIDROLOGICO

1. Ciclo hidrológico (o del agua)

El ciclo del agua, también conocido como ciclo hidrológico, describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta Tierra. El agua puede cambiar su estado entre líquido, vapor y hielo en varias etapas del ciclo, y los procesos pueden ocurrir en cuestión de segundos o en millones de años. Aunque el equilibrio del agua en la Tierra permanece relativamente constante con el tiempo, las moléculas de agua individuales pueden circular muy rápido (Sanchez, 2004).

a. Proceso del ciclo hidrológico

(Aparicio, 1992), dice que el ciclo hidrológico es el proceso que mueve al agua a través de los océanos, el cielo y la tierra. Este proceso funciona gracias a la energía del sol. Podemos comenzar a examinar el ciclo del agua con los océanos, los cuales tienen el 97% del agua de todo el planeta:

El sol causa evaporación del agua en la superficie del océano; el vapor del agua se eleva y se condensa formando pequeñas gotitas, las cuales se aferran a partículas de polvo. Estas gotitas forman las nubes. El vapor generalmente permanece en la atmósfera por un corto período de tiempo, desde algunas horas a algunos días, hasta que se convierte en precipitación y cae hacia la tierra en forma de lluvia, nieve, aguanieve o granizo.

Algunas precipitaciones caen sobre la tierra y son absorbidas o se vuelven residuos de la superficie, los cuales gradualmente fluyen hacia barrancos, lagos o ríos. El agua en las corrientes y los ríos fluyen hacia el océano, se filtra en el suelo o se evapora nuevamente hacia la atmósfera.

El agua en el suelo puede ser absorbido por las plantas y luego se transfiere a la atmósfera por un proceso llamado transpiración. El agua del suelo se evapora hacia la atmósfera; estos procesos son colectivamente conocidos como evapotranspiración.

De esa agua en el suelo, algo se filtra hacia abajo en una zona de rocas porosas que contienen agua subterránea. Los acuíferos son una capa de roca permeable, capaz de actuar como reserva, transmisor, y proveedora de cantidades significativas de agua.

Más precipitación que evaporación o evapotranspiración ocurre en la tierra, pero la mayoría de la evaporación de nuestro planeta y la precipitación se lleva a cabo en los océanos. La cantidad global de precipitaciones y evaporaciones es balanceada a través del mundo. Mientras que algunas áreas específicas en la Tierra tienen más precipitaciones y menos evaporaciones que otras, en una escala global, todo se balancea.

(Ordoñez, 2011), Manifiesta que el ciclo del agua describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella. La cantidad de agua existente en la Tierra siempre es

la misma, está en movimiento debido a la acción de la energía solar y a la fuerza de la gravedad y cambia constantemente de estado, desde líquido, a vapor, a hielo, y viceversa. Cuando se formó, hace cuatro mil quinientos millones de años, la Tierra era una esfera de magma con cientos de volcanes activos en su superficie.

El magma, cargado de gases con vapor de agua, emergió a la superficie gracias a las constantes erupciones. La Tierra se enfrió, el vapor de agua se condensó y cayó nuevamente al suelo en forma de lluvia; así comenzó el ciclo del agua. La lluvia llenó las depresiones del planeta y creó los océanos.

Mil millones de años después, en los océanos se reunieron las sustancias químicas que darían origen a la vida: metano, hidrógeno y agua. Desde entonces, la misma agua ha circulado una y otra vez en el planeta, originando y conservando la vida.

El agua no permanece estacionaria sobre la Tierra sino que se establece una circulación del agua entre los océanos, la atmósfera y la litosfera-biosfera de forma permanente. Es lo que se conoce como ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico se podría definir como el proceso que describe la ubicación y el movimiento del agua en nuestro planeta. Es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al océano después de pasar por las etapas de precipitación, escorrentía superficial y/o escorrentía subterránea.

El concepto de ciclo se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). Este flujo de agua se produce por dos causas principales: la energía solar y la gravedad.

b. Fases del ciclo hidrológico

1) Evaporación

(Sanchez, 2004). El ciclo se inicia sobre todo en las grandes superficies líquidas (lagos, mares y océanos) donde la radiación solar favorece que continuamente se forme vapor

de agua. El vapor de agua, menos denso que el aire, asciende a capas más altas de la atmósfera, donde se enfría y se condensa formando nubes.

2) Condensación

Las corrientes ascendentes de aire llevan el vapor a las capas superiores de la atmósfera, donde la menor temperatura causa que el vapor de agua se condense y forme las nubes.

3) Precipitación

Cuando por condensación las partículas de agua que forman las nubes alcanzan un tamaño superior a 0,1 mm comienza a formarse gotas, gotas que caen por gravedad dando lugar a las precipitaciones (en forma de lluvia, granizo o nieve).

4) Agua almacenada en los hielos y la nieve

Parte de esta precipitación cae en forma de nieve, y se acumula en capas de hielo y en los glaciares, los cuales pueden almacenar agua congelada por millones de años.

5) Retención

Pero no toda el agua que precipita llega a alcanzar la superficie del terreno. Una parte del agua de precipitación vuelve a evaporarse en su caída y otra parte es retenida (agua de intercepción por la vegetación, edificios, carreteras, etc., y luego se evapora.

Del agua que alcanza la superficie del terreno, una parte queda retenida en charcas, lagos y embalses (almacenamiento superficial) volviendo una gran parte de nuevo a la atmósfera en forma de vapor.

6) Escorrentía superficial

Otra parte circula sobre la superficie y se concentra en pequeños cursos de agua, que luego se reúnen en arroyos y más tarde desembocan en los ríos (escorrentía superficial).

Esta agua que circula superficialmente irá a parar a lagos o al mar, donde una parte se evaporará y otra se infiltrará en el terreno.

7) Infiltración

Pero también una parte de la precipitación llega a penetrar la superficie del terreno (infiltración) a través de los poros y fisuras del suelo o las rocas, rellenando de agua el medio poroso.

8) Evapotranspiración

En casi todas las formaciones geológicas existe una parte superficial cuyos poros no están saturados en agua, que se denomina zona no saturada, y una parte inferior saturada en agua, y denominada zona saturada. Una buena parte del agua infiltrada nunca llega a la zona saturada sino que es interceptada en la zona no saturada.

En la zona no saturada una parte de esta agua se evapora y vuelve a la atmósfera en forma de vapor, y otra parte, mucho más importante cuantitativamente, se consume en la transpiración de las plantas.

Los fenómenos de evaporación y transpiración en la zona no saturada son difíciles de separar, y es por ello por lo que se utiliza el término evapotranspiración para englobar ambos términos.

9) Manantiales

Otra parte del agua subterránea encuentra aperturas en la superficie terrestre y emerge como manantiales de agua.

10) Escorrentía subterránea

(Sanchez, 2004). El agua que desciende, por gravedad-percolación y alcanza la zona saturada constituye la recarga de agua subterránea.

El agua subterránea puede volver a la atmósfera por evapotranspiración cuando el nivel saturado queda próximo a la superficie del terreno. Otras veces, se produce la descarga de las aguas subterráneas, la cual pasará a engrosar el caudal de los ríos, rezumando directamente en el cauce o a través de manantiales, o descarga directamente en el mar, u otras grandes superficies de agua, cerrándose así el ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es un proceso continuo pero irregular en el espacio y en el tiempo. Una gota de lluvia puede recorrer todo el ciclo o una parte de él. Cualquier acción del hombre en una parte del ciclo, alterará el ciclo entero para una determinada región.

El hombre actúa introduciendo cambios importantes en el ciclo hidrológico de algunas regiones de manera progresiva al desecar zonas pantanosas, modificar el régimen de los ríos, construir embalses, etc.

El ciclo hidrológico no sólo transfiere vapor de agua desde la superficie de la Tierra a la atmósfera sino que colabora a mantener la superficie de la Tierra más fría y la atmósfera más caliente. Además juega un papel de vital importancia: permite dulcificar las temperaturas y precipitaciones de diferentes zonas del planeta, intercambiando calor y humedad entre puntos en ocasiones muy alejados.

Las tasas de renovación del agua, o tiempo de residencia medio, en cada una de las fases del ciclo hidrológico no son iguales. Por ejemplo, el agua de los océanos se renueva lentamente, una vez cada 3.000 años, en cambio el vapor atmosférico lo hace rápidamente, cada 10 días aproximadamente (Sanchez, 2004).

C. BALANCE HIDRICO

1. Balance hídrico

(Ordoñez, 2011). Una de las definiciones que presenta el Diccionario de la Real Academia Española expresa: “Balance es el estudio comparativo de las circunstancias de una situación o de los factores que intervienen en un proceso, para tratar de prever su evolución”.

En organismo vivo, se puede aceptar que el “balance” es el resultado de la comparación entre lo que se ingresa o se gana y lo que se pierde o egresa, en un periodo fijo de tiempo en el que se han efectuado los ajustes necesarios para mantener una relativa constancia del medio donde ocurren los cambios.

El balance positivo se presenta cuando los ingresos son mayores que los egresos o los egresos son menores que los ingresos.

El balance negativo se presenta cuando hay una disminución de los ingresos o un exceso de los egresos.

Para poder hacer el balance hídrico es necesario conocer qué cantidad de agua está utilizada, tanto por el hombre (riego, agua potable, industria) como por el ambiente (noción de caudal ecológico).

De acuerdo con (Pladeyra, Paisajes Hidrológicos y Balance Hídrico, 2003), la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

La ecuación de balance hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Allen , 2007).

En general podemos afirmar que del agua que cae en un determinado sitio (precipitación = P), una parte vuelve a la atmósfera ya sea por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (evapotranspiración = ETR); otra parte escurre por la superficie (escorrentía superficial = ES) confluyendo a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar, y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (infiltración = I) (Nicolay, 2007).

Balance hídrico, término que se refiere a las relaciones entre las ganancias y pérdidas de agua (en forma de evaporación, precipitación, escorrentía o almacenamiento

superficial subterráneo), bien en una región o cuenca concretas, bien en una estación o periodo determinados.

Se define como la disponibilidad de agua que se establece para un lugar y un período dados; esto se realiza mediante una comparación entre los aportes y las pérdidas de agua en ese lugar y para ese período. Se tienen también en cuenta la constitución de las zonas de estudio y las extracciones sobre esas reservas.

El balance hídrico es de gran utilidad para determinar necesidades netas de agua en proyectos, zonas de parques o áreas verdes y también en zonas de cultivos, para la estimación de rendimientos, para la planificación del riego, para la previsión de niveles de ríos y lagunas, etc.

2. Monitoreo hidrometeorológico y meteorológico

(Faustino J y Jiménez, 2000). Las estaciones meteorológicas permiten al usuario disponer de información meteorológica confiable, de ser el caso en tiempo real, principalmente de las microcuencas, subcuencas y/o cuencas.

La disponibilidad de información confiable apoya la construcción de procesos que conllevan a un manejo responsable de la cuenca, evitando pérdidas ingentes de recursos de todo tipo, y precautelando la sostenibilidad a corto y largo plazo de los ecosistemas y poblaciones allí asentadas. Por tanto, es de vital importancia que en esta integración participen tantos actores nacionales y locales como usuarios del agua, todos por un solo objetivo que es el llegar a establecer una planificación y gestión integrada de recursos hídricos.

El contar con una red de monitoreo meteorológico, administrada bajo parámetros y protocolos estándar facilitará el manejo de este tipo de información y hará posible compartirla para acciones de planificación y manejo eficiente e integrado del agua.

D. OFERTA HÍDRICA

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.

La oferta hídrica de una cuenca es el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. Al cuantificar la escorrentía superficial del balance hídrico de la cuenca se está estimando la oferta de agua superficial de la misma (Faustino J y Jiménez, 2000).

1. Precipitación

Es el agua que cae en una zona determinada que se delimita como cuenca o subcuenca y puede ocurrir como lluvia, neblina, nieve, rocío, etc. La medición de la lluvia se realiza en las estaciones climáticas y es uno de los datos necesarios para el balance que con mayor frecuencia se encuentran disponibles, si bien puede variar la periodicidad y confiabilidad de éstos dependiendo del método de medición y de la permanencia de las estaciones climáticas a través del tiempo (García R y Schnabel, 2012).

Según (Becca, 2008), es cualquier tipo de agua que cae sobre la superficie de la Tierra. Las diferentes formas de precipitación incluyen llovizna, lluvia, nieve, granizo, y lluvia congelada.

Se entiende por precipitación todo aquello que cae del cielo a la superficie de la tierra, ya sea en forma de lluvia, granizo, agua nieve, nieve, etc.

Este fenómeno se da por la condensación del vapor de agua con tal rapidez en la atmósfera, alcanzando tal peso que no puede seguir flotando como las nubes, la niebla o la neblina y se precipita de las diversas formas ya mencionadas.

La precipitación horizontal, agua en forma de niebla que condensa al entrar en contacto con la vegetación, adquiere importancia en aquellos lugares cubiertos con masas

boscosas y con frecuencia de días con neblina; no obstante su importancia, el valor de esta precipitación no se cuantifica en las estaciones climáticas por lo que debe medirse en campo o estimarse mediante modelos que relacionen las variables que confluyen en la presencia de este fenómeno (Méndez J y Návaz , 2007).

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra.

Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita).

El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad.

La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo.

a. Intensidad y duración

La intensidad y duración de la precipitación están, por lo general, inversamente relacionadas; es decir, las tormentas de intensidad altas probablemente serán de duración corta, y las tormentas de intensidad baja pueden tener una duración larga.

b. Intensidad y área

Sobre un área grande la precipitación suele ser menos intensa que sobre un área pequeña.

c. Medida de la precipitación

El método estándar de medir la lluvia o nevada es un pluviómetro estándar, que puede ser de plástico o metal, y de entre 100 mm y 200 mm. El cilindro interior se llena con 25 mm de lluvia, que al desbordar fluye en el cilindro externo. Los calibradores plásticos tienen marcas en el cilindro interior con una resolución de 0.25 mm, mientras que los calibradores metálicos requieren el uso de un palo diseñado con marcas de 0.25 mm.

Estos calibradores se adaptan para el invierno quitando el embudo y el cilindro interior y permitiendo que la lluvia de nieve entre en el cilindro externo. Una vez que la nevada o hielo termina de acumularse, o cuando se acerca a 300 mm, se retira para que se derrita, o se usa agua caliente para llenar el cilindro interior a fin de derretir la precipitación congelada en el cilindro externo, guardando la cantidad de fluido caliente añadido, que luego se resta del total general una vez que todo el hielo o nieve se ha derretido.

Otros tipos de calibradores incluyen el pluviómetro de cuña (el pluviómetro más barato y más frágil), el pluviómetro de cubeta basculante y el pluviómetro pesado. Los pluviómetros de cuña y de cubeta basculante tienen problemas con la nieve. Las tentativas de compensar la nieve o hielo calentando la cuña basculante tienen un éxito limitado, ya que la nieve puede sublimar si el calibrador se guarda por encima de la temperatura de congelación.

Los pluviómetros pesados con anticongelante son más apropiados para la nieve, pero hay que quitarles el embudo antes de que comience la precipitación. Para quienes quieren medir la precipitación de una forma casera y económica, es posible hacerlo con una lata cilíndrica con lados rectos, pero su exactitud dependerá de la regla que se use para medir la lluvia. Cualquiera de los pluviómetros mencionados puede ser construido en casa.

La cantidad, frecuencia y distribución espacial y temporal de las precipitaciones es muy variable, razón por la cual ha sido objeto de intenso estudio por parte del hombre, en la determinación de los climas y el aprovechamiento de los recursos hídricos que ofrece la naturaleza.

La intensidad de las precipitaciones varía de un lugar a otro aunque no se encuentren a mucha distancia. A lo largo de un año también hay variaciones. Existen zonas en las que en un sólo día cae más lluvia que en otros a lo largo de todo el año (Parker, 2009).

2. Pluviógrafo (KARL KOLB)

El pluviógrafo, es el aparato que mide la cantidad de agua caída y el tiempo en que ésta ha caído. Lo más importante de una precipitación no es sólo la cantidad de agua recogida sino el tiempo durante el cual ha caído. Así, el pluviógrafo sirve para realizar una grabación automática de la precipitación.

El pluviógrafo, consta de un depósito cilíndrico, que recibe a través de un tubo de goma el agua de lluvia recogida por un embudo exterior de 200 cm² de sección. Dentro del depósito se encuentra un flotador prolongado por un tallo vertical, que soporta directamente el brazo que lleva la plumilla inscriptora. A medida que el depósito se llena, el flotador va subiendo y la plumilla con él. Casi desde el fondo del depósito sale un tubo curvado en forma de sifón, en que la rama ascendente llega justo al nivel más alto que se quiere llegar, que se corresponde con una cantidad de lluvia de 10 mm. Cuando el agua del depósito llega a este nivel se vacía completamente, es decir que cuando el flotador ha llegado hasta el extremo superior de su carrera, baja automáticamente hasta el fondo. Si entonces sigue lloviendo, vuelve a empezar de nuevo la subida.

La curva obtenida en este aparato tiene forma zig-zag, con sus ramas ascendentes curvas e inclinadas, y las descendientes rectas y verticales. Para medir la lluvia, sólo hay que tener en cuenta las ramas ascendentes. El agua que sale del depósito cae en un recipiente. (López, 2000).

a. Instalación del pluviómetro y pluviógrafo

(INAMHI, 2010). Estando el pluviómetro debidamente instalado el volumen de agua que recoge debe representar con bastante precisión las precipitaciones caídas sobre la zona que lo rodea. Hay que poner especial cuidado en colocar el pluviómetro en un sitio alejado de los edificios y de los árboles que podrían formar pantalla. También es necesario elegir un lugar no demasiado expuesto al viento. El suelo debe estar sembrado de hierba fina y no es recomendable el cemento.

Siempre que sea posible se debe instalar el pluviómetro con su boca horizontal sobre un terreno nivelado y si existen objetos alrededor no deben estar a una distancia menor del instrumento de cuatro veces su propia altura.

b. Funcionamiento.

En el interior del depósito donde se recoge la precipitación (a) hay un flotador unido a una varilla (b) terminada en una plumilla (c) que va registrando la precipitación caída en un papel milimetrado, con una altura que va entre 0 y 10 l/m², colocado en un tambor (d). A medida que el depósito se llena, el flotador asciende y hace que la plumilla se mueva hacia arriba; a este movimiento se le une el que tiene el tambor en horizontal, a modo de reloj y preparado para mediciones diarias, semanales o mensuales.

Este aparato se completa con un tubo curvado hacia arriba que sale casi del fondo del depósito, en forma de sifón (e). El nivel más alto corresponde con el máximo de la banda donde se registra la precipitación; cuando se alcanza esta medida, el agua sale por el sifón, produciéndose un descenso automático de nivel y el aparato está listo para continuar su registro.

Con el pluviógrafo se determina la hora de comienzo y de finalización de la precipitación, así como su intensidad -litros por metro cuadrado caídos en una hora-. Hay que tener mucho cuidado con este término, porque cuando oímos que la precipitación recogida en una hora ha tenido una intensidad determinada, no quiere decir que haya caído toda esa cantidad; significa solamente que, si la precipitación hubiera continuado con esa intensidad durante una hora, se hubieran recogido los litros indicados.

Mantener limpio de impurezas el final del embudo para que la precipitación pueda escurrir perfectamente hasta la vasija interior.

No olvidar dar cuerda al reloj que hace girar el tambor registrador (Ramón, 2003).

c. Unidad de medida

Para una observación de superficie la cantidad de precipitación es la suma de las precipitaciones líquidas y el equivalente líquido de las precipitaciones sólidas (nieve, granizo, etc). Sin embargo debe indicarse con cada observación si se trata de la caída de lluvia, de granizo, de nieve o de una combinación de éstas.

La cantidad de precipitación debe medirse, con preferencia, en milímetros y las lecturas han de hacerse con una aproximación de 0,2 mm, cuando aquélla no pase de los 10 mm.

Para precipitaciones mayores el error de lectura no deberá pasar del 2%. La altura de la nieve debe medirse en centímetros. Como primera aproximación, un centímetro de nieve equivale a un milímetro de lluvia, pero esta proporción depende, con mucho, de la altura y de la estructura de la capa de nieve.

d. Cómo medir la precipitación

(Nicolay, 2007). Las precipitaciones llegan al suelo en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo. La medida de la precipitación tiene por objeto obtener toda la información posible sobre la cantidad de las mismas que cae en un periodo de tiempo determinado. También permiten obtener la distribución de las precipitaciones en el tiempo y el espacio.

La cantidad total de precipitación que alcanza el suelo durante un tiempo se expresa por la altura de la capa de agua que cubriría el suelo suponiéndolo perfectamente impermeable y horizontal, sin que hubiese pérdidas por filtración o pérdidas por evaporación. Toda precipitación que alcance el suelo en forma de nieve o hielo, será tratada como si estuviese fundida.

En ciertas regiones también se mide la caída de la nieve, es decir, se mide el espesor de la capa de nieve fresca que cubre una superficie plana y horizontal y también se determina el contenido en agua de esta capa.

(INAMHI, 2010). El objetivo primordial de todo método de medida de la precipitación es obtener una muestra que sea verdaderamente representativa de la precipitación caída en la región a que se refiere esta medición.

Por eso la elección del emplazamiento y la forma y la instalación de los instrumentos de medida tienen una gran importancia. Estos deben escogerse de forma tal que los efectos del viento, de la evaporación y de las salpicaduras estén reducidas al mínimo.

El método más sencillo y el más corrientemente empleado para medir la cantidad de lluvia se basa en el empleo del pluviómetro. Este instrumento está constituido por un embudo especial colocado sobre un recipiente cilíndrico, sujeto a un soporte o parcialmente enterrado en el suelo. El embudo tiene una abertura circular y horizontal de diámetro conocido. La precipitación que cae en la abertura es recogida por el embudo y conducida a un recipiente interior.

La boca del embudo del pluviómetro abarca 2 decímetros cuadrados o sea, una superficie que es cincuenta veces menor que la del metro cuadrado. Así que por cada litro de lluvia que caiga sobre esta unidad superficial el pluviómetro recoge solamente 20 decímetros cúbicos. Por consiguiente, después de medir cada vez los centímetros cúbicos de agua recogidos en el pluviómetro tendríamos la necesidad de multiplicar por 50 el número resultante de dicha medición para poder saber cuántos litros de agua habrían caído sobre cada metro cuadrado.

(Peñacastillo, 2005), indica que la probeta graduada es un cilindro transparente sobre el cual está indicado el tamaño del pluviómetro con que debe ser empleada. Las graduaciones grabadas en ella corresponden a las unidades utilizadas para medir la cantidad de lluvia. En general, la separación entre dos marcas de medida sucesivas debe ser de 0,2 mm, pero tiene más ventajas aún que la separación de las graduaciones sea de 0,1 mm.

En todas las mediciones la línea de referencia para leer la probeta debe ser el fondo del menisco de agua y es de la mayor importancia sostener la probeta perfectamente vertical al hacer la lectura para evitar los errores de paralelaje.

La varilla graduada debe ser de madera de cedro o de otra sustancia que no absorba el agua en cantidad apreciable, estas varillas deben estar provistas de un pié de bronce para evitar su desgaste y deben estar graduadas de acuerdo con las áreas relativas de la boca del pluviómetro.

Para medir la lluvia también se utilizan otros tipos de instrumentos como pueden ser:

- ❖ Pluviómetros registradores, o pluviógrafos. Su mecanismo varía en función de cada modelo: Pluviómetros de flotador, de balancín, de peso...
- ❖ Pluviómetros especiales para medida de la nieve, también llamados nivómetros. Suelen estar emplazados en zonas de montaña y su misión es la de contabilizar la precipitación caída en forma de nieve.

Llevan un líquido especial (aceite o parafina) para evitar la evaporación de su contenido, ya que sus medidas suelen recogerse mensualmente.

E. EVAPOTRANSPIRACIÓN

1. Proceso de evapotranspiración

Según (FAO 56, 2006), Se conoce como evapotranspiración (ET_o) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

a. Evaporación

(FAO 56, 2006), manifiesta que la evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía.

La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante.

A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja.

El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende grandemente de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación.

Cuando la superficie evaporante es la superficie del suelo, el grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y la cantidad de agua disponibles en la superficie evaporante son otros factores que afectan el proceso de la evaporación. Lluvias frecuentes, el riego y el ascenso capilar en un suelo con manto freático poco profundo, mantienen mojada la superficie del suelo.

En zonas en las que el suelo es capaz de proveer agua con velocidad suficiente para satisfacer la demanda de la evaporación del suelo, este proceso está determinado solamente por las condiciones meteorológicas.

Sin embargo, en casos en que el intervalo entre la lluvia y el riego es grande y la capacidad del suelo de conducir la humedad cerca de la superficie es reducida, el contenido en agua en los horizontes superiores disminuye y la superficie del suelo se seca.

Bajo estas circunstancias, la disponibilidad limitada del agua ejerce un control sobre la evaporación del suelo. En ausencia de cualquier fuente de reabastecimiento de agua a la

superficie del suelo, la evaporación disminuye rápidamente y puede cesar casi totalmente en un corto lapso de tiempo.

(Uhlenbrook, 2008). Dice que la evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante. Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía.

La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmosfera circundante.

A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmosfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja.

El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende grandemente de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación.

Cuando la superficie evaporante es la superficie del suelo, el grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y la cantidad de agua disponibles en la superficie evaporante son otros factores que afectan el proceso de la evaporación. Lluvias frecuentes, el riego y el ascenso capilar en un suelo con manto freático poco profundo, mantienen mojada la superficie del suelo.

Según (Laat & Savenije, 2008), la evaporación, es la cantidad de agua que debido a un proceso se transforma en vapor. Al tratar la evaporación se considerará la que se produce desde una superficie libre de agua como lagos, embalses y pantanos.

Evaporación a la atmósfera desde: Superficies de agua, suelo descubierto, y vegetación mojada (este punto también se refiere a la evaporación del agua interceptada por las hojas de árboles y plantas, sobre edificios, etc).

Un proceso que transfiere agua desde el suelo de vuelta a la atmósfera es la evaporación. La evaporación es cuando el agua pasa de la fase líquida a la gaseosa. Los índices de evaporación del agua dependen de varios factores tales como la radiación solar, la temperatura, la humedad y el viento.

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

b. Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas.

Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta.

La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales (FAO 56, 2006).

La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación.

El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo.

Diversas clases de plantas pueden tener diversas tasas de transpiración. Por otra parte, no solamente el tipo de cultivo, sino también su estado de desarrollo, el medio donde se produce y su manejo, deben ser considerados al evaluar la transpiración (Gardiner, 2009).

A las hojas de la planta llega gran cantidad de agua absorbida por las raíces, pero de la misma, sólo una pequeña parte se utiliza en la fotosíntesis. El resto, pasa al exterior en forma de vapor, proceso conocido como transpiración.

c. Evapotranspiración (ETc)

(FAO, 2006). La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

(FAO, 2006). La evapotranspiración dividida en sus dos componentes (evaporación y transpiración) en relación con el área foliar por unidad de superficie de suelo debajo de él. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración.

Thornthwaite 1948, definió el concepto de evapotranspiración potencial como el máximo de evapotranspiración que depende únicamente del clima.

Según Thornthwaite no hay ninguna restricción de agua en el suelo y su magnitud depende exclusivamente del clima.

Penman (1956) define la evapotranspiración potencial como la cantidad de agua transpirada por un cultivo corto de césped que cubre el suelo en su totalidad y sin ninguna falta de agua.

Papadakis (1980) define la evapotranspiración potencial como la cantidad de agua que se necesita para obtener una vegetación o un rendimiento cercano al óptimo.

La evapotranspiración potencial solo se lleva a cabo cuando el suelo dispone de bastante agua para suplirla, de modo que en los periodos sin humedad en el suelo el valor de la pérdida de humedad puede ser menor que el calculado, es lo que se conoce como evapotranspiración real.

Solo cuando el valor anterior supera a la evaporación potencial, puede satisfacerse esta y, en este caso, coincide con la real, el exceso de agua permanece como reserva del suelo. En los periodos más húmedos, dicho exceso, puede superar a la capacidad de reserva y existirá una evacuación del sobrante por drenaje o escorrentía superficial si la permeabilidad del suelo es inferior a la intensidad de la precipitación.

Desde el punto de vista de la programación del riego, la evapotranspiración real es fundamental, tanto en lo que se refiere a la frecuencia de la aplicación, como a la cantidad de agua a aplicar. Por otro lado, estimaciones adecuadas de la evapotranspiración real de un cultivo permiten cuantificar la disponibilidad del recurso.

1) Evapotranspiración potencial (ET_p)

Es la cantidad de agua que si estuviera disponible sería evapotranspirada desde una superficie dada. Tomando en cuenta la humedad de la superficie se define ETP como la evapotranspiración que puede ocurrir desde una superficie cubierta de vegetación bien dotada de humedad.

2) Evapotranspiración real (ET_r)

(FAO 56, 2006). Es la cantidad de agua que realmente pasa a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración. En las condiciones naturales la humedad es limitada y por lo tanto la ETR es menor que la ETP, siendo la ETP su valor máximo.

La medición de la evapotranspiración en general resulta muy complicada en condiciones naturales y en la práctica se estima mediante algunas fórmulas empíricas. Se puede graficar observando la relación estrecha que se ha establecido entre la temperatura y la altitud y que se hace por tanto extensiva a la evapotranspiración.

La evapotranspiración depende de factores que tienen que ver con la superficie y con las condiciones atmosféricas.

En el caso de la superficie, es importante tomar en cuenta la cobertura del suelo, la capacidad de almacenamiento de calor, el coeficiente de reflexión y la resistencia de evaporación de la cobertura; y los factores atmosféricos que se deben considerar son la temperatura, la velocidad del viento, la humedad relativa y la radiación solar.

2. Factores que afectan la evapotranspiración

(Martinez, 2012). El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración.

a. Factores climáticos

Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación a partir de estos parámetros. La fuerza evaporativa de la atmósfera puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o). La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) representa la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar.

b. Factores de cultivo y cubierta vegetal

El tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas. Las diferencias en resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares

del cultivo dan lugar a diferentes niveles de ET en diversos tipos de cultivos aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas.

c. Manejo y condiciones ambientales

Los factores tales como salinidad o baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos y el mal manejo del suelo pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración. Otros factores que se deben considerar al evaluar la ET son la cubierta del suelo, la densidad del cultivo y el contenido de agua del suelo. El efecto del contenido en agua en el suelo sobre la ET está determinado primeramente por la magnitud del déficit hídrico y por el tipo de suelo. Por otra parte, demasiada agua en el suelo dará lugar a la saturación de este lo cual puede dañar el sistema radicular de la planta y reducir su capacidad de extraer agua del suelo por la inhibición de la respiración.

Cuando se evalúa la tasa de ET, se debe considerar adicionalmente la gama de prácticas locales de manejo que actúan sobre los factores climáticos y de cultivo afectando el proceso de ET. Las prácticas del cultivo y el método de riego pueden alterar el microclima, afectar las características del cultivo o afectar la capacidad de absorción de agua del suelo y la superficie de cultivo. Una barrera rompevientos reduce la velocidad del viento y disminuye la tasa de ET de la zona situada directamente después de la barrera.

El efecto puede ser significativo especialmente en condiciones ventosas, calientes y secas aunque la evapotranspiración de los mismos árboles podría compensar cualquier reducción en el campo. La evaporación del suelo de un huerto con árboles jóvenes, en donde los árboles están ampliamente espaciados, puede ser reducida usando un sistema de riego por goteo bien diseñado. Los goteros aplican el agua directamente al suelo cerca de los árboles, de modo en que dejan la mayor parte de la superficie del suelo seca, limitando las pérdidas por evaporación.

El uso de coberturas, especialmente cuando el cultivo es pequeño, es otra manera de reducir substancialmente la evaporación del suelo.

Los anti-transpirantes, tales como estimulantes del cierre de los estomas, o los materiales que favorecen el reflejo del suelo, reducen las pérdidas de agua del cultivo y por lo tanto la tasa de transpiración.

Cuando las condiciones decampo difieran de las condiciones estándar, son necesarios factores de corrección para ajustar ETc (ETc aj). Estos factores de ajuste reflejan el efecto del ambiente y del manejo cultural de las condiciones de campo (FAO 56, 2006).

3. Métodos para determinar la evapotranspiración

a. Métodos directos

Según, (LLerena , 2003), manifiesta que para determinarla directamente se requiere datos exactos de diferentes características físicas utilizando aparatos específicos para alcanzar esa meta. Los métodos directos deben realizarse por personal que contenga el suficiente conocimiento para tomar los datos sin tener grandes márgenes de error y que puedan analizarlos. La importancia de este método es obtener datos cercanos a la realidad para corregir los datos obtenidos teóricamente.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo.

En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

Es la suma de cantidad de agua que pasa a la atmósfera por los procesos de evaporación del agua interceptada por el suelo y la transpiración de las plantas.

Comprende la evaporación directa (desde la superficie del suelo) e indirecta (desde la superficie de la vegetación), y la transpiración de la cobertura vegetal en particular. Es la combinación entre evaporación y transpiración.

Para una superficie cubierta por vegetación es mejor calcular este punto ya que es muy difícil distinguir entre varios tipos de evaporación y además procura incluir a todos los anteriores.

b. Determinación de la evapotranspiración

(FAO 56, 2006). La evapotranspiración no es simple de medir. Para determinarla experimentalmente se requieren aparatos específicos y mediciones precisas de varios parámetros físicos o el balance del agua del suelo en lisímetros.

Los métodos experimentales de campo, son en general caros, exigiendo precisión en las mediciones, y pueden ser completamente realizados y analizados apropiadamente sólo por personal de investigación suficientemente preparado.

A pesar de que estos procedimientos no son apropiados para mediciones de rutina, siguen siendo importantes para la evaluación de las estimaciones de ET obtenidas con otros métodos indirectos.

c. Tanque evaporímetro

El tanque Clase A es circular, 120,7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad. Está construido de hierro galvanizado o de láminas de metal (0,8 mm). El tanque se sitúa sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm por encima del nivel del suelo. El tanque debe estar a nivel. Una vez instalado, el tanque se llena con agua hasta 5 cm por debajo del borde y el nivel del agua no debe disminuir hasta más de 7,5 cm por debajo del borde.

El agua debe ser regularmente cambiada, al menos semanalmente, para eliminar la turbidez. Si el tanque es galvanizado, debe ser pintado anualmente con pintura de aluminio. Las mallas sobre los tanques deben evitarse.

Los tanques deben ser protegidos con mallas de seguridad para evitar el acceso de los animales.

El lugar de instalación debe estar cubierto preferentemente con pasto, en un área de 20 por 20 m, abierto a todos lados para permitir la circulación del aire. Es preferible que la estación se encuentre situada en el centro o dentro de grandes campos cultivados. Las lecturas del tanque se realizan diariamente temprano en la mañana a la misma hora que se mide la precipitación.

Las mediciones se realizan dentro de un área estable situada cerca del borde del tanque. El área estable la produce comúnmente un cilindro de metal de cerca de 10 cm de diámetro y 20 cm de profundidad con una pequeña abertura en la base para permitir el flujo de agua.

La tasa evaporativa de los tanques de evaporación llenos de agua puede ser fácilmente obtenida. En ausencia de lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un período (mm día) corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque en ese período. Los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua.

Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada (FAO 56, 2006).

d. Unidades

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, 10 días, mes o incluso un completo período de cultivo o un año.

Como una hectárea tiene una superficie de 10.000 m^2 y 1 milímetro es igual a 0,001 m, una pérdida de 1 mm de agua corresponde a una pérdida de 10 m^3 de agua por hectárea. Es decir 1 mm día^{-1} es equivalente $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

La altura del agua se puede también expresar en términos de la energía recibida por unidad de área. Esto último se refiere a la energía o al calor requerido para vaporizar el agua.

Esta energía, conocida como el calor latente de vaporización, es una función de la temperatura del agua. Por ejemplo, a 20°C, tiene un valor de cerca de 2,45 MJ Kg⁻¹. Es decir 2,45 MJ son necesarios para vaporizar 1 kilogramo ó 0,001 m³ de agua.

Por lo tanto, un aporte de energía de 2,45 MJ por m² puede vaporizar 0,001 m ó 1 milímetro de agua, y entonces 1 milímetro de agua es equivalente a 2,45 MJ m⁻². La evapotranspiración expresada en unidades del MJ m⁻² día⁻¹ se representa por ET, el flujo del calor latente.

Considerado uno de los datos fundamentales en el análisis del comportamiento del agua en el suelo.

Se define la evapotranspiración como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa, junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

Los factores que intervienen en el proceso de evapotranspiración son diversos, variables en el tiempo y en el espacio y se pueden agrupar en aquellos de orden climático, los relativos a la planta y los asociados al suelo. Esta diversidad de factores, por una parte, ha dado lugar a distintas orientaciones al abordar el complejo fenómeno y diferentes respuestas ante su estimación; ha favorecido, por otro lado, el desarrollo de una serie de conceptos tendentes a lograr una mayor precisión de ideas al referirse al fenómeno y surgen como un intento de considerar las distintas condiciones de clima, suelo y cultivo prevalecientes en el momento en que el fenómeno ocurre.

Para poder determinar el riego es necesario conocer la cantidad de agua que necesita el cultivo.

Una forma de conocerla es a través de la evapotranspiración, que es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (FAO 56, 2006).

F. ESCORRENTIA

Es el volumen de lluvia que hace su recorrido sin infiltrarse, desde el lugar donde cae hasta la corriente de agua a la que alimenta.

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 éste 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, W, 2005).

1. Precipitaciones naturales o simuladas

El método más económico y sencillo consiste en instalar la parcela y luego esperar que llueva; sin embargo la imprevisibilidad de las lluvias puede producir demoras indeseadas.

La solución alternativa consiste en utilizar una lluvia “fabricada” artificialmente mediante el empleo de simuladores de precipitaciones. Las principales ventajas de utilizar un simulador son que se puede acelerar la obtención de resultados y controlar la cantidad y tipo de precipitación; sin embargo, la repetición del uso del simulador en la misma parcela, aunque mejora la situación, no reemplaza las replicaciones del experimento debido a que no elimina los desvíos de la variación del suelo.

Si la parcela no es típica, el desvío estará presente todas las veces que se use el simulador; esto sólo se puede evitar estableciendo una parcela distinta para cada prueba (FAO, 2013).

2. Escorrentía superficial o caudal

El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente en forma de escorrentía directa que es el agua que llega directamente a los cauces superficiales en un periodo corto de tiempo tras la precipitación, y que engloba la escorrentía superficial y la sub-superficial (agua que tras un corto recorrido lateral sale a la superficie sin llegar a la zona freática). Escorrentía basal que es la que alimenta a los cauces superficiales en época de estiaje (García y Muñoz, 2011).

La expresión escurrimiento superficial suele referirse al volumen de las precipitaciones que caen sobre una cuenca, menos la retención superficial y la infiltración. 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.

La aportación de una cuenca se representa comúnmente en una gráfica llamada “hidrograma”, que consiste en una curva que representa las oscilaciones, respecto el tiempo, del nivel del agua de un río en una sección dada del mismo. En el caso de un río con un tiempo de descarga muy largo, los caudales que por él circulan al cabo de un tiempo, son el resultado de la acumulación del escurrimiento superficial con la aportación subterránea (Fetter, 2001).

3. Caudal efluente

Son corrientes superficiales y permanentes de agua que se desplaza sobre la superficie terrestre.

Son de carácter lineal, a diferencias de otra masa de agua. 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 (Siso G y Cunill, 2002).

Río, corriente de agua que fluye por un lecho, desde un lugar elevado a otro más bajo. La gran mayoría de los ríos desaguan en el mar o en un lago, aunque algunos desaparecen debido a que sus aguas se filtran en la tierra o se evaporan en la atmósfera.

La cantidad de agua que circula por un río (caudal) varía en el tiempo y en el espacio. Estas variaciones definen el régimen hidrológico de un río. Las variaciones temporales se dan durante o justo después de las tormentas; la esorrentía que produce la arroyada incrementa el caudal.

En casos extremos se puede producir la crecida cuando el aporte de agua es mayor que la capacidad del río para evacuarla, desbordándose y cubriendo las zonas llanas próximas (llanura de inundación).

La variación espacial se da porque el caudal del río aumenta aguas abajo, a medida que se van recogiendo las aguas de la cuenca de drenaje y los aportes de las cuencas de otros ríos que se unen a él como tributarios.

Debido a esto, el río suele ser pequeño en las montañas, cerca de su nacimiento, y mucho mayor en las tierras bajas, próximas a su desembocadura (Encarta, 2009).

El término esorrentía o caudal se refiere al escurrimiento superficial de régimen natural o caudal natural.

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.

Se utilizan tres niveles de datos de caudales para estimar la cantidad de agua disponible en un cauce: los caudales medios diarios, los medios mensuales y los medios anuales.

4. Medición de caudales

(FAO 68, 2000). Indica que en los caudales obtenidos en la mayoría de los ríos no representan los rendimientos naturales de las microcuencas, subcuencas y cuencas, sino que están afectadas por la toma no controlada (para riego) aguas arriba de las estaciones.

Para algunas estaciones, los caudales derivados aguas arriba pueden ser significativos, en relación a la magnitud de los caudales naturales, primordialmente durante el estiaje se debe tomarlos en cuenta.

a. Aforo

Para determinar el volumen que escurre por una cuenca, se deben aforar o medir las corrientes. Los aforos se realizan en estaciones hidrométricas (en puentes de aforo y usando molinete) o se puede medir la corriente de cualquier río de manera individual.

Estos aforos se hacen a través de cierto intervalo de tiempo (horas, días, etc), con cuyos datos se construyen gráficas de gasto (m^3/s) contra tiempo (h), llamadas hidrogramas.

1) Métodos volumétricos

(FAO 68, 1997), manifiesta que 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. La variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados.

Es asimismo posible efectuar estimaciones del caudal a partir de mediciones de la trayectoria desde tuberías horizontales o en pendiente y desde tuberías parcialmente llenas, pero los resultados son en este caso menos confiables.

2) Método velocidad/superficie

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:

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

La unidad métrica es m³/s. Como m³/s es una unidad grande, las corrientes menores se miden en litros por segundo (l/s).

Una determinación más exacta de la velocidad se puede obtener utilizando un molinete. El de tipo de taza cónica gira sobre un eje vertical y el de tipo hélice gira sobre un eje horizontal. En ambos casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente; se cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado, ya sea con un contador digital o como golpes oídos en los auriculares que lleva el operador. En las corrientes superficiales se montan pequeños molinetes sobre barras que sostienen operarios que caminan por el agua.

Cuando hay que medir caudales de una avenida en grandes ríos, las lecturas se toman desde un puente o instalando un cable suspendido por encima del nivel máximo de la avenida; el molinete se baja por medio de cables con pesas para retenerlo contra la corriente del río.

3) Método del correntómetro o molinete

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 68, 1997).

(Franquet, 2009). En este método, la velocidad del agua se mide por medio de un instrumento llamado “correntómetro” que mide la velocidad en un punto dado de la masa de agua. Un tipo bien conocido es el denominado “molinete de Woltmann”.

Existen varios tipos de correntómetros, siendo los más empleados los de hélice de los cuales hay de varios tamaños; cuanto más grandes sean los caudales o más altas sean las velocidades, mayores debe ser también el tamaño del aparato. Cada correntómetro debe tener un certificado de calibración en el que figura la fórmula necesaria para calcular la velocidad del agua sabiendo el número de vueltas o revoluciones de la hélice por segundo. Estos correntómetros se calibran en laboratorios de hidráulica; una fórmula de calibración, como la empleada en nuestro estudio, es la siguiente:

$$v = a n + b$$

Dónde:

v - es la velocidad del agua, expresada en m/s.

n - es el número de vueltas de la hélice por segundo.

a - es el paso real de la hélice en metros.

b - es la llamada velocidad de frotamiento en m/s.

Como el correntómetro mide la velocidad en un punto determinado, para obtener la velocidad media de un curso de agua se debe, en ciertos casos, medir la velocidad en dos, tres o más puntos, a diversas profundidades a lo largo de una vertical y a partir de la superficie del agua.

En general, la velocidad media a lo largo de un tirante se determina tomando la media de las velocidades a 0’2 y 0’8 del tirante, según las recomendaciones del Departamento de Investigaciones Geológicas de los Estados Unidos, esto es, aplicando la fórmula:

$$V (\text{Velocidad a } 0'2 \text{ del tirante} + \text{Velocidad a } 0'8 \text{ del tirante}).$$

Conocidas ya las profundidades de lectura, se calcula el área de la sección transversal mojada, que se utilizará para el cálculo del caudal. Así, como siempre:

$$Q = v \times A,$$

Dónde:

v = velocidad determinada con el correntómetro o molinete.

A = Área de la sección mojada transversal correspondiente.

La distribución de velocidades en una corriente libre resulta muy importante cuando se desea determinar el caudal usando un medidor de velocidad, que es un instrumento construido de tal manera que la velocidad angular de su elemento giratorio (hélice o sistema de álabes) es proporcional a la velocidad de la corriente. Un ejemplo característico es el del molinete de Woltmann, anteriormente citado.

Mediante un circuito eléctrico, los valores de la velocidad son registrados en un cuentarrevoluciones. Las curvas similares a las de nivel en topografía- que unen los puntos de igual velocidad en una sección transversal, suelen obtenerse por interpolación a partir de las medidas puntuales realizadas con el medidor de velocidad.

Una vez que se conoce la profundidad máxima de la corriente, se puede medir el área de la sección transversal correspondiente del canal y calcular la velocidad por alguno de los métodos descritos, teniendo presente que la velocidad en un caudal elevado suele ser superior a la de un caudal normal (Franquet, 2009).

b. En lo que respecta a la relación bosques – caudal

Es importante considerar el planteamiento de (LLerena , 2003) quien afirma que “la presencia de bosques en una cuenca no significa el aumento del caudal sino generalmente (en función al tipo de bosque, su estado y el clima) su posible disminución como consecuencia de las demandas de agua por la planta y su intercepción (evapotranspiración).

El popular concepto del bosque y sus suelos forestales considerados como “esponja hídrica” por su capacidad de retener el agua y soltarla poco a poco, debería por lo menos combinarse con el de “bomba hidráulica” por la cantidad de agua que mueve del suelo hacia la atmósfera.

Sin embargo, la mayor cobertura vegetal de la cuenca con bosques mejorará su capacidad de infiltración y el agua de lluvia que llegue al suelo, incrementará gradualmente el caudal por la vía sub-superficial, produciendo un flujo de agua más limpio y regular, con rangos de caudales anuales extremos más pequeños. Asimismo, la evapotranspiración permitirá crear nuevos espacios disponibles para almacenar agua, disminuyendo los riesgos de saturación e inundación.

Una cuenca deforestada transferirá un menor volumen de agua hacia la atmósfera por evapotranspiración, quedando por tanto más agua para el caudal. Sin embargo, con escasa vegetación sobre el suelo y menores valores de infiltración, el agua de lluvia que llegue al suelo alcanzará los cauces por escurrimientos superficiales rápidos que producirán erosión en las laderas y un flujo violento y cargado de sedimentos que aumentará la turbidez del río y las posibilidades de altos picos de descarga e inundaciones”.

Una vez estimados los volúmenes de agua que se infiltran mensualmente en cada microcuenca o subcuenca, se establece que el agua restante es la que va a escurrir superficialmente, lo que denominamos caudal o escurrimiento superficial.

G. INFILTRACION

Según (García, 2005), indica que la infiltración ha sido definida por varios investigadores de las características dinámicas del suelo, una de las más aceptadas nos dice que: “Infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno en el suelo; se distingue del proceso de percolación porque este último es el movimiento hacia debajo de agua desde o a través de la zona no saturada hasta el nivel freático o zona no saturada.

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie. La tasa de infiltración puede medirse usando un infiltrómetro.

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo.

Esta se calcula una vez que se resta a la captación bruta la evapotranspiración (captación neta), ponderando las diferentes variables del medio que influyen en la capacidad de infiltración y/o grado de permeabilidad presente en la cuenca en función del tipo de suelos y rocas, el grado de inclinación de las pendientes y el tipo de vegetación y uso del suelo.

Antes de llevar a cabo lo anterior, se estima el porcentaje de saturación del suelo en dependencia del comportamiento de la ETP y la precipitación promedio a través de los meses, lo que permite identificar los meses con déficit hídrico, así como aquellos con alta saturación de agua, lo que influirá en el porcentaje de infiltración en el suelo.

La infiltración está gobernada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Los poros muy pequeños empujan el agua por la acción capilar además de contra la fuerza de la gravedad. La tasa de infiltración se ve afectada por características del suelo como la facilidad de entrada, la capacidad de almacenaje y la tasa de transmisión por el suelo.

En el control de la tasa y capacidad infiltración desempeñan un papel la textura y estructura del suelo, los tipos de vegetación, el contenido de agua del suelo, la temperatura del suelo y la intensidad de precipitación. Por ejemplo, los suelos arenosos de grano grueso tienen espacios grandes entre cada grano y permiten que el agua se infiltre rápidamente.

La vegetación crea más suelos porosos, protegiendo el suelo del estancamiento de la precipitación, que puede cerrar los huecos naturales entre las partículas del suelo, y soltando el suelo a través de la acción de las raíces. A esto se debe que las áreas arboladas tengan las tasas de infiltración más altas de todos los tipos de vegetación.

La capa superior de hojas, que no está descompuesta, protege el suelo de la acción de la lluvia, y sin ella el suelo puede hacerse mucho menos permeable. En las áreas con vegetación de chaparral, los aceites hidrofóbicos de las hojas suculentas pueden extenderse sobre la superficie del suelo con el fuego, creando grandes áreas de suelo hidrofóbico. Otros eventos que pueden bajar las tasas de infiltración o bloquearla son los restos de plantas secas que son resistentes al remojo, o las heladas.

Si el suelo está saturado en un período glacial intenso, puede convertirse en un cemento congelado en el cual no se produce casi ninguna infiltración. Sobre una línea divisoria de aguas probablemente habrá huecos en el cemento helado o el suelo hidrofóbico por donde el agua puede infiltrarse.

Una vez que el agua se ha infiltrado en el suelo, permanece allí y se filtra al agua subterránea, o pasa a formar parte del proceso de escorrentía subsuperficial (FAO 68, 2000).

1. Proceso de infiltración

(Gardiner, 2009), menciona que el proceso de infiltración puede continuar sólo si hay espacio disponible para el agua adicional en la superficie del suelo.

El volumen disponible para el agua adicional depende de la porosidad del suelo y de la tasa a la cual el agua antes infiltrada puede alejarse de la superficie a través del suelo.

La tasa máxima a la que el agua puede entrar en un suelo se conoce como capacidad de infiltración. Si la llegada del agua a la superficie del suelo es menor que la capacidad de infiltración, toda el agua se infiltrará.

Si la intensidad de precipitación en la superficie del suelo ocurre a una tasa que excede la capacidad de infiltración, el agua comienza a estancarse y se produce la escorrentía sobre la superficie de la tierra, una vez que la cuenca de almacenamiento está llena. Esta escorrentía se conoce como flujo terrestre hortoniano.

El sistema hidrológico completo de una línea divisoria de aguas se analiza a veces usando modelos de transporte hidrológicos, modelos matemáticos que consideran la infiltración, la escorrentía y el flujo de canal para predecir las tasas de flujo del río y la calidad del agua de la corriente.

Una vez que la lluvia provee la humedad que el suelo necesita, el agua comienza a drenar y puede tomar 2 caminos: el primero es aquel que gracias a la gravedad alcanza la profundidad suficiente para alimentar al acuífero; y el segundo camino es uno paralelo a la superficie del suelo y posteriormente vuelve a salir al aire libre y se convierte en escorrentía superficial.

A la altura de la zona de saturación se le conoce como tabla de agua. Por debajo de la superficie el agua yace a diferentes profundidades.

En lugares secos la tabla de agua se encuentra a gran profundidad, pero en los lugares húmedos la tabla de agua está a poca profundidad.

Cuando la tabla de agua es más alta que la superficie real de tierra aparecen los riachuelos, ríos y lagos sobre la tierra.

2. Distribución de la precipitación en el suelo

(Arrueta, 2009). Para el análisis de la precipitación y su distribución en el suelo, hacemos alusión a los distintos fenómenos que por la caída de la lluvia se presentan, entre ellos se tiene que la lluvia se consume totalmente y se distribuye en los siguientes casos; detención superficial o almacenamiento en depresiones, humedad del suelo, precipitación directa sobre la corriente del suelo, agua subterránea, flujo subsuperficial y escorrentía superficial (Allen , 2007)

De acuerdo a (Monsalve , 2000) los fenómenos de flujo superficial son:

a. Detención superficial

Es el porcentaje de agua que se almacena en depresiones, pozas y luego se evapora.

b. Humedad del suelo

Manifiesta que la humedad del suelo hace referencia al volumen de agua que se infiltra y no alcanza un nivel freático, pues esta humedad es absorbida por las raíces de las plantas o por la evaporación, se puede distinguir entre dos zonas.

Zona saturada es la parte en la cual todos los poros o espacios vacíos, dejados por los granos que componen el suelo, se encuentran completamente llenos de agua.

Zona no saturada, en esta zona el espacio entre los granos que componen el suelo se encuentran relleno de agua y aire.

c. Agua subterránea

Es aquella, cuando el volumen de lluvia que se infiltra y logra que el suelo llegue a su capacidad de campo, por acción de la gravedad el agua llega a la zona saturada esta se encuentra delimitada por la zona freática que divide la zona saturada de la no saturada.

d. Flujo subsuperficial

Monsalve, 2008. Menciona que el flujo superficial está formado por parte del agua gravitacional que no logra llegar al nivel freático, debido a que tiene una dirección paralela a la superficie del suelo para luego convertirse en escorrentía superficial.

e. Escorrentía superficial

Es el volumen de lluvia que no se infiltra (Monsalve , 2000).

3. Parámetros de la infiltración

a. Capacidad de infiltración o tasa de infiltración

(Pizarro R y Flores, 2008). Se denomina capacidad de infiltración o tasa de infiltración a la velocidad máxima con la que el agua penetra en el suelo y sus unidades se las da en milímetros sobre hora (mm/h).

Esta capacidad depende del tipo de suelo, por ejemplo, un suelo desagregado y permeable tiene mayor tasa de infiltración que un suelo compacto y arcilloso.

Otro factor, es la humedad inicial del suelo, importante para el cálculo de la velocidad de infiltración, ya que un suelo con gran parte de sus poros saturados de humedad, tendrá una menor capacidad de infiltración que un suelo con humedad relativamente baja.

b. Velocidad de infiltración

Esta es la velocidad media con la que el agua penetra el suelo, y depende de muchos factores, como la temperatura del agua o del suelo, la estructura y compactación de la textura, estratificación, contenido de la humedad, agregación de actividades microbianas.

Además depende de la permeabilidad y el gradiente hidráulico, por lo cual, por sí sola no es un buen parámetro de la infiltración, la capacidad de infiltración depende de las condiciones del contorno, lo que la hace una variable más expresiva (Monsalve , 2000).

4. Factores que intervienen en la capacidad de infiltración

a. Tipo de suelo

(Martínez J y Sánchez, 2011). A medida de una mayor porosidad, mayor tamaño de las partículas y el estado de fisuramiento, la capacidad de infiltración será mayor.

b. Humedad del suelo

(Martínez J y Sánchez, 2011). Se denomina humedad del suelo, desde el punto de vista hidrológico, a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno y la capacidad de retenerla o contenerla depende de las propiedades físicas del suelo.

Cuando el suelo está seco, la capacidad de infiltración es mayor hasta que las partículas que forman parte de éste suelo absorben el agua que necesitan; además, las fuerzas gravitacionales también ejercen fuerza sobre el agua que ingresa al suelo.

c. Permeabilidad del suelo

Depende principalmente del tamaño y distribución de los granos del suelo. La permeabilidad puede ser afectada por otros factores como la cobertura vegetal y compactación del suelo.

d. Acción de la precipitación sobre el suelo

El agua de lluvia al chocar contra el suelo facilita la compactación de su superficie disminuyendo la capacidad de infiltración.

e. Temperatura del suelo y condiciones del contorno

Las temperaturas bajas del suelo o del agua dificultan la infiltración, una cubierta vegetal densa favorece a la infiltración, ya que la lluvia cesa, esta es retirada a través de las raíces aumentando la capacidad de infiltración para futuras precipitaciones, las acciones dadas por el hombre o animales compactan el suelo y la superficie tiende a hacerse impermeable.

5. Medida de la velocidad de infiltración

(Pizarro R y Flores, 2008). Para calcular la velocidad de infiltración, se lo puede hacer empleando lisímetros o parcelas de ensayo, de manera análoga a la medida de la

evaporación y de la evapotranspiración desde el suelo. Sin embargo es normal hacer determinaciones in-situ.

La forma de hacerlo es muy sencilla, se usa el infiltrómetro. El más común consiste en un cilindro de 15 cm de radio y 50 cm de alto; se pone en él una determinada cantidad de agua y se observa el tiempo que tarda en infiltrarse. A este aparato se le atribuyen algunos defectos: el agua se infiltra por el círculo que constituye el fondo, pero como alrededor de él no se está infiltrando agua, las zonas del suelo a los lados del aparato participan también en la infiltración, por lo tanto, da medidas superiores a la realidad.

El error apuntado se corrige colocando otro tubo de mayor diámetro (40 cm) alrededor del primero, constituye una especie de corona protectora. En éste también se pone agua aproximadamente al mismo nivel, aunque no se necesita tanta precisión como en el cilindro del interior; con ello se evita que el agua que interesa medir se pueda expandir. La medición es menor que la que se hubiera obtenido antes y más concordante con la capacidad real del suelo.

Existe otro método que carece de instrumento alguno, se trata de hacer un hoyo en el suelo, cuyas medidas sean conocidas, se procede a llenar de agua hasta cierta altura y luego se toma datos de la variación de esta altura a través del tiempo. La infiltración se produce tanto por las paredes y por la parte inferior y el caudal infiltrado será igual a la superficie del cilindro multiplicado al coeficiente de infiltración.

Otra de las formas de determinar la capacidad de infiltración es partiendo de una cuenca que esté perfectamente controlada, es decir, que se posea datos precisos de precipitación, evaporación, evapotranspiración y escurrimiento. Por lo tanto al conocer estos términos podemos establecer la infiltración. Este método es ideal pero su aplicación está delimitada solo a cuencas de ensayo y se las utiliza para poder contrastar los datos medidos con otros procedimientos.

6. Medición del contenido de humedad del suelo

(Martin, 2010). Manifiesta que para medir la humedad del suelo para la programación del riego. Universidad de Arizona. Existen básicamente dos tipos de métodos para

medir la humedad del suelo, los métodos directos miden la cantidad de agua que hay en el suelo, y los métodos indirectos calculan la humedad mediante una calibración entre la humedad y una propiedad física que es más sencilla de medir (ejemplo la tensión), la gran mayoría de métodos son indirectos.

Gravimétrico. Para este método que son directos, se toma muestras de suelo se las lleva al laboratorio y se realiza su pesaje, para luego secarlo en la estufa a 105°C hasta que su peso sea constante, luego se pesa la muestra seca y la diferencia de peso es la humedad del suelo. Este es el método más exacto de todos pero necesita de mucho tiempo, es caro y destruye la muestra.

H. LA COBERTURA VEGETAL EN EL RÉGIMEN HÍDRICO

(Bosque Valdia, 2005). Manifiesta que la vegetación constituye un factor decisivo del ciclo hidrológico incluso en medios áridos y semiáridos porque condiciona tanto la evaporación, la infiltración y la escorrentía como la interceptación y la transpiración. En realidad, la vegetación se adapta al régimen termo-pluviométrico y, a su vez, es un control de la respuesta ante los aportes de la precipitación.

(Bosque Valdia, 2005), sostiene que factores meteorológicos, vegetación y suelos evolucionan conjuntamente de manera que, en zonas mediterráneas, la vegetación se adapta para utilizar al máximo el agua almacenada en los suelos. La cubierta vegetal; situada entre la fase aérea (atmosférica) y terrestre del ciclo del agua, es uno de los principales participantes (junto con la precipitación, la topografía entre otros) en la recarga hídrica de los suelos y de formación de escorrentía, porque interviene directamente sobre la tasa de precipitación neta registrada en la superficie del suelo, sobre las tasas de infiltración de este, sobre la redistribución del agua en el mismo y en las pérdidas por evapotranspiración.

De esta manera, la vegetación, tanto por su intervención directa en la dinámica del agua como por sus propias necesidades de consumo, introduce un sub ciclo con una doble dirección. En primer lugar, interfiere en el proceso de entrada directa de la precipitación a la superficie (flujo descendente), por medio de la evaporación de parte del agua

almacenada por interceptación, en la redistribución de la lluvia trascolada y en la capacidad de infiltración de los suelos.

En segundo lugar, alimenta las pérdidas por transpiración al utilizar, en un flujo ascendente, el agua almacenada en el suelo, incluso en capas más profundas, que será liberada a la atmósfera como vapor de agua.

Dentro de la mecánica de las superficies de almacenamiento del sistema (en contacto con la atmósfera y asociada con los suelos). Como sistema biológico consumidor de agua (necesaria para el cumplimiento de sus funciones vitales) por medio de lo que se denomina el sistema suelo-vegetación-atmósfera.

1. La vegetación en la fase atmosférica del régimen hídrico

a. Interceptación y evaporación

(Ibarra P y Ecveverría, 2004). La interceptación (también llamado intercepción) es el proceso mediante el cual “la vegetación obstaculiza o detiene el flujo de precipitación en su camino hacia el suelo” Las pérdidas por interceptación pueden constituir una fracción significativa de la precipitación bruta.

Los factores que influyen sobre dichas pérdidas son: el tipo de precipitación, la disponibilidad de energía calorífica, la intensidad del viento y la capacidad de almacenaje de las plantas, la cual depende en gran medida de su estratificación, patrones de distribución espacial (MAE, 2006) y su grado de densidad superficial (el porcentaje de cubierta vegetal del suelo por unidad de superficie).

Diversos estudios muestran amplios rangos en el volumen de pérdidas por interceptación según tipos de plantas y cubiertas vegetales. Sin embargo, en la mayoría de casos se considera que la vegetación es un elemento reductor de la precipitación que finalmente alcanzara la superficie.

En zonas con régimen de lluvias menos esporádicas, de mayor volumen de precipitación que las pérdidas oscilan entre el 10% y el 40%, dependiendo de las comunidades vegetales y regímenes de precipitación.

La naturaleza de las zonas áridas y semiáridas (menor disponibilidad de lluvia, vegetación de bajo porte con baja densidad de distribución espacial) ha inducido, en algunos casos, a pensar que las pérdidas por evaporación directa de agua interceptada son poco importantes.

Sin embargo, estudios recientes ofrecen valores no muy lejanos a las latitudes templadas y tropicales.

En efecto, la interceptación en medios mediterráneos, bajo condiciones de laboratorio, puede superar incluso el 40% de la precipitación, dependiendo de la intensidad de lluvia y del tipo de especies vegetales.

En condiciones de lluvia no simulada y con asociaciones de matorral con cubierta del 100%, la interceptación alcanza valores medios superiores al 30%, o mayores si está asociado con pinos (Díaz P. , 2008).

La vegetación, además de reducir la entrada de agua, también capta precipitaciones mediante la translocación y el flujo cortical. Su importancia radica, por la redistribución de la lluvia que realizan, en los volúmenes aportados al suelo, induciendo a pensar en la adaptación de las especies vegetales como mecanismos colectores, canalizadores y almacenadores de agua.

Son las especies herbáceas y arbustivas netamente las que mayor volumen de escorrentía cortical canalizan, hacia la base e inmediaciones del tronco, llegando, según (Díaz P. , 2008), hasta valores superiores al 40% de la precipitación anual.

Por tanto, en ecosistemas donde el agua es uno de los principales factores limitantes, algunas plantas presentan una morfología preparada para interceptar la lluvia y canalizarla desde las hojas, a través de los flujos corticales, hasta el sistema radicular, aprovechando de esta manera una gran cantidad de lluvia.

Lo que explicaría las diferencias en las tasas de infiltración y contenidos de humedad del suelo por debajo de la biomasa de las plantas (Belmonte F y Díaz , 2006).

2. La vegetación en la fase terrestre del régimen hídrico

a. **Infiltración**

(Ibarra P y Ecveverría, 2004). El termino infiltración alude al proceso de entrada vertical de agua en el suelo por debajo de la superficie. La tasa máxima de agua que penetra o es absorbida por el suelo en un momento dado se denomina capacidad de infiltración. Para la formación de escorrentía, esta tasa es de singular importancia porque la saturación del suelo depende del equilibrio entre la intensidad de la lluvia y la tasa de infiltración.

El proceso de infiltración es altamente variable en el espacio y el tiempo como consecuencia de la serie de factores que intervienen como la conductividad hidráulica, la pendiente y rugosidad, las características químicas del suelo, su contenido en humedad, la existencia de vegetación y de una capa superficial de materia orgánica, además de las modificaciones introducidas por el hombre en la superficie. La combinación de todos estos factores impone la alta variabilidad espacial de la tasa de infiltración y de la humedad de los suelos. La variabilidad temporal depende en gran medida del régimen termo pluviométrico al que está sometido cada suelo.

De lo anterior se deduce que ante una intensidad de lluvia y con una velocidad de infiltración regida por una combinación de factores característicos de ese suelo, se pueden dar tres situaciones de formación de escorrentía directa: No se produce escorrentía: la intensidad de precipitación es igual o menor que la tasa de infiltración y no supera la máxima capacidad de infiltración o almacenamiento del suelo.

Saturación desde arriba: se produce escorrentía al ser la intensidad de lluvia mayor que la tasa de infiltración. Saturación desde abajo: se produce escorrentía al haberse saturado la capacidad máxima de infiltración del suelo, aunque la intensidad de precipitación no supera la tasa de infiltración.

De hecho, la vegetación produce un aumento de la permeabilidad y la capacidad de infiltración de los suelos por la presencia de raíces y aumento de la macro porosidad.

Estas propiedades están muy relacionadas con el tipo, estructura y densidad de la cubierta vegetal. Faulkner (1999) demuestra la estrecha relación entre densidad de cubierta vegetal y tasa de infiltración. En sus experimentos, llevados a cabo en áreas semiáridas de Estados Unidos, las tasas de infiltración disminuyen con la reducción del porcentaje de cubierta vegetal, llegando en ocasiones a ser el doble en cubiertas del 100% que en las que no presentan porcentajes mayores al 39%, dichos resultados están en consonancia con los realizados en nuestros medios.

La estructura de la vegetación, asociada con el grado de cubierta, también incide en la infiltración y en la hidrógrafa de escorrentía.

En situaciones de mayor biomasa existe una mayor infiltración, lo que provoca menores volúmenes de escorrentía, con un trazado de hidrógrafa suavizado y con tiempo inicial de respuesta retardado. Según Martínez M. et al. (2008), la presencia o ausencia de vegetación ayuda a comprender el tipo de escorrentía que se produce en cuencas.

3. Usos del suelo cubierta superficial y régimen hídrico

Las intervenciones del hombre en los usos del suelo modelan el paisaje y alteran la dinámica del ciclo hidrológico, puesto que afectan a los componentes del sistema anteriormente analizados.

Distingue tres tipos de cambios introducidos en los ecosistemas por las actividades humanas: La transformación de la cubierta superficial con procesos de alteración radical de lo existente como la deforestación y la urbanización.

La degradación de la superficie, sujeta a procesos como la erosión, salinización, contaminación de los suelos, etc.

La intensificación de los usos del suelo, mediante la introducción de nuevas técnicas de cultivo como la irrigación, la utilización intensiva de fertilizantes o la integración de diferentes actividades productivas.

En ocasiones, las prácticas agrícolas producen una mayor porosidad del terreno y una mayor capacidad de almacenaje hídrico del suelo, lo que conlleva una menor producción de escorrentía.

Por el contrario, el abandono de cultivos (de máximo interés debido al éxodo rural de los decenios pasados) incrementa la susceptibilidad de los suelos al producirse un sellado superficial en ausencia del laboreo y de una capa de vegetación que proteja al suelo de los procesos erosivos (Llorens J y Gallart , 2002).

Además el abandono de la actividad agrícola puede favorecer la rotura de terrazas u otros elementos de conservación que aumentaran las pérdidas de suelo por erosión.

De todos modos, hay que tener en cuenta que en algunas ocasiones la regeneración es rápida, colonizándose el suelo primero por hierbas y después por arbustos.

En estos casos, debido a la reducción del agua de escorrentía, la producción de sedimentos será muy baja y aumentara, gracias a la regeneración de la vegetación y la estabilidad del suelo (Ruiz Flano, 2003).

A modo de síntesis, las líneas de investigación atienden principalmente los procesos más asequibles a la escala de parcela experimental como la infiltración y la interceptación. Son menores, por la mayor complejidad del sistema, los estudios experimentales de transpiración (pues asocia un fenómeno biológico con procesos edáficos y climáticos) y de dinámica hídrica de suelos.

Cuando se amplía la escala de trabajo al nivel de cuenca de drenaje, mayoritariamente la investigación se concentra en un solo aspecto de la cubierta superficial, considerándose sobre todo la alteración del régimen hídrico por incendios forestales y, en menor medida, zonas con tasas altas de urbanización.

4. El agua contenida en el suelo

(Argente L y González, 2006). El suelo proporciona un soporte mecánico a las plantas, además en él se almacena agua y oxígeno que junto con los elementos nutritivos que contienen (minerales, materia orgánica) además de los microorganismos, constituyen la base fundamental para el desarrollo de las plantas. El suelo está constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La primera está constituida de partículas minerales y orgánicas, la que ocupa un volumen (V_s), mientras que los poros del suelo (V_p) están ocupados por la fase líquida (V_w) y la gaseosa (V_a). El volumen total del suelo (V_t) es el volumen aparente que ocupa en condiciones de campo.

a. **El agua está presente en el suelo de cuatro maneras**

- 1) **Agua combinada químicamente:** Es el agua de hidratación. No se considera al estudiar las propiedades físicas del suelo. No se elimina desecando en la estufa a punto de ebullición y no puede ser absorbida por las plantas.
- 2) **Agua higroscópica:** Agua fuertemente retenida en el suelo y no puede ser absorbida por la vegetación. Es el agua que se elimina tras haber desecado el suelo a temperatura ambiente elevada o a 105°C en estufa (Supone el 2-3% sobre el peso seco).
- 3) **Agua capilar:** Ocupa los espacios capilares del suelo. Se elimina desecando al aire. Es el agua que utilizan las plantas, pero no toda, solo la que está en los poros de tamaño comprendido entre 0,2 y 0,8 micras (en poros $<0,2$ micras está fuertemente retenida).
- 4) **Agua de gravitación:** Ocupa los macro poros del suelo. Está sometida a la acción gravitatoria y escurre por drenaje hacia la profundidad. Solo una pequeña parte puede llegar a ser aprovechada por las plantas: la que escurre lentamente.

Las plantas consumen agua de forma continua, mientras que de forma natural (lluvias) la reciben por medio del suelo de forma intermitente.

El hecho de que las plantas puedan crecer de forma continua a pesar de ese desfase de consumo y aporte, se debe al papel del suelo como lugar de almacenamiento y retención del agua.

En función de la humedad que contenga, el suelo puede estar saturado, a capacidad de campo o en el punto de marchitez.

Un suelo está saturado cuando todos los poros están llenos de agua. El agua que drena libremente es el agua libre o agua gravitacional, que no es retenida por el suelo. El agua que no drena queda retenida en los microporos del suelo, luego la capacidad de retención de agua dependerá de la textura y estructura del suelo (Argente L y González, 2006).

Desde el punto de vista agronómico, los contenidos de humedad críticos del suelo son los siguientes:

b. Capacidad de campo (cc)

Según (Chicas R y Vanegas, 2013). Al aplicar agua al suelo éste recibirá una cantidad de acuerdo con su capacidad de absorción, después de un intervalo de tiempo el agua empezará a drenar libremente.

Cuando se interrumpe el suministro de agua al suelo, continuará drenando hasta un punto en donde la fuerza con que está retenida el agua (tensión de humedad del suelo) sea de tal magnitud que no permita drenar libremente el agua. Este contenido de humedad se conoce como capacidad de campo.

Las leyes físicas que explican la retención de agua en la esponja, son las mismas que la definen en los poros del suelo. Esta fuerza o tensión de humedad del suelo (potencial mátrico), con que el agua es retenida, es producto de la adhesión, o atracción entre la superficie de las partículas de suelo y el agua; y la cohesión, o la atracción entre las moléculas de agua.

Este proceso de retención que depende de las características de tensión superficial del agua del suelo y del ángulo de contacto entre el agua y las partículas de suelo, es el

mecanismo principal de retención de agua en los suelos livianos, mediados y dentro de determinados intervalos de humedad, también en los suelos pesados (González , 2013).

Define como “la cantidad de agua retenida por el suelo después de drenar el exceso y la tasa de movimiento descendente haya concluido o descendido significativamente, lo que generalmente ocurre después de dos o tres días de una lluvia o riego en suelos permeables de textura y estructura uniformes.” El flujo de agua en el suelo depende de la conductividad del suelo y el gradiente de potencial.

(Santos L y Valero , 2010), estudiando índices de disponibilidad de agua para las plantas, hizo un análisis crítico sobre el concepto “capacidad de campo”, observando que su definición necesita de criterios adicionales.

El mismo autor sugiere la búsqueda de un nuevo índice dinámico de la calidad físico-hídrica del suelo, que implique las pérdidas por drenaje, considerando el tiempo en una determinada condición de evapotranspiración y el contenido de agua en el suelo, también la realización de estudios relacionando a la conductividad hidráulica del suelo con las condiciones de humedad alrededor de las raíces y la producción vegetal.

c. Punto de marchitez permanente

El punto de marchitez permanente (PMP) indica la humedad del suelo en la zona radicular cuando una planta se marchita y no se recupera cuando se coloca en una atmósfera saturada de humedad durante 12 horas. Este valor de humedad corresponde a un potencial matricial de -15 atmósferas.

El término PMP debe ser considerado al igual que la capacidad de campo, como un intervalo de porcentajes de agua en el cual la velocidad de suministro de agua del suelo a la planta no es suficientemente elevada como para impedir su marchitez.

5. Contenido de agua en el suelo

La conductividad hidráulica es afectada o depende de las características del sistema poroso, dadas por la porosidad total, la tortuosidad de la geometría del poro del suelo y la distribución y tamaño de los poros (Santos L y Valero , 2010)

La conductividad de líquidos en el suelo depende de la sección de los poros de estos. La sección conductora de los poros es una propiedad que depende del contenido de agua del suelo. En un suelo saturado el movimiento es constante, por no cambiar el gradiente y la sección media de los poros conductores. Normalmente, en suelos agrícolas el movimiento del agua es en fase no saturada; de ahí que constantemente cambia el monto y sentido del movimiento del agua en el suelo, debido a cambios de gradientes y sección median de poros conductores.

Tanto la infiltración como la permeabilidad están íntimamente relacionadas con el tamaño de los poros y la estabilidad de las unidades estructurales.

Según (Ochoa C y Urroz, 2011), en suelos que tienen poros grandes, la infiltración puede ser alta inicialmente. Sin embargo, la velocidad de la infiltración bajara tan pronto como las grietas grandes se llenen; luego, el suelo se hincha y la velocidad puede llegar hasta valores cercanos a cero, como el caso de un suelo arcilloso. En un suelo franco arenoso, la velocidad de infiltración inicial desciende en forma brusca al principio.

Si en un suelo el contenido de agua disminuye, se vacían primero los poros grandes y el agua es retenida firmemente en los poros pequeños. Numerosas son las fuerzas que actúan sobre el agua en el suelo; fuerza gravitacional, la atracción de las superficies solida etc., en suma existe una gran variedad de fuerzas y direcciones en las cuales ellas actúan, lo que describe una cadena de fuerzas en el suelo y lo que dificulta el movimiento del agua.

En suelos con alta proporción de porosidad gruesa, la conductividad disminuye cuando el tamaño de los poros decrece. Pero, para suelos con porosidad fina, la conductividad aun es relativamente alta para tensiones medias a altas.

6. Determinación del contenido de agua en el suelo

La estimación de la humedad de un suelo es importante en el área agrícola y forestal, en los ámbitos de investigación y para el adecuado manejo del riego. El contenido de humedad en el suelo se puede determinar de forma directa por gravimetría o volumetría.

Sin embargo, en la actualidad existen diversos métodos indirectos para la medida del agua del suelo, en los que el contenido de humedad se obtiene mediante una relación calibrada con alguna otra variable medible. Estos pueden clasificarse en métodos volumétricos (aquellos que dan estimaciones de la humedad volumétrica del suelo) y métodos tensiómetros (aquellos que lo hacen de la tensión o potencial del suelo).

Los métodos tensiómetros indican por tanto la energía necesaria para extraer el agua de los poros. Sin embargo, es posible convertir esta variable en contenido volumétrico de humedad mediante la curva característica del suelo.

Por el contrario, los métodos volumétricos permiten conocer lo “lleno” que está el suelo y, expresando la humedad en términos de profundidad, esta puede ser comparada con otras variables hidrológicas como la lluvia, evapotranspiración, riego, etc (Ritter A y Regalado, 2007).

a. Método gravimétrico o directo

El método básico de determinación del contenido en agua de los suelos es el gravimétrico. Muestras de suelo, de peso o volumen conocido, son recogidas y secadas en estufas, a 100 - 105°C hasta peso constante. Si la determinación se refiere a la masa de suelo seco en estufa se obtiene la “humedad gravimétrica”. g (%). que está determinada por la siguiente expresión:

$$100 \text{ sec \%} = \frac{M}{sMa} * 100 \quad \text{Masa suelo o masa de agua g}$$

Obtenida la humedad gravimétrica se puede calcular el contenido en agua de un perfil, hasta una profundidad determinada, descomponiendo el perfil en un número determinado de subperfiles (i) en los que la humedad se considere homogénea. Para cada uno de los subperfiles se puede aplicar la expresión:

Dónde:

C_i = cantidad de agua contenida en el subperfil i de superficie S (m^3).

S = superficie (m^2).

P_i = altura del subperfil considerado (m).

d_i = densidad aparente ($g.cm^{-3}$).

g_i = humedad gravimétrica (%).

1) **Desventajas**

Son métodos destructivos, laboriosos, lentos (mínimo dos días) y no permiten repetir la estimación en un mismo punto. El método puede exigir parcelas demasiado grandes para soportar el número de repeticiones que se necesite.

Los mayores problemas relacionados con la utilización del método gravimétrico se refieren a la cantidad de muestras necesarias para definir el contenido en humedad de todo el perfil a ser estudiado y los consecuentes trastornos que producen en los cultivos situados en las parcelas muestreadas (Mestas , 2011).

7. **Especies vegetales**

a. **Vegetación arbórea y arbustiva**

(Mestas , 2011). Vegetación considerada como producto de la interrelación del clima y suelo de una región en la que sensiblemente no han influido otros factores para su establecimiento o áreas en las que la regeneración espontánea después de la tala, es el denominador común.

1) **Bosque natural (Bn)**

Se denomina al ecosistema arbóreo natural primario y secundario que actualmente se halla sin ocupación o intervención humana. Este piso vegetal lo constituyen especies nativas de cada zona con una altura superior a los 15 metros.

Ocupada por formación vegetal arbórea leñosa densa, pluriestratificada, integrada por especies propias de la zona, con un alto porcentaje de mezcla de especies forestales.

El paisaje característico del bosque húmedo primario son los pies de monte, cuya característica es la garúa y la neblina constante; abundantes helechos, musgos y líquenes.

2) **Bosque intervenido (Bi)**

Ecosistema arbóreo natural primario o secundario que actualmente se halla iniciando la colonización, pero que aún no influye sensiblemente en el medio vegetal. El área de estudio se halla en las zonas altas del pie de monte.

3) **Bosque plantado (Bp)**

Masa boscosa formada antrópicamente, con una o diferentes especies madereras nativas o introducidas, con manejos silviculturales y dedicada a varios fines como: Producción, protección y recuperación del suelo o recreación.

4) **Matorrales o chaparros (Va)**

Vegetación natural cuya composición florística no sobrepasa los 10 metros de altura y la estructura del tallo no alcanza los 15 centímetros de grosor, localizada generalmente en relieves fuertes, producto de la regeneración espontánea.

Cubriendo áreas secas a áridas, pero en las vertientes de los sistemas hidrográficos, los chaparros son húmedos a muy húmedos. Se considera en esta categoría a toda aquella vegetación conocida como matorral o chaparro.

b. Pasto**1) Páramo (Pr)**

Vegetación herbácea de alta montaña, resistente a vientos y heladas, asociada ocasionalmente con arbustos, resistentes a bajas temperaturas. Agrupan pajonales, frailejones, almohadillas y arbustos coriáceos.

2) Pasto natural (Pn)

Vegetación dominante constituida por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección.

3) Pasto cultivado (Pc)

Vegetación ocupada por especies herbáceas introducidas, utilizadas con fines pecuarios, que para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo conducidos por el hombre o regeneración espontánea de especies introducidas.

En esta categoría se considera también al kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) de regeneración espontánea que crece en áreas localizadas sobre los 1800 m.s.n.m.

c. Cultivos

Se conceptualiza en este nivel a todos aquellos elementos inherentes a las actividades culturales que el hombre realiza en el campo en busca de sustento

1) Cultivos indiferenciados

Cultivos de ciclos cortos o permanentes que cubren pequeñas superficies, pero conforman una gran unidad, que de ninguna manera pueden clasificarse independientemente, que a su interior no sobresalen plantaciones específicas.

2) **Cultivos de ciclo corto (cc)**

Asociación que incluyen cultivos de consumo interno o comercial, cuyo ciclo vegetativo no excede de un año y no son posibles clasificarlos independientemente ni por asociaciones, pues generalmente se hallan formando parte de minifundios cuyo denominador común son los poli cultivos.

3) **Cultivos diferenciados**

Cultivos de ciclo corto o permanente que cubren grandes superficies y pueden ser clasificados independientemente.

d. Área erosionada (Ae)

Zonas con elevado grado de desgaste del suelo orgánico, desprovistos de vegetación o con dispersa cobertura vegetal donde aparecen los estratos inferiores improductivos. En esta categoría se consideran suelos desnudos o suelos en los que aún queda alguna vegetación muy dispersa.

I. DEMANDA HÍDRICA

Según (Horizonte , 2008), la demanda hídrica se define como la cantidad de agua necesaria para que los cultivos desarrollen su máximo potencial productivo, en función de la cantidad de agua necesaria para el desarrollo de sus procesos fisiológicos (respiración y fotosíntesis), manteniendo los otros factores de producción constantes. Es decir, la demanda hídrica en conjunto con la disposición de los efluentes tratados, determinará la capacidad del sistema para abatir la totalidad de las necesidades tratadas.

Para determinar la demanda hídrica se requiere conocer la evapotranspiración de los cultivos y la eficiencia de aplicación de agua.

Evapotranspiración de cultivo; ETc:

$$ETc = ETo * Kc$$

ETc, evapotranspiración de cultivo (mm/mes)

ETo, evapotranspiración potencial (mm/mes)

Kc, coeficiente de cultivo

Para efectos del cálculo del Kc del proyecto, se ha estimado el Kc, de acuerdo a las variaciones climáticas durante el período del año, y las etapas fenológicas de la plantas.

1. **Demanda hídrica neta, DHN**

Se obtiene a través de la diferencia entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y el aporte de la precipitación, particularmente, de la precipitación efectiva, la que corresponde a la fracción de la precipitación total que puede ser aprovechada por el cultivo, la fracción, que no es utilizada, puede perderse en forma de escorrentía superficial, percolación profunda o evaporación (FAO, 2006).

a. **Demanda hídrica bruta o tasa de riego**

La demanda hídrica bruta o tasa de riego, da cuenta del volumen de agua que es preciso aplicar a una superficie unitaria (1 ha) de cultivo, para satisfacer su demanda hídrica neta.

b. **Balance hídrico y superficie de riego mínima**

Según (FAO, 2006). El objetivo de realizar el balance hídrico, es para poder determinar el sistema de aplicación del agua (riego) debe realizarse con la suficiente racionalidad y eficiencia, de tal manera que permita optimizar el descarte y minimizar las fugas desde el sistema, tanto por percolación profunda y como por escurrimiento superficial.

En el óptimo, se debe satisfacer la ecuación: $OH = DHB * S$

OH = Oferta hídrica, expresada en m³/año

DHB = Demanda hídrica bruta, expresada en m³/ha/año

S = Superficie de riego, expresada en hectáreas (ha)

De manera que al despejar de la fórmula anterior, la incógnita de la “Superficie”, su cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$S = OH / DHB.$$

2. Concesiones de agua

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.

La SENAGUA es el organismo responsable de dirigir la gestión integral e integrada de los recursos hídricos en todo el territorio nacional a través de políticas, normas, control y gestión desconcentrada para generar una eficiente administración del uso y aprovechamiento del agua, garantizando un acceso justo y equitativo y, velando por la conservación de las fuentes hídricas en el país.

Las prioridades de uso del agua en el país son: consumo humano, riego, caudal ecológico, actividades productivas, recreacionales y culturales.

El derecho humano al agua en el país implica contar con disponibilidad, calidad y accesibilidad al recurso.

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.

Es por esto que para una adecuada planificación y distribución del recurso se requiere contar con un registro de concesiones que brinde información de cada toma, usuario y que al mismo tiempo identifique tramos críticos de disponibilidad de agua (SENAGUA, 2008).

3. Agua requerida por los cultivos

(González , 2013). El requerimiento hídrico del cultivo corresponde a la diferencia entre las pérdidas del conjunto suelo-planta, es decir la evapotranspiración, y el agua que se aporta de forma natural.

La cantidad de agua requerida por la planta depende de varios aspectos, los que representan las necesidades básicas, porque establecen entre si las relaciones fundamentales en lo que respecta al uso propiamente dicho del agua por las plantas, algunos de estos se analizan a continuación:

Cada cultivo tiene sus características particulares. La demanda de agua es variable con el ciclo vegetativo de la planta, el tiempo y el espacio que ocupa la planta. La agricultura depende, principalmente, del clima, ya que el calor, la luz y el agua son los factores que más afectan a las necesidades de las plantas para su crecimiento.

El suelo de acuerdo a sus características físicas y químicas, retendrá el agua con mayor o menor cantidad y rapidez. En días ventosos, la planta se siente exigida a transpirar más, en consecuencia se da el marchitamiento transitorio, periodo en el cual la planta no crece. A veces se protege del viento a los cultivos con cortinas de árboles.

A las necesidades básicas se le agregan las pérdidas que significa llevar el agua para riego de las plantas, y estas pérdidas están asociadas al sistema o método de riego, la competencia del regante y el sistema o método de conducción y/o distribución.

Estos últimos son conceptos que incrementan las necesidades básicas. Son elementos que hacen perder agua por deficiencia en el uso. En el siguiente cuadro se resume las eficiencias de riego por método de aplicación.

(Gurovich, 1985), Un riego adecuado aplica la cantidad justa para cubrir las necesidades del cultivo y evita las pérdidas. Cuando el riego es excesivo se producen pérdidas por percolación.

Por otro lado una aplicación inferior a la evapotranspiración constituye un riego inadecuado pues el cultivo no está suficientemente abastecido y se afectará la producción.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

1. Localización

La microcuenca del río Atapo se encuentra ubicado en la parte sur-oriental de la subcuenca del río Yaguachi, con una extensión de 14284,28 has, la misma que forma parte de los cantones Guamote y Alausí, ocupando el 78,19 % de la parroquia Palmira y el 21,81 % de la parroquia de Tixán (CESA, 2011).

2. Ubicación geográfica

Según (INAMHI, 2010), manifiesta que la microcuenca del río Atapo se encuentra localizada entre las Coordenadas Proyectadas UTM de la zona 17 S; Datum WGS 84.

X: 755244 E

Y: 9767635 S

Altitud: 2800 – 4280 msnm.

3. Características climáticas

Temperatura: 9°C - 10°C.

Humedad relativa: 96,8 %, (parte alta).

Precipitación: 500 - 1000 mm/año.

4. Topografía de la microcuenca del río Atapo

(CESA, 2011). Manifiesta que la microcuenca presenta las siguientes particularidades de acuerdo a su topografía.

Cuadro 01. Pendientes de la microcuenca.

Pendientes	%	Superficie (has)
Pendiente suave regular	<12	1442,92
Pendiente regular o irregular	12 – 25	3594,52
Pendientes fuertes	25 – 50	4680,82
Pendientes muy fuertes	>50	4566,62

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el siguiente gráfico presentamos la localización de la microcuenca de río Atapo.

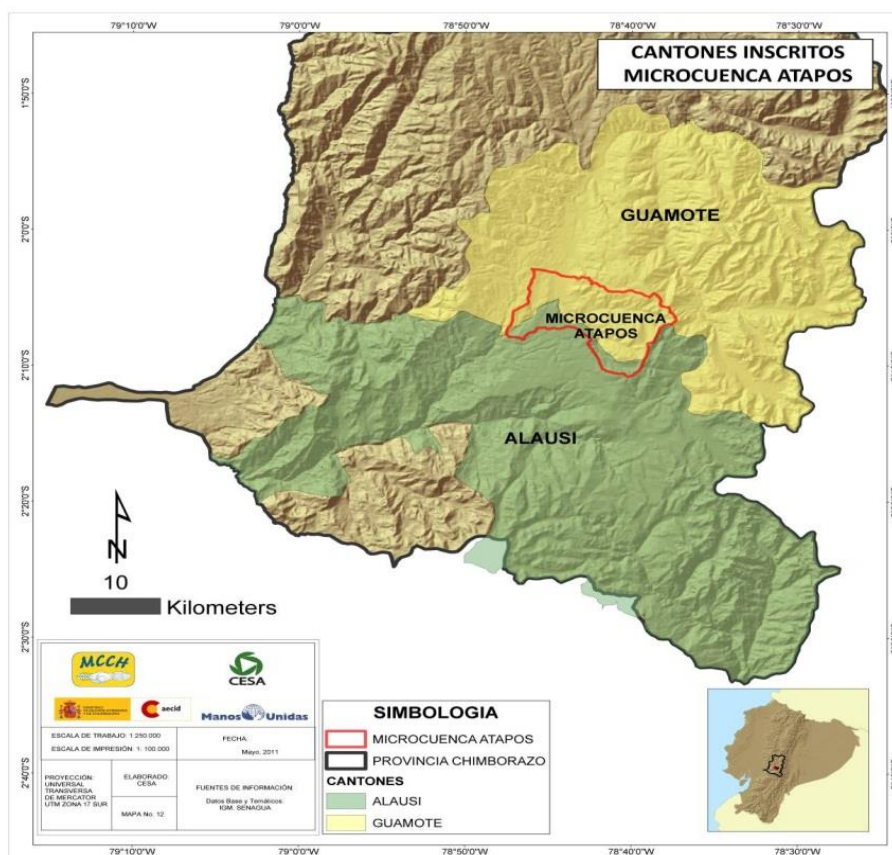


Gráfico 01. Ubicación geográfica de la microcuenca del río Atapo.

Fuente: CESA, Diagnóstico hídrico, 2011.

En el siguiente gráfico se indica, el sistema hidrográfico a la que pertenecer la microcuenca del río Atapo.

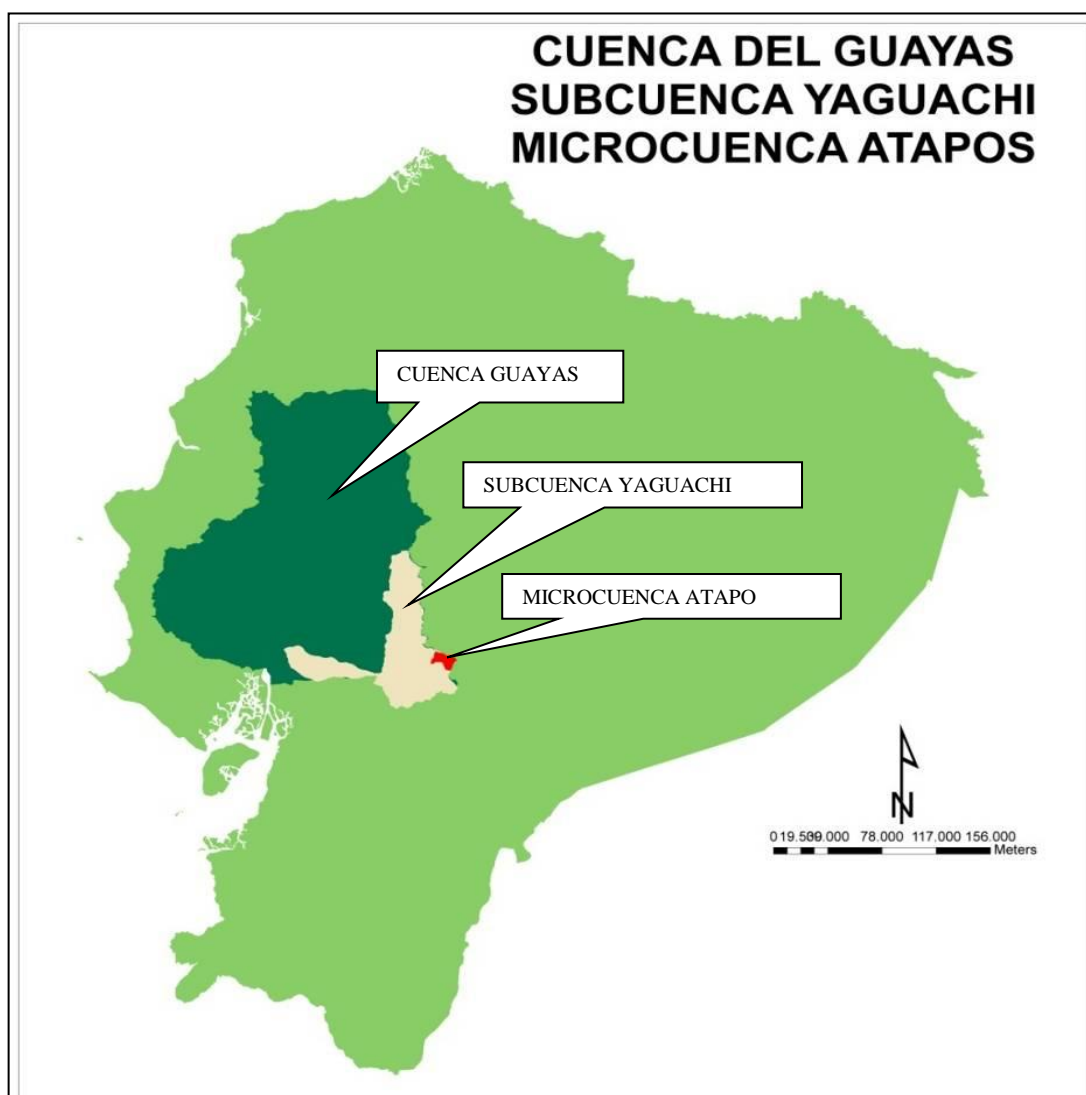


Gráfico 02. División del sistema hídrico de la microcuenca del río Atapo.
Fuente. CESA, Diagnóstico hídrico, 2011.

5. División hidrográfica e hidrológica

De acuerdo a las divisiones hidrográficas, la microcuenca del río Atapo pertenece a la vertiente del Pacífico, cuenca del Guayas, subcuenca de Yaguachi, y microcuenca del río Atapo (SENAGUA, 2010).

B. MATERIALES Y EQUIPOS

1. Materiales de campo

Vehículo, cámara fotográfica, GPS Garmin 609, cilindro de infiltración doble anillo, bandeja de escurrimiento, pluviógrafo, pluviómetro, evaporímetro casero, molinete. balde de 20 litros, libreta para campo, lápiz, esferos, pico, pala, nivel de bolsillo, combo, bomba de mochila, postes, alambre de púa, botella plástica de 4 litro, etc.

2. Materiales de oficina

Computador y periféricos, calculador, papel bond, estufa, memoria, balanza eléctrica, programa ArcGis 9.3, etc.

C. METODOLOGIA

1. Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca

a. Fórmula utilizada para determinar el balance hídrico

Para determinar el balance hídrico de la microcuenca se utilizó la fórmula planteada en el manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas (Nicolay, 2007).

La Ecuación establecida para una cuenca vertiente es:

$$Pp - Qe - DR - Evtr = 0$$

Dónde:

Pp: Precipitación.

Qe: Caudal Efluente.

DR: Variación del contenido del agua en el suelo.

Evtr: Evapotranspiración.

De acuerdo a esta fórmula que utilizamos para determinar los objetivos planteados al inicio de este estudio, se procedió a determinar la precipitación (Pp), evapotranspiración (Evtr), infiltración (In), caudal efluente (Qe) en las tres zonas de acuerdo al, rango altitudinal y las dos zonas de acuerdo a la vertiente de la microcuenca.

b. Socialización

Al inicio del presente estudio se procedió a socializar la investigación mediante dos talleres, a los dirigentes comunales y representantes de los directorios de juntas de agua, beneficiarios del proyecto de “sistema de riego de la microcuenca del río Atapo” en la sede central de la junta parroquial de Palmira, en la que se explicó el objetivo y la importancia del estudio, a la vez se planificó participativamente las actividades a realizarse durante el tiempo del estudio.

En este evento participaron el Consorcio MCCH-CESA como ente financiadora, 19 de las 26 comunidades con 37 representantes de las comunidades beneficiarias de la microcuenca y el Tesista, ver anexo 1.

c. Instalación de instrumentos.

Para la instalación de los instrumentos procedimos a localizar las zonas de la microcuenca, en la cual identificamos tres zonas alta (A), media (M), baja (B), en base a la clasificación ecológica y del rango altitudinal, la microcuenca presenta tres zonas bien identificadas de acuerdo al diagnóstico realizado para el PDOT del 2012, y de acuerdo al análisis morfométrico y orientación de la microcuenca presenta dos vertientes, izquierdo (I) y derecho (II).

De acuerdo a esta zonificación, en la vertiente Derecha (II) procedimos a instalar los instrumentos en las comunidades de Atapo Quichalán (A), Atapo Santa Cruz (M) y Palmira Dávalos (B), en tanto que en la vertiente izquierda (I) se instaló en la

comunidad de Atapo Quilluturo (A), Atapo Culibrillas (M) y San Carlos de Tipin (B), ver anexo 2.

Cuadro 02. Coordenadas de ubicación de los equipos meteorológicos.

Comunidad	Zona	Vertiente	Coordenadas		
			X	Y	Altitud (m)
Atapo Quichalán	A	II	755315	9767635	3873
Atapo Quilluturo	A	I	755944	9763579	3850
Atapo Santa Cruz	M	II	755681	9767482	3605
Atapo Culibrillas	M	I	755616	9767801	3545
Palmira Dávalos	B	II	755612	9766385	3095
San Carlos de Tipin	B	I	755342	9765412	2910

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Los equipos se instalaron de acuerdo a las recomendaciones y normativas de la INHAMI.

Para proteger los equipos (Pluviógrafo, pluviómetro y los recipientes de tanque de evaporación) se procedió a colocar un cerco protector de 4 m², utilizando postes de pambil y alambres de púa.

Cabe indicar que en cada comunidad que se instala los equipos se encargó a una persona como responsable del cuidado y de registro de datos.

d. Elaboración de tablas para registro de las variables

Se elaboraron las tablas pertinentes para el registro de datos de las variables (Precipitación, evapotranspiración, infiltración, escorrentía, caudal efluente) y la demanda, la que se detalla en los anexos 4 y 5.

e. Determinación de la precipitación (Pp)

Una vez instalados los equipos (pluviógrafo, pluviómetro casero), se empezó a registrar los datos durante un año (julio 2012 - junio 2013), las unidades empleadas fueron en mm.

1) Procedimiento para confección de pluviómetro casero

Para determinar esta variable, se procedió a instalar los pluviómetros y el pluviógrafo casero según como nos dice en la página. www.cosas-prácticas-pluviómetro-casero.com. (Consultado 2012).

El pluviómetro casero, no es más que una probeta o un recipiente de plástico cilindro donde puede existir una escala marcada. Siendo así se construyó el pluviómetro casero, para esto se utilizó un tablón de madera, un galón plástico de 4 litros, un corcho y un embudo de plástico, teniendo todos estos se procedió a armar e instalar en los lugares asignados previamente para el estudio.

2) Calibración del pluviómetro casero

La probeta debe estar graduada teniendo en cuenta la relación que existe entre el diámetro de la boca del pluviómetro y el diámetro de la probeta. El pluviómetro debe estar instalado a una altura de 1.50 m y los edificios u otros obstáculos deben estar a por lo menos cuatro veces su altura de distancia, ver anexo 6.

3) Cálculo de la precipitación

Para determinar el volumen de agua utilizamos la fórmula de un cilindro, que es: $V = \pi * r^2 * h$ (V: volumen, r: radio y h: altura).

Si utilizamos un recipiente cilíndrico para recolectar la precipitación que se genera, la altura que alcance el agua acumulada, medida en milímetros equivaldrá directamente a los litros por metro cuadrado de lluvia que se hayan generado (www.cosas practicas pluviómetro casero.com).

2. Determinación de la demanda hídrica de la microcuenca

Para determinar la demanda hídrica en la microcuenca, en primera instancia se determinó las superficies y la distribución de las distintas actividades agrícolas y pecuarias, la cobertura vegetal (páramo, plantaciones, desierto y ente otros) existente dentro de la microcuenca.

a. Determinación de la evapotranspiración (ET_o)

Al iniciar la investigación, se instalaron junto a un pluviógrafo y cinco pluviómetros, los seis evaporímetros casero confeccionado y calibrado (recipientes de pintura 20 litros), en los recipientes procedimos a llenar con agua hasta que esta inicie salir por el orificio, la misma que nos indica que esta encerado, la cantidad de agua que disminuye al día nos permitirá conocer la cantidad de agua evaporada, unidad en mm.

b. Calibración de tanque de evaporación casero

El tanque evaporímetro debe estar graduada teniendo en cuenta la relación que existe entre el diámetro de la boca del evaporímetro casero y el diámetro del tanque evaporación clase A que es de 1.21 m.

El evaporímetro casero debe estar instalado bajo las mismas recomendaciones de INAMHI, lejos de los edificios u otros obstáculos deben estar por lo menos cuatro veces su altura de distancia.

c. Cálculo de la evapotranspiración ET_o

Para determinar el volumen de agua que se evapora utilizamos la fórmula de un cilindro, que es: $V = \pi * r^2 * h$ (V: volumen, r: radio, h: altura).

d. Determinación de la infiltración

Utilizando el cilindro de infiltración de doble anillo, balde y un determinado volumen de agua, se realizó la prueba de infiltración, registrando la velocidad de infiltración; este proceso se hizo por una sola ocasión en las mismos seis sitios determinadas anteriormente la unidad utilizada fue en mm/h.

Para determinar la velocidad de infiltración, se utilizó el cilindro doble anillo, se instaló una cinta métrica de 35 cm en el cilindro interno de doble anillo.

e. Prueba de la velocidad de infiltración

Para realizar la prueba de la velocidad de infiltración con el cilindro doble anillo se estableció de la siguiente manera:

Paso 1. La prueba de la velocidad de infiltración se realizó en el mismo lugar donde se instalaron los equipos meteorológicos, la prueba permitió determinar la velocidad y el volumen de agua que se infiltra en cada uno de estos sitios.

Paso 2. Una vez establecido el lugar de prueba, se entierra el cilindro de doble anillo a 10 cm de profundidad en el suelo para evitar la fuga de agua, se realizó en suelo desnudo y en suelo cubierto con vegetación, hay que señalar que es necesario nivelar el cilindro de doble anillo con la ayuda un nivel de bolsillo o de albañil.

Paso 3. A continuación se procedió a poner agua hasta que llene el cilindro interno y externo simultáneamente, enseguida registrando el descenso del nivel de agua (velocidad de infiltración) del cilindro interno de acuerdo al tiempo, se registra en cm, esto se hace hasta que el agua se infiltre en su totalidad.

Paso 4. Con los datos obtenidos se realizó los respectivos cálculos.

Donde el nivel de agua es expresado en (mm) vs lámina acumulada en (mm) e infiltración vs el tiempo (s). Se insertó los datos en un hoja de cálculos en excel del programa office, llamado prueba de infiltración (León J, 2012.)

f. Determinación de la escorrentía

Para determinar esta variable, se utilizó una bandeja de escurrimiento que mide 0.50 m^2 , un balde con medida, regadera, fundas plásticas, azadón y pico.

1) Procedimiento

Paso 1. Esta prueba se realizó en base al grado de pendiente que presenta la microcuenca, que se detalla en cuadro 1.

Paso 2. Se le entierra a la bandeja de escurrimiento 0.5 cm de profundidad, luego se lo presiona con el combo de caucho para que no tenga fuga de agua, colocando una funda de plástico en el desfogue de la bandeja para recolectar el agua y el sedimento que se arrastra.

Paso 3. Con la regadera y utilizando 10 litros de agua se simula una precipitación, regando dentro de la bandeja de escurrimiento, uniformemente.

Paso 4. Una vez terminado la simulación de precipitación, se recoge la funda con el agua y el material sedimentado, etiquetando respectivamente para facilitar el trabajo posterior del secado en el laboratorio.

Paso 5. Para clasificar la muestra recogida en la funda, el agua atrapada de la funda se procede a medir en un recipiente con medida (balde) para determinar la cantidad de agua escurrida, pero sin el sedimento, esto se hace para cada muestra.

Paso 6. El resto de muestra se colocó en una funda plástica, para con ello realizar la prueba contenido de humedad del suelo, mediante el secado en la estufa por 24 horas a 105°C . lo que permite determinar la cantidad total de agua escurrida y la cantidad de material acarreada.

Ya en el laboratorio, el agua que se escurre de los sedimentos una vez colocados en las bandejas de secado, se midió en una probeta antes de medir su peso y se procede a colocar en la estufa, para así saber cuánto de agua ha escurrido, al finalizar se procede a diferenciar la cantidad de agua utilizada con la cantidad de agua escurrida, valor que se

utilizara para calcular el volumen total de agua escurrido en la microcuenca, la unidad utilizada es en m^3 .

El mismo procedimiento se repitió para cada muestra que se obtuvo en el campo, al realizar la prueba de escurrimiento en las diferentes pendientes.

g. Determinación del caudal efluente de la microcuenca

El caudal se determinó mediante el método de aforo con molinete (SEBA), para lo cual ubicamos tres sitios, uno en la parte baja de la microcuenca (garganta), sitio donde el agua recorre con más calma, normas del INAMHI que se debe cumplir para estas mediciones, las mediciones se realizaron cada 30 días, la unidad utilizada es m^3/s ; los ríos en las que se realizó las mediciones del caudal fueron el río Pomachaca (Principal), Quichalán y Quilluturo.

Para aforar los ríos se procede a seleccionar una superficie recta de 10 m de longitud.

Para medir los afluentes del río Pomachaca, Quilluturo y Quichalan se procedió de la siguiente manera.

Primer paso: Procedimos a medir el ancho del río o el espejo de agua utilizando una cinta métrica con el fin de establecer los sitios (distancias) donde se deberán procederá a medir la velocidad del agua de río con el molinete y tomar las lecturas a tres niveles de profundidad en el agua.

Segundo paso: el molinete se ubica a una cierta distancia del borde del río evitando que choque de la hélice con el borde o con las piedras o el lecho del río, se procede a tomar la primera lectura a nivel superficial del río, un segundo a nivel medio y por último muy cerca al lecho del río, este proceso repetimos en cada uno de los puntos establecidos a lo ancho de todo el río.

Tercer paso: los datos se registran en una tabla de registro preestablecida, detallando el sitio vertical asignada de acuerdo al ancho del río, la profundidad a la que se realiza la medida y la velocidad del agua, finalmente se procedió a dibujar el área del río en base a la sección transversal y la profundidad.

Cuarto paso: por último se tabuló los valores registrados, calculando las mismas para determinar el caudal que afluye en el río Pomachaca, para ello aplicamos la fórmula general que se experimenta en la siguiente expresión $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = S \text{ (m}^2\text{)} * V \text{ (m/s)}$.

En este caso, la velocidad del agua se midió usando el molinete en cada sito elegido y a las tres profundidades determinadas.

Los sitios de medición para cada vertical van desde 1 hasta 10; depende de la profundidad de cada vertical y del cauce sí es natural o artificial.

El método utilizado para este caso fue la de 3 verticales, su fórmula es una simplificación:

$$V_{\text{media vertical}} = (V_{\text{superficial}} + V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8} + V_{\text{fondo}}) / n$$

Donde:

V: Vertical.

n: número de verticales.

0.2, 0.6 y 0.8 son constantes que se utiliza para determinar la profundidad donde se medirá la velocidad del agua en el río que se puede ver en el gráfico del anexo 7.

Para este trabajo, se seleccionó los tres ríos más representativos de la microcuenca, el río Pomachaca, Quilluturo y Quichalan las cuales reciben el mayor aporte de caudal de los tributarios existentes en la microcuenca.

Este proceso se llevó acabo en los lugares que presentaban un adormecimiento de agua del río en su recorrido, es decir sitios planos que son recomendados para realizar este tipo de mediciones, la medición de caudal en el río Pomachaca (río principal) se realizó en la parte final de la microcuenca denominado garganta, las mediciones se realizaron cada mes en los tres ríos indicados.

h. Determinación del requerimiento hídrico de los cultivos (ETc)

De acuerdo a los datos del plan de ordenamiento territorial (mapeo participativo) de la parroquia Palmira y del inventario hídrico (CESA, 2011), se pudo identificar la distribución de uso del suelo, y los diferentes patrones de cultivo (páramos, cultivos, pastos, vegetación natural y plantaciones) que se desarrollan en la microcuenca.

Las superficies que ocupaban cada uno de los cultivos o la cobertura vegetal en la microcuenca del río Atapo durante el tiempo de estudio se determinó con el programa ArcGis, estos datos fueron utilizados para determinar la evapotranspiración de los cultivos (ETc) de acuerdo al rango altitudinal, lo que permitió conocer y cuantificar los requerimientos de agua para cada uno de los cultivos en la microcuenca, y en general calcular el requerimiento hídrico de la microcuenca.

Esto nos permitió determinar el uso del suelo de acuerdo a rango altitudinal, la superficie que ocupan las principales actividades: cultivos, pastos, páramo, plantaciones, barbecho, desierto y zonas pobladas.

i. Determinación de las concesiones de agua en la microcuenca

Para esto procedimos a recopilar la información de los registros de las concesiones de agua otorgadas en la microcuenca (SENAGUA, 2010) y el inventario hídrico (CESA 2011), mismas que nos permitió determinar las distintas concesiones de agua existente en la microcuenca. A más se hizo un diagnóstico general en la microcuenca en donde se determinó las distintas concesiones de agua que existen dentro de la microcuenca, las que no constaban en los registros de la SENAGUA, y otros que estaban en procesos de trámite para la legalización.

V. RESULTADOS Y DESCUSIÓN

A. OFERTA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA

1. Socialización

Según lo planificado con los dirigentes de las comunidades, juntas de agua, consorcio MCCH-CESA y el Tesista, se realizaron tres eventos de charlas sobre balance hídrico y cuatro actividades en campo como: medición de caudal con molinete, manejo de pluviógrafo y pluviómetro, práctica de infiltración y escurrimiento con el cilindro doble anillo y bandeja de escurrimiento, donde se impartió conocimientos básicos sobre la importancia de cada temática, junto con varios delegados se realizó el reconocimiento de la microcuenca a la vez los afluentes más representativos, determinando los sitios para su estudio.

2. Población beneficiaria

La microcuenca del río Atapo está ocupando en su mayor parte la parroquia de Palmira y en menor porcentaje el territorio de la parroquia de Tixán, las comunidades que utilizan el recurso agua de la microcuenca y la cantidad de personas que se benefician de la misma se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro 03. Comunidades beneficiarias.

Parroquia	Comunidad	Población
	Palmira Centro	150
	Palmira Dávalos	330
	Cuatro Esquinas	210
	Santa Cruz	1000
	Asociación Santa Rosa	
	Atapo Quichalán	250
	San Francisco	225

PALMIRA	Asociación San Francisco	42
	El Carmen	500
	Asociación La Dolorosa	75
	Quillutoro	400
	Sillacaja	75
	Larcapamba	160
	San Francisco de Bishut	180
	Sarachupa	150
	Culebrillas	220
	Santa Elena	450
TIXAN	San Carlos de Chuquira	115
	Santa Cecilia	250
	La Silveria	564
	Aña Moyocancha	198
	Santa Julia	235
	Cocán San Patricio	375
	El Cortijo	375
	Pachagsi	300
	San Miguel de Pomachaca	500
TOTAL	7329	

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

En total son 26 las comunidades y 7329 habitantes que se benefician del recurso hídrico de la microcuenca del río Atapo, de la cual 17 comunidades, con una población de 4417 habitantes pertenecen a la parroquia Palmira y 9 comunidades con una población de 2912 habitantes pertenecen a la Parroquia Tixán.

Debemos anotar además que las comunidades con mayor población son: Atapo Santa Cruz, La Silveria y San Miguel de Pomachaca.

El principal beneficio que obtendrán las comunidades, por la presente investigación será conocer la oferta y la demanda hídrica existente, que permitirá en el futuro la toma de

decisiones para optimizar el uso y manejo del recurso hídrico más aun en los meses que la escasez del mismo es más notoria, que son los meses de julio, agosto y septiembre (CESA, 2011).

3. Inventario de Flora y fauna

Debido a la diferencia altitudinal y presencia de microclimas diferenciados por zonas, existen una gran variedad de especies de flora y fauna (Ver cuadro 5 y 6), especialmente en la zona alta de páramo sobre los 3.800 msnm, donde todavía existe una limitada actividad del hombre; cabe destacar que la flora del páramo presenta varios usos desde el punto de vista de la cosmovisión andina.

a. Flora

Cuadro 04. Inventario de flora de la microcuenca del río Atapo.

Nombre común	Nombre científico
Árbol de papel	<i>Polylepis incana</i>
Igña	<i>Escallonia pendula</i>
Floripondio	<i>Brugmansia sp.</i>
Tilo	<i>Sambucus nigrum</i>
Chilca Negra y chilca Blanca	<i>Baccharis latifolia, Bacharis macrantha</i>
Quishuar, colle	<i>Buddleja incana, Buddleja coriácea</i>
Malva Roja	<i>Lavatera assurgentiflora</i>
Achicoria Blanca	<i>Hypochaeris sonchoides</i>
Caballo chupa o cola de caballo	<i>Equisetum bogotense</i>
Ashpa Chocho	<i>Lupinus pubescens</i>
Cacho de venado	<i>Halenia weddellina</i>
Orejuela	<i>Gunnera magellanica</i>
Romerillo	<i>Hypericum laricifolium</i>
Ayaramos	<i>Orthrosanthus chimboracensis</i>
Caumal	<i>Gentianella sp.</i>

Sunfo/ Tipillo	<i>Clinopodium nubigenum</i>
Chuquiragua	<i>Chuquiraga jussieui</i>
Licopodio	<i>Lycopodium clavatum</i>
Mortiño	<i>Vaccinium floribundum</i>
Paja	<i>Stipa ichu</i>
Arete	<i>Brachyotum ledifolium, Brachyotum lindenii</i>
Orejas de conejo	<i>Senecio canescens</i>
Sauco negro	<i>Lamouroxia virgata</i>
Trébol	<i>Oxalis lotoides</i>
Calaguala	<i>Polypodium calaguala</i>
Yachack ilapo	<i>Bidens andinum</i>
Zig-zig	<i>Cortadeira nítida</i>
Diente de León, Taraxaco	<i>Taraxacum officinale</i>
Llanten de páramo	<i>Plantago australis</i>
Orejuelo	<i>Lachemilla orbiculata</i>

Fuente: Recopilación de datos.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

b. Fauna

Cuadro 05. Inventario de fauna de la microcuenca del río Atapo

Nombre común	Nombre científico
Lobo andino	<i>Psudalopex culpaeus.</i>
Venado	<i>Odocoileus virginianus</i>
Ratón de páramo	<i>Oryzomys sp.</i>
Conejo Silvestre	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>
Raposa	<i>Didelphis marsupialis</i>
Gavilán	<i>Buteo</i>
Curiquingue	<i>Phalcoboenus carunculatus</i>
Colibrí	<i>Oreotrochillus stella</i>
Golondrina	<i>Streptoprocne zonaris</i>

Nombre común	Nombre científico
Guarro	<i>Buteo polyosoma</i>
Gli-gli	<i>Vanellus resplendens</i>
Quilico	<i>Falco sparverius</i>
Perdiz	<i>Nothoprocta curvirostris</i>
Tórtola	<i>Streptopelia decaocto</i>

Fuente: Recopilación de datos.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

4. Uso actual del suelo

a. **Sistemas de producción**

Cuadro 06. Distribución actual de uso del suelo de la microcuenca del río Atapo.

Distribución actual del uso de suelo		
Usos.	Superficie (has)	Porcentaje (%)
Páramo	6446,90	45,13
Plantaciones	2885,08	20,27
Actividad agrícola	2896,28	20,21
Pastos	1360,27	9,57
Arenal y rocas	695,75	4,87
TOTAL	14284,28	

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

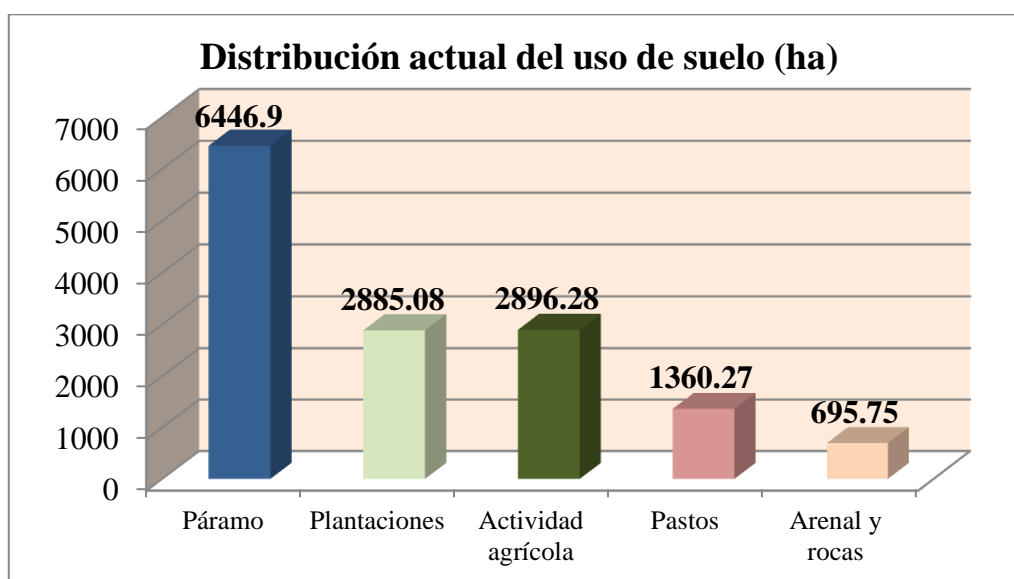


Gráfico 03. Uso actual del suelo de la microcuenca.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el gráfico 3, podemos observar que de las 14284,88 has, superficie total de la microcuenca del río Atapo, todavía existe una superficie considerable de páramo con 6446,90 has, que representa el 45,13%, esto se debe a que el 70% de las comunidades propietarios de páramo siguen manteniendo estos terrenos en forma comunal; otra de las actividades que se desarrolla es la agrícola en una superficie de 2896,28 has que representa el 20,27%, las plantaciones forestales ocupan 2885,08 has que corresponde al 20,21%, la actividad pecuaria (pastos) representa el 9,52% que ocupa una superficie de 1360,27 has y con 695,75 has tenemos una zona arenal y rocas que corresponden a 4,87% de la superficie total.

Según (CESA, 2011), manifiesta que a nivel de la microcuenca existen una clara definición de las distintas actividades que se desarrollan y diferentes usos que le dan al suelo; el pajonal, las plantaciones forestales y la actividad agropecuaria son las que mayores superficies ocupan.

Los cultivos representativos de la zona son los y que han servido de sustento económico para las poblaciones de las comunidades presentes, es así que los principales cultivos son: la papa, oca, haba, arveja, cebada, chocho, quinua y entre otros, los tres primeros se cultivan en la parte media y alta, mientras que el chocho, la cebada y la quinua en la

parte baja donde las condiciones de sequedad son mayores, además existen pequeños huertos para el autoconsumo familiar.

Cabe destacar que la siembra de estos productos ha venido disminuyendo año tras año por las variaciones negativas del precio de los productos en el mercado, siendo reemplazados por pastos para los animales, en el área cubierta por el riego casi el 100% corresponde al pasto alternando con la papa que es más comercial y que es un cultivo que ayuda a airear el suelo, se utiliza abono en el suelo para luego volver al pasto, misma que es utilizado a la actividad lechera que se prefiere gracias a que existe un precio oficial y el ingreso quincenal provee un flujo permanente de recursos económicos.

5. Patrón de cultivos

Cuadro 07. Principales cultivos agrícolas y su distribución.

Patrón de cultivos	
Actividad	Superficie (has)
Papa	978,74
Haba	389,53
Arveja	269,59
Cereales	1089,84
Chocho	98,86
Quinoa	69,72
Total	2896,28

Fuente: Levantamiento de información de campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

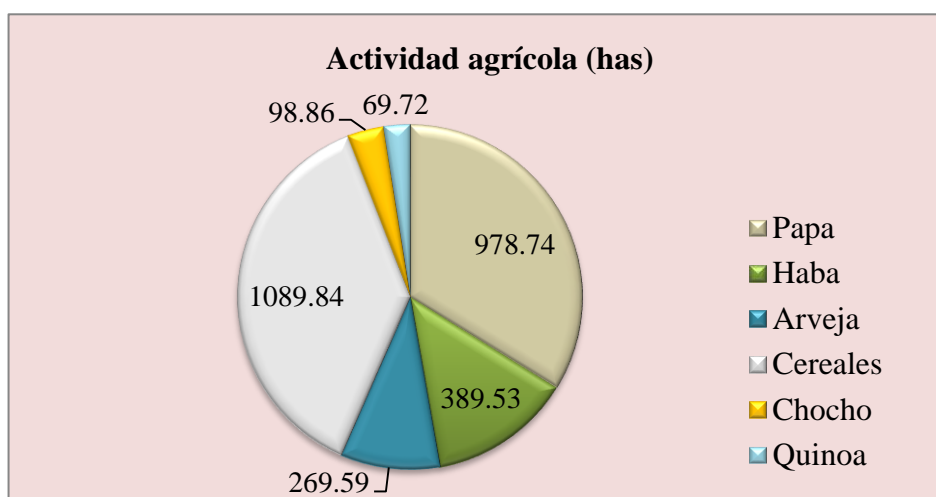


Gráfico 04. Desarrollo de la actividad agrícola.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

El gráfico 4, nos indica que la producción de cereales como: cebada, avena, trigo son los que ocupan la mayor cantidad de superficie con 1089,84 has, lo que representa 37,6%; la producción de papa ocupa 978,74 has que representa el 34%; la haba ocupa 339,5 has con 13,5%, la arveja ocupa 269,6 has, que representa el 9,3%; mientras que el chocho y la quinoa ocupan 98,86 y 69,72 has que corresponden a 3,4% y 2,4% respectivamente.

El estudio realizado por (CESA, 2011), indica que la microcuenca del río Atapo tiene 14284,28 has, y que los productos de las actividades agropecuarias son aceptables para la subsistencia familiar, indicando que hay un 12% migración especialmente de la gente joven y jefes de familia que salen a trabajar en las grandes urbes de las diferentes provincias del Ecuador y fuera del país, también existe hijos que estudian en cantón Colta y Riobamba, por ende, las mujeres son las encargadas de todos los trabajos productivos, reproductivos y comunales de la zona.

La fuente principal de los ingresos viene de afuera por trabajo de los hombres, seguido de la venta de la leche a las distintas empresas que recorren por la zona, que es el ingreso principal de las mujeres; los productos agrícolas son solo destinados para el auto consumo en lo general y la producción pecuaria es parcialmente venta y muy poco al autoconsumo, a excepción de la tenencia de los animales.

En la microcuenca se desarrollan cultivos como: papa, haba, arveja, melloco, ocas, cereales como; cebada, avena, chocho y quinoa y de vez en cuando maíz cuyos productos duran de 6 a 8 meses de desarrollo, dependiendo del rango altitudinal a la que son cultivados; el pasto predominan en terrenos bajo riego, con lo cual mantienen bovinos para la producción de leche que venden en la misma zona, cada familia tiene de 3 a 4 especies bovinas criollas, limitados por la superficie de pasto. Además tienen especies menores como: ovinos, porcinos, gallinas, cuyes y conejos. En el páramo frecuentan tener ganado bovino de engorde para la venta.

6. Uso del suelo de acuerdo al rango altitudinal

Cuadro 08. Uso actual del suelo, Zona Alta: 3750 - 4280 (msnm).

Cultivos	Código	Superficie (has)
Páramo	Pr	6446,9
Bosque plantado	Bp	300
Pasto natural	Pn	145
Pasto cultivado	Pc	102
Cultivo de papa	Cp	206
Cultivo de haba	Cha	89
Cultivo de arveja	Ca	0
Cultivo de cereales	Ce	0
Cultivo de chocho	Cho	0
Cultivo de quinoa	Cq	0
TOTAL		7288,9

Fuente: Levantamiento de información de campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Cuadro 09. Uso actual del suelo, Zona Media: 3300 - 3750 (msnm).

Cultivos	Código	Superficie (has)
Páramo	Pr	0
Bosque plantado	Bp	0

Pasto natural	Pn	263,58
Pasto cultivado	Pc	682,89
Cultivo de papa	Cp	614,74
Cultivo de haba	Cha	255,53
Cultivo de arveja	Ca	108
Cultivo de cereales	Ce	387,27
Cultivo de chocho	Cho	12,55
Cultivo de quinoa	Cq	15,31
Arenal y rocas	Er	0
TOTAL		2339,87

Fuente: Levantamiento de información de campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

Cuadro 10. Uso actual del suelo, Zona Baja: 2800 - 3300 (msnm).

Cultivos	Código	Superficie (has)
Páramo	Pr	0
Bosque plantado	Bp	2585,10
Pasto natural	Pn	0
Pasto cultivado	Pc	166,8
Cultivo de papa	Cp	158
Cultivo de haba	Cha	45
Cultivo de arveja	Ca	161,59
Cultivo de cereales	Ce	702,57
Cultivo de chocho	Cho	86,31
Cultivo de quinoa	Cq	54,41
Arenal y rocas	Er	695,75
TOTAL		4655,53

Fuente: Levantamiento de información de campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

Los cuadros 8, 9 y 10, indican el uso del suelo en las tres zonas, en la zona alta predomina la presencia de páramo con una superficie de 6446,9 has, en la zona media predomina pasto cultivado y el cultivo de papa con una superficie de 682,89 y 614,74

has respectivamente, mientras que en la zona baja predomina la plantación de pino con una superficie de 2585,10 has, debido a que en esta zona se utilizó este tipo actividad para prevenir del avance de la desertificación, el cultivo de cereales como: cebada, avena y entre otras predomina en esta zona, que ocupa 1360,27 has debido a que los cereales son más tolerante al secano.

Cabe indicar que, para cuantificar la superficie según la actividad o cobertura vegetal existente en la microcuenca validamos las tres zonas cómo se distribuyó la misma para la instalación de los equipos meteorológicos, así la zona alta posee 7288,9 has, la zona media 2339,87 has y la zona baja presenta 4655,53 has, esta división se realizó con el fin de diferencias las condiciones climáticas y las actividades antrópicas que se desarrollan en cada zona, y a la vez nos permitió identificar con mayor detalle la dinámica hidrológica de la microcuenca; ver anexo 8.

7. Precipitación de la microcuenca

a. Precipitación de las tres zonas de a microcuenca

Cuadro 11. Precipitación promedio por zonas

Mes	Zona Baja: 2800 – 3300 msnm.	Zona Media: 3300 – 3750 msnm.	Zona Alta: 3750 – 4280 msnm
Julio	6,5	8	11
Agosto	7,5	6,5	23,5
Septiembre	17	19,5	46
Octubre	43,5	63	64,5
Noviembre	59	75	89
Diciembre	83,5	96,5	101
Enero	93,5	112	117
Febrero	91	104,5	111
Marzo	81	92,5	95
Abril	67,5	89	80,5

Mayo	60,5	79,5	58
Junio	29	36	21
Total	639,5	782	817,5

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

b. Precipitación promedio de la microcuenca

Cuadro 12. Precipitación promedio por mes.

Mes	Volumen promedio (mm)
Enero	107,5
Febrero	102,2
Marzo	89,5
Abril	79
Mayo	66
Junio	28,7
Julio	8,5
Agosto	12,5
Septiembre	27,5
Octubre	57
Noviembre	74,3
Diciembre	93,7
TOTAL	746,3

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

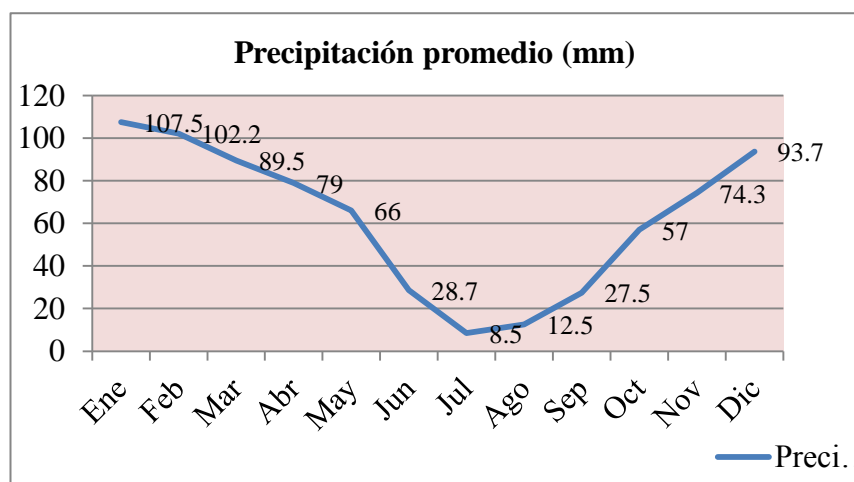


Gráfico 05. Desarrollo de la actividad agrícola.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 11,12 y gráfico 5, indican que en la microcuenca del río Atapo, la mayor cantidad de precipitación que se registró fue en la zona alta (817,5 mm/año), mientras que la zona baja registró (639,5 mm/año); durante el tiempo de estudio, la microcuenca presentó una precipitación promedio total de 746,30 mm/año, registrando en el mes de enero 107,5 mm y en julio 8,5 mm. De acuerdo a los equipos que se instalaron en los seis sitios de la microcuenca que se indican en el anexo 9.

(INAMHI, 2010), indica que con este valor la microcuenca del río Atapo presenta un déficit hídrico moderado de precipitación en comparación al rango de precipitaciones del país que es de 500 - 6000 mm/año y de la zona que es de 500 a 2000 mm/año.

Según el plan de ordenamiento de la parroquia Palmira (PDOT, 2011), la microcuenca del río Atapo tiene marcado la presencia de invierno húmedo frío de Octubre a Mayo y verano cálido seco y ventoso de Junio a Septiembre. En los últimos años se ha evidenciado un gran cambio en el clima por lo que las épocas de lluvia han variado de un año a otro y en algunos casos se ha vuelto impredecibles.

Según (INAMHI, 2010), la microcuenca del río Atapo está ubicada en la zona interandina que presenta una precipitación anual entre 500 a 2500 mm, con un déficit hídrico entre 100 y 150 mm/año en el margen oriental, es decir presencia moderada de lluvias a lo largo del año, en cambio la margen occidental de la subcuenca del Yaguachi tiene un déficit hídrico que llega a ser entre 1000 – 2000 mm/año, es decir una alta escasez de lluvia a lo largo del año. Según estos datos, la microcuenca del río Atapo presenta un régimen hídrico de lluvias acordes al rango señalado a la zona climática y rango de precipitación indicadas por la INAMHI.

8. Cálculo de la precipitación

Cuadro 13. Cálculo de precipitación en la microcuenca del río Atapo

	Superficie (has)	Oferta (mm/m ²)	(mm/ha)	(l/ha)	m ³ /ha	(m ³ / Sup)
Zona baja						
Papa	158.00	639.5	0.6395	0.0006395	6.3950000	10104.1
Haba	45.00	639.5	0.6395	0.0006395	6.3950000	2877.8

Arveja	161.59	639.5	0.6395	0.0006395	6.3950000	10333.7
Cereales	702.57	639.5	0.6395	0.0006395	6.3950000	44929.4
Chocho	86.31	639.5	0.6395	0.0006395	6.3950000	5519.5
Quinoa	54.41	639.5	0.6395	0.0006395	6.3950000	3479.5
Pino	2585.10	639.5	0.6395	0.0006395	6.3950000	165317.1
P cultivado	166.80	639.5	0.6395	0.0006395	6.3950000	10666.9
Desierto	695.73	639.5	0.6395	0.0006395	6.3950000	44491.9
Zona media						
Papa	614.74	782	0.782	0.000782	7.8200000	48072.7
Haba	255.53	782	0.782	0.000782	7.8200000	19982.4
Arveja	108	782	0.782	0.000782	7.8200000	8445.6
Cereales	387.27	782	0.782	0.000782	7.8200000	3028.45
Chocho	12.55	782	0.782	0.000782	7.8200000	981.4
Quinoa	15.31	782	0.782	0.000782	7.8200000	119.72
P natural	263.58	782	0.782	0.000782	7.8200000	206.10
P cultivado	682.89	782	0.782	0.000782	7.8200000	5340.20
Zona alta						
Papa	206	817.5	0.8175	0.0008175	8.1750000	1684.05
Haba	89	817.5	0.8175	0.0008175	8.1750000	7275.8
Páramo	6446.9	817.5	0.8175	0.0008175	8.1750000	52703.41
Pino	300	817.5	0.8175	0.0008175	8.1750000	2452.50
P natural	145	817.5	0.8175	0.0008175	8.1750000	1185.38
P cultivado	102	817.5	0.8175	0.0008175	8.1750000	833.85
TOTAL	14284.28					107656.53

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013

De acuerdo a los datos que se presentan en el cuadro 13, durante el tiempo de estudio se registró 107656,53 m³/año de precipitación, podemos observar que existe una variación notable del volumen de precipitación dentro de la microcuenca de acuerdo al rango altitudinal, metodología utilizada para este estudio, la zona alta que está entre los 3750 - 4280 msnm, presenta 817,5 mm de precipitación promedio, volumen más alto, la zona media que está a 3300 – 3750 msnm, registra 782 mm de precipitación, esto es gracias a que la zona alta de la microcuenca tiene influencia de la corriente de la Amazonía como

nos indica (INAMHI, 2010), mientras que la zona baja que se encuentra a 2800 – 3300 msnm registra 639,5 mm de precipitación.

Esta parte de la zona tiene mayor influencia temporal de la corriente occidental como es el corriente del niño (SENAGUA, 2010).

De acuerdo al volumen de precipitación que se registró durante el tiempo de estudio y las aseveraciones citadas, la microcuenca presentó valores de precipitación que están dentro de los rangos establecidos para estas zonas, es decir que la micro cuenca presenta un déficit moderado de precipitación.

B. DEMANDA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA

1. Evapotranspiración de la microcuenca (ETo)

Cuadro 14. Evapotranspiración promedio mensual por zonas.

Mes	Zona Baja: 2800 – 3300 msnm	Zona Media: 3300 – 3750 msnm	Zona Alta: 3750 – 4280 msnm
Julio	123	115.5	103
Agosto	127	121	100.5
Septiembre	117	124.5	95.5
Octubre	105	107	75.5
Noviembre	101	96.5	72
Diciembre	93	94	68
Enero	87	76.5	58.5
Febrero	91	85	61
Marzo	95	96	67.5
Abril	107	101	70
Mayo	111	100.5	83.5
Junio	114.5	107.5	94
TOTAL	1271.5	1225	949

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

Cuadro 15. Evapotranspiración promedio mensual por zonas.

Mes	ETo (mm)
Enero	74
Febrero	79
Marzo	86.2
Abril	92.7
Mayo	98.3
Junio	105.3
Julio	113.8
Agosto	116.2
Septiembre	112.3
Octubre	95.8
Noviembre	89.8
Diciembre	85
TOTAL	1148.5

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

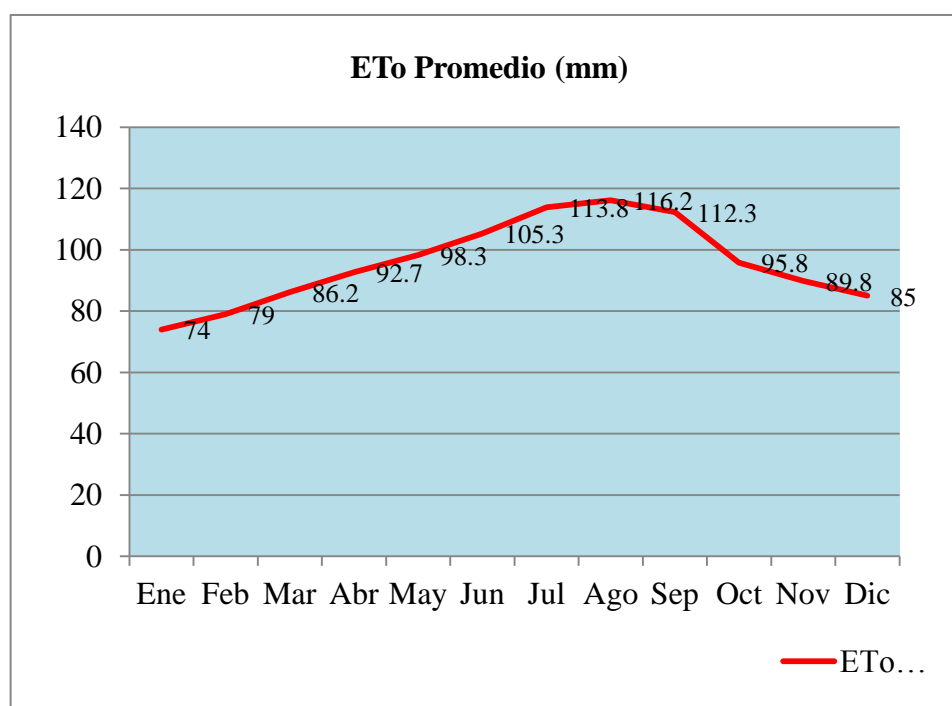


Gráfico 06. Desarrollo de la actividad agrícola.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 14, 15 y gráfico 6, indican que la microcuenca del río Atapo presenta una notable variación de evaporación que va desde los 949 mm/año en la zona alta, hasta 1271,5 mm/año en la zona baja, esto debido según (INAMHI, 2010) a algunos parámetros, por su ubicación geográfica, su rango altitudinal, por las condiciones climáticas del lugar, y la cobertura vegetal presente esto favorece a que la cantidad de la evaporación sean más altas como podemos notar por los valores presentados.

También de acuerdo al (PDOT, 2011) de la parroquia Palmira, indica que la zona presenta un verano cálido seco y ventoso de junio a septiembre, en los últimos años ha varia notoriamente alargando el verano algunos meses quizá debido al cambio climático lo que favorece a tener cifras altos de la evaporación en estas zonas.

Según (SENAGUA, 2008), la microcuenca del río Atapo está ubicada en una zona que presenta déficit hídrico entre 100 y 150 mm/año en la zona alta, en la margen oriental, en cambio la margen occidental (zona baja) de la subcuenca del Yaguachi tiene un déficit hídrico que llega a ser de entre 1000 – 2000 mm/año, es decir una considerable escasez de lluvia a lo largo del año.

La microcuenca del río Atapo por su ubicación geográfica y por su topografía presenta un alto grado de evapotranspiración de acuerdo a (INAMHI, 2010), por ende existe la presencia de vestigios del desierto como el caso de desierto de Palmira, lo que ha sido mitigado en cierta medida con las plantaciones de pino realizados por algunas comunidades como: Palmira Dávalos y Galtés conjuntamente con algunas instituciones públicas y privadas, lo que han posibilitado la reaparición de la vegetación natural limitando así el avance de la desertificación de la zona.

Cuadro 16. Evapotranspiración promedio mensual por zonas.

ZB	Superficie (ha)	Evap (mm/m²)	(mm/ha)	(lit/ha)	m³/ha	(m³/Sup)
Papa	158.00	1271.5	1.2715	0.0012715	12.7150	2008.97
Haba	45.00	1271.5	1.2715	0.0012715	12.7150	572.18
Arveja	161.59	1271.5	1.2715	0.0012715	12.7150	2054.62
Cereales	702.57	1271.5	1.2715	0.0012715	12.7150	8933.18
Chocho	86.31	1271.5	1.2715	0.0012715	12.7150	1097.43
Quinoa	54.41	1271.5	1.2715	0.0012715	12.7150	691.82
Pino	2585.10	1271.5	1.2715	0.0012715	12.7150	32869.55

P cultivado	166.80	1271.5	1.2715	0.0012715	12.7150	2120.86
Desierto	695.73	1271.5	1.2715	0.0012715	12.7150	8846.21
						59194.81
ZM						
Papa	614.74	1225	1.225	0.001225	12.250	7530.57
Haba	255.53	1225	1.225	0.001225	12.250	3130.24
Arveja	108	1225	1.225	0.001225	12.250	1323.00
Cereales	387.27	1225	1.225	0.001225	12.250	4744.06
Chocho	12.55	1225	1.225	0.001225	12.250	153.74
Quinoa	15.31	1225	1.225	0.001225	12.250	187.55
P natural	263.58	1225	1.225	0.001225	12.250	3228.86
P cultivado	682.89	1225	1.225	0.001225	12.250	8365.40
						28663.41
ZA						
Papa	206.00	949	0.949	0.000949	9.490	1954.94
Haba	89.00	949	0.949	0.000949	9.490	844.61
Páramo	6446.90	949	0.949	0.000949	9.490	61181.08
Pino	300.00	949	0.949	0.000949	9.490	2847.00
P natural	145.00	949	0.949	0.000949	9.490	1376.05
P cultivado	102.00	949	0.949	0.000949	9.490	967.98
						69171.66
TOTAL	14284.28					157029.87

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

De acuerdo a los datos que se presentan en el cuadro 16, durante el tiempo de estudio se registró 157029,87 m³/año de evapotranspiración, podemos observar que existe una variación notable del volumen de evapotranspiración dentro de la microcuenca de acuerdo al rango altitudinal

Según los datos revisados de la SENAGUA e INAMHI, la microcuenca del río Atapo está ubicada en una zona con un déficit hídrico entre 100 y 150 mm/año en su parte oriental, es decir presencia moderada de lluvias a lo largo del año, en cambio la margen occidental de la subcuenca del Yaguachi tiene un déficit hídrico que llega a ser entre 1000 – 2000 mm/año, es decir una gran escasez de lluvia a lo largo del año.

De acuerdo al volumen de evapotranspiración que se registró durante el tiempo de estudio y las aseveraciones citadas, la microcuenca presentó valores de evapotranspiración que están dentro de los rangos establecidos para estas zonas, es decir que la micro cuenca presenta un alto grado de evapotranspiración.

2. Requerimiento hídrico de los cultivos (ETc)

Cuadro 17. Datos meteorológicos mensual (julio 2012 - junio 2013)

Mes	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	Velocidad de viento (m/sg)	Evaporación (mm)
Jul	83	8,5	3,96	113.8
Ago	80	12,5	4,41	116.2
Sep	76	27,5	5,12	112.3
Oct	80	57,0	3,82	95.8
Nov	80	74,3	3,82	89.8
Dic	82	93,7	2,91	85
Ene	83	107,5	2,04	74
Feb	84	102,5	2,91	79
Mar	81	89,5	3,20	86.2
Abr	84	79,0	2,62	92.7
May	81	66,0	3,17	98.3
Jun	83	28,7	3,47	105.3

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Cuadro 18. Ciclo productivo de cultivo.

Cubertura vegetal o cultivo	Ciclo de cultivo (días)
Páramo	360
Pino	360
Pasto natural	360
Pasto cultivado	360
Papa	180
Haba	240
Arveja	120
Cereales	210
Chocho	240
Quinoa	240

El cuadro 18, presenta los principales cultivos y/o cobertura vegetal que se desarrollan en la microcuenca de río Atapo, mismos que fueron empleados para determinar la evapotranspiración del cultivo de acuerdo a la superficie total en que se desarrolla cada uno de los cultivos, indicado en el anexo 10.

También indica el ciclo de desarrollo de cada uno de estos cultivos, datos que se requieren para calcular la evapotranspiración del cultivo. (León , 2012), este ciclo de cultivo varía de acuerdo a la especie y al rango altitudinal.

A la vez hay que señalar, que en general los agricultores inician el periodo de siembras desde noviembre hasta finales de febrero, esto debido a que en estas fechas existen precipitaciones que favorecen el desarrollo de los cultivos en los terrenos que no tienen riego y en meses de verano (junio - septiembre) realizan las respectivas cosechas.

Según (FAO, 2006), la evapotranspiración de cultivo (ET_c), se calcula en base a la siguiente ecuación.

$$ET_c = ET_o * K_c.$$

Donde.

ET_c: Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm/día).

K_c: Coeficiente de cultivo.

Fórmula de Hargreaves.

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

Donde.

Los valores 0.01335, 0.04099 y 0.00040 son constantes.

c: Ciclo de desarrollo de cultivo.

$$ET_o = K_p * E_{pan}$$

Donde.

Kp: Coeficiente del tanque evaporímetro (mm/día).

Epan: Evaporación del tanque evaporímetro (mm/día).

$$E_{pan} = P - E_{va}$$

Donde.

P: Precipitación (mm)

Eva: Evaporación (mm)

$$K_p = HR * V_v * Br$$

Donde.

Kp: Coeficiente del tanque evaporímetro.

HR: Humedad relativa.

Vv: Velocidad de viento (m/s).

Br: Barlovento.

Estas son las fórmulas que fueron utilizadas para determinar los valores de la Evapotranspiración de los cultivos, estos factores como: Kp, HR, Vv, Epan y Kc; que influyen directamente en el proceso de la evapotranspiración o necesidad hídrica de los cultivos, son citados de las tablas del documento riegos y drenajes. (León , 2012), valores que permitieron determinar la evapotranspiración de la microcuenca.

Con la aplicación de estas fórmulas procedimos a calcular la evapotranspiración o demanda hídrica de cada uno de los cultivos de acuerdo a cada zona y la superficie que ocupan las mismas como se indica a continuación en el cuadro 21.

El formato que fue utilizado para realizar los respectivos cálculos de requerimiento hídrico para los cultivos y según el rango altitudinal se detallan en el cuadro 26.

Cuadro 19, Datos hidrometeorológicos (julio 2012 - junio 2013).

Meses	Humedad relativa (%)	Velocidad de viento (m/s)	Kp
-------	----------------------	---------------------------	----

Julio	83	2,04	0,6
Agosto	84	2,91	0,6
Septiembre	81	3,20	0,55
Octubre	84	2,62	0,6
Noviembre	81	3,17	0,6
Diciembre	83	3,47	0,6
Enero	83	3,96	0,6
Febrero	80	4,41	0,6
Marzo	76	5,12	0,6
Abril	80	3,82	0,6
Mayo	80	3,82	0,6
Junio	82	2,91	0,6

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

Cuadro 20, Resumen de los diferentes componentes para el cálculo hídrico.

Número	Cultivos	Superficie (has)	Superficie (%)	Ciclo del Cultivo (días)
1	Papas	979.74	6.86	180
2	Habas	389.53	2.73	240
3	Cereales	1089.84	7.68	210
4	Chocho	98.86	0.69	240
5	Quinoa	68.72	0.40	240
6	Arveja	269.59	1.89	120
7	Pastizales	1360.27	9.52	360
8	Plantación	2885.08	20.20	360
9	Páramo	6446.90	45.16	360
10	Desierto	695.75	4.87	360
Total		14284.28		

Gráfico 07. Desarrollo de la actividad agrícola.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

Cuadro 21, Cálculo para determinar la demanda hídrica de los cultivos.

MICROCUENCA DEL RIO ATAPO (ZONA ALTA) 3750-4280																			
TIPO DE CULTIVO: Papa			Ha:																
			206																
MESES	Precip (mm/mes)	ETo (mm/mes)	P efectiva (mm)	H relativa (%)	V de viento (m/sg)	Kp	ETo (mm/mes)	Ciclo de cultivo		Constante de Kc			Kc	ETc	B H	Demanda /ha	Demanda /superficie	Volumen (lts)	V total (m ³)
ENERO	117	58.5	70.2	83	2.04	0.6	35.10	16.7	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	0.59	20.55	49.65	3791828.729	781116718.2	781116.71	7811.11
FEBRERO	111	61	66.6	84	2.91	0.6	36.60	33.3	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	0.94	34.23	32.37				
MARZO	95	67.5	57	81	3.20	0.6	40.50	50.0	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	1.06	43.05	13.95				
ABRIL	80.5	70	48.3	84	2.62	0.6	42.00	66.7	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	0.97	40.66	7.64				
MAYO	58	83.5	34.8	81	3.17	0.6	50.10	83.4	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	0.65	32.61	2.19				
JUNIO	21	94	12.6	83	3.47	0.6	56.40	100.0	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	0.11	6.29	6.31				
JULIO	11	103	6.6	83	3.96	0.6	61.80	0.0	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	0.01	0.83	5.77				
AGOSTO	23.5	100.5	14.1	80	4.41	0.6	60.30	16.7	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	0.59	35.31	-21.21				
SEPTIEMBRE	46	95.5	27.6	76	5.12	0.55	52.53	33.3	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	0.94	49.13	-21.53				
OCTUBRE	64.5	75.5	38.7	80	3.82	0.6	45.30	50.0	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	1.06	48.15	-9.45				
NOVIEMBRE	89	72	53.4	80	3.82	0.6	43.20	66.7	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	0.97	41.82	11.58				
DICIEMBRE	101	68	60.6	82	2.91	0.6	40.80	83.4	16.7	0.01335	0.04099	0.0004	0.65	26.56	34.04				
TOTAL	817.5	949												379.18					
TIPO DE CULTIVO: Páramo			Ha:																
			6446.9																
MESES	Precip (mm/mes)	ETo (mm/mes)	P efectiva (mm)	H relativa (%)	V de viento (m/sg)	Kp	ETo (mm/mes)	Ciclo de cultivo		Constante de Kc			Kc	ETc	B H	Demanda /ha	Demanda /superficie	Volumen (lts)	V total (m ³)
ENERO	117	58.5	70.2	83	2.04	0.6	35.10	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	35.10	35.10	5646250	36400809125	36400809.13	36400.80
FEBRERO	111	61	66.6	84	2.91	0.6	36.60	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	36.60	30.00				
MARZO	95	67.5	57	81	3.20	0.6	40.50	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	40.50	16.50				
ABRIL	80.5	70	48.3	84	2.62	0.6	42.00	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	42.00	6.30				
MAYO	58	83.5	34.8	81	3.17	0.6	50.10	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	50.10	-15.30				
JUNIO	21	94	12.6	83	3.47	0.6	56.40	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	56.40	-43.80				
JULIO	11	103	6.6	83	3.96	0.6	61.80	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	61.80	-55.20				
AGOSTO	23.5	100.5	14.1	80	4.41	0.6	60.30	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	60.30	-46.20				
SEPTIEMBRE	46	95.5	27.6	76	5.12	0.55	52.53	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	52.53	-24.93				
OCTUBRE	64.5	75.5	38.7	80	3.82	0.6	45.30	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	45.30	-6.60				
NOVIEMBRE	89	72	53.4	80	3.82	0.6	43.20	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	43.20	10.20				
DICIEMBRE	101	68	60.6	82	2.91	0.6	40.80	1.0	1.0	0.01335	0.04099	0.0004	1.00	40.80	19.80				
TOTAL	817.5	949												564.63					

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

3. Demanda hídrica de los cultivos (ETc) 2800 – 3300 msnm

a. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de papa

Cuadro 22. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en 180 días.

Cultivo: Papa			Superficie: 158 ha		
Meses	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	87	0,6	52,20	0,585	30,563
Febrero	91	0,6	54,60	0,935	51,069
Marzo	95	0,6	57,00	1,062	60,583
Abril	107	0,6	64,20	0,968	62,150
Mayo	111	0,6	66,60	0,651	43,355
Junio	114,5	0,6	68,70	0,111	7,665
Julio	123	0,6	73,80	0,013	0,985
Agosto	127	0,6	76,20	0,585	44,615
Septiembre	117	0,55	64,35	0,935	60,189
Octubre	105	0,6	63,00	1,062	66,960
Noviembre	101	0,6	60,60	0,968	58,665
Diciembre	93	0,6	55,80	0,651	36,325
DEMANDA TOTAL					523,12

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 22, podemos observar que la evapotranspiración (ETc) para cultivo de papa, que tiene un ciclo productivo de 180 días, el valor máximo se presentó en el mes de octubre con 69,96 mm y descendiendo a un mínimo de 0,99 mm en el mes de junio, presentando una evapotranspiración total de 523,12 mm/año.

(Crystal, 2000), manifiesta que el cultivo de papa necesita de 400 a 800 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas interandinas,

(INIAP, 2012) menciona que la papa se desarrolla normalmente entre 6 y 18°C de temperatura, con una precipitación de 600 a 1200 mm/año.

De acuerdo a estos valores la evapotranspiración del cultivo de papa en la microcuenca del río Atapo está dentro del rango normal de requerimiento de agua que necesita para su normal desarrollo, el valor obtenido de evapotranspiración que fue de 523,12 mm/año, este valor podría darse por que estos lugares presentan doce horas de luminosidad, verano con fuertes vientos, su ubicación geográfica, altitudinal y la topografía (INAMHI, 2009).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998); un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP, 2012).

Cuadro 23. Requerimiento hídrico para el cultivo de papa.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Papa	158	826,54

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

De acuerdo al cuadro 23, podemos observar que para las 158 ha de cultivo de papa que presentó la zona baja de la microcuenca del río Atapo en las fechas de estudio y en condiciones climáticas propias de 2800 a 3300 msnm, presento un requerimiento hídrico de 826,54 m³/año.

b. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de haba

Cuadro 24. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de haba (*Vicia faba*) en 240 días.

Cultivo: Haba			Superficie: 45 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	87	0,6	52,2	0,585	30,563
Febrero	91	0,6	54,6	0,935	51,069
Marzo	95	0,6	57	1,062	60,583

Abril	107	0,6	64,2	0,968	62,150
Mayo	111	0,6	66,6	0,651	43,355
Junio	114,5	0,6	68,7	0,111	7.665
Julio	123	0,6	73,8	0,013	0,985
Agosto	127	0,6	76,2	0,585	44,615
Septiembre	117	0,55	64,35	0,935	60,189
Octubre	105	0,6	63	1,062	66,960
Noviembre	101	0,6	60,6	0,968	58,665
Diciembre	93	0,6	55,8	0,651	36,325
DEMANDA TOTAL					523,12

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

Como se puede observar en el cuadro 24, la evapotranspiración real (ET_c) para cultivo de haba durante su ciclo productivo que dura 240 días en la microcuenca, el valor más alto se registró en el mes de octubre con 66,96 mm y descendiendo a un mínimo de 0,99 mm en el mes de junio, presentando una evapotranspiración total de 523,12 mm/año.

(Crystal, 2000), menciona que el cultivo de haba necesita de 700 a 1000 mm/año de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas interandinas; (INIAP, 2000), indica que la haba se desarrolla a una altitud ideal entre 2800 y 3500 msnm, requiere de 8 a 14°C de temperatura y una precipitación de 700 a 1000 mm de precipitación distribuidos a través del ciclo vegetativo, de acuerdo a estos datos la evapotranspiración del cultivo de haba en esta zona de la microcuenca del río Atapo presenta rangos normales de requerimiento de agua, este valores 523,12 mm/año de evapotranspiración que se registran.

Según (INAMHI, 2010) se debe a factores como: periodo prolongados de luminosidad, verano con fuertes vientos, su ubicación geográfica, altitudinal y topográficas.

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998), un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP, 2000).

Cuadro 25. Demanda hídrica para el cultivo de haba.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Haba	45	235,41

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 25, indica que para las 45 ha de cultivo de haba que presentó la microcuenca del río Atapo en las fechas de estudio y en condiciones climáticas propias a los 2800 – 3300 msnm registró un requerimiento hídrico de 235,41 m³/año.

c. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de arveja

Cuadro 26. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en 120 días.

Cultivo: Arveja			Superficie: 162 ha		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	87	0,6	52,2	0,585	30,563
Febrero	91	0,6	54,6	0,935	51,069
Marzo	95	0,6	57	1,062	60,583
Abril	107	0,6	64,2	0,968	62,150
Mayo	111	0,6	66,6	0,651	43,355
Junio	114,5	0,6	68,7	0,111	7,665
Julio	123	0,6	73,8	0,013	0,985
Agosto	127	0,6	76,2	0,585	44,615
Septiembre	117	0,55	64,35	0,935	60,189
Octubre	105	0,6	63	1,062	66,960
Noviembre	101	0,6	60,6	0,968	58,665
Diciembre	93	0,6	55,8	0,651	36,325
DEMANDA TOTAL					523,12

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 26, indica que la evapotranspiración real (ET_c) para cultivo de arveja, que tiene un ciclo productivo dura 120 días en la microcuenca, el valor máximo se presentó en el mes de octubre con 69,96 mm y descendiendo a un mínimo de 0,99 mm en el mes de junio, presentando una evapotranspiración total de 523,12 mm/año.

(INIAP, 2000), manifiesta que la arveja se desarrolla normalmente entre las altitudes de 2400 a 3000 msnm, a 12 y 18°C de temperatura y requiere de 300 a 500 mm de precipitación en el ciclo. Mientras que (Crystal, 2000), menciona que el cultivo de arveja requiere de 400 a 600 mm/año de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas interandinas.

De acuerdo a estos datos la evapotranspiración del cultivo de arveja en la microcuenca del río Atapo está dentro de los requerimiento normales de demanda de agua de 523,12 mm/año, estos valores de evapotranspiración que se registran se deben a ciertos factores como: periodo largos de luminosidad, verano con fuertes vientos y su ubicación geográfica, altitudinal y topografía (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998), un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP, 2000).

Cuadro 27. Demanda hídrica para el cultivo de arveja.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Arveja	162	845,32

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 27 podemos ver que para las 162 ha de cultivo de arveja que presentó la microcuenca del río Atapo en las fechas de estudio y en condiciones climáticas propias a los 2800 y 3300 msnm registró un requerimiento hídrico de 845,32 m³/año.

d. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de Cebada

Cuadro 28. Cálculo de ET_c para el ciclo de cultivo de Cebada (*Hordium vulgare*) en 210 días.

Cultivo: Cebada o cereales			Superficie: 703 ha		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	87	0,6	52,2	0,52	27,009
Febrero	91	0,6	54,6	0,86	46,853
Marzo	95	0,6	57	1,04	59,021
Abril	107	0,6	64,2	1,05	67,374
Mayo	111	0,6	66,60	0,90	59,943
Junio	114,5	0,6	68,7	0,59	40,347
Julio	123	0,6	73,8	0,01	0,985
Agosto	127	0,6	76,2	0,52	39,427
Septiembre	117	0,55	64,35	0,86	55,220
Octubre	105	0,6	63	1,04	65,234
Noviembre	101	0,6	60,60	1,05	63,596
Diciembre	93	0,6	55,8	0,90	50,222
DEMANDA TOTAL					575,23

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 28, podemos observar que la evapotranspiración real (ETc) para cultivo de cebada durante su ciclo productivo de 210 días, el valor máximo se registró en el mes de octubre con 67,37 mm y descendiendo a un mínimo de 0,99 mm en el mes de junio, presentando una evapotranspiración total de 529,09 mm/año.

Según (Crystal, 2000), manifiesta que el cultivo de la cebada requiere de 500 a 700 mm/año de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas interandinas.

De acuerdo a estos valores la evapotranspiración del cultivo de cebada en la microcuenca del río Atapo está dentro de los parámetros normales de requerimiento de agua que es de 575,23 mm/año, este valor de la evapotranspiración se da debido a algunos factores como: periodo de luminosidad, verano con fuertes vientos, su ubicación altitudinal y topografía (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Romero Díaz, 1998), un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP, 2000).

Cuadro 29. Demanda hídrica para el cultivo de cebada.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m ³ /año)
Cebada	703	4041,40

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 29 podemos observar que para las 703 ha de cultivo de cebada que presentó la microcuenca del río Atapo en las fechas de estudio y en condiciones climáticas propias desde los 2800 hasta los 3300 msnm se registró un requerimiento hídrico de 4041,40 m³/año.

e. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de Chocho

Cuadro 30. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de Chocho (*Lupinus mutabilis*) en 240 días.

Cultivo: Chocho			Superficie: 86,30 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	87	0,6	52,2	0,46	24,180
Febrero	91	0,6	54,6	0,79	43,030
Marzo	95	0,6	57	0,99	56,315
Abril	107	0,6	64,2	1,06	68,235
Mayo	111	0,6	66,60	1,01	67,447
Junio	114,5	0,6	68,7	0,84	57,543
Julio	123	0,6	73,8	0,54	39,666
Agosto	127	0,6	76,2	0,01	1,017
Septiembre	117	0,55	64,35	0,46	29,809
Octubre	105	0,6	63	0,79	49,650
Noviembre	101	0,6	60,60	0,99	59,871

Diciembre	93	0,6	55,8	1,06	59,307
DEMANDA TOTAL					556,07

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Según el cuadro 30, podemos observar que la evapotranspiración real (ETc) para cultivo de chocho durante su ciclo productivo de 240 días, el valor máximo se presentó en el mes de abril con 68,23 mm y descendiendo a un mínimo de 1,02 mm en el mes de agosto, con una evapotranspiración total de 556,07 mm/año.

INIAP, (2001). Manifiesta que el cultivo de chocho necesita de 300 a 600 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas interandinas; de acuerdo a estos valores la evapotranspiración del cultivo de chocho en la microcuenca del río Atapo está dentro de los parámetros normales de requerimiento hídrico con 556,07 mm/año, esto debido a algunos factores como: periodos largos de luminosidad, verano con fuertes vientos, su ubicación altitudinal y topografía (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998), un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP, 2000).

Cuadro 31. Demanda hídrica para el cultivo de Chocho.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Chocho	86,30	479,94

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 31, indica que para las 86,30 ha de cultivo de chocho que presentó la microcuenca del río Atapo, durante las fechas de estudio y en condiciones climáticas propias de 2800 a 3300 msnm se registró un requerimiento hídrico de 479,94 m³/año.

f. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de Quinoa

Cuadro 32. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) en 240 días.

Cultivo: Quinoa			Superficie: 54.4 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	87	0,6	52,2	0,46	24,180
Febrero	91	0,6	54,6	0,79	43,030
Marzo	95	0,6	57	0,99	56,315
Abril	107	0,6	64,2	1,06	68,235
Mayo	111	0,6	66,60	1,01	67,447
Junio	114,5	0,6	68,7	0,84	57,543
Julio	123	0,6	73,8	0,01	0,985
Agosto	127	0,6	76,2	0,46	35,298
Septiembre	117	0,55	64,35	0,79	50,714
Octubre	105	0,6	63	0,99	62,242
Noviembre	101	0,6	60,60	1,06	64,409
Diciembre	93	0,6	55,8	1,01	56,510
DEMANDA TOTAL					586,91

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 32, indica que la evapotranspiración real (ETc) para cultivo de quinoa durante su ciclo productivo de 240 días, el valor máximo que presentó fue en el mes de abril con 68,23 mm y descendiendo a un mínimo de 0,99 mm en el mes de julio, presentando una evapotranspiración total de 586,91mm/año.

Según INIAP (2012), manifiesta que el cultivo de quinoa necesita de 500 a 800 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas interandinas; de acuerdo a estos valores la evapotranspiración del cultivo de quinoa en la microcuenca del río Atapo está dentro de los requerimientos normales de requerimiento hídrico de 586,91 mm/año, esto debido a que en esta zona existen factores como: largos periodos de luminosidad, verano con fuertes vientos y su ubicación geográfica y altitudinal (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998), un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2000).

Cuadro 33. Demanda hídrica para el cultivo de Quinoa.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Quinoa	54,4	319,34

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 33, podemos observar que para las 54,4 ha de cultivo de quinoa que presentó la microcuenca del río Atapo durante el periodo de estudio y en condiciones climáticas propias entre los 2800 y 3300 msnm, se registró un requerimiento hídrico de 319,34 m³/año.

g. Cálculo de requerimiento hídrico en plantación de pino

Cuadro 34. Cálculo de ETc para plantación de pino (*Pinus radiata*) en 365 días.

Cobertura vegetal: Pino			Superficie: 2585 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	87	0,6	52,2	1,00	52,20
Febrero	91	0,6	54,6	1,00	54,60
Marzo	95	0,6	57	1,00	57,00
Abril	107	0,6	64,2	1,00	64,20
Mayo	111	0,6	66,60	1,00	66,60
Junio	114,5	0,6	68,7	1,00	68,70
Julio	123	0,6	73,8	1,00	73,80
Agosto	127	0,6	76,2	1,00	76,20
Septiembre	117	0,55	64,35	1,00	64,35
Octubre	105	0,6	63	1,00	63,00
Noviembre	101	0,6	60,60	1,00	60,60
Diciembre	93	0,6	55,8	1,00	55,80
DEMANDA TOTAL					757,05

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Según el cuadro 34, podemos observar que la evapotranspiración real (ET_c) para la plantación de pino durante su ciclo de desarrollo de 365 días, el valor máximo se presentó en el mes de agosto con 76,20 mm y descendiendo a un mínimo de 52,20 mm en el mes de enero, presentando una evapotranspiración total de 757,05 mm/año.

(Vinueza, 2003), señala que la plantación de pino necesita de 700 a 1200 mm de precipitación anual en las condiciones climáticas propias de la sierra ecuatoriana; de acuerdo a estos valores la evapotranspiración para la plantación de pino en la microcuenca del río Atapo está dentro de los requerimientos normales de agua con 757,05 mm/año, esto debido a algunos factores como: periodo de luminosidad, verano con fuertes vientos y su ubicación geográfica y altitudinal (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998).

Cuadro 35. Demanda hídrica para plantación de Pino.

PLANTACIÓN	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Pino	2585	19570,35

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 35, indica que para las 2585 ha de plantación de pino que posee la microcuenca del río Atapo, con las condiciones climáticas propias a los 2800 – 3300 msnm, en las fechas de estudio registró un requerimiento hídrico de 19570,35 m³/año.

h. Cálculo de requerimiento hídrico en pasto cultivado

Cuadro 36. Cálculo de ET_c para el pasto cultivado en 365 días.

Cultivo: Pasto				Superficie: 167 has	
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ET _o (mm/mes)	Kc	ET _c (Demanda)
Enero	87	0,6	52,2	1,00	52,20
Febrero	91	0,6	54,6	1,00	54,60
Marzo	95	0,6	57	1,00	57,00

Abril	107	0,6	64,2	1,00	64,20
Mayo	111	0,6	66,60	1,00	66,60
Junio	114,5	0,6	68,7	1,00	68,70
Julio	123	0,6	73,8	1,00	73,80
Agosto	127	0,6	76,2	1,00	76,20
Septiembre	117	0,55	64,35	1,00	64,35
Octubre	105	0,6	63	1,00	63,00
Noviembre	101	0,6	60,60	1,00	60,60
Diciembre	93	0,6	55,8	1,00	55,80
DEMANDA TOTAL					757,05

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 36, podemos observar que la evapotranspiración real (ET_c) para el pasto durante su ciclo productivo de 365 días de referencia, el valor máximo se presentó en el mes de agosto con 72,20 mm y descendiendo a un mínimo de 52,20 mm en el mes de enero, presentando una evapotranspiración total de 823,20 mm/año.

Según (Crystal, 2000), señala que el pasto cultivado necesita de 700 a 1200 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas propias de la serranía ecuatoriana; de acuerdo a estos valores la evapotranspiración para el cultivo de pasto en la microcuenca del río Atapo está dentro de los requerimientos normales de agua con 757,05 mm/año, esto debido a algunos factores como: periodo largos de luminosidad, verano con fuertes vientos y su ubicación geográfica y altitudinal (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998), un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2000).

Cuadro 37. Demanda hídrica para pasto cultivado.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Pasto	167	1262,76

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

De acuerdo al cuadro 37, indica que para las 167 ha de cultivo de pasto que presentó la microcuenca del río Atapo en las fechas de estudio y en condiciones climáticas propias a los 2800 – 3300 msnm registró un requerimiento hídrico de 1262,76 m³/año.

i. Cálculo de requerimiento hídrico en la zona desértica

Cuadro 38. Cálculo de ETc para el desierto en 365 días.

Arenal				Superficie: 696 has	
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	87	0,6	52,2	1,00	52,20
Febrero	91	0,6	54,6	1,00	54,60
Marzo	95	0,6	57	1,00	57,00
Abril	107	0,6	64,2	1,00	64,20
Mayo	111	0,6	66,60	1,00	66,60
Junio	114,5	0,6	68,7	1,00	68,70
Julio	123	0,6	73,8	1,00	73,80
Agosto	127	0,6	76,2	1,00	76,20
Septiembre	117	0,55	64,35	1,00	64,35
Octubre	105	0,6	63	1,00	63,00
Noviembre	101	0,6	60,60	1,00	60,60
Diciembre	93	0,6	55,8	1,00	55,80
DEMANDA TOTAL					757,05

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 38, podemos observar que la evapotranspiración real (ETc) para el desierto durante su ciclo de 365 días de referencia, el valor máximo se presentó en el mes de

agosto con 72,20 mm y descendiendo a un mínimo de 52,20 mm en el mes de enero, presentando una evapotranspiración total de 757,05 mm/año.

Según (Crystal, 2000), manifiesta que en las zonas desérticas la evaporación se genera muy rápidamente, generalmente debido al efecto albedo, el reflejo de luminosidad del sol que se genera por este fenómeno favorece que el suelo incremente la temperatura así acelerando la evaporación, presentan altos valores, también por estar desprovistos de cualquier cobertura o protección vegetal.

Los fuertes vientos que se generan también favorecen a la evaporación, señala que este tipo de suelos pierden rápidamente el agua precipitado por la infiltración y percolación, poseen texturas o partículas gruesas, macroporos que difícilmente retienen agua entre ellas.

Estos tipos de suelos generalmente no se practican actividades agrícolas, salvo con manejo tecnificado de riego entre otras; de acuerdo a estos antecedentes la evapotranspiración para estos suelos la microcuenca del río Atapo presento una evaporación de 757,05 mm/año, esto debido a algunos factores como: periodo largos de luminosidad, verano con fuertes vientos y su ubicación geográfica y altitudinal (INAMHI, 2010).

Cuadro 39. Demanda hídrica para zona desértica.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Pasto	696	5276,17

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

De acuerdo al cuadro 39, indica que para las 696 ha de arenal que presentó la microcuenca del río Atapo en las fechas de estudio y en condiciones climáticas propias a los 2800 – 3300 msnm registró un requerimiento hídrico de 5276,17 m³/año.

Cuadro 40. Oferta y Demanda hídrica para 2800 - 3300 msnm.

Uso de suelo	Oferta y Demanda		
	Superficie (ha)	Oferta total (m³)	Demanda total (m³)

Bosque de pino	2585,10	16531,17	19570,35
Pasto cultivado	166,8	1066,69	1262,76
Cultivo de papa	158	1010,41	826,54
Cultivo de haba	45	287,78	235,41
Cultivo de arveja	161,59	1033,37	845,32
Cultivo de cereales	702,57	4492,94	4041,40
Cultivo de chocho	86,31	551,95	479,94
Cultivo de quinoa	54,41	347,95	319,34
Desierto	695,75	4449,32	5267,17
TOTAL	4655,53	29772,11	32848,22

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 40, podemos observar los requerimientos de agua para los diferentes cultivos que se presentaron en la microcuenca y según la superficie que ocupan en esta zona, las mismas varían notablemente, el mayor valor de requerimiento de agua se da en la plantación de pino con 19570,35 m³/año en las 2585,10 ha.

En cuanto a la actividad agrícola el cultivo que presentó mayor superficie de producción en esta zona fue el cultivo de cereales (cebada y trigo) que ocupa 702,57 ha, con un requerimiento de agua de 4041,40 m³/año, el cultivo de haba presentó 45 ha con un requerimiento de agua de 235,41 m³/año; y en general para las 4655,53 ha que posee la zona baja, desde una altitud de 2800 hasta 3300 msnm, el requerimiento de agua fue de 32848,22 m³/año.

Cuadro 41. Déficit y/o excedente hídrico para cultivos de 2800 - 3300 msnm.

Superficie (ha)	Oferta (m³/año)	Demanda (m³/año)	Déficit (m³/año)
4655,53	29772,11	32848,22	-3076,11

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 41, indica que para las 4655,53 ha que posee la zona baja de la microcuenca, ocupado por diferentes cultivos existe un déficit hídrico de -3076,11 m³/año, esto se

debe a los factores como: las condiciones climatológicas, rango altitudinal (2800 – 3300 msnm), topografía y textura arenosa del suelo (SENAGUA, 2010).

Por otro lado esta parte de la microcuenca se encuentra en el margen occidental de la subcuenca del Yaguachi que presenta un déficit hídrico de 1000 a 2000 mm/año (INAMHI, 2010).

Los cultivos de estas zonas por lo general no poseen riego, por esta razón la población aprovechan la temporada de precipitación e inicia desde noviembre hasta finales de febrero a cultivar cebada, avena, trigo, quinua y chocho que son un poco más tolerante a la sequía (INIAP, 2012), en sitios que poseen riego cultivan la papa, haba, arveja, maíz y pasto que aprovechan para alimentar a los animales.

4. Demanda hídrica de cultivos ETc (3300 – 3750 msnm)

a. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de papa

Cuadro 42. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en 180 días.

Cultivo: Papa			Superficie: 614,74 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	86,5	0,6	51,90	0,585	30,387
Febrero	95	0,6	57,00	0,935	53,314
Marzo	106	0,6	63,60	1,063	67,598
Abril	112	0,6	67,20	0,968	65,055
Mayo	120,5	0,6	72,30	0,651	47,066
Junio	117,5	0,6	70,50	0,112	7,866
Julio	131,5	0,6	78,90	0,013	1,053
Agosto	141	0,6	84,60	0,585	49,533
Septiembre	124,5	0,55	68,48	0,935	64,047
Octubre	121	0,6	72,60	1,063	77,164
Noviembre	113,5	0,6	68,10	0,968	65,926

Diciembre	104	0,6	62,40	0,651	40,621
DEMANDA TOTAL					569,63

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 42, podemos observar que la evapotranspiración del cultivo (ETc) de papa, registró el valor más alto en el mes de octubre 77,16 mm y descendiendo a un mínimo de 1,05 mm en el mes de julio, registrando una evapotranspiración total de 569,63 mm/año, con ciclo productivo de 180 días.

(Crystal, 2000), manifiesta que el cultivo de papa necesita de 400 a 800 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo dentro de las condiciones climáticas interandinas ecuatorianas; (PPA, 2002) Proyecto Páramo Andino, manifiesta que la papa se desarrolla normalmente entre 6 y 18°C de temperatura, con una precipitación de 600 a 1200 mm/año

De acuerdo a estos valores, la evapotranspiración de cultivo de papa, dentro de la microcuenca del río Atapo presentan los rangos normales de requerimiento hídrico para el normal desarrollo productivo; estos valores (569,63 mm/año) de evapotranspiración hídrica en el cultivo de papa se deben a la presencia de 12 horas de luminosidad, veranos con fuertes vientos, su ubicación altitudinal y las condiciones climáticas (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración del cultivo también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998); un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2000).

Cuadro 43. Demanda hídrica para el cultivo de papa.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Papa	614,74	3501,74

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 43, indica que las 614,74 has de cultivo de papa, registrados en la zona media (3300 – 3750 msnm) de la microcuenca del río Atapo, presentó un requerimiento hídrico de 3501,74 m³/año, en condiciones climáticas propias de la región interandina.

b. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de haba

Cuadro 44. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de haba (*Vicia faba*) en 180 días.

Cultivo: Haba			Superficie ha. 255,53		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	86,5	0,6	51,90	0,585	30,387
Febrero	95	0,6	57,00	0,935	53,314
Marzo	106	0,6	63,60	1,063	67,598
Abril	112	0,6	67,20	0,968	65,055
Mayo	120,5	0,6	72,30	0,651	47,066
Junio	117,5	0,6	70,50	0,112	7,866
Julio	131,5	0,6	78,90	0,013	1,053
Agosto	141	0,6	84,60	0,585	49,533
Septiembre	124,5	0,55	68,48	0,935	64,047
Octubre	121	0,6	72,60	1,063	77,164
Noviembre	113,5	0,6	68,10	0,968	65,926
Diciembre	104	0,6	62,40	0,651	40,621
DEMANDA TOTAL					569,63

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 44, podemos observar que la evapotranspiración del cultivo (ETc) de haba, registró el valor más alto en el mes de octubre 77,16 mm y descendiendo a un mínimo de 1,05 mm en el mes de julio, registrando una evapotranspiración total de 569,63 mm/año, con ciclo productivo de 180 días.

(Crystal, 2000), manifiesta que el cultivo de haba necesita de 400 a 800 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo dentro de las condiciones climáticas interandinas ecuatorianas; (PPA, 2002) Proyecto Páramo Andino, manifiesta que la

haba se desarrolla normalmente a 18°C de temperatura, con una precipitación de 600 a 1200 mm/año

De acuerdo a estos valores, la evapotranspiración de cultivo de haba, dentro de la microcuenca del río Atapo presentan los rangos normales de requerimiento hídrico para el normal desarrollo productivo; estos valores (569,63 mm/año) de evapotranspiración hídrica en el cultivo de haba se deben a la presencia de largas horas de luminosidad, veranos con fuertes vientos, su ubicación altitudinal y las condiciones climáticas propias del lugar (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración del cultivo también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998); un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2000).

Cuadro 45. Demanda hídrica para el cultivo de haba.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Haba	255,53	1455,57

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 45, indica que las 255,53 has de cultivo de haba, registrados en la zona media (3300 – 3750 msnm) de la microcuenca del río Atapo, presentó un requerimiento hídrico de 1455,57 m³/año, en condiciones climáticas propias de la región interandina.

c. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de arveja

Cuadro 46. Cálculo de ETc para ciclo de cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en 180 días.

Cultivo: Arveja			Superficie: 108 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	86,5	0,6	51,90	0,585	30,387
Febrero	95	0,6	57,00	0,935	53,314
Marzo	106	0,6	63,60	1,063	67,6598

Abril	112	0,6	67,20	0,968	65,055
Mayo	120,5	0,6	72,30	0,651	47,066
Junio	117,5	0,6	70,50	0,112	7,866
Julio	131,5	0,6	78,90	0,013	1,053
Agosto	141	0,6	84,60	0,585	49,533
Septiembre	124,5	0,55	68,48	0,935	64,047
Octubre	121	0,6	72,60	1,063	77,164
Noviembre	113,5	0,6	68,10	0,968	65,926
Diciembre	104	0,6	62,40	0,651	40,621
DEMANDA TOTAL					569,63

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 46, podemos observar que la evapotranspiración del cultivo (ETc) de arveja, registró el valor más alto en el mes de octubre 77,16 mm y descendiendo a un mínimo de 1,05 mm en el mes de julio, registrando una evapotranspiración total de 569,63 mm/año, con ciclo productivo de 180 días.

(INIAP, 2010), manifiesta que la arveja se desarrolla normalmente entre las altitudes de 2400 a 3000 msnm, a 12 y 18°C de temperatura y requiere de 300 a 500 mm de precipitación en el ciclo, mientras que (Crystal, 2000), manifiesta que el cultivo de arveja necesita de 400 a 800 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo dentro de las condiciones climáticas interandinas ecuatorianas.

De acuerdo a estos valores, la evapotranspiración de cultivo de arveja, en las zonas de la microcuenca del río Atapo presentan los rangos normales de requerimiento hídrico para el normal desarrollo productivo; estos valores (569,63 mm/año) de evapotranspiración hídrica en el cultivo de arveja se deben a la presencia de largas horas de luminosidad, veranos con fuertes vientos, su ubicación altitudinal y las condiciones climáticas propias del lugar (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración del cultivo también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998); un

cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2000).

Cuadro 47. Demanda hídrica para el cultivo de arveja.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Arveja	108	615,20

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 47, indica que las 108 has de cultivo de arveja, registrados en la zona media (3300 – 3750 msnm) de la microcuenca del río Atapo, presentó un requerimiento hídrico de 615,20 m³/año, en condiciones climáticas propias de la región interandina.

d. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de Cebada

Cuadro 48. Cálculo de ETc para ciclo de cultivo de cebada (*Hordium vulgare*) en 210 días.

Cultivo: Cebada			Superficie: 387,27 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	86,5	0,6	51,90	0,517	26,854
Febrero	95	0,6	57,00	0,858	48,913
Marzo	106	0,6	63,60	1,035	65,855
Abril	112	0,6	67,20	1,049	70,522
Mayo	120,5	0,6	72,30	0,900	65,073
Junio	117,5	0,6	70,50	0,587	41,404
Julio	131,5	0,6	78,90	0,013	1,053
Agosto	141	0,6	84,60	0,517	43,773
Septiembre	124,5	0,55	68,48	0,858	58,760
Octubre	121	0,6	72,60	1,035	75,174
Noviembre	113,5	0,6	68,10	1,049	71,466
Diciembre	104	0,6	62,40	0,900	56,163
DEMANDA TOTAL					625,01

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

En el cuadro 48, podemos observar que la evapotranspiración del cultivo (ETc) de cebada, registró el valor más alto en el mes de octubre 75,17 mm y descendiendo a un mínimo de 1,05 mm en el mes de julio, registrando una evapotranspiración total de 625,01 mm/año, con ciclo productivo de 210 días.

(INIAP, 2010), manifiesta que la cebada se desarrolla normalmente entre las altitudes de 2400 a 3000 msnm, a 12 y 18°C de temperatura y requiere de 300 a 500 mm de precipitación en el ciclo, mientras que (Crystal, 2000), manifiesta que el cultivo de cebada necesita de 500 a 700 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo dentro de las condiciones climáticas interandinas ecuatorianas.

De acuerdo a estos valores, la evapotranspiración de cultivo de cebada, en las zonas de la microcuenca del río Atapo presentan los rangos normales de requerimiento hídrico para el normal desarrollo productivo; estos valores (625,01 mm/año) de evapotranspiración hídrica en el cultivo de cebada se deben a la presencia de largas horas de luminosidad, veranos con fuertes vientos, su ubicación altitudinal y las condiciones climáticas propias del lugar (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración del cultivo también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998); un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2000).

Cuadro 49. Demanda hídrica para el cultivo de cebada.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Cebada	387,27	2420,48

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 49, indica que las 387,27 has de cultivo de cebada, registrados en la zona media (3300 – 3750 msnm) de la microcuenca del río Atapo, presentó un requerimiento hídrico de 2420,48 m³/año, en condiciones climáticas propias de la región interandina.

e. **Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de chocho**

Cuadro 50. Cálculo de Etc para ciclo de cultivo de chocho (*Lupinus mutabilis*) en 210 días.

Cultivo: Chocho			Superficie: 12,55 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	86,5	0,6	51,90	0,463	24,041
Febrero	95	0,6	57,00	0,788	44,922
Marzo	106	0,6	63,60	0,988	62,835
Abril	112	0,6	67,20	1,063	71,424
Mayo	120,5	0,6	72,30	1,013	73,220
Junio	117,5	0,6	70,50	0,838	59,051
Julio	131,5	0,6	78,90	0,013	1,053
Agosto	141	0,6	84,60	0,463	39,189
Septiembre	124,5	0,55	68,48	0,788	53,965
Octubre	121	0,6	72,60	0,988	71,727
Noviembre	113,5	0,6	68,10	1,063	72,380
Diciembre	104	0,6	62,40	1,013	63,194
DEMANDA TOTAL					637,00

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Según el cuadro 50, podemos observar que la evapotranspiración del cultivo (ETc) de chocho, registró el valor más alto en el mes de abril 73,22 mm y descendiendo a un mínimo de 1,05 mm en el mes de julio, registrando una evapotranspiración total de 637 mm/año, con ciclo productivo de 210 días.

(INIAP, 2010), manifiesta que el chocho se desarrolla normalmente entre las altitudes de 2400 a 3000 msnm, a 12 y 18°C de temperatura y requiere de 300 a 500 mm de precipitación en el ciclo.

De acuerdo a estos valores, la evapotranspiración de cultivo de chocho, en las zonas de la microcuenca del río Atapo presentan los rangos normales de requerimiento hídrico para el normal desarrollo productivo; estos valores (637 mm/año) de evapotranspiración

hídrica en este cultivo se deben a la presencia de largas horas de luminosidad, veranos con fuertes vientos, su ubicación altitudinal y las condiciones climáticas propias del lugar (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración del cultivo también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998); un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2000).

Cuadro 51. Demanda hídrica para el cultivo de chocho.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Chocho	12,55	79,31

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 51, indica que las 12,55 has de cultivo de chocho registrados en la zona media (3300 – 3750 msnm) de la microcuenca del río Atapo, presentó un requerimiento hídrico de 79,31 m³/año, en condiciones climáticas propias de la región interandina.

f. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de Quinoa

Cuadro 52. Cálculo de ETc para ciclo de cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) en 210 días.

Cultivo: Quinoa			Superficie: 15,31 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	86,5	0,6	51,90	0,463	24,041
Febrero	95	0,6	57,00	0,788	44,922
Marzo	106	0,6	63,60	0,988	62,835
Abril	112	0,6	67,20	1,063	71,424
Mayo	120,5	0,6	72,30	1,013	73,220
Junio	117,5	0,6	70,50	0,838	59,051
Julio	131,5	0,6	78,90	0,013	1,053
Agosto	141	0,6	84,60	0,463	39,189

Septiembre	124,5	0,55	68,48	0,788	53,965
Octubre	121	0,6	72,60	0,988	71,727
Noviembre	113,5	0,6	68,10	1,063	72,380
Diciembre	104	0,6	62,40	1,013	63,194
DEMANDA TOTAL					637,00

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 52, indica que la evapotranspiración del cultivo (ETc) de quinoa registró el valor más alto en el mes de mayo 73,22 mm y descendiendo a un mínimo de 1,05 mm en el mes de julio, registrando una evapotranspiración total de 637 mm/año, con ciclo productivo de 210 días.

INIAP (2012) manifiesta que el cultivo de quinoa necesita de 500 a 800 mm de precipitación durante su ciclo de desarrollo. De acuerdo a estos valores, la evapotranspiración de cultivo de quinoa, en las zonas de la microcuenca del río Atapo presentan los rangos normales de requerimiento hídrico para el normal desarrollo productivo; estos valores (637 mm/año) de evapotranspiración hídrica en este cultivo se deben a la presencia de largas horas de luminosidad, veranos con fuertes vientos, su ubicación altitudinal y las condiciones climáticas propias del lugar (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración del cultivo también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998); un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2000).

Cuadro 53. Demanda hídrica para el cultivo de quinoa.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Quinoa	15,55	79,94

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 53, indica que las 13,31 has de cultivo de quinoa registrados en la zona media (3300 – 3750 msnm) de la microcuenca del río Atapo, presentó un requerimiento hídrico de 79,94 m³/año, en condiciones climáticas propias de la región interandina.

g. Cálculo de requerimiento hídrico en pasto natural

Cuadro 54. Cálculo de ETc pasto natural en 365 días.

Cobertura vegetal: Pasto natural				Superficie: 263,58 has	
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	86,5	0,6	51,90	1,00	51,90
Febrero	95	0,6	57,00	1,00	57,00
Marzo	106	0,6	63,60	1,00	63,60
Abril	112	0,6	67,20	1,00	67,20
Mayo	120,5	0,6	72,30	1,00	72,30
Junio	117,5	0,6	70,50	1,00	70,50
Julio	131,5	0,6	78,90	1,00	78,90
Agosto	141	0,6	84,60	1,00	84,60
Septiembre	124,5	0,55	68,48	1,00	68,48
Octubre	121	0,6	72,60	1,00	72,60
Noviembre	113,5	0,6	68,10	1,00	68,10
Diciembre	104	0,6	62,40	1,00	62,40
DEMANDA TOTAL					817,58

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 54, indica que la evapotranspiración real (ETc) para el pasto natural durante su ciclo de desarrollo de 365 días, el valor máximo se presentó en el mes de agosto con 84,60 mm y descendiendo un mínimo de 51,90 mm en el mes de enero, presentando una evapotranspiración total de 817,58 mm/año.

Según (Crystal, 2000), la cobertura vegetal como el pasto y el páramo necesita de 700 a 1200 mm de precipitación durante su ciclo de productivo en las condiciones climáticas interandinas; de acuerdo a estos valores la evapotranspiración para el pasto natural en la microcuenca del río Atapo está dentro de los rangos normales de requerimiento hídrico de 817,58 mm/año, esto debido a algunos factores como: periodos largos de luminosidad, verano muy secos con fuertes vientos y su ubicación altitudinal y las condiciones climáticas propias del lugar (INAMHI, 2010).

Cuadro 55. Demanda hídrica para pasto natural.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Pasto natural	263,58	2154,96

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 55, indica que las 263,58 has de pasto natural registrados en la zona media (3300 – 3750 msnm) de la microcuenca del río Atapo, presentó un requerimiento hídrico de 2154,96 m³/año, en condiciones climáticas propias de la región interandina.

h. Cálculo de requerimiento hídrico en pasto cultivado

Cuadro 56. Cálculo de ETc para pasto cultivado en 365 días.

Cobertura vegetal: Pasto cultivado				Superficie: 682,89 has	
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	86,5	0,6	51,90	1,00	51,90
Febrero	95	0,6	57,00	1,00	57,00
Marzo	106	0,6	63,60	1,00	63,60
Abril	112	0,6	67,20	1,00	67,20
Mayo	120,5	0,6	72,30	1,00	72,30
Junio	117,5	0,6	70,50	1,00	70,50
Julio	131,5	0,6	78,90	1,00	78,90
Agosto	141	0,6	84,60	1,00	84,60
Septiembre	124,5	0,55	68,48	1,00	68,48
Octubre	121	0,6	72,60	1,00	72,60
Noviembre	113,5	0,6	68,10	1,00	68,10
Diciembre	104	0,6	62,40	1,00	62,40
DEMANDA TOTAL					817,58

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 56, indica que la evapotranspiración real (ETc) para el pasto cultivado durante su ciclo de desarrollo de 365 días, el valor máximo se presentó en el mes de

agosto con 84,60 mm y descendiendo un mínimo de 51,90 mm en el mes de enero, presentando una evapotranspiración total de 817,58 mm/año.

Según (Crystal, 2000), la cobertura vegetal como el pasto y el páramo necesita de 700 a 1200 mm de precipitación durante su ciclo de productivo en las condiciones climáticas interandinas.

De acuerdo a estos valores la evapotranspiración para el pasto natural en la microcuenca del río Atapo está dentro de los rangos normales de requerimiento hídrico de 817,58 mm/año, esto debido a algunos factores como: periodos largos de luminosidad, verano muy secos con fuertes vientos y su ubicación altitudinal y las condiciones climáticas propias del lugar (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998).

Cuadro 57. Demanda hídrica para pasto cultivado.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Pasto cultivado	682,89	5583,14

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 57, indica que las 682,89 has de pasto natural registrados en la zona media (3300 – 3750 msnm) de la microcuenca del río Atapo, presentó un requerimiento hídrico de 5583,14 m³/año, en condiciones climáticas propias de la región interandina.

Cuadro 58. Oferta y Demanda hídrica para cultivos de 3300 -3750 msnm.

Uso de suelo	Oferta y Demanda		
	Superficie (ha)	Oferta total (m³)	Demanda total (m³)
Pasto natural	263,58	2061,20	2154,96
Pasto cultivado	682,89	5340,20	5583,14
Cultivo de papa	614,74	4807,27	3501,74
Cultivo de haba	255,53	1998,24	1455,57
Cultivo de arveja	108	844,56	615,20

Cultivo de cereales	387,27	3028,45	2420,48
Cultivo de chocho	12,55	98,14	79,94
Cultivo de quinoa	15,31	119,72	97,52
TOTAL	2339,87	18297,78	15908,56

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Como indica el cuadro 58, el requerimiento hídrico para cada cultivo o cobertura vegetal según la superficie que ocupan varían notablemente, el valor de requerimiento hídrico más alto presenta pasto cultivado de 5583,14 m³/año en las 682,89 ha y el valor mínimo presenta cultivo de chocho con 79,94 m³/año en las 12,55 ha; y en general para las 2339,87 ha que posee la zona media en las condiciones climáticas que se presenta a una altitud de 3300 – 3750 msnm, el requerimiento hídrico que presenta los diferentes cultivos y/o cobertura vegetal de acuerdo a su ciclo de producción y la superficie que ocupan es de 15908,56 m³/año.

Cuadro 59. Déficit y/o excedente hídrico para cultivos de 3300 -3750 msnm.

Superficie (ha)	Oferta (m3/año)	Demanda (m3/año)	Excedente (m3/año)
2339,87	18297,78	15908,56	2389,22

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 59, indica que para las 2339,87 has de superficie que presenta la parte media de la microcuenca, ocupado por diferentes cultivos o vegetación, existe un excedente hídrico de 2389,22 m³/año, esto se debe a que esta zona está influenciada por las condiciones climáticas de la parte oriental donde existe un mayor precipitación (INAMHI 2009), las frecuentes precipitaciones que se dan en la parte oriental son arrastrados por el viento hacia la cordillera andina provocando los fenómenos característicos denominado el barlovento y sotavento que favorecen a registrar de precipitación en estas altitudes de alta montaña, esta parte de la microcuenca presenta un déficit hídrico de solo 100 – 200 mm/año (INAMHI, 2011).

5. Demanda hídrica de cultivos ETc (3750 – 4280 msnm)

a. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de papa

Cuadro 60. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en 180 días.

Cultivo: Papa			Superficie: 206 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	98,5	0,6	59,10	0,585	34,603
Febrero	101	0,6	60,60	0,935	56,681
Marzo	112,5	0,6	67,50	1,063	71,743
Abril	120	0,6	72,00	0,968	69,701
Mayo	119,5	0,6	71,70	0,651	46,675
Junio	124	0,6	74,40	0,112	8,301
Julio	134	0,6	80,40	0,013	1,073
Agosto	132,5	0,6	79,50	0,585	46,547
Septiembre	125,5	0,55	69,03	0,935	64,561
Octubre	115,5	0,6	69,30	1,063	73,656
Noviembre	112	0,6	67,20	0,968	65,055
Diciembre	108	0,6	64,80	0,651	42,183
DEMANDA TOTAL					580,78

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 60, podemos observar que la evapotranspiración del cultivo (ETc) de papa, registró el valor más alto en el mes de octubre 65,05 mm y descendiendo a un mínimo de 1,07 mm en el mes de julio, registrando una evapotranspiración total de 580,78 mm/año, con ciclo productivo de 180 días.

(Crystal, 2000), manifiesta que el cultivo de papa necesita de 400 a 800 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo dentro de las condiciones climáticas interandinas ecuatorianas; (PPA, 2002) Proyecto Páramo Andino, manifiesta que la

papa se desarrolla normalmente entre 6 y 18°C de temperatura, con una precipitación de 600 a 1200 mm/año

De acuerdo a estos valores, la evapotranspiración de cultivo de papa, dentro de la microcuenca del río Atapo presentan los rangos normales de requerimiento hídrico para el normal desarrollo productivo; estos valores (580,78 mm/año) de evapotranspiración hídrica en el cultivo de papa se deben a la presencia de 12 horas de luminosidad, veranos con fuertes vientos, su ubicación altitudinal y las condiciones climáticas (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración del cultivo también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998); un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2000).

Cuadro 61. Demanda hídrica para el cultivo de papa.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Papa	206	1196,41

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 61, indica que las 206 has de cultivo de quinoa registrados en la zona alta (3750 – 4280 msnm) de la microcuenca del río Atapo, presentó un requerimiento hídrico de 1196,41 m³/año, en condiciones climáticas propias de la región interandina.

b. Cálculo de requerimiento hídrico en cultivo de haba

Cuadro 62. Cálculo de ETc para el ciclo de cultivo de haba (*Vicia faba*) en 180 días.

Cultivo: Haba			Superficie: 89 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	98,5	0,6	59,10	0,585	34,603
Febrero	101	0,6	60,60	0,935	56,681
Marzo	112,5	0,6	67.50	1,063	71,743

Abril	120	0,6	72,00	0,968	69,701
Mayo	119,5	0,6	71,70	0,651	46,675
Junio	124	0,6	74,40	0,112	8,301
Julio	134	0,6	80,40	0,013	1,073
Agosto	132,5	0,6	79,50	0,585	46,547
Septiembre	125,5	0,55	69,03	0,935	64,561
Octubre	115,5	0,6	69,30	1,063	73.656
Noviembre	112	0,6	67,20	0,968	65,055
Diciembre	108	0,6	64,80	0,651	42,183
DEMANDA TOTAL					580,78

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 62, podemos observar que la evapotranspiración del cultivo (ETc) de haba, registró el valor más alto en el mes de octubre 73.65 mm y descendiendo a un mínimo de 8,30 mm en el mes de julio, registrando una evapotranspiración total de 580,78 mm/año, con ciclo productivo de 180 días.

(Crystal, 2000), manifiesta que el cultivo de haba necesita de 400 a 800 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo dentro de las condiciones climáticas interandinas ecuatorianas; (PPA, 2002) Proyecto Páramo Andino, manifiesta que la papa se desarrolla normalmente entre 6 y 18°C de temperatura, con una precipitación de 600 a 1200 mm/año

De acuerdo a estos valores, la evapotranspiración de cultivo de haba, dentro de la microcuenca del río Atapo presentan los rangos normales de requerimiento hídrico para el normal desarrollo productivo; estos valores (580,78 mm/año) de evapotranspiración hídrica en el cultivo de haba se deben a la presencia larga de horas de luminosidad, veranos con fuertes vientos, su ubicación altitudinal y las condiciones climáticas (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración del cultivo también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998); un

cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2000).

Cuadro 63. Demanda hídrica para el cultivo de haba.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m ³ /año)
Haba	89	516,90

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 63, indica que las 89 has de cultivo de haba registrados en la zona alta (3750 – 4280 msnm) de la microcuenca del río Atapo, presentó un requerimiento hídrico de 516,90 m³/año, en condiciones climáticas propias de la región interandina.

c. Cálculo de requerimiento hídrico en páramo

Cuadro 64. Cálculo de ETc para páramo (*Fistuca sp*) en 365 días.

Cobertura vegetal: Páramo			Superficie: 6446,90 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	98,5	0,6	59,10	1,00	59,10
Febrero	101	0,6	60,60	1,00	60,60
Marzo	112,5	0,6	67,50	1,00	67,50
Abril	120	0,6	72,00	1,00	72,00
Mayo	119,5	0,6	71,70	1,00	71,70
Junio	124	0,6	74,40	1,00	74,40
Julio	134	0,6	80,40	1,00	80,40
Agosto	132,5	0,6	79,50	1,00	79,50
Septiembre	125,5	0,55	69,03	1,00	69,03
Octubre	115,5	0,6	69,30	1,00	69,30
Noviembre	112	0,6	67,20	1,00	67,20
Diciembre	108	0,6	64,80	1,00	64,80
DEMANDA TOTAL					835,53

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 64, podemos observar que la evapotranspiración (ETc) para el páramo durante el ciclo de desarrollo de 365 días alcanzó el valor máximo en el mes de julio con 80,40 mm y descendiendo un mínimo de 59,10 mm en el mes de enero, presentando una evapotranspiración total de 835,53 mm/año.

Una característica común del páramo es la presencia de temperaturas muy frías. La temperatura media a 3500 m está alrededor de 7° C (Buytaert, 2004). Por otro lado, el consumo natural de agua en el páramo es muy bajo, debido a la predominancia de pajonales y de hierbas xerofíticas con características de baja evaporación, a pesar de la radiación alta a estas altitudes y latitudes. Estimaciones de la evapotranspiración en el páramo están entre 1 y 1.5 mm/día (Buytaert, 2004). Como consecuencia un gran excedente de agua está disponible para ser evacuado por los ríos que descienden del páramo.

(PPA, 2002), en los páramos la temperatura es fría y la evapotranspiración es baja 0,5 - 1,5 mm/día generando un gran excedente de agua; mucha de la vegetación del páramo almacena gran cantidad de agua, como por ejemplo el musgo, y el consumo de la misma es reducido.

De acuerdo a estos valores la evapotranspiración del páramo en la microcuenca del río Atapo está dentro de los rangos normales de evapotranspiración y requerimiento de agua de 835,53 mm/año, estos valores se registran debido a algunos factores como: periodo largos de luminosidad, verano con fuertes vientos, y su ubicación geográfica y altitudinal (INAMHI, 2009).

Cuadro 65. Demanda hídrica para páramo.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Páramo	6446,9	53865,50

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 65, indica que para las 6446,9 ha de páramo que se registró en la microcuenca del río Atapo en las fechas de estudio y en condiciones climáticas propias a los 3750 – 4280 msnm presentó un requerimiento hídrico de 53865,50 m³/año.

d. Cálculo de requerimiento hídrico en plantación de pino

Cuadro 66. Cálculo de ETc para plantación de pino (*Pinus radiata*) en 365 días.

Cubertura vegetal: Pino			Superficie: 300 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	98,5	0,6	59,10	1,00	59,10
Febrero	101	0,6	60,60	1,00	60,60
Marzo	112,5	0,6	67,50	1,00	67,50
Abril	120	0,6	72,00	1,00	72,00
Mayo	119,5	0,6	71,70	1,00	71,70
Junio	124	0,6	74,40	1,00	74,40
Julio	134	0,6	80,40	1,00	80,40
Agosto	132,5	0,6	79,50	1,00	79,50
Septiembre	125,5	0,55	69,03	1,00	69,03
Octubre	115,5	0,6	69,30	1,00	69,30
Noviembre	112	0,6	67,20	1,00	67,20
Diciembre	108	0,6	64,80	1,00	64,80
DEMANDA TOTAL					835,53

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 66, podemos observar que la evapotranspiración (ETc) la plantación de pino durante el ciclo de desarrollo de 365 días alcanzó el valor máximo en el mes de junio con 80,40 mm y descendiendo un mínimo de 59,10 mm en el mes de enero, presentando una evapotranspiración total de 835,53 mm/año.

(Vinueza, 2003), señala que la plantación de pino necesita de 700 a 1200 mm de precipitación anual en las condiciones climáticas propias de la sierra ecuatoriana,

Estimaciones de la evapotranspiración en el páramo están entre 1 y 1.5 mm/día. Como consecuencia un gran excedente de agua está disponible para ser evacuado por los ríos que descienden del páramo (Buytaert, 2004).

De acuerdo a estos valores la evapotranspiración para la plantación de pino en la microcuenca del río Atapo está dentro de los requerimientos de agua son bajas 835,53 mm/año, esto debido a algunos factores como: clima frío, alta humedad relativa, presencia permanente de nubes, temperatura bajas, su ubicación geográfica y altitudinal (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998).

Cuadro 67. Demanda hídrica para plantación de pino.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Pino	300	2506,58

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Según el cuadro 67, indica que para las 300 ha de plantación de pino que posee la microcuenca del río Atapo, con las condiciones climáticas propias a los 3750 – 4280 msnm, en las fechas de estudio registró un requerimiento hídrico de 2506,58 m³/año.

e. Cálculo de requerimiento hídrico en pasto natural

Cuadro 68. Cálculo de ETc para pasto natural en 365 días.

Cobertura vegetal: Pasto natural			Superficie: 145 has		
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	98,5	0,6	59,10	1,00	59,10
Febrero	101	0,6	60,60	1,00	60,60
Marzo	112,5	0,6	67,50	1,00	67,50
Abril	120	0,6	72,00	1,00	72,00
Mayo	119,5	0,6	71,70	1,00	71,70
Junio	124	0,6	74,40	1,00	74,40
Julio	134	0,6	80,40	1,00	80,40
Agosto	132,5	0,6	79,50	1,00	79,50
Septiembre	125,5	0,55	69,03	1,00	69,03

Octubre	115,5	0,6	69,30	1,00	69,30
Noviembre	112	0,6	67,20	1,00	67,20
Diciembre	108	0,6	64,80	1,00	64,80
DEMANDA TOTAL					835,53

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 68, podemos observar que la evapotranspiración real (ET_c) para el cultivo de pasto durante su ciclo productivo de 365 días de referencia, el valor máximo se presentó en el mes de julio con 80,40 mm y descendiendo a un mínimo de 59,10 mm en el mes de enero, presentando una evapotranspiración total de 835,53 mm/año.

Según (Crystal, 2000), señala que la cobertura vegetal como el pasto natural y el páramo necesitan de 700 a 1200 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas propias de la serranía ecuatoriana; de acuerdo a estos valores la evapotranspiración para el cultivo de pasto en la microcuenca del río Atapo está dentro de los requerimientos normales de agua con 835,53 mm/año, esto debido a algunos factores como: periodo largos de luminosidad, verano con fuertes vientos y su ubicación geográfica y altitudinal (INAMHI, 2010).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998), un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2001).

Cuadro 69. Demanda hídrica para pasto natural.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Pasto natural	145	1211,51

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Según el cuadro 69, indica que para las 145 ha de cultivo de haba que registró la microcuenca del río Atapo en las fechas de estudio y en condiciones climáticas propias a los 3750 – 4280 msnm presentó un requerimiento hídrico de 1211,51 m³/año.

f. Cálculo de requerimiento hídrico en pasto cultivado

Cuadro 70. Cálculo de ETc para pasto cultivado en 365 días.

Cultivo: Pasto cultivado				Superficie: 102 has	
Mes	Evaporación (mm/mes)	Kp	ETo (mm/mes)	Kc	ETc (Demanda)
Enero	98,5	0,6	59,10	1,00	59,10
Febrero	101	0,6	60,60	1,00	60,60
Marzo	112,5	0,6	67,50	1,00	67,50
Abril	120	0,6	72,00	1,00	72,00
Mayo	119,5	0,6	71,70	1,00	71,70
Junio	124	0,6	74,40	1,00	74,40
Julio	134	0,6	80,40	1,00	80,40
Agosto	132,5	0,6	79,50	1,00	79,50
Septiembre	125,5	0,55	69,03	1,00	69,03
Octubre	115,5	0,6	69,30	1,00	69,30
Noviembre	112	0,6	67,20	1,00	67,20
Diciembre	108	0,6	64,80	1,00	64,80
DEMANDA TOTAL					835,53

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

En el cuadro 71, podemos observar que la evapotranspiración real (ETc) para el cultivo de pasto durante su ciclo productivo de 365 días de referencia, el valor máximo se presentó en el mes de julio con 80,40 mm y descendiendo a un mínimo de 50,10 mm en el mes de enero, presentando una evapotranspiración total de 835,53 mm/año.

Según (Crystal, 2000), señala que el pasto cultivado necesita de 700 a 1200 mm de precipitación durante su ciclo de cultivo en las condiciones climáticas propias de la serranía ecuatoriana; de acuerdo a estos valores la evapotranspiración para el cultivo de pasto en la microcuenca del río Atapo está dentro de los requerimientos normales de agua con 835,53 mm/año, esto debido a algunos factores como: periodo largos de luminosidad, verano con fuertes vientos y su ubicación geográfica y altitudinal (INAMHI, 2009).

La evapotranspiración también depende mucho de la densidad de la cobertura vegetal, especie, forma del follaje y edad de las plantas (Díaz R. , 1998), un cultivo en pleno desarrollo vegetativo puede transpirar de 2 a 10 mm de agua por día (INIAP 2001).

Cuadro 71. Demanda hídrica para pasto cultivado.

CULTIVO	SUPERFICIE (ha)	DEMANDA DE AGUA (m³/año)
Pasto cultivado	102	852,24

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Según el cuadro 71, indica que para las 102 ha de pasto cultivado que se registró en la microcuenca del río Atapo en las fechas de estudio y en condiciones climáticas propias a los 3750 – 4280 msnm presentó un requerimiento hídrico de 852,24 m³/año.

Cuadro 72. Oferta y demanda hídrico para cultivos de 3750 - 4280 msnm.

Uso de suelo	Oferta y demanda		
	Superficie (ha)	Oferta total (m ³)	Demanda total (m ³)
Páramo	6446,90	52703,41	53865,46
Plantación de pino	300	2452,50	2506,58
Pasto natural	145	1185,38	1211,51
Pasto cultivado	102	833,85	852,24
Cultivo de papa	206	1684,05	1196,41
Cultivo de haba	89	727,58	516,90
TOTAL	7288,9	59586,76	60149,10

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Según el cuadro 72, podemos observar la cantidad de requerimiento hídrico para cada cultivo y según la superficie que ocupan varían notablemente, el mayor requerimiento hídrico presenta el páramo con 53865,46 m³/año en las 6446,90 ha y la mínima es del cultivo de haba con 516,90 m³/año en las 89 ha, en general para las 7288,9 ha de superficie el requerimiento hídrico que presenta los diferentes cultivos o cobertura vegetal de acuerdo a su ciclo de producción fue de 60149,1 m³/año.

Cuadro 73. Determinación de la ETc para cultivos de 3750 - 4280 msnm.

Superficie (ha)	Oferta (m³/año)	Demanda (m³/año)	Déficit (m³/año)
7282,90	59586,76	60149,10	-562,33

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Según el cuadro 73, nos indica que, para las 7283,9 ha que posee la parte alta de la microcuena, ocupado por diferentes cultivos y/o cobertura vegetal, existe un déficit hídrico de -562,33 m³/año, esto se debe a que esta zona está influenciada por las corrientes de la parte oriental donde existe un mayor precipitación (INAMHI 2009).

Las frecuentes precipitaciones que se dan en la parte oriental son arrastrados por el viento hacia la cordillera andina provocando un fenómeno denominado barlovento y sotavento; esta precipitación es captada y almacenada en los páramos de Atapo que se encuentra entre 3600 – 4280 msnm y liberado lentamente durante todo el año.

g. Resumen de requerimiento hídrico de los cultivos

Cuadro 74. Requerimiento hídrico para cultivos en la microcuena.

Requerimiento de cultivos	Superficie (ha)	Oferta (m³/año)	Demanda (m³/año)	Balance hídrico
				Exceso/Déficit
2850 - 3300 msnm	4655,53	29772,11	32848,22	-3076,11
3300 - 3750 msnm	2339,87	18297,78	15908,56	2389,22
3750 - 4280 msnm	7288,90	59586,76	60149,09	-562,33
TOTAL	14284,28	107656,66	108905,87	-1249,21

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 74, indica que en general la microcuena del río Atapo presento una oferta hídrica de 107656,66 m³/año, existiendo un déficit hídrico total de 1249,27 m³/año, este resultado se debe según indica (INAMHI 2009), que esta zona está influenciada por las corrientes climáticas de la parte oriental donde existe un mayor precipitación.

Las frecuentes precipitaciones que se dan en la amazonia son arrastrados por el viento hacia la cordillera andina provocando un fenómeno denominado barlovento y sotavento

por tal razón esta parte de la microcuenca presenta un déficit hídrico de 100 – 200 mm/año (CESA, 2011).

En cuanto al margen occidental la microcuenca de río Atapo presento un mayor déficit hídrico 3076,11 m³/año, según (SENAGUA, 2011), esto se debe a los factores como: las la ubicación del lugar, condiciones climatológicas, veranos secos con vientos fuertes, la presencia ocasional de lluvias (fenómeno del niño).

Por otro lado esta parte de la microcuenca presenta un déficit hídrico de 1000 a 2000 mm/año (INAMHI, 2009),

En cuanto a la necesidad hídrica de los cultivos, la microcuenca requiere de 108905,87 m³/año de agua para abastecer los requerimientos de los cultivos y/o cobertura vegetal existente en la misma, esto quiere decir que la precipitación no abastece las necesidades de los cultivos y vegetación existente (páramo, plantación de pino, cultivos, y etc.).

Cuadro 75. Demanda hídrico de cultivos en la microcuenca Atapo.

Superficie (ha)	Balance hídrico de cultivo m³/año
14284,28	- 1249,21

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 75, indica que existe un déficit hídrico de 1249,21 m³/año en el requerimiento hídrico de los cultivos y cobertura vegetal que existente en los 14284,28 ha de superficie que posee la microcuenca del río Atapo, en las fechas de estudio junio 2012 a julio 2013 y en condiciones climáticas propias de la sierra ecuatoriana que se presentan a los 2800 – 4280 msnm.

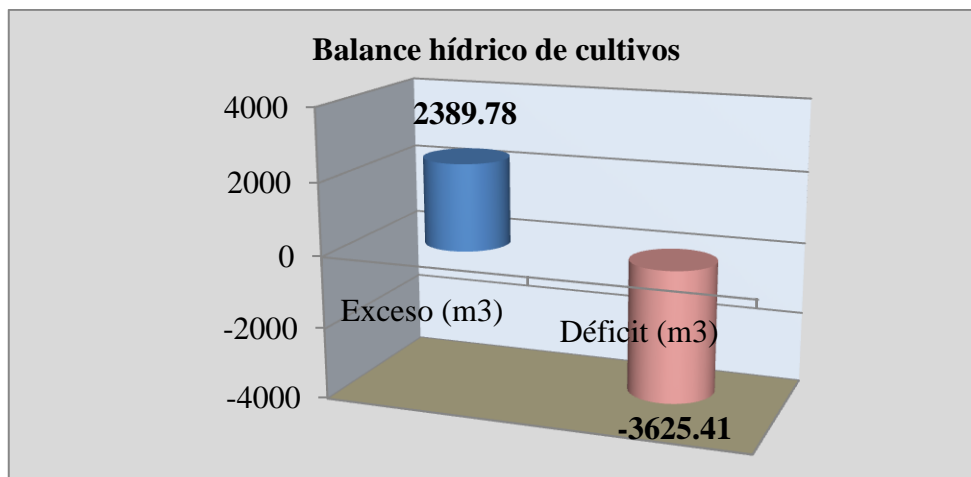


Gráfico 8. Balance hídrico de acuerdo al requerimiento de cultivos.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

De acuerdo a los valores que se presentan en el gráfico 7 y el cuadro 75, indican que en la microcuenca Atapo existe un déficit hídrico de 1249,21 m³/año, es decir que la precipitación registrada durante el tiempo de estudio no cubre las necesidades hídricas de los cultivos y/o cobertura vegetal presentes en la microcuenca (páramo, plantación de pino, cultivos y etc.). Requiriendo realizar aportes de agua a los cultivos mediante riego para su normal desarrollo y productividad.

Según los datos revisados de la SENAGUA e INAMHI, la microcuenca del río Atapo está ubicada en una zona con un déficit hídrico entre 100 y 150 mm/año en su parte oriental, es decir presencia moderada de lluvias a lo largo del año, en cambio la margen occidental de la subcuenca del Yaguachi tiene un déficit hídrico que llega a ser entre 1000 – 2000 mm/año, es decir una gran escasez de lluvia a lo largo del año.

Aparte de la disponibilidad de agua, la evapotranspiración de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción aumenta a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más crecimiento hasta llegar a su máximo demanda hídrica generalmente entre la época de la floración, luego inicia un descenso por el hecho de que el cultivo termina su ciclo de cultivo.

En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración. (FAO 56, 2000).

6. Infiltración

a. Velocidad de infiltración

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Muchos factores del suelo afectan el control de la infiltración, así como también gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración (Landon , 2006).

Si se aplica agua a determinada superficie de suelo, a una velocidad que se incrementa en forma uniforme, tarde o temprano se llega a un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber agua y, el exceso se acumula sobre la superficie, o escurre si las condiciones de pendiente lo permiten. La capacidad de infiltración conocida también como “infiltrabilidad del suelo” es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a la presión atmosférica.

Mientras la velocidad de aporte de agua a la superficie del suelo sea menor que la infiltrabilidad, el agua se infiltra tan rápidamente como es aportada y la velocidad de aporte determina la velocidad de infiltración (o sea, el proceso es controlado por el flujo).

Sin embargo, una vez que la velocidad de aporte excede la infiltrabilidad del suelo es ésta última la que determina la velocidad real de infiltración; de ese modo el proceso es controlado por las características del perfil (Pizarro R, Flores J, Sanguesa C y Martínez, 2004).

La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Se mide en milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature.

Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie. La tasa de infiltración puede medirse usando un infiltrómetro (Jaramillo , 2002).

Para determinar la capacidad de infiltración en la microcuenca del río Atapo, se realizó las pruebas en cada una de los sitios preestablecidos para el estudio del balance hídrico.

b. Infiltración acumulada e infiltración instantánea

La capacidad de infiltración o la infiltrabilidad del suelo es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a la presión atmosférica.

Mientras la velocidad de aporte de agua a la superficie del suelo sea menor que la infiltrabilidad, el agua se filtra tan rápidamente como es aportada y la velocidad de aporte determina la velocidad de infiltración (o sea, el proceso es controlado por el flujo).

Sin embargo, una vez que la velocidad de aporte excede la infiltrabilidad del suelo es ésta última la que determina la velocidad real de la infiltración; de ese modo el proceso es controlado por las características del perfil.

En este contexto, la infiltración acumulada, es la integración en el tiempo de la velocidad de infiltración, con una dependencia curvilínea del tiempo y una pendiente que decrece gradualmente.

La infiltrabilidad del suelo y su variación en el tiempo depende del contenido de agua inicial y de la succión, así como la textura, estructura y uniformidad (o secuencia de los estratos) del perfil del suelo (Vélez , 2002).

La hoja de cálculo que se utilizó para determinar la velocidad de infiltración se obtuvo del Departamento de Riego y Drenaje de la ESPOCH (León , 2012).

7. Infiltración de San Carlos de Tipín y P Dávalos (2800- 3300 msnm)

Intercepto= 0.690964203 1.70190316

Pendiente= 0.79122635 0.75684988

Y Log LAM X Log T Valores Estimados
Lámina Velocidad

Cuadro 76. Cálculo de la velocidad de infiltración de suelos de San Carlos de Tipin.

Tiempo		Lectura de escala	Lámina		Infiltración	
Tiempo acumulado minutos	Intervalo de tiempo entre lectura (min)	Nivel del agua. (cm)	Lámina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración instantánea	
A	B= (Ai+1-Ai)	C	E=(Ci+1- Ci) ó (Ci+ -Di)	F=Fi-1+Ei	G = Ei/Bi	H = G*60
0		35	0,00	0,00		
2,19	2,19	34	10,00	10,00	4,566	274,0
4,23	2,04	33	10,00	20,00	4,902	294,1
7,52	3,29	32	10,00	30,00	3,040	182,4
11,15	3,63	31	10,00	40,00	2,755	165,3
14,45	3,3	30	10,00	50,00	3,030	181,8
17,35	2,9	29	10,00	60,00	3,448	206,9
19,39	2,04	28	10,00	70,00	4,902	294,1
21,48	2,09	27	10,00	80,00	4,785	287,1
24,05	2,57	26	10,00	90,00	3,891	233,5
27,44	3,39	25	10,00	100,00	2,950	177,0
30,27	2,83	24	10,00	110,00	3,534	212,0
33,59	3,32	23	10,00	120,00	3,012	180,7
37,21	3,62	22	10,00	130,00	2,762	165,7
40,31	3,1	21	10,00	140,00	3,226	193,5
60,00	2,67	15	10,00	200,00	3,745	224,7
64,52	4,52	14	10,00	210,00	2,212	132,7
79,40	2,38	9	10,00	260,00	4,202	252,1
82,07	2,67	8	10,00	270,00	3,745	224,7
85,33	3,26	7	10,00	280,00	3,067	184,0
88,42	3,09	6	10,00	290,00	3,236	194,2
93,10	4,68	5	10,00	300,00	2,137	128,2
98,43	5,33	4	10,00	310,00	1,876	112,6
104,19	5,76	3	10,00	320,00	1,736	104,2
108,33	4,14	2	10,00	330,00	2,415	144,9
112,55	4,22	1	10,00	340,00	2,370	142,2

		Lámina (mm)	Velocidad (mm/hr)
1.0000	0.3692	9.6183	195.1343
1.3010	0.8048	21.2696	158.2672
1.4771	1.0056	30.6640	143.7049
1.6021	1.1514	39.9906	133.9802
1.6990	1.2560	48.3884	127.4082
1.7782	1.3677	59.3126	120.7454
1.8451	1.4639	70.6700	115.2906
1.9031	1.5353	80.4877	111.4005
1.9542	1.6042	91.2578	107.7695
2.0000	1.6628	101.5271	104.7795
2.0414	1.6930	107.2824	103.2661
2.0792	1.7284	114.4320	101.5230
2.1139	1.7665	122.6466	99.6828
2.1461	1.8004	130.4569	98.0721
2.2788	1.9495	171.1789	91.2882
2.3010	1.9745	179.1636	90.1966
2.3222	1.9963	186.4162	89.2571
2.3424	2.0216	195.2134	88.1777
2.3802	2.0622	210.1871	86.4749
2.4314	2.1253	235.8015	83.8904
2.4472	2.1382	241.4047	83.3722
2.4624	2.1538	248.3953	82.7466
2.4771	2.1680	254.8962	82.1844
2.4914	2.1826	261.7481	81.6112
2.5051	2.1965	268.4585	81.0679
2.5185	2.2176	278.9973	80.2484
2.5315	2.2367	288.8756	79.5151

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

a. **Infiltración, lámina vs tiempo.**

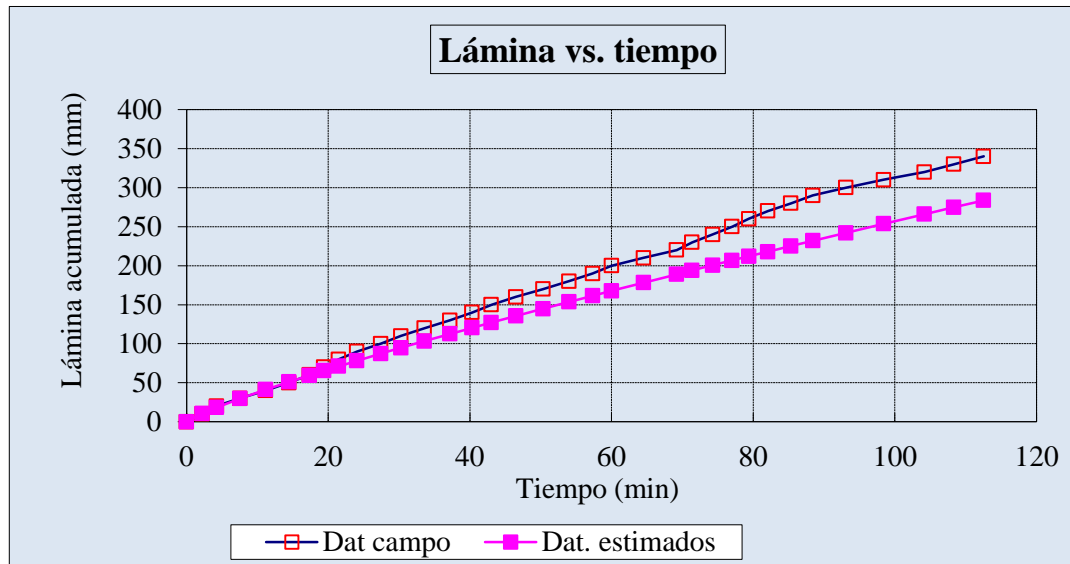


Gráfico 9. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

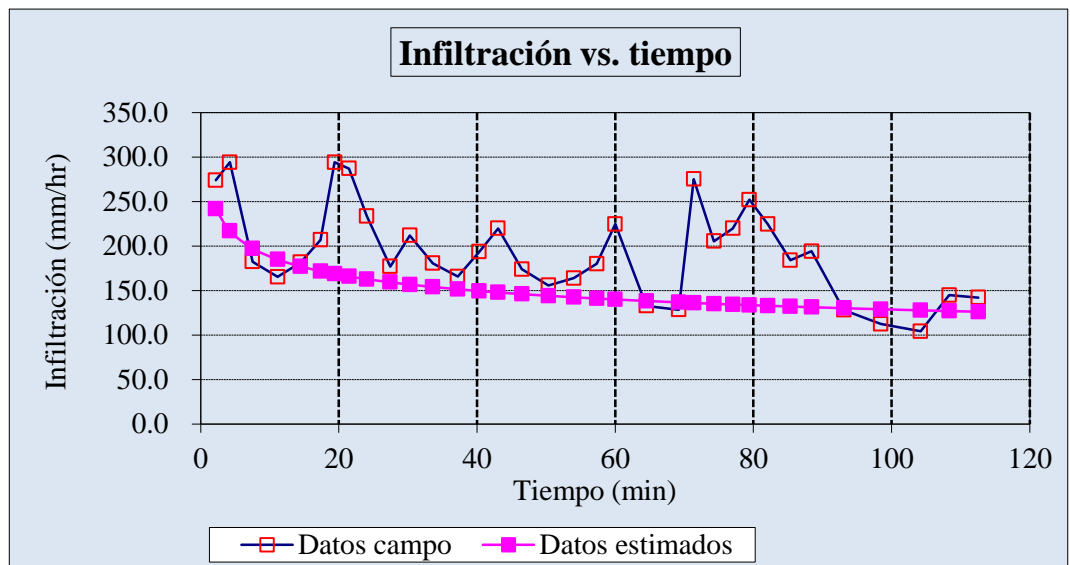


Gráfico 10. Curvas de infiltración vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

b. **Lámina infiltrada (LAM)**

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

Donde:

LAM = Lámina acumulada infiltrada en el suelo (mm).

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

T = Tiempo de infiltración (min).

c. Velocidad de infiltración instantánea (Vii)

$V_{ii} = d/dt (LAM) = d/dt (K' * T^{n'})$ (mm/min, min).

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

Donde:

V_{ii} = 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. ($-1 \leq n' \leq 0$).

T = Tiempo de infiltración (min).

d. Linealización de la ecuación

$LAM = K' * T^{n'}$ (mm, min)

Como la ecuación de lámina es una Ec. De potencia se necesita linealizar la Ec. Aplicando logaritmos a ambos lados de la Ec., y así mediante el criterio de mínimos cuadrados, hallar el valor de K' y n' .

$\text{Log LAM} = \text{Log } K' * T^{n'}$

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

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

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

$Y = b + m * X$

Donde

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

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

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

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

e. Cálculo de las Ec. de lámina e infiltración

$$Y = b + m * X$$

Las constantes son:

Número de datos (n)= 35	Ctes de la Ec. de Lámina
b = 0.74028	K' = 10 ^b = 5.4990
m = 0.83480	n' = m = 0.83480
Coefficiente de correlación (r)	r = 0.9972

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

$$\text{LAM} = 5.4990 * T^{0.83480} \quad \text{LAM (mm), T (min.)}$$

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

$$V_{ii} = 4.5906 * T^{-0.1652} \quad V_{ii} \text{ (mm/min), T (min.)}$$

$$V_{ii} = 275.43 * T^{-0.1652} \quad V_{ii} \text{ (mm/hr), T (min.)}$$

f. Velocidad de infiltración básica (Vib)

Según el S.C.S. la infiltración básica se logra cuando el tiempo T en horas es mayor o igual a $-10^{*(n'-1)}$. ($T \geq -10^{*(n'-1)}$)

$$T \geq -10^{*(n'-1)} = 1.6519735 \text{ hr} = 99.1 \text{ min}$$

Remplazando este tiempo en la ecuación de infiltración tenemos:

$$Vib = (100) \text{ min} = 2.1452 \text{ mm/min} = 128.71 \text{ mm/hr}$$

De acuerdo al gráfico 8, los resultados de la velocidad de infiltración en el sector San Carlos de Tipin, podemos observar que la velocidad de la infiltración es constante, así presentando una lámina acumulada de 340 mm de infiltración en los 113 minutos tardados en vaciarse el contenido de agua del cilindro doble anillo.

La infiltración del suelo y su variación con el tiempo depende del estado inicial de humedad, textura, estructura y de la uniformidad del perfil del suelo (García J, Sosa F, Fernandez J (2010). Generalmente la infiltración es alta al inicio del proceso, cuando el suelo está seco y luego desciende hasta alcanzar un valor constante cuando inicia a saturarse.

También hay que señalar que el suelo de esta zona presenta una textura arenosa (PDOT, Palmira, 2011) la misma que presenta propiedades altas de infiltración por presentar macroporos según la cátedra de Geología y Mineralogía, ESPOCH (Oñate , 2005).

En cuanto al gráfico 9, podemos señalar que la velocidad de infiltración que presenta este suelo es alta con 128,71 mm/hr en promedio y a la vez en promedio se infiltra 2,15 mm en 1 minuto.

De acuerdo a esta dinámica que se presenta en el gráfico 9, el suelo de San Carlos de Tipin, tiene mayor velocidad de infiltración en relación a la velocidad de aporte del flujo según (Gurovich,1998), estas características presentan los suelos arenosos y que son muy permeables.

Cuadro 77. Cálculo de infiltración de Palmira Dávalos.

		Lectura de escala	Lámina		Infiltración	
Tiempo acumulado minutos	Intervalo de tiempo entre lectura (min)	Nivel del agua. (cm)	Lámina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración instantánea	
					(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (Ai+1-Ai)	C	E= (Ci+1 - Ci) ó (Ci+1 - Di)	F=Fi-1+Ei	G = Ei/Bi	H = G*60
0		35	0,00	0,00		
2,11	2,11	34	10,00	10,00	4,739	284,4
6,10	3,99	33	10,00	20,00	2,506	150,4
9,30	3,2	32	10,00	30,00	3,125	187,5
11,50	2,2	31	10,00	40,00	4,545	272,7
14,00	2,5	30	10,00	50,00	4,000	240,0
16,53	2,53	29	10,00	60,00	3,953	237,2
19,39	2,86	28	10,00	70,00	3,497	209,8
22,21	2,82	27	10,00	80,00	3,546	212,8
25,09	2,88	26	10,00	90,00	3,472	208,3
27,56	2,47	25	10,00	100,00	4,049	242,9
30,15	2,59	24	10,00	110,00	3,861	231,7
43,00	3,56	20	10,00	150,00	2,809	168,5
64,20	3	13	10,00	220,00	3,333	200,0
68,44	4,24	12	10,00	230,00	2,358	141,5
72,37	3,93	11	10,00	240,00	2,545	152,7
75,32	2,95	10	10,00	250,00	3,390	203,4
79,15	3,83	9	10,00	260,00	2,611	156,7
82,57	3,42	8	10,00	270,00	2,924	175,4
85,33	2,76	7	10,00	280,00	3,623	217,4
89,42	4,09	6	10,00	290,00	2,445	146,7
92,17	2,75	5	10,00	300,00	3,636	218,2
95,07	2,9	4	10,00	310,00	3,448	206,9
98,29	3,22	3	10,00	320,00	3,106	186,3
102,03	3,74	2	10,00	330,00	2,674	160,4
105,39	3,36	1	10,00	340,00	2,976	178,6

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013

r2 =	0.996816974	0.99903057
Intercepto=	0.690964203	1.70190316
Pendiente=	0.79122635	0.75684988
Y Log	X Log T	Valores Estimados
LAM		Lámina Velocidad
		(mm) (mm/hr)
		0.0000
1.0000	0.3243	9.1323
1.3010	0.7853	22.9900
1.4771	0.9685	33.1759
1.6021	1.0607	39.9043
1.6990	1.1461	47.3495
1.7782	1.2183	54.7089
1.8451	1.2876	62.8537
1.9031	1.3465	70.7320
1.9542	1.3995	78.6442
2.0000	1.4403	85.3357
2.1461	1.5959	116.5473
2.1761	1.6335	125.6442
2.2041	1.6653	133.9137
2.3010	1.7639	163.1381
2.3222	1.7868	170.7845
2.3424	1.8075	178.0424
2.3617	1.8353	188.2256
2.3802	1.8596	197.5909
2.3979	1.8769	204.5772
2.4150	1.8985	213.5948
2.4314	1.9168	221.5990
2.4472	1.9311	228.0269
2.4624	1.9514	237.5030
2.4771	1.9646	243.8426
2.4914	1.9780	250.5014
2.5051	1.9925	257.8640
2.5185	2.0087	266.3763
2.5315	2.0228	273.9890

a. **Infiltración, lámina vs tiempo**

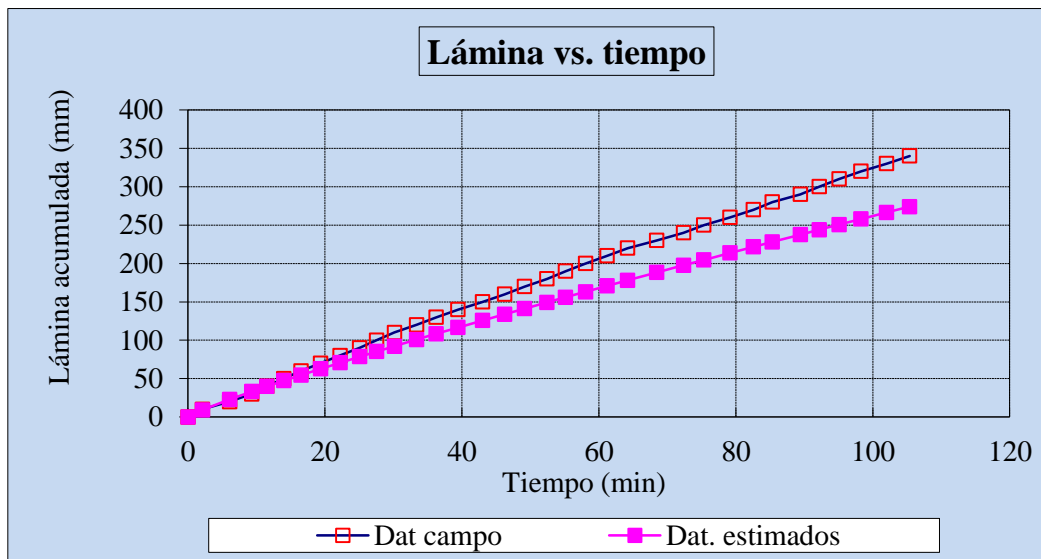


Gráfico 11. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

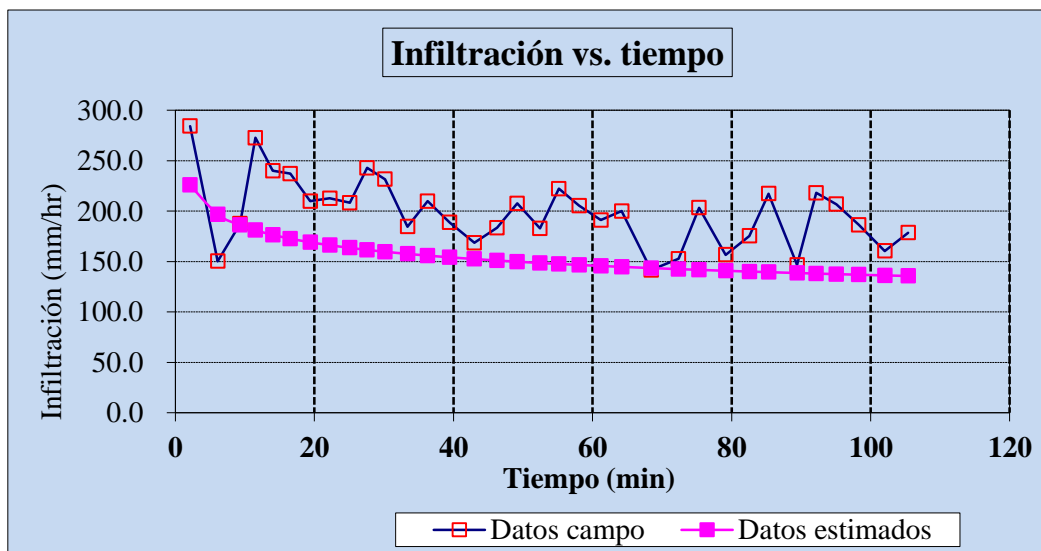


Gráfico 12. Curvas de infiltración vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

b. **Lámina infiltrada (LAM)**

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

Donde:

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

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

T = Tiempo de infiltración (min).

c. Velocidad de infiltración instantánea (V_{ii})

$V_{ii} = d/dt (LAM) = d/dt (K' * T^{n'})$ (mm/min, min).

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

Donde:

V_{ii} = 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. ($-1 \leq n' \leq 0$).

T = Tiempo de infiltración (min).

d. Linealización de la ecuación

$LAM = K' * T^{n'}$ (mm, min)

Como la ecuación de lámina es una Ec. De potencia se necesita linealizar la Ec. Aplicando logaritmos a ambos lados de la Ec., y así mediante el criterio de mínimos cuadrados, hallar el valor de K' y n' .

$\text{Log } LAM = \text{Log } K' * T^{n'}$

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

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

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

$Y = b + m * X$

Donde

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

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

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

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

e. Cálculo de las Ec. de lámina e infiltración

$$Y = b + m * X$$

Las constantes son:

Número de datos (n)= 35	Ctes de la Ec. de Lamina
b = 0.67856	K' = 10 ^b = 4.7704
m = 0.86967	n' = m = 0.86967
Coefficiente de correlación (r)	r = 0.9887

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

$$\text{LAM} = 4.7704 * T^{0.86967} \quad \text{LAM (mm), T (min).}$$

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

$$V_{ii} = 4.1487 * T^{-0.1303} \quad V_{ii} \text{ (mm/min), T (min).}$$

$$V_{ii} = 248.92 * T^{-0.1303} \quad V_{ii} \text{ (mm/hr), T (min).}$$

f. Velocidad de infiltración básica (Vib)

Según el S.C.S. la infiltración básica se logra cuando el tiempo T en horas es mayor o igual a $-10^{(n'-1)}$. ($T \geq -10^{(n'-1)}$)

$$T \geq -10^{(n'-1)} = 1,3032677 \text{ hr} = 78.2 \text{ min}$$

Remplazando este tiempo en la ecuación de infiltración tenemos:

$$V_{ib} = (79) \text{ min} = 2.3475 \text{ mm/min} = 140.75 \text{ mm/hr}$$

De acuerdo al gráfico 10, los resultados de la velocidad de infiltración en el sector Palmira Dávalos, podemos observar que la velocidad de la infiltración es constante, así presentando una lámina acumulada de 340 mm de infiltración en los 105 minutos tardados en vaciarse el contenido de agua del cilindro doble anillo.

La infiltración del suelo y su variación con el tiempo depende del estado inicial de humedad, textura, estructura y de la uniformidad del perfil del suelo (García J, Sosa F, Fernandez J, 2010). Generalmente la infiltración es alta al inicio del proceso, cuando el suelo está seco y luego disminuye hasta alcanzar un valor constante cuando inicia a saturarse.

También hay que señalar que el suelo de esta zona presenta una textura arenosa (PDOT Palmira, 2012), la misma que posee un alto grado de infiltración por presentar macroporos según la cátedra de Geología y Mineralogía ESPOCH (Oñate , 2005).

De acuerdo a esta dinámica que se presenta en el gráfico 11 del suelo de Palmira Dávalos, podemos decir que la capacidad de infiltración es mayor a la velocidad de aporte del flujo según (Gurovich, 1995).

También podemos decir que la velocidad de infiltración que presenta este suelo es alta con 140,85 mm/hr en promedio y a la vez en promedio se infiltra 2,35 mm en 1 minuto.

De acuerdo a esta dinámica que se presenta el suelo de Palmira Dávalos, tiene mayor velocidad de infiltración en relación a la velocidad de aporte del flujo según (Gurovich, 1998), estas características presentan los suelos arenosos y que son muy permeables.

8. Infiltración de A Culebrillas y A Santa Cruz (3300- 3750 msnm)

Cuadro 78. Cálculo de infiltración Atapo Culibrillas.

		Lectura de escala	Lámina		Infiltración	
Tiempo acumulado minutos	Intervalo de tiempo entre lectura (min)	Nivel del agua. (cm)	Lámina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración instantánea	
					(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (Ai+1-Ai)	C	E= (Ci+1 - Ci) ó (Ci+1 - Di)	F=Fi-I+Ei	G = Ei/Bi	H = G*60
0		35	0,00	0,00		
2,34	2,34	34	10,00	10,00	4,274	256,4
6,38	4,04	33	10,00	20,00	2,475	148,5
10,13	3,75	32	10,00	30,00	2,667	160,0
14,17	4,04	31	10,00	40,00	2,475	148,5
18,03	3,86	30	10,00	50,00	2,591	155,4
23,32	5,29	29	10,00	60,00	1,890	113,4
29,10	5,78	28	10,00	70,00	1,730	103,8
34,30	5,2	27	10,00	80,00	1,923	115,4
40,20	5,9	26	10,00	90,00	1,695	101,7
46,00	5,8	25	10,00	100,00	1,724	103,4
49,32	3,32	24	10,00	110,00	3,012	180,7
53,51	4,19	23	10,00	120,00	2,387	143,2
89,02	5,51	16	10,00	190,00	1,815	108,9
94,30	5,28	15	10,00	200,00	1,894	113,6
121,53	6,14	10	10,00	250,00	1,629	97,7
126,24	4,71	9	10,00	260,00	2,123	127,4
133,44	7,2	8	10,00	270,00	1,389	83,3
137,46	4,02	7	10,00	280,00	2,488	149,3
142,51	5,05	6	10,00	290,00	1,980	118,8
147,24	4,73	5	10,00	300,00	2,114	126,8
152,26	5,02	4	10,00	310,00	1,992	119,5
157,21	4,95	3	10,00	320,00	2,020	121,2
165,05	7,84	2	10,00	330,00	1,276	76,5
172,47	7,42	1	10,00	340,00	1,348	80,9

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013

r2 = 0.996816974 0.99903057
Intercepto= 0.690964203 1.70190316
Pendiente= 0.79122635 0.75684988
Y Log X Log T
LAM Valores Estimados
Lámina (mm) Velocidad (mm/hr)

		0.0000	
1.0000	0.3692	9.6183	195.1343
1.3010	0.8048	21.2696	158.2672
1.4771	1.0056	30.6640	143.7049
1.6021	1.1514	39.9906	133.9802
1.6990	1.2560	48.3884	127.4082
1.7782	1.3677	59.3126	120.7454
1.8451	1.4639	70.6700	115.2906
1.9031	1.5353	80.4877	111.4005
1.9542	1.6042	91.2578	107.7695
2.0000	1.6628	101.5271	104.7795
2.1761	1.8339	138.6767	96.5037
2.2788	1.9495	171.1789	91.2882
2.3010	1.9745	179.1636	90.1966
2.3222	1.9963	186.4162	89.2571
2.3424	2.0216	195.2134	88.1777
2.3617	2.0430	202.9622	87.2767
2.3802	2.0622	210.1871	86.4749
2.3979	2.0847	218.9882	85.5439
2.4150	2.1012	225.6766	84.8675
2.4314	2.1253	235.8015	83.8904
2.4472	2.1382	241.4047	83.3722
2.4624	2.1538	248.3953	82.7466
2.4771	2.1680	254.8962	82.1844
2.4914	2.1826	261.7481	81.6112
2.5051	2.1965	268.4585	81.0679
2.5185	2.2176	278.9973	80.2484
2.5315	2.2367	288.8756	79.5151

a. **Infiltración, lámina vs tiempo**

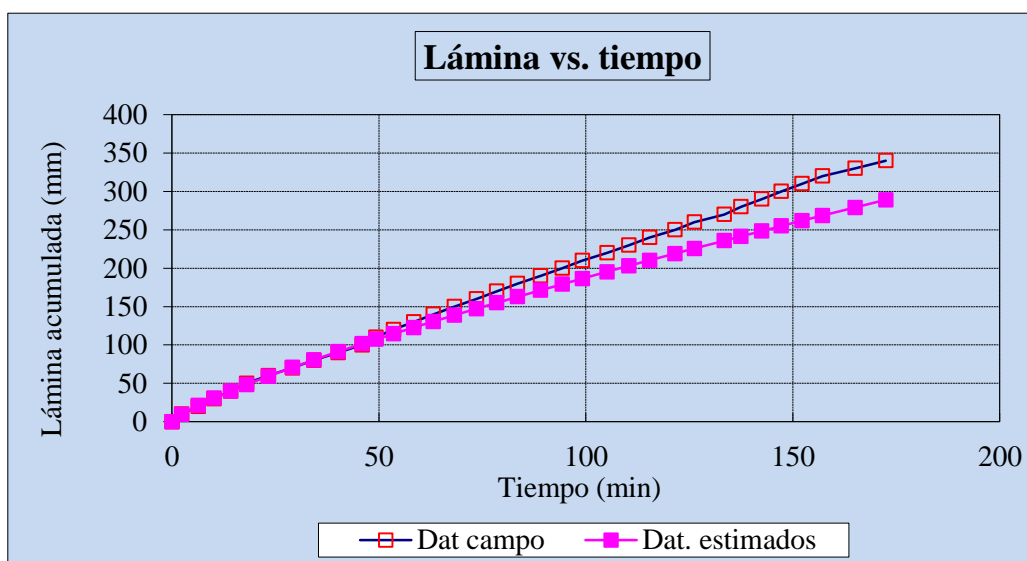


Gráfico 13. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

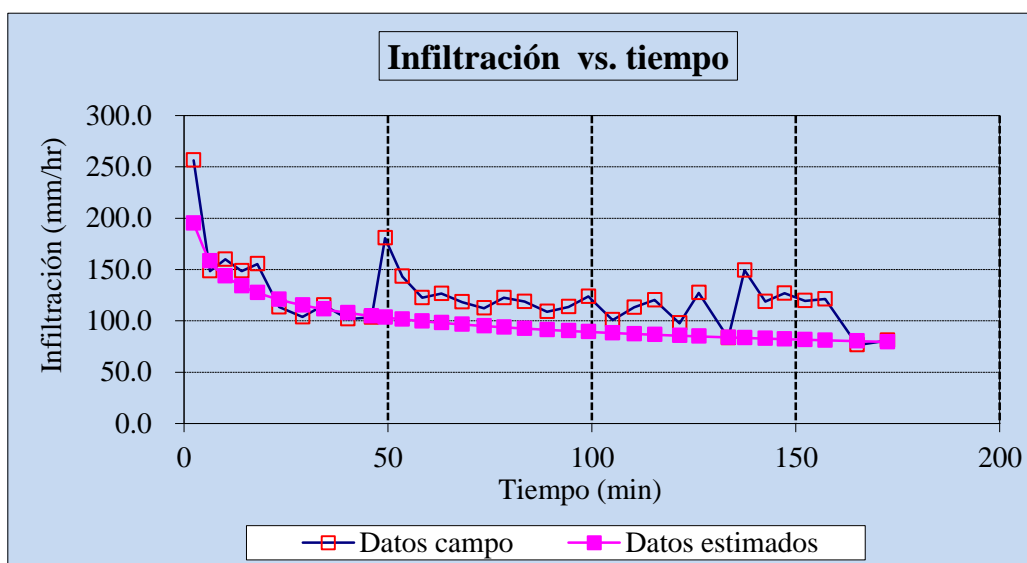


Gráfico 14. Curvas de infiltración vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

b. **Lámina infiltrada (LAM)**

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

Donde:

LAM = Lámina acumulada infiltrada en el suelo (mm).

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

T = Tiempo de infiltración (min).

c. Velocidad de infiltración instantánea (V_{ii})

$V_{ii} = d/dt (LAM) = d/dt (K' * T^{n'})$ (mm/min, min).

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

Donde:

V_{ii} = 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. ($-1 \leq n' \leq 0$).

T = Tiempo de infiltración (min).

d. Linealización de la ecuación

$LAM = K' * T^{n'}$ (mm, min)

Como la ecuación de lámina es una Ec. De potencia se necesita linealizar la Ec. Aplicando logaritmos a ambos lados de la Ec., y así mediante el criterio de mínimos cuadrados, hallar el valor de K' y n' .

$\text{Log } LAM = \text{Log } K' * T^{n'}$

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

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

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

$Y = b + m * X$

Donde

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

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

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

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

e. Cálculo de las Ec. de lámina e infiltración

$$Y = b + m * X$$

Las constantes son:

Número de datos (n)= 35	Ctes de la Ec. de Lámina
b = 0.69096	K' = 10 ^b = 4.9087
m = 0.79123	n' = m = 0.79123
Coefficiente de correlación (r)	r = 0.9984

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

$$\text{LAM} = 4.9087 * T^{0.79123} \quad \text{LAM (mm), T (min).}$$

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

$$V_{ii} = 3.8839 * T^{-0.2088} \quad V_{ii} \text{ (mm/min), T (min).}$$

$$V_{ii} = 233.03 * T^{-0.2088} \quad V_{ii} \text{ (mm/hr), T (min).}$$

f. Velocidad de infiltración básica (Vib)

Según el S.C.S. la infiltración básica se logra cuando el tiempo T en horas es mayor o igual a $-10^{(n'-1)}$. ($T \geq -10^{(n'-1)}$)

$$T \geq -10^{(n'-1)} = 2.0877365 \text{ hr} = 125.3 \text{ min}$$

Remplazando este tiempo en la ecuación de infiltración tenemos:

$$V_{ib} = (126) \text{ min} = 1.4150 \text{ mm/min} = 84.90 \text{ mm/hr.}$$

De acuerdo al gráfico 12, los resultados de la velocidad de infiltración en el sector Atapo Culebrillas, podemos observar que la velocidad de la infiltración es constante, así presentando una lámina acumulada de 340 mm en los 172,4 minutos tardados en vaciarse el contenido de agua del cilindro doble anillo.

La infiltración del suelo y su variación con el tiempo depende del estado inicial de humedad, textura, estructura y de la uniformidad del perfil del suelo (García J, Sosa F, Fernandez J, 2010). Generalmente la infiltración es alta al inicio del proceso, cuando el suelo está seco y luego desciende hasta alcanzar un valor constante cuando inicia la saturación.

También hay que señalar que, el suelo de esta zona presenta una textura franco limo-arenoso (CESA, 2011), la misma que posee un moderado grado de infiltración por presentar un alto porcentaje de macro-porosidad en este tipo de suelo según la cátedra de Geología y Mineralogía ESPOCH (Oñate , 2005).

De acuerdo a esta dinámica que se presenta en el gráfico 13, el suelo de Atapo Culebrillas, tiene buena capacidad de infiltración y es mayor a la velocidad de aporte del flujo según (Gurovich, 1998), estas características presentan los suelos franco limo-arenosos y que son moderadamente permeables.

Según el gráfico 13, podemos decir que la velocidad de infiltración que presenta este suelo se reduce notablemente en comparación de las dos anteriores con 84,90 mm/hr en promedio y a la vez en promedio se infiltra 1,4 mm por cada minuto.

		Lectura de escala	Lámina		Infiltración	
Tiempo acumulado minutos	Intervalo de tiempo entre lectura (min)	Nivel del agua. (cm)	Lámina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración instantánea	
A	B= (Ai+1 - Ai)	C	E= (Ci+1 - Ci) ó (Ci+1 - Di)	F=Fi-1+Ei	G = Ei/Bi	H = G*60
0		35,00	0,00	0,00		
2,48	2,48	34,00	10,00	10,00	4,032	241,9
6,38	3,9	33,00	10,00	20,00	2,564	153,8
10,13	3,75	32,00	10,00	30,00	2,667	160,0
14,17	4,04	31,00	10,00	40,00	2,475	148,5
19,04	4,87	30,00	10,00	50,00	2,053	123,2
23,32	4,28	29,00	10,00	60,00	2,336	140,2
29,12	5,8	28,00	10,00	70,00	1,724	103,4
33,30	4,18	27,00	10,00	80,00	2,392	143,5
40,20	6,9	26,00	10,00	90,00	1,449	87,0
45,00	4,8	25,00	10,00	100,00	2,083	125,0
49,32	4,32	24,00	10,00	110,00	2,315	138,9
53,51	4,19	23,00	10,00	120,00	2,387	143,2
78,46	4,88	18,00	10,00	170,00	2,049	123,0
83,51	5,05	17,00	10,00	180,00	1,980	118,8
94,30	5,28	15,00	10,00	200,00	1,894	113,6
99,15	4,85	14,00	10,00	210,00	2,062	123,7
105,10	5,95	13,00	10,00	220,00	1,681	100,8
110,40	5,3	12,00	10,00	230,00	1,887	113,2
115,38	4,98	11,00	10,00	240,00	2,008	120,5
121,57	6,19	10,00	10,00	250,00	1,616	96,9
126,24	4,67	9,00	10,00	260,00	2,141	128,5
132,44	6,2	8,00	10,00	270,00	1,613	96,8
137,46	5,02	7,00	10,00	280,00	1,992	119,5
142,56	5,1	6,00	10,00	290,00	1,961	117,6
147,24	4,68	5,00	10,00	300,00	2,137	128,2
152,26	5,02	4,00	10,00	310,00	1,992	119,5
157,21	4,95	3,00	10,00	320,00	2,020	121,2
164,02	6,81	2,00	10,00	330,00	1,468	88,1
171,50	7,48	1,00	10,00	340,00	1,337	80,2

r2 =	0.996816974	0.99903057	
Intercepto=	0.690964203	1.70190316	
Pendiente=	0.79122635	0.75684988	
Y Log LAM	X Log T	Valores Estimados	
		Lámina (mm)	Velocidad (mm/hr)
		0.0000	
1.0000	0.3945	9.7587	189.6202
1.3010	0.8048	20.8438	157.4346
1.4771	1.0056	30.2161	143.7386
1.6021	1.1514	39.5645	134.5486
1.6990	1.2797	50.1587	126.9472
1.7782	1.3677	59.0299	121.9797
1.8451	1.4642	70.5579	116.7610
1.9031	1.5224	78.5834	113.7183
1.9542	1.6042	91.4141	109.5799
2.0000	1.6532	100.0821	107.1736
2.0414	1.6930	107.7283	105.2569
2.2041	1.8668	148.5475	97.2858
2.2304	1.8946	156.4097	96.0637
2.2553	1.9217	164.4451	94.8913
2.2788	1.9495	173.1042	93.7052
2.3010	1.9745	181.3032	92.6483
2.3222	1.9963	188.7551	91.7381
2.3424	2.0216	197.8000	90.6916
2.3617	2.0430	205.7721	89.8175
2.4150	2.1012	229.1668	87.4779
2.4314	2.1220	238.1633	86.6562
2.4472	2.1382	245.3869	86.0238
2.4624	2.1540	252.6726	85.4091
2.4771	2.1680	259.3133	84.8678
2.4914	2.1826	266.3904	84.3095
2.5051	2.1965	273.3239	83.7802
2.5185	2.2149	282.7931	83.0837
2.5315	2.2343	293.1052	82.3575

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

a. **Infiltración, lámina vs tiempo**

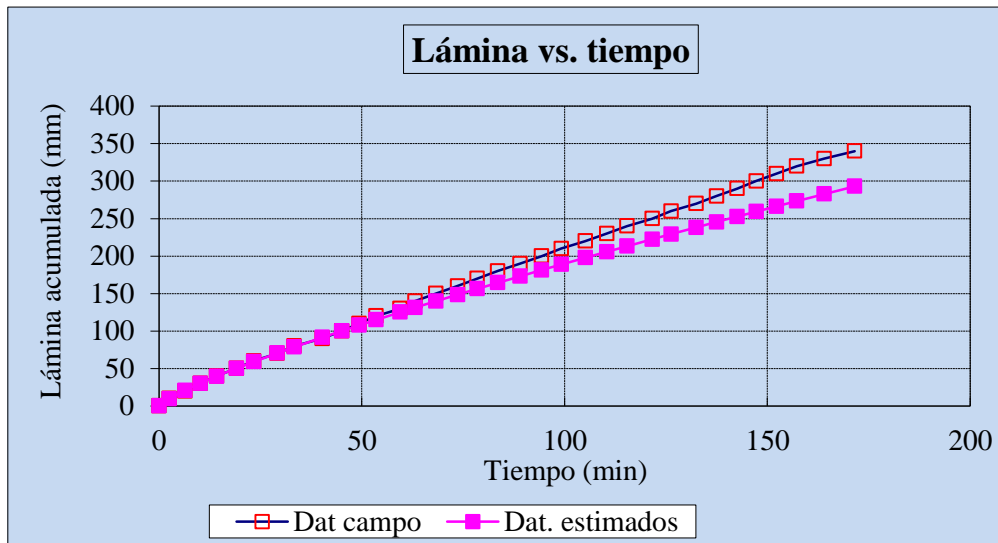


Gráfico 15. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

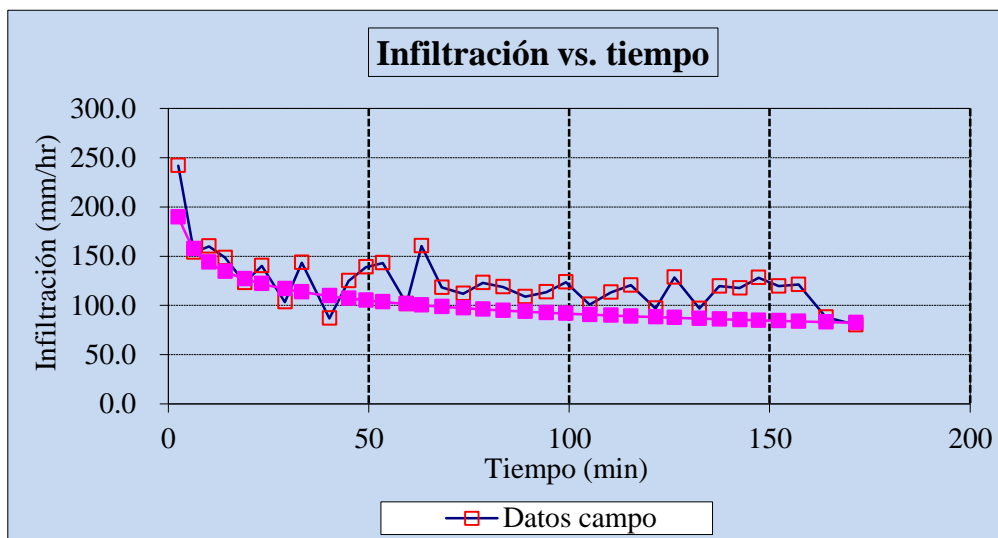


Gráfico 16. Curvas de infiltración vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

b. **Lámina infiltrada (LAM)**

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

Donde:

LAM = Lámina acumulada infiltrada en el suelo (mm).

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

T = Tiempo de infiltración (min).

c. Velocidad de infiltración instantánea (Vii)

$V_{ii} = d/dt (LAM) = d/dt (K' * T^{n'})$ (mm/min, min).

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

Donde:

V_{ii} = 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. ($-1 \leq n' \leq 0$).

T = Tiempo de infiltración (min).

d. Linealización de la ecuación

$LAM = K' * T^{n'}$ (mm, min)

Como la ecuación de lámina es una Ec. De potencia se necesita linealizar la Ec. Aplicando logaritmos a ambos lados de la Ec., y así mediante el criterio de mínimos cuadrados, hallar el valor de K' y n' .

$\text{Log } LAM = \text{Log } K' * T^{n'}$

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

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

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

$Y = b + m * X$

Donde

$Y = \text{Log } LAM$

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

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

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

e. Cálculo de LAS Ec. de lámina e infiltración

$$Y = b + m * X$$

Las constantes son:

Número de datos (n)= 35	Ctes de la Ec. de Lámina
$b = 0.67259$	$K' = 10^b = 4.7053$
$m = 0.80314$	$n' = m = 0.80314$
Coefficiente de correlación (r)	$r = 0.9994$

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

$$\text{LAM} = 4.7053 * T^{0.80314} \quad \text{LAM (mm), T (min.)}$$

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

$$V_{ii} = 3.7791 * T^{-0.1969} \quad V_{ii} \text{ (mm/min), T (min.)}$$

$$V_{ii} = 226.74 * T^{-0.1969} \quad V_{ii} \text{ (mm/hr), T (min.)}$$

f. Velocidad de infiltración básica (Vib)

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

$$T \geq -10 * (n'-1) = 2.0877365 \text{ hr} = 125.3 \text{ min}$$

Reemplazando este tiempo en la ecuación de infiltración tenemos:

$$V_{ib} = (119) \text{ min} = 1.4750 \text{ mm/min} = 88.50 \text{ mm/hr}$$

De acuerdo al gráfico 14, los resultados de la velocidad de infiltración en el sector Atapo Santa Cruz, podemos observar que la velocidad de la infiltración es constante, pero se demora un poco más en cuanto al tiempo, presentando una lámina de infiltración acumulada de 340 mm en los 171,5 minutos tardados en vaciarse el contenido de agua del cilindro doble anillo.

La infiltración del suelo y su variación con el tiempo depende del estado inicial de humedad, textura, estructura y de la uniformidad del perfil del suelo (García J, Sosa F, Fernandez J, 2010). Generalmente la infiltración es alta al inicio del proceso, cuando el suelo está seco y luego decrece hasta alcanzar un valor constante.

También hay que señalar que, el suelo de esta zona presenta una textura franco limo-arenoso (CESA, 2011), la misma que posee un moderado grado de infiltración por presentar un alto porcentaje de macro-porosidad en este tipo de suelo según la cátedra de Geología y Mineralogía ESPOCH (Oñate , 2005).

De acuerdo a esta dinámica que se presenta en el gráfico 15, el suelo de Atapo Santa Cruz, tiene una buena capacidad de infiltración y es mayor a la velocidad de aporte del flujo según (Gurovich, 1998), estas características presentan los suelos franco limo-arenosos y que son moderadamente permeables.

Según el gráfico 15, podemos decir que la velocidad de infiltración que presenta este suelo se reduce notable mente en comparación de las dos anteriores con 88,50 mm/hr en promedio y a la vez en promedio se infiltra 1,47 mm por cada minuto.

9. Infiltración de A Quilluturo y A Quichalan (3750- 4280 msnm)

Cuadro 80. Cálculo de infiltración de suelos de Atapo Quilluturo.

		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= (Ai+1-Ai)	C	E= (Ci+1 - Ci) ó (Ci+1 - Di)	F=Fi-1+Ei	G = Ei/Bi	H = G*60
0		35	0,00	0,00		
13,13	13,13	34	10,00	10,00	0,762	45,7
29,43	16,3	33	10,00	20,00	0,613	36,8
45,33	15,9	32	10,00	30,00	0,629	37,7
67,19	21,86	31	10,00	40,00	0,457	27,4
107,02	39,83	30	10,00	50,00	0,251	15,1
152,34	45,32	29	10,00	60,00	0,221	13,2
207,35	55,01	28	10,00	70,00	0,182	10,9
280,44	73,09	27	10,00	80,00	0,137	8,2
345,23	64,79	26	10,00	90,00	0,154	9,3

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

r2 =	0.996816974	0.99903057
Intercepto=	0.690964203	1.70190316
Pendiente=	0.79122635	0.75684988
Y Log LAM	X Log T	Valores Estimados
		Lamina Velocidad
		(mm) (mm/hr)
		0.0000
1.0000	1.2338	11.9673
1.3010	1.4688	18.4264
1.4771	1.6564	26.0047
1.6021	1.8273	35.5929
1.6990	2.0295	51.5931
1.7782	2.1828	68.3740
1.8451	2.3167	87.4323
1.9031	2.4478	111.2387
1.9542	2.5381	131.2947

a. **Infiltración, lámina vs tiempo**

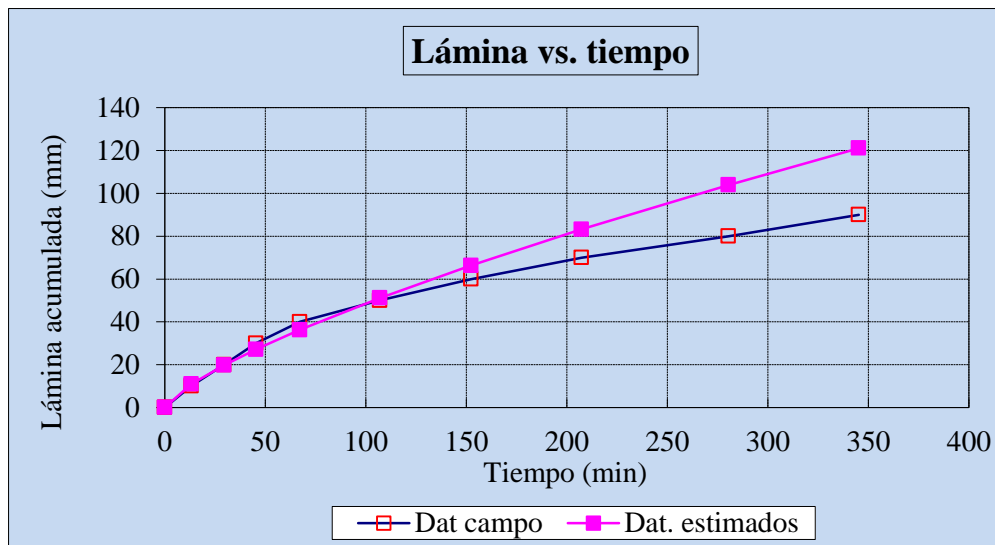


Gráfico 17. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

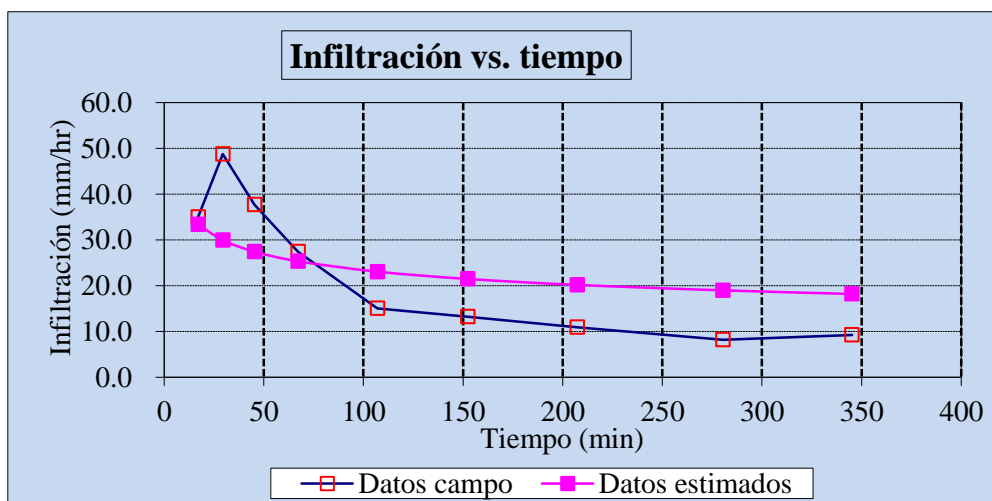


Gráfico 18. Curvas de infiltración vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

b. **Lámina infiltrada (LAM)**

$$LAM = K' \cdot T^{n'}$$

(mm, min)

Donde:

LAM = Lámina acumulada infiltrada en el suelo (mm).

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

T = Tiempo de infiltración (min).

c. Velocidad de infiltración instantánea (Vii)

$V_{ii} = d/dt (LAM) = d/dt (K' * T^{n'})$ (mm/min, min).

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

Donde:

V_{ii} = 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. ($-1 \leq n' \leq 0$).

T = Tiempo de infiltración (min).

d. Linealización de la ecuación

$LAM = K' * T^{n'}$ (mm, min)

Como la ecuación de lámina es una Ec. De potencia se necesita linealizar la Ec. Aplicando logaritmos a ambos lados de la Ec., y así mediante el criterio de mínimos cuadrados, hallar el valor de K' y n' .

$\text{Log } LAM = \text{Log } K' * T^{n'}$

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

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

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

$Y = b + m * X$

Donde

$Y = \text{Log } LAM$

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

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

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

e. Cálculo de las Ec. de lámina e infiltración

$$Y = b + m * X$$

Las constantes son:

Número de datos (n)= 10	Ctes de la Ec. de Lámina
$b = 0.09404$	$K' = 10^b = 1.2418$
$m = 0.79752$	$n' = m = 0.79752$
Coefficiente de correlación (r)	$r = 0.9790$

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

$$LAM = 1.2418 * T^{0.79752} \quad LAM \text{ (mm), } T \text{ (min.)}$$

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

$$Vii = 0.9903 * T^{-0.2025} \quad Vii \text{ (mm/min), } T \text{ (min.)}$$

$$Vii = 59.42 * T^{-0.2025} \quad Vii \text{ (mm/hr), } T \text{ (min.)}$$

f. Velocidad de infiltración básica (Vib)

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

$$T \geq -10 * (n'-1) = 2.0247543 \text{ hr} = 121.5 \text{ min}$$

Remplazando este tiempo en la ecuación de infiltración tenemos:

$$Vib = (122) \text{ min} = 0.3744 \text{ mm/min} = 22.46 \text{ mm/hr}$$

De acuerdo al gráfico 16, los resultados de la velocidad de infiltración de los suelos en el sector Atapo Quilluturo, podemos observar que la velocidad de la infiltración disminuye significativamente en esta zona, así presentando una lámina acumulada de 90 mm en los 345,23 minutos que tardó en vaciarse el contenido de agua del cilindro doble anillo.

La infiltración del suelo y la variación con lo que refiere al tiempo depende del estado inicial de humedad, textura, estructura y de la uniformidad del perfil del suelo (García J, Sosa F, Fernandez J, (2010). Generalmente la infiltración es alta al inicio del proceso, cuando el suelo está seco y luego decrece hasta alcanzar la saturación el valor constante luego desciende la velocidad de infiltración.

También hay que señalar que, el suelo de esta zona presenta una textura franco arcilloso-limoso, la misma que posee un bajo poder de infiltración por presentar un alto porcentaje de microporos que se saturan rápidamente al aplicar agua en este tipo de suelo según la cátedra de Geología y Mineralogía ESPOCH (Oñate , 2005).

Según el gráfico 17, podemos decir que la velocidad de infiltración que presenta este suelo se reduce notablemente en comparación de las dos anteriores con 22,46 mm/hr en promedio y a la vez en promedio se infiltra 0,37 mm en 1 minuto.

De acuerdo a esta dinámica que se presenta en el gráfico 16 y 17, el suelo de Atapo Quilluturo, tiene una baja velocidad de infiltración en relación a la velocidad de aporte del flujo según (Gurovich, 1998), estas características presentan los suelos de textura franco arcilla-limoso y que no son buenos en cuanto a la permeabilidad.

Cuadro 81. Cálculo de infiltración en los suelos de Atapo Quichalán.

		Lectura de escala	Lámina		Infiltración	
Tiempo acumulado minutos	Intervalo de tiempo entre lectura (min)	Nivel del agua. (cm)	Lámina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	Lámina acumulada (mm)	Velocidad de infiltración instantánea	
					(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (Ai+1-Ai)	C	E= (Ci+1 - Ci) ó (Ci+1 - Di)	F=Fi-1+Ei	G = Ei/Bi	H = G*60
0		35,00	0,00	0,00		
18,33	18,33	34,00	10,00	10,00	0,546	32,7
32,34	14,01	33,00	10,00	20,00	0,714	42,8
45,13	12,79	32,00	10,00	30,00	0,782	46,9
77,10	31,97	31,00	10,00	40,00	0,313	18,8
114,12	37,02	30,00	10,00	50,00	0,270	16,2
162,32	48,2	29,00	10,00	60,00	0,207	12,4
210,35	48,03	28,00	10,00	70,00	0,208	12,5
280,44	70,09	27,00	10,00	80,00	0,143	8,6
355,23	74,79	26,00	10,00	90,00	0,134	8,0

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

r2 =	0.996816974	0.99903057
Intercepto=	0.690964203	1.70190316
Pendiente=	0.79122635	0.75684988
Y Log LAM	X Log T	Valores Estimados
		Lámina Velocidad
		(mm) (mm/hr)
		0.0000
1.0000	1.2632	11.9900
1.3010	1.5097	18.8188
1.4771	1.6545	24.5188
1.6021	1.8871	37.5117
1.6990	2.0574	51.2136
1.7782	2.2104	67.7439
1.8451	2.3229	83.2238
1.9031	2.4478	104.5711
1.9542	2.5505	126.1618

a. **Infiltración, lámina vs tiempo**

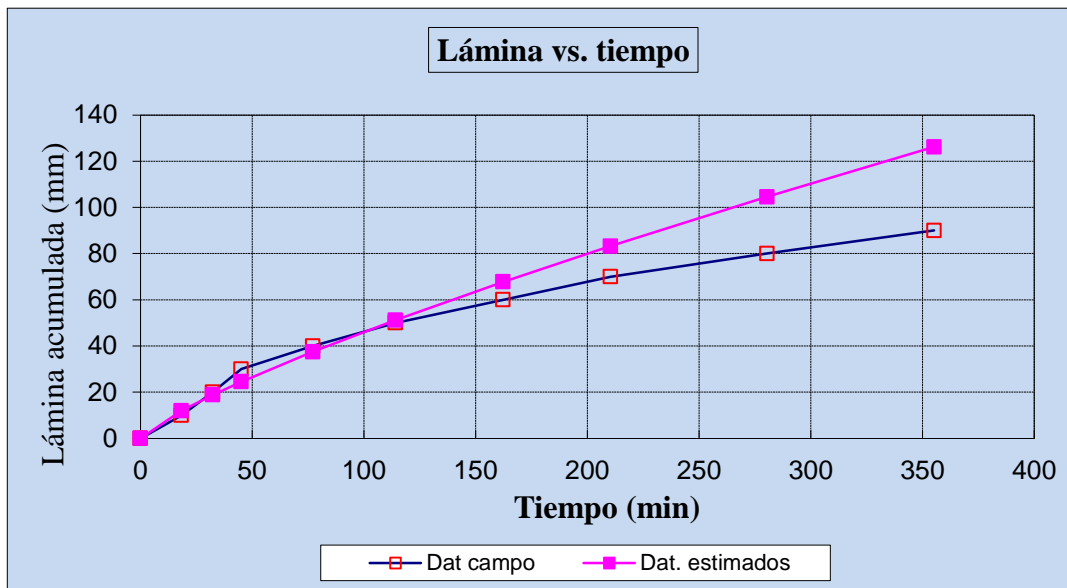


Gráfico 19. Curvas de infiltración, lámina vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

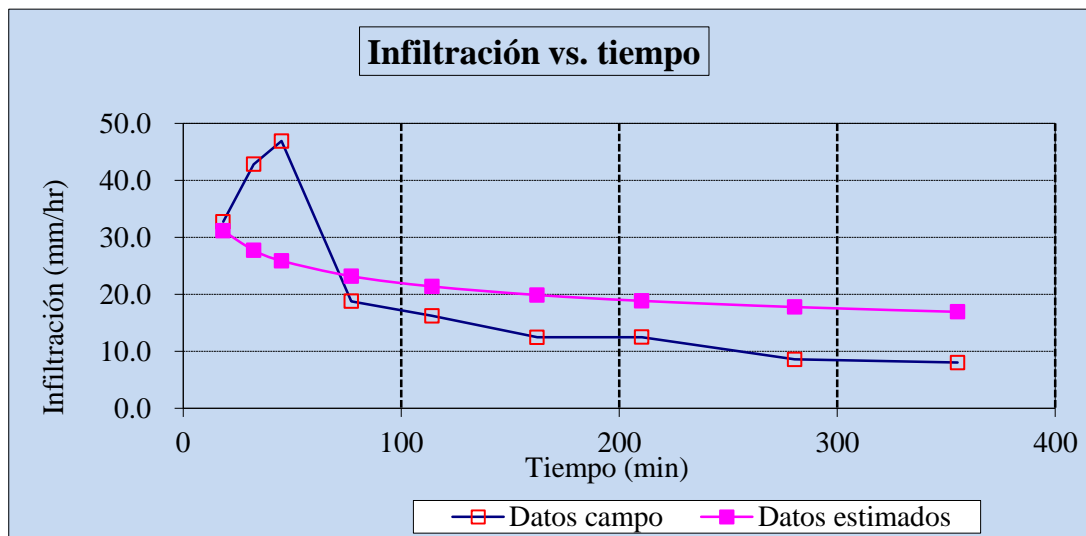


Gráfico 20. Curvas de infiltración vs tiempo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

b. **Lámina infiltrada (LAM)**

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

Donde:

LAM = Lámina acumulada infiltrada en el suelo (mm).

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

T = Tiempo de infiltración (min).

c. Velocidad de infiltración instantánea (V_{ii})

$V_{ii} = d/dt (LAM) = d/dt (K' * T^{n'})$ (mm/min, min).

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

Donde:

V_{ii} = 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. ($-1 \leq n' \leq 0$).

T = Tiempo de infiltración (min).

d. Linealización de la ecuación

$LAM = K' * T^{n'}$ (mm, min)

Como la ecuación de lámina es una Ec. De potencia se necesita linealizar la Ec. Aplicando logaritmos a ambos lados de la Ec., y así mediante el criterio de mínimos cuadrados, hallar el valor de K' y n' .

$\text{Log } LAM = \text{Log } K' * T^{n'}$

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

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

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

$Y = b + m * X$

Donde

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

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

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

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

e. Cálculo de las Ec. de lámina e infiltración

$$Y = b + m * X$$

Las constantes son:

Número de datos (n)= 10	Ctes de la Ec. de Lámina
b = 0.07591	K' = 10 ^b = 1.1910
m = 0.79397	n' = m = 0.79397
Coefficiente de correlación (r)	r = 0.9777

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

$$\text{LAM} = 1.1910 * T^{0.79397} \quad \text{LAM (mm), T (min).}$$

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

$$V_{ii} = 0.9456 * T^{-0.2060} \quad V_{ii} \text{ (mm/min), T (min).}$$

$$V_{ii} = 56.74 * T^{-0.2060} \quad V_{ii} \text{ (mm/hr), T (min).}$$

f. Velocidad de infiltración básica (Vib)

Según el S.C.S. la infiltración básica se logra cuando el tiempo T en horas es mayor o igual a $-10^{(n'-1)}$. ($T \geq -10^{(n'-1)}$)

$$T \geq -10^{(n'-1)} = 2.0603408 \text{ hr} = 125.3 \text{ min}$$

Remplazando este tiempo en la ecuación de infiltración tenemos:

$$V_{ib} = (124) \text{ min} = 0.3503 \text{ mm/min} = 21.02 \text{ mm/hr}$$

De acuerdo al gráfico 18, los resultados de la velocidad de infiltración de los suelos en el sector Atapo Quichalán, se observa que la velocidad de la disminuye significativamente, así presentando una lámina infiltración acumulada de 90 mm en los 355,23 minutos que tardó en vaciarse el contenido de agua del cilindro doble anillo.

La infiltración del suelo y su variación con el tiempo depende del estado inicial de humedad, textura, estructura y de la uniformidad del perfil del suelo (García J, Sosa F, Fernandez J, 2010). Generalmente la infiltración es alta al inicio del proceso, cuando el suelo está seco y luego desciende hasta alcanzar un valor constante.

También hay que señalar que, el suelo de esta zona presenta una textura franco arcilloso-limoso, la misma que posee un bajo poder de infiltración por presentar un alto porcentaje de microporos que se saturan rápidamente al aplicar agua en este tipo de suelo según la cátedra de Geología y Mineralogía ESPOCH (Oñate M, 2005).

Según el gráfico 19, podemos decir que la velocidad de infiltración que presenta este suelo se reduce notablemente en comparación de las dos anteriores con 21,02 mm/hr en promedio y a la vez en promedio se infiltra 0,35 mm en 1 minuto.

De acuerdo a esta dinámica que se presenta en el gráfico 18 y 19 el suelo de Atapo Quichalán, tiene una baja velocidad de infiltración en relación a la velocidad de aporte del flujo según (Gurovich, 1985), estas características presentan los suelos de textura franco arcilla-limoso y que no son buenos en cuanto a la permeabilidad.

Según (Landon , 2006), interpreta en 7 clases de acuerdo a la velocidad de infiltración y evalúa en seis rangos de velocidad, así tendremos el siguiente cuadro.

Cuadro 82. Velocidad de infiltración.

Clasificación de la conductividad hídrica			
Sector	Velocidad de infiltración (mm/hr)	Clase	Evaluación
San Carlos de Tipin	128,71	6	Rápido. Marginal para riego de superficie
Palmira Dávalos	140,85	6	Rápido. Marginal para riego de superficie
Atapo Culibrillas	84,9	5	Moderadamente rápido. Demasiado

			rápido para riego de superficie, produce pérdida de nutrientes por lavado. Baja eficiencia de riego.
Atapo Santa Cruz	88,6	5	Moderadamente rápido. Demasiado rápido para riego de superficie, produce pérdida de nutrientes por lavado. Baja eficiencia de riego.
Atapo Quilloturo	22,46	4	Moderada. Adecuado para riego por superficie
Atapo Quichalán	21,02	4	Moderada. Adecuado para riego por superficie

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

Según el cuadro 82, la microcuenca del río Atapo presenta suelos que por su velocidad de infiltración se ubican entre los rangos: rápido en la parte baja (2800 -3300 msnm), moderadamente rápido en la parte media (3300 – 3750 msnm) y moderado en la parte alta (3750 -4280 msnm).

De acuerdo a estos datos es evidente que los suelos de la parte baja y un poco de la parte de la media de la microcuenca del río Atapo no tiene la suficiente capacidad para retener la humedad, por ende requieren un mayor abastecimiento hídrico (riego-precipitación) para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

10. Escorrentía

La relación existente entre el régimen de precipitaciones y los volúmenes de agua disponibles en ríos y arroyos ha suscitado siempre enorme interés. El conocimiento de los flujos superficiales y subterráneos de agua es objeto sistemático de estudio en disciplinas tales como la Hidrología de superficie y la Hidrogeología. Dicho conocimiento tiene gran repercusión en el manejo y gestión de aguas, utilizando la cuenca hidrográfica como unidad. (Blanco A, 2004)

Se denomina escorrentía superficial al agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces. La escorrentía superficial está en función de las características topográficas, climáticas y de vegetación de la microcuenca y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca hidrográfica (García, W, 2005).

a. Topografía de la microcuenca del río Atapo

Según (CESA 2011), la microcuenca presenta las siguientes particularidades de acuerdo a su topografía, ver anexo 12.

Cuadro 83. Tipos de pendientes presentes en la microcuenca.

Pendientes	%	Superficie (ha)
Pendiente suave regular	<12	1442,92
Pendiente regular o irregular	12 – 25	3594,52
Pendientes fuertes	25 – 50	4680,82
Pendientes muy fuertes	>50	4566,62

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 83, indica la irregularidad de la pendiente que presenta la microcuenca del río Atapo, en cuanto a su relieve es muy irregular (CESA, 2011), característica de las zonas de la región andina, presenta porcentaje de pendiente desde menor al 12 % y mayores al 50 %, la mayor cantidad de superficie, es decir 9247,44 ha se encuentra entre pendientes del 25% a mayores al 50 %, es decir que la microcuenca presenta pendientes fuertes a muy fuertes, esto permite a que exista mayor cantidad de escorrentía superficial y a la vez favorece a la erosión hídrica, más aún si estas tierras son labradas con el empleo de maquinaria agrícola lo que permiten que exista un mayor grado de erosión hídrica y eólica (INAMHI, 2010).

b. Escorrentía de la microcuenca

Otro aspecto importante que ha acaparado la atención de los investigadores, ha sido el papel que representaban los tipos de cubiertas vegetales en la dinámica hídrica de una cuenca. Resultaba evidente que un terreno correctamente vegetado poseía tasas mayores de infiltración y menores de escorrentía superficial. Autores como Molchanov en Tellerman, Brasov en Kamennaya y Agapova en Derkul (López y Mintegui, 1986), demostraron que la relación entre el coeficiente de escorrentía y el porcentaje de área forestal de una cuenca se asemeja a una hipérbola descendente. Según estos autores, la escorrentía superficial en terrenos forestales podría representar el 1 % de la

precipitación total anual, mientras que en terrenos agrícolas análogos, podría ser del orden del 30 % de la precipitación, y en terrenos no cultivados, del orden del 50 %. (Blanco A, 2004).

El cálculo de la escorrentía producida a partir de un aguacero viene condicionado por cuatro grupos de factores: meteorológicos, geográficos, hidrogeológicos y biológicos, de manera que lo que se calcula generalmente es el tanto por ciento de la lluvia caída que se transforma en escorrentía superficial. Se denomina coeficiente de escorrentía a la proporción de precipitación que pasará a formar parte de la escorrentía superficial (lluvia neta) con respecto a la precipitación total. Se puede calcular la escorrentía de manera directa, sin calcular el coeficiente de escorrentía (Elena, 2010).

Como ya se dijo anteriormente, la escorrentía expresa la relación existente entre la escorrentía superficial o precipitación neta y la precipitación total. Una vez conocido este coeficiente, la escorrentía se calcula multiplicando dicho valor por la precipitación total.

El coeficiente medio durante un intervalo de tiempo se define como el cociente entre la lluvia neta y la lluvia total caída durante dicho intervalo de tiempo: donde P_n es la escorrentía superficial y P es la precipitación total. El coeficiente de escorrentía en un determinado instante depende de factores tales como la evaporación, humedad inicial del suelo, intensidad y duración del aguacero, pendiente del terreno.

Los factores meteorológicos fundamentales son las precipitaciones y la temperatura. La duración, intensidad, frecuencia, tipo y extensión de las precipitaciones tienen un papel muy importante. La temperatura es representativa de las pérdidas de evaporación.

Los factores geográficos son la localización geográfica de la cuenca y su morfología. La localización geográfica comprende la latitud, longitud y altitud. La morfología, las pendientes de la cuenca, la importancia de las superficies de agua libre, el perfil de los cursos de agua.

Los factores hidrogeológicos comprenden fundamentalmente la permeabilidad de los terrenos y la profundidad de las capas freáticas. Los factores biológicos comprenden fundamentalmente la cubierta vegetal y la acción humana.

Para determinar la erosión del suelo se utilizó la muestra de sedimento que se recoge en la funda plástica al momento de realizar la prueba de escurrimiento, luego la muestra es llevada al laboratorio para ser secado en la estufa por 24 horas a 105° C, y se cuantifica la cantidad de suelo con la utilización de una balanza eléctrica. Ver anexo 13.

El cuadro 84, indica que al realizar la prueba de escorrentía, simulando una precipitación, utilizando 10 litros (10000 mm) de agua en una superficie de 0,50 m², se obtuvo como resultado una escurrimiento hídrico de 39644551.5 m³/sup, a la vez una erosión hídrica de 333961,29 Tm/sup en toda la superficie de la microcuenca; con estas cifras se nota que la microcuenca presenta un alto porcentaje de escurrimiento a la vez erosión hídrica.

De acuerdo a las condiciones topográficas y la irregularidad del terreno, de las 14284,88 ha que posee la microcuenca, 9247,44 ha se encuentra en pendientes fuertes a muy fuertes (CESA 2011), Chimborazo es una de las provincias con mayor incidencia de erosión con el 4% del 15% del superficie nacional que se encuentra en erosión activa y muy activa (Jiménez S, 2011), la microcuenca del río Atapo se encuentra en la zona de incidencia activos potenciales de alto riesgo, según se puede observar, otro factor que favorece a que se de estas cifras es el avance de la frontera agrícola, que año tras año reduce la superficie cubierta por la vegetación (páramo).

Las pruebas de escorrentía se realizaron en suelos cultivados, suelos en descanso (barbecho) y con cobertura vegetal (páramo), en las distintas pendientes que presenta la microcuenca, las mismas que detalladas en el cuadro 80.

Cuadro 84. Escorrentía e infiltración para la precipitación registrada durante el estudio.

Detalle	Superficie (ha)	Precipitación (mm)	Escorrentía (m³/sup)	Infiltración (m³/sup)	Erosión hídrica (Tm/sup)
Volumen	14284,28	764,33	46086,44	61570,21	2661,75

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

La microcuenca presentó una precipitación promedio de 764,33 mm/año durante el tiempo de estudio, por lo tanto el resultado del cuadro 84, por tanto para calcular la escorrentía, infiltración y erosión hídrica se utilizó este valor 764,33 mm de precipitación promedio de la microcuenca, así obtenemos las siguientes valores: 46086,44 (m³/sup) de escorrentía, 61570,21 (m³/sup) de infiltración y 2661,75 (Tm/sup) de erosión del suelo, calculados respectivamente para las 14284,88 ha de superficie de la microcuenca del río Atapo.

De acuerdo a las condiciones topográficas y la irregularidad del terreno de las 14284,88 ha, las 9247,44 ha se encuentra en pendientes fuertes a muy fuertes (CESA 2011), Chimborazo es una de las provincias con mayor incidencia de erosión con el 4% del 15% del superficie nacional que se encuentra en erosión activa y muy activa (Jiménez S, 2011), la microcuenca del río Atapo se encuentra en la zona de incidencia activos potenciales de alto riesgo.

(CAMAREN, 2005). Otro factor que favorece a que se de estas cifras es el avance de la frontera agrícola, que año tras año reduce la superficie cubierta por la vegetación (páramo).

Cuadro 85. Cálculo para determinar la escorrentía e infiltración de la microcuenca del río Atapo.

Pendientes de la microcuenca del río Atapo	Preci/micro	Volumen de agua	Volum E	Volum I	Volum E	Volum I	Volum E	Volum I	Volum E	Volum I	Superfi	Volum E	Volum I	Superfi/microa	Volum total E	Volum total I
	(mm)	(mm)	(mm/m ²)	(mm/m ²)	(mm/m ²)	(mm/m ²)	(l/m ²)	(l/m ²)	(m ³ /m ²)	(m ³ /m ²)	1 ha	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	ha	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)
Suelos cultivados																
Suave regular menor 12%	746.34	10000	2559.6	7740.4	191.033	577.6970	0.191	0.5777	0.00019	0.0005777	10000	1.91033	5.777	480.773	918.436	2777.413
Regular de 12 a 25% o irregular	746.34	10000	3285.5	6714.5	245.210	501.1299	0.245	0.5011	0.00024	0.0005011	10000	2.45210	5.011	1198.173	2938.040	6004.405
Fuertes de más de 25 y menos del 50%	746.34	10000	4570.4	5446.05	341.107	406.460	0.341	0.4065	0.00034	0.0004065	10000	3.41107	4.065	1560.273	5322.205	6341.894
Muy fuertes mayores al 50%	746.34	10000	5599.65	4400.3	417.924	328.4119	0.418	0.3284	0.00041	0.0003284	10000	4.1792	3.284	1522.207	6361.671	4999.109
Suelos en barbecho																
Suave regular menor 12%	746.34	10000	2359.25	7835.575	176.080	584.800	0.176	0.5848	0.00017	0.0005848	10000	1.7608	5.848	480.773	846.546	2811.563
Regular de 12 a 25% o irregular	746.34	10000	3301.25	6683.75	246.385	498.83	0.246	0.4988	0.00024	0.0004988	10000	2.4638	4.988	1198.173	2952.125	5976.907
Fuertes de más de 25 y menos del 50%	746.34	10000	4850.6	5134.4	362.020	383.2008	0.362	0.3832	0.00036	0.0003832	10000	3.6201	3.832	1560.273	5648.496	5978.980
Muy fuertes mayores al 50%	746.34	10000	5782.25	4197.75	431.552	313.2948	0.432	0.3133	0.00043	0.0003133	10000	4.3155	3.133	1522.207	6569.120	4768.995
Páramo																
Suave regular menor 12%	746.34	10000	2940	7060	219.424	526.9160	0.219	0.5269	0.00021	0.000526	10000	2.1942	5.269	480.773	1054.931	2533.271
Regular de 12 a 25% o irregular	746.34	10000	3980	6720	297.043	501.5404	0.297	0.5015	0.00029	0.000501	10000	2.9704	5.015	1198.173	3559.093	6009.324
Fuertes de más de 25 y menos del 50%	746.34	10000	4120	5880	307.492	438.8479	0.307	0.4388	0.00030	0.000438	10000	3.0749	4.388	1560.273	4797.716	6847.227
Muy fuertes mayores al 50%	746.34	10000	4505	5740	336.226	428.399	0.336	0.4284	0.00033	0.000428	10000	3.3622	4.284	1522.207	5118.057	6521.120
TOTAL															46086.44	61570.21

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

11. Erosión hídrica de la microcuenca

En la actualidad la erosión se singulariza por tener un papel de primer orden en la degradación de los recursos naturales renovables. Por ejemplo, en el callejón interandino, la erosión se ha convertido, desgraciadamente, en uno de los componentes principales del paisaje. Es corriente observar la yuxtaposición de paisajes distintos cuyo factor común está compuesto por las huellas de la erosión: paisajes abandonados por desaparición de la capa arable, paisajes cultivados en curso de erosión por aclaramiento de los colores del suelo y formación de surcos y quebradillas, paisajes verdes de los pastos que a pesar de una buena protección vegetal se encuentran ya bien marcados por el sobrepisoteo de los animales (García, W, 2005).

Cuadro 86. Resumen del cálculo de erosión.

Pendientes	Bandeja (m²)	Agua (mm)	V sedimento (mm/m²)	Erosión (Tm/h)	Superficie (ha)	Erosión total (Tm/sup)
Suave regular menor 12%	0,5	10000	201.33	1.9815	1442,9	71.09
Regular de 12 a 25% o irregular	0,5	10000	407.30	4.0087	3594,5	358.45
Fuertes >25 <50%	0,5	10000	857.85	8.4430	4680,8	983.13
Muy fuertes >50%	0,5	10000	1117.15	10.995	4566,6	1248.06
TOTAL						2661.75

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 86, indica los resultados que se obtuvieron de la prueba que se realizó para determinar la escorrentía y el arrastre del sedimento que se produjo junto con el agua de escorrentía, esto se hizo con el fin de realizar su respectivo análisis y cálculo de los volúmenes de escorrentía y erosión hídrica del suelo, lo que sirvió de referencia para determinar la escorrentía real de la microcuenca con la precipitación registrada durante el tiempo de estudio.

De acuerdo a Morgan (1986), las pérdidas tolerables de suelo están alrededor de 11000 Kg/ha, dado que se ha aceptado la proximidad de dicho valor a la tasa máxima de desarrollo del horizonte A bajo condiciones óptimas. Los niveles tolerables de pérdida de suelo bajo criterios económicos y ecológicos oscilan entre 200 y 500 Kg /ha al año para zonas montañosas con suelos superficiales (León. 2009).

La erosión hídrica del suelo está directamente relacionada a los factores que intervienen en la dinámica de la escorrentía como son: la cobertura vegetal, la irregularidad topográfica la intensidad y el periodo de la lluvia y la actividad agrícola, estos factores intervienen de forma directa en el proceso de escorrentía a la vez en la erosión

De acuerdo al valor que presenta la erosión hídrica de la microcuenca en este trabajo en referencia a los valores citados de erosión en la región interandina está dentro de los rangos considerados normales (Elena, 2010).

El formato utilizado para realizar los respectivos cálculos de infiltración, escorrentía y erosión del suelo se detallan a continuación.

Cuadro 87. Cálculo de la erosión hídrica del suelo de la microcuenca del río Atapo.

Microcuenca Atapo	Super de bandeja	Agua utiliza	E de bandeja	Agua E en probeta	Volumen de la erosión del suelo (Estufa)			Agua E	E total	Agua E m ²	Agua I	Determinación de la erosión del suelo de la microcuenca del río Atapo									
					Agua+sedimento (mm)	PSH (g)	PSS (g)					PSH-PSS (g)	(mm)	(mm)	(mm)	J*K (mm)	(mm)	Eros (g)	ha	Erosión (g/ha)	l Tm = g
Suelo cultivado	(m ²)	Volum (mm)	Volum (mm)	Agua+sedimento (mm)	PSH (g)	PSS (g)	PSH-PSS (g)	(mm)	(mm)	1 m ²	J*K (mm)	(mm)	Eros (g)	ha	Erosión (g/ha)	l Tm = g	Erosión (tm/ha)	Superfi	Erosión Tm /Sup	V uti/V preci	Erosión (tm/ha)
Suave regular menor 12%	0.5	10000	2480	37.3	140.5	98.2	42.3	79.6	2559.6	1	2559.6	7440.4	98.2	10000	982000	1016046.9	0.9665	480.77	464.66	13.39	34.67
Regular de 12 a 25% o irregular	0.5	10000	3180	47.15	265.1	206.8	58.35	105.5	3285.5	1	3285.5	6714.5	206.8	10000	2068000	1016046.9	2.0353	1198.17	2438.68	13.39	181.99
Fuertes de más de 25 y menos del 50%	0.5	10000	4377	72	517	395.6	121.4	193.4	4570.4	1	4570.4	5429.6	395.6	10000	3956000	1016046.9	3.8935	1560.27	6074.95	13.39	453.37
Muy fuertes mayores al 50%	0.5	10000	5320	84.55	736.5	541.4	195.1	279.65	5599.6	1	5599.6	4400.3	541.4	10000	5414000	1016046.9	5.3285	1522.20	8111.06	13.39	605.32
Suelo en barbecho																					
Suave regular menor 12%	0.5	10000	2275	40.05	147.5	103.1	44.375	84.425	2359.4	1	2359.4	7640.5	103.1	10000	1031250	1016046.9	1.0150	480.77	487.96	13.39	36.417
Regular de 12 a 25% o irregular	0.5	10000	3160	68.1	273.6	200.5	73.15	141.25	3301.2	1	3301.2	6698.7	200.5	10000	2005000	1016046.9	1.9733	1198.17	2364.39	13.39	176.45
Fuertes de más de 25 y menos del 50%	0.5	10000	4625	74.8	613.0	462.2	150.8	225.6	4850.6	1	4850.6	5149.4	462.2	10000	4622500	1016046.9	4.5495	1560.27	7098.45	13.39	529.75
Muy fuertes mayores al 50%	0.5	10000	5480	90.4	787.6	575.7	211.85	302.25	5782.2	1	5782.2	4217.7	575.7	10000	5757500	1016046.9	5.6666	1522.20	8625.68	13.39	643.73
Páramo																					
Suave regular menor 12%	0.5	10000	2940	0	0	0	0	0	2940	1	2940	7060	0	10000	0	1016046.9	0	480.77	0.000	13.39	0.000
Regular de 12 a 25% o irregular	0.5	10000	3980	0	0	0	0	0	3980	1	3980	6020	0	10000	0	1016046.9	0	1198.17	0.000	13.39	0.000
Fuertes de más de 25 y menos del 50%	0.5	10000	4120	0	0	0	0	0	4120	1	4120	5880	0	10000	0	1016046.9	0	1560.27	0.000	13.39	0.000
Muy fuertes mayores al 50%	0.5	10000	4505	0	0	0	0	0	4505	1	4505	5495	0	10000	0	1016046.9	0	1522.20	0.000	13.39	0.000
TOTAL																			35665.9		2661.7

Fuente: Levantamiento de información de Campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

12. Caudal de la microcuenca del río Atapo

a. **Medición de caudal de los ríos Quilluturo, Quichalan y Pomachaca**

El caudal aforado en la microcuenca es de 1,523 m³/s, información obtenida del estudio de campo, los aforos se realizaron en tres puntos de monitoreo, en los ríos Atapo-Quilluturo, Atapo-Quichalán y Pomachaca, ver anexo 11 y 12.

Cuadro 88. Caudal aforado en la microcuenca del río Atapo.

Meses	Caudal (Q) m³/s
Julio	1.22
Agosto	0.92
Septiembre	0.84
Octubre	1.05
Noviembre	1.45
Diciembre	1.87
Enero	2.07
Febrero	2.26
Marzo	2.35
Abril	1.98
Mayo	1.42
Junio	1.02
Promedio	1.523

Fuente: Levantamiento de información de campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

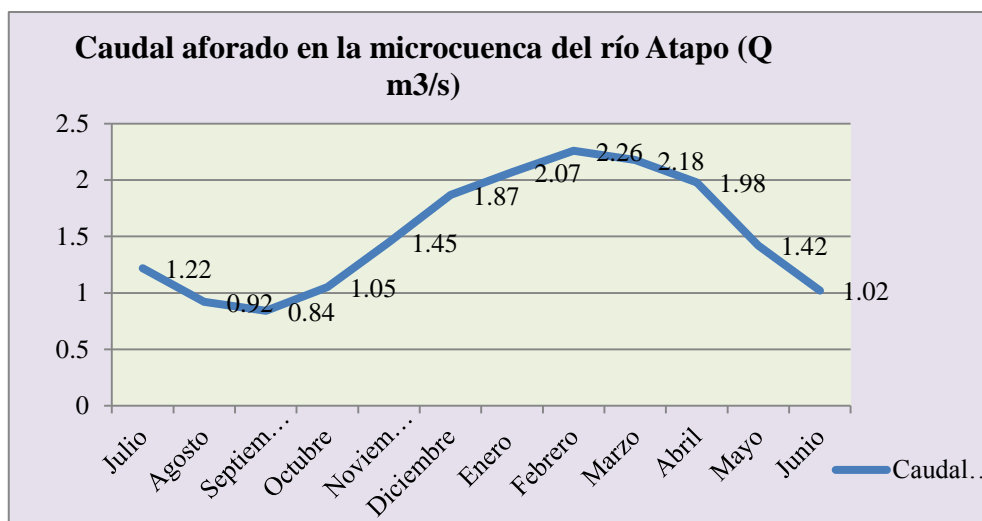


Gráfico 21. Caudal aforado en la microcuenca del río Atapo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

b. Caudal disponible de la microcuenca

El caudal aforado en la microcuenca del río Atapo es de 1,523 m³/s, información obtenida de la medición que se realizó durante el tiempo de estudio (julio 2012 - junio 2013), en los tres ríos Quilluturo, Quichalán y Pomachaca, principales puntos de monitoreo.

La información recopilada de la Secretaria Nacional de Agua (SENAGUA, 2010) sede Alausí, indica que el caudal concesionado a los diferentes usuarios y comunidades de la microcuenca es de 1,646 m³/s, a este dato se añadió los 0,153 m³/s, información recopilada del documento de inventario hídrico de la microcuenca del río Atapo realizado por (CESA, 2011), caudal adicional fue obtenida de la información en campo que no se encuentra registrado en las archivos de la SENAGUA.

Según Díaz P, (2007), es necesario realizar un ajuste, en los datos obtenidos de la SENAGUA 2010, acerca de las concesiones debido a que estos datos presentan errores como duplicación de datos, nombre de la adjudicación, coordenadas y concesiones no actualizadas. Por esto, se ajustó el valor de las concesiones hídricas multiplicándola por el factor de corrección 0.8 para determinar el caudal concesionado aproximado que da un valor de 1,317 m³/s. El caudal total es de 3,169 m³/s, y se obtiene de la suma entre el caudal aforado y los caudales concesionados de la microcuenca.

Cuadro 89. Determinación de caudal de la microcuenca del río Atapo.

Microcuenca	Q aforado (m³/s)	Q concesionado SENAGUA (m³/s)	Q concesionado ajustado fc 0,8 (m³/s)	Q total (m³/s)	Oferta neta (m³/s)
Río Atapo	1,523	1,646	1,317	3,169	1,926

Fuente: Levantamiento de información de campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

c. Cálculo de la Oferta neta

La oferta neta del caudal se determina, ajustando el caudal total más el caudal concesionado, con una reducción del 40%, avalado por la UNESCO, que representa el caudal para mantener el régimen hidrológico mínimo y sostenimiento de los ecosistemas. Con esta reducción se obtiene 1,926 m³/s como oferta neta.

d. Cálculo del índice de escasez de la oferta respecto a la demanda

Según Díaz P. 2007, el índice de escasez se determina con el caudal total y el caudal concesionado existente, se hace una relación entre las dos tomando como el 100% al caudal total y determinando el valor del caudal concesionado al porcentaje que le corresponde.

La microcuenca del Río Atapo presenta una oferta total de 3,169 m³/s con un caudal total concesionado de 1,646 m³/s.

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

Índice de escasez = (1,646 m³/s x 100)/3,169 m³/s.

Índice de escasez = 51,94%

De acuerdo al cálculo, se obtiene 51,94 % de índice de escasez, valor que supera el 50%, esto según las Naciones Unidas significa que los caudales concesionados o en uso son altos con respecto a la oferta hídrica que presenta la microcuenca, 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

hídrico de la microcuenca para prevenir la degradación de los ríos y posibles conflictos sociales (CESA, 2011) por la sobre demanda del hídrica.

De acuerdo al índice de escasez de la oferta respecto a la demanda tenemos el siguiente cuadro resumen.

Cuadro 90. Índice de escasez respecto a la oferta.

Microcuenca	Q aforado (m ³ /s)	Qc SENAGUA (m ³ /s)	Qc ajustado fc 0,8 (m ³ /s)	Q total (m ³ /s)	Índice de escasez %	Apreciación de la escasez
Río Atapo	1,523	1,646	1,317	3,169	51,94	Demanda alta /Oferta

Fuete: Levantamiento de información de campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

e. Cálculo de caudal ecológico

En el cálculo propuesta por la UNESCO el caudal ecológico corresponde al 40% de caudal total, así para determinar el caudal ecológico de la microcuenca del río Atapo se utiliza el valor del caudal total que es 3.169 m³/s, es así que se tiene el siguiente cálculo:

$$\text{Caudal ecológico} = (\text{Caudal total} \times 40) / 100$$

$$\text{Caudal ecológico} = (3,169 \times 40) / 100$$

$$\text{Caudal ecológico} = 1,27 \text{ m}^3/\text{s},$$

Caudal mínima que debe presentar el cauce principal de la microcuenca del río Atapo para mantener el régimen hidrológico mínimo y sostenimiento del ecosistema acuático.

Cuadro 91. Caudal ecológico.

Microcuenca	Oferta total (m ³ /s)	Q ecológico (m ³ /s)
Río Pomachaca	3,169	1,27

Fuete: Levantamiento de información de campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El cuadro 91, nos indica que en la microcuenca del río Atapo existe un caudal hídrico total de 3,169 m³/s, de las cuales 1,646 m³/s están concesionadas para los diferentes usos a las comunidades, mientras que 1,523 m³/s de agua están presentes en el río Pomachaca, a su vez es necesario contar con un mínimo de 1,267 m³/s de caudal ecológico para la mantenimiento del ecosistema del río Pomachaca, principal cauce de la microcuenca del río Atapo y solo se cuenta con 0,256 m³/s de caudal aprovechable en la microcuenca para las futuras adjudicaciones. Esto hace prever que en la microcuenca del río Atapo de acuerdo al caudal que presenta (0,256 m³/s) está llegando al límite de su capacidad de proveer de agua a los usuarios; (CESA, 2011), señala que en la actualidad, en épocas de verano prolongados ya existen conflictos sociales entre usuarios y/o comunidades y que el ecosistema páramo que es un regulador de la disponibilidad hídrica está siendo gravemente afectado por las distintas actividades o prácticas que realizan como: quema, pastoreo, avance de la frontera agrícola, y que van reduciendo la capacidad que tienen estos ecosistemas de regular la escorrentía el líquido vital, es decir, almacenar el agua de las precipitaciones y liberar lentamente la misma durante todo el año a los afluentes así abastecer la demanda existente.

El desarrollo demográfico en la microcuenca es muy alto (INEC, 2010) por ende, en el futuro existirá mayor demanda hídrica y mayor impacto al ecosistema páramo que conllevará a conflictos sociales mucho más graves si no se aplica y se hace cumplir de forma adecuada las leyes, políticas y normativas por parte de los directorios de agua, las comunidades, gobiernos locales, instituciones públicas y privadas, buscando trabajar conjuntamente para mitigar y proteger estos recursos como es el páramo y aprovechar de manera planificada y tecnificada el recurso agua.

13. Captaciones de agua en la microcuenca

En la microcuenca del río Atapo se levantó un total de 277 captaciones de agua con un caudal total aforado de 1646,7 l/s (1,64 m³/s), de esto el caudal mínimo es de 0,02 l/s y corresponde a la comunidad de San Francisco, mientras que el caudal máximo aforado es de 164,4 l/s y corresponde a la quebrada Aña, bocatoma del sistema de Riego San Carlos de Chuquirá, ver anexo 13.

El 87% de las captaciones se encuentra en la Parroquia Palmira y tienen un caudal de 1098,55 l/s, y el restante 13% se encuentra en la parroquia Tixán con un caudal de 548,14 l/s.

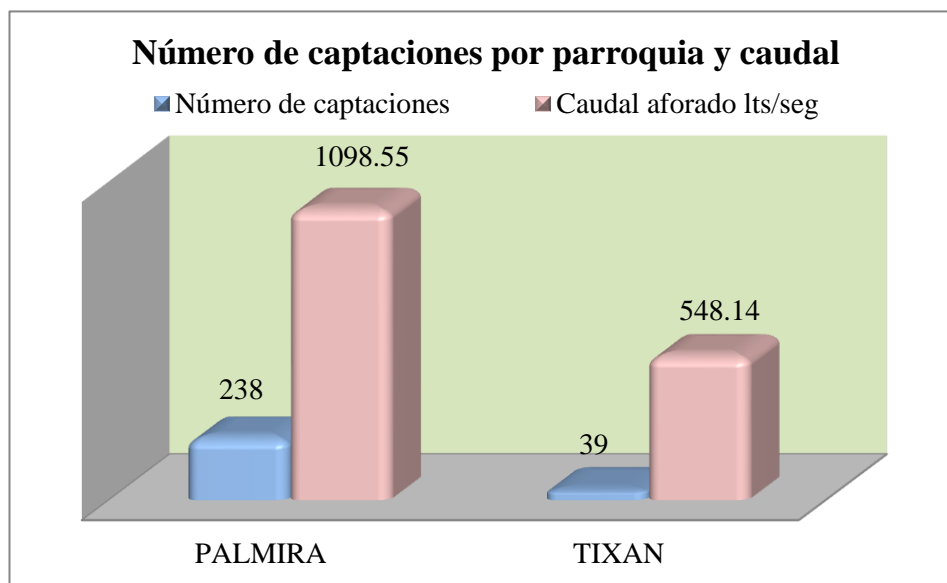


Gráfico 22. Captaciones hídricas de la microcuenca del río Atapo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

Del total de captaciones, 137 alimentan a los sistemas de agua de riego es decir el 49,5%, con un caudal de 1448,44 l/s son utilizados para regar dentro y fuera de la microcuenca, mientras que el 21 % es decir 58 captaciones sirven para abastecer las necesidades de consumo doméstico con un caudal total de 45 l/s, y se han diferenciado con la denominación de vertientes aquellas que son utilizadas de forma particular-local que en total suman 82 captaciones el 30% con un caudal de 153,26 l/s, utilizados para riego y consumo doméstico.

Cuadro 92. Distribución de agua de acuerdo al uso.

Descripción	Caudal (l/s)	Número
Riego	1448,44	137
Consumo	45	58
Particular	153,26	82
Total	1646,7	277

Fuente: Levantamiento de información de campo.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

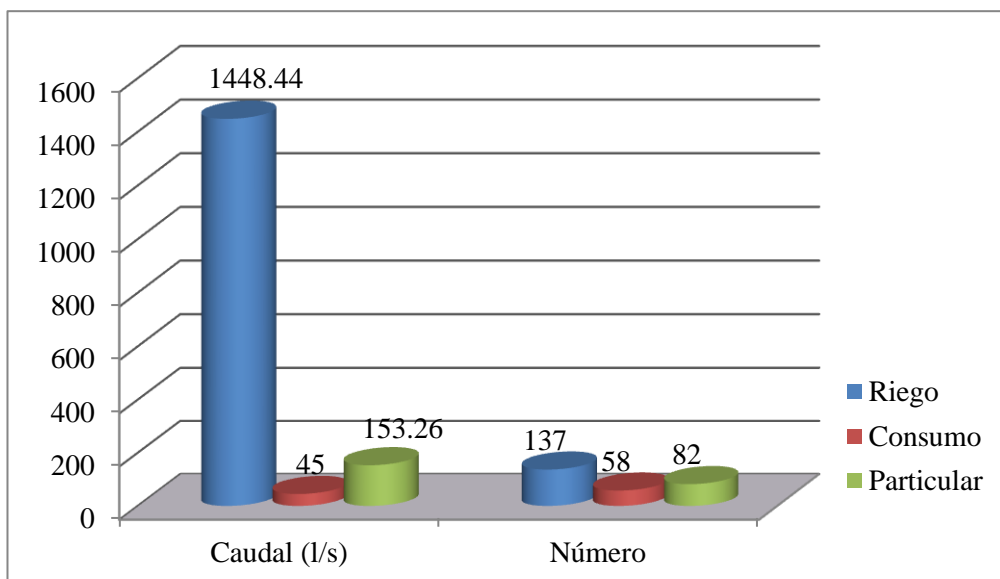


Gráfico 23. Distribución hídrica en la microcuenca.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

a. Situación legal de las captaciones

Cabe señalar que en cuanto a las políticas hídricas, la microcuenca del río Atapo pertenece a la demarcación hídrica del Guayas y los usuarios deben realizar sus gestiones en una oficina zonal en Alausí, lo cual ha permitido una mayor agilidad en los procesos debido a que existen pocos trámites a resolver por parte de la oficina zonal.

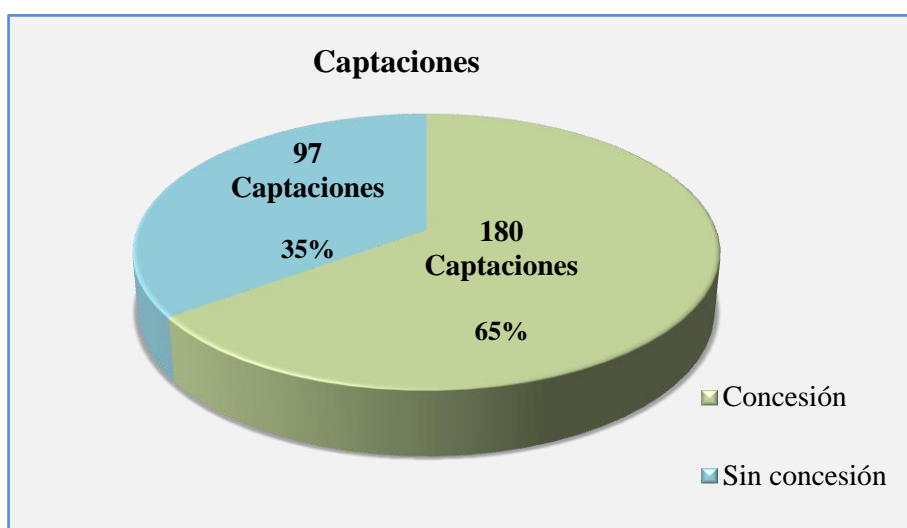


Gráfico 24. Legalización de las captaciones de la microcuenca.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

En cuanto a la legalidad de las captaciones de agua de la microcuenca, el gráfico 23 indica que de las 277 captaciones, 180 captaciones están legalizadas es decir el 65%, mientras que 97 captaciones que representa el 35% están en proceso de legalización.

14. Los sistemas

En el campo se levantó la información de un total de 72 Sistemas de agua, de los cuales 58 están en la parroquia Palmira y 14 en la parroquia Tixán.

En cuanto a los datos obtenidos del trabajo realizado, estos se detallan en el programa Excel, donde se procesó y sistematizó toda la información con sus respectivos códigos (hidrográfico y de sistema), nombre del sistema, cantón, parroquia, comunidad y el uso al cual pertenecen y entre otros datos personales.

Las longitudes de los sistemas son variables desde los 21 kilómetros como el sistema Sarachupa, hasta pequeños de 1 km como varios casos en la comunidad de Santa Cruz.

Los sistemas han sido georeferenciadas en el sistema de proyección de coordenadas UTM con Datum WGS 84 para ser representados en mapas, como se indica en el anexo 14.

Cuadro 93. Sistemas de riego y consumo.

Tipo de sistemas	Sistema de riego
Palmira	58
Tixán	14
TOTAL	72

Fuente: Levantamiento de información de campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

a. Sistemas de riego

En cuanto a los sistemas de riego existentes en la microcuenca, apenas el 13% presentan mejoras en los sistemas de conducción, es decir son conducidos por canales y/o tuberías, el 87% presentan canales naturales, presentando perdidas notorias de agua en su trayectoria ocasionando conflictos entre los usuarios o particulares por robo de agua.

Cabe indicar que en la actualidad se está ejecutando el proyecto sistema de riego Atapo Palmira que iniciara su funcionamiento en 2014, la misma que abarcara 450 has de riego tecnificado (CESA, 2011).

b. **Tecnificación del riego**

En la microcuenca del río Atapo el mayor uso que tiene el agua recae sobre el riego, existen 47 sistemas con un caudal total aforado de 1448,44 l/s, este a su vez es un insumo para la producción agropecuaria que es la base de la economía campesina de las comunidades de la microcuenca, por lo cual se han organizado en directorios de regantes.

El método de riego que más se aplica en la microcuenca es por gravedad o inundación y corresponde al 83% de los sistemas, sin embargo en la parte baja de la microcuenca donde las condiciones del suelo y escasez de agua son evidentes, se han implementado sistemas de riego por aspersión y corresponde al 17% de los sistemas, como es el caso de los sistemas de riego Palmira Dávalos, Sarachupa que comparte también con la comunidad San Miguel de Pomachaca y Larcapamba.

En los 47 sistemas que utilizan el riego por gravedad, existe por lo menos un usuario que en su turno riega con sistema de aspersión.



Gráfico 25. Tipo de riegos aplicados en la microcuenca.
Elaborado por: Caguana J, 2013.

15. Las concesiones de agua

La Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), hasta diciembre 2010 registró un total de 221 concesiones para la microcuenca del río Atapo, siendo tres los usos a los cuales ha sido destinada el agua de la microcuenca: Riego 123 concesiones, doméstico 61 concesiones y abrevadero de animales 37 concesiones ver anexo 15.

El total de caudal concesionado en la microcuenca a los usuarios es de 1493,44 l/s o 1,49 m³/s, sin embargo a partir de la información de campo y la comparación con la base de datos de la SENAGUA, existen 153,26 l/s que se usan en el campo y que no constan en la base de datos, por lo que con la suma de los datos de volumen de agua concesionada más el agua ya concesionada se puede llegar a establecer un caudal total aprovechado de 1646,7 l/g (1,64 m³/s).

El principal uso del agua en la microcuenca es el riego y por ende la actividad con mayor caudal concesionado, con un total de 1448,44 lts/s es decir 97% y 6.575,46 has que deberían estar regadas, según consta en la base de datos de SENAGUA y que es la suma de las hectáreas que constan en cada una de las concesiones.

Sin embargo lo que efectivamente se riega no ha logrado ser determinado por cuanto cada agricultor riega una parte de la parcela, la que está sembrada con pasto o cultivo quedando la mayoría de la misma sin aplicación del riego; el restante 3% del caudal se utiliza para el consumo y abrevadero de animales.

Cuadro 94. Caudal concesionado en la microcuenca del río Atapo.

USO	Número de concesión	Caudal (lts/s)
Riego	123	1448,44
Consumo	61	45
Abrevadero	37	
Otros		153,26
TOTAL	221	1646,7

Fuente: Levantamiento de información de campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

a. Organizaciones de sistema de riego

Son varios los tipos de organización que se han formado en la microcuenca para la administración del agua.

Cuadro 95. Caudal concesionado por organizaciones.

Tipo de organización	Registros	Caudal (l/s)
Asociaciones	7	53,79
Cooperativas	1	19,5
Comunidades con Directorio	76	809,14
Comunidades sin Directorio	33	187,81
Públicos	2	4,55
Privados	102	471,88
TOTAL	221	1646,7

Fuente: Levantamiento de información de campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

De acuerdo a la información obtenida de las concesiones de agua, la mayor cantidad de caudal se registran para las comunidades con directorios que captan 809,14 lts/s de agua que son utilizados mayormente para el riego y 102 privados con un caudal de 471,88 lts/s de agua, que son utilizados mayormente para consumo doméstico.

16. Cálculo de balance hídrico

Para determinar el balance hídrico se utilizó la fórmula planteada en el manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas (Nicolay, 2007).

La Ecuación establecida para una cuenca vertiente es:

$$Pp - Qe - DR - Evtr = 0$$

Dónde:

Pp: Precipitación.

Qe: Caudal Efluente.

DR: Variación del contenido del agua en el suelo.

Etc: Evapotranspiración.

De acuerdo a la fórmula utilizada para determinar el primer objetivo, se procedió a determinar la precipitación (Pp), evapotranspiración (Etc), infiltración (In), caudal efluente (Qe), de la microcuenca.

Entonces remplazando la formula con los valores tenemos.

$$Pp - Qe - DR - Etc = 0$$

$$Pp = 107656,53 \text{ m}^3/\text{año}.$$

$$Qe = 1,342 \text{ m}^3/\text{s}.$$

DR.

$$\text{➤ } Es = 46086,44 \text{ m}^3/\text{año}.$$

$$\text{➤ } In = 61570,21 \text{ m}^3/\text{año}.$$

$$ETc = 108905,87 \text{ m}^3/\text{año}.$$

Cuadro 96. Determinación del balance hídrico de la microcuenca del río Atapo.

Pp (m ³ /año)	- Qe (m ³ /s)	- Es (m ³ /año)	- In (m ³ /año)	- ETc (m ³ /año)	=	Déficit (m ³ /año)
107656,66	1,523	46086,44	61570,21	108905,87	=	47335,66

Fuente: Levantamiento de información de Campo.

Elaborado por: Caguana J, 2013.

El resultado del cuadro 94, según la fórmula planteada por (Nicolay, 2007), el cálculo del balance hídrico realizado para las 14284,88 ha, de junio 2012 a julio 2013 y de acuerdo a los factores climáticos, edáficos, topográficos que posee la zona, indica que en la microcuenca del río Atapo existe un déficit hídrico de 47335,66 m³/año.

Esto evidencia que la población al no tener agua para riego, practiquen sus cultivos en periodos de lluvia, para así garantizar la producción de sus cultivos, a la vez en algunas

comunidades tengan que trasladarse varios kilómetros para abastecerse de agua para su consumo.

Así mismo la presencia del desierto de Palmira que en cierta medida es frenada por la implementación de las plantaciones con pino, pero que presenta un deficiente crecimiento y desarrollo, al no existir presencia suficiente de lluvia y la lixiviación de los nutrientes por ser suelo arenoso.

Según (Arrueta, 2009). Las cuencas hidrográficas presentan déficit hídrico cuando la demanda de agua es mayor que la cantidad disponible durante un tiempo determinado.

El uso eficiente del agua en la agricultura es una de las acciones prioritarias que se deben implementarse para reducir el déficit hídrico en esta microcuenca. El manejo de las cuencas hidrográficas mediante la implementación de prácticas de manejo de agua y conservación del páramo ayudaría a conservar y mantener la regulación hidrológica.

El territorio de las cuencas hidrográficas debe ordenarse de tal manera que se destine áreas para la conservación y que permita recargar los acuíferos y produzca escurrimientos en cantidad y calidad adecuada. Solamente con acciones integradas y sustentables se puede hacer frente al problema de la escasez del agua en beneficio de la sociedad.

(CAMAREN, 2005). Las cuencas hidrográficas enfrentan un proceso de degradación de sus recursos naturales, reflejando cambios en sus patrones hídricos e incrementando su vulnerabilidad, más aún si existe un incremento poblacional significativo que día a día van disponiendo de estos recursos creando así un conflicto socioeconómico.

El páramo es caracterizado por tener un clima frío y húmedo. Sus suelos volcánicos (Andesols) tienen una capacidad de retención de agua muy alta que amortigua la escorrentía, produciendo un patrón de caudales de las cuencas bastante uniforme, por lo que sirven como proveedores de agua para las depresiones andinas densamente pobladas.

La excesiva presión sobre una fuente de agua puede conducir a su desaparición, en este sentido es importante para la planificación sostenible del recurso hídrico conocer la cantidad de agua disponible, los niveles de demanda y las restricciones de uso

necesarias para mantener en condiciones adecuadas la fuente abastecedora de agua. Esto indica, que además de ofrecer agua para el consumo humano y el abastecimiento de las actividades productivas, es necesario que las corrientes abastecedoras mantengan un remanente de agua para atender los requerimientos hídricos de los ecosistemas asociados a sus cauces, preservando así su biodiversidad, productividad y estabilidad.

Hay que recalcar, que para este balance no se considera el aporte de la precipitación horizontal “Este fenómeno aporta una fuente suplementaria de agua, que puede llegar a contribuir con 5 a 20% de la cantidad total de precipitación de estos ecosistemas” (Neira, F. 2012).

17. Diseño y calibración de pluviómetro y tanque evaporación casero

Para este estudio se confeccionó pluviómetros caseros, empleando recipientes plásticos de tesalia (4 Lts), embudo de radio 8,2 cm y un empaque de caucho para ajustar el embudo a la boca del recipiente y una probeta de 200 mm para realizar las mediciones de la precipitación almacenadas en el recipiente; las mediciones se realizaron en mm.

Para calibrar se tomó de referencia al pluviómetro de Hellmann que posee 200 cm^2 ($20 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mm}$), la boca de recepción del pluviógrafo que tiene un radio de 7,89 cm, y utilizamos la fórmula de volumen de un cilindro, que es igual a:

$$V = \pi * r^2 * h.$$

Donde

V = volumen.

$\pi = 3.14159\dots$

r = radio del embudo.

h = altura del recipiente.

Por otra parte la superficie de un cilindro, según nos indica la geometría, equivale a.

$$S = \pi * r^2.$$

S = superficie del cilindro.

La precipitación puede medirse en unidades como litros por metro cuadrado o en milímetros. Ambas unidades son equivalentes, pues los mm significan a la altura que se alcanzaría sobre la superficie permeable de 1 metro cuadrado.

La calibración y el cálculo del volumen se realizan de la siguiente manera:

1 mm de precipitación equivale a 1 litro/m².

1 m² x 0,001 m = 0001 m³ = 1 litro.

Por lo tanto para calibrar cualquier pluviómetro podemos decir que:

1mm = 0,1cm = 0,1 x S cm³ / S cm².

En caso del pluviómetro utilizado el embudo tiene un diámetro de 16,4 cm y por lo tanto la S será.

$S = \pi * 8,2 \text{ cm}^2 = 211,24 \text{ cm}^2$

Luego: 1mm = 0,1cm = 0,1 x 211,24 cm³ / 211,24 cm² = 21,12 cm³, equivale a 1 mm, por lo tanto para expresar la precipitación en mm debemos dividir los cm³ recogidos entre 21,12.

Esto quiere decir que 0,12 mm, excedente del pluviómetro casero utilizado se debe ajustar para calibrar al pluviómetro de Hellmann.

VI. CONCLUSIONES

- A. El mayor aporte hídrico a la microcuenca se genera en la zona alta (3750 – 4280 msnm) debido a la influencia de la corriente húmeda de la amazonia, que permite recargar de agua en los afluentes y abastecer las demandas hídricas en la microcuenca.
- B. La presencia de una notable superficie de páramo permite captar, almacenar y regular la escorrentía de agua, lo que facilita disponer agua durante todo el año.
- C. Existe un conflicto social notorio debido el acaparamiento de agua por ciertas comunidades y usuarios y no respetan los turnos de riego
- D. El 83% de usuarios que acceden al agua de riego, realizan el riego por gravedad, apenas el 17% utilizan riego por aspersión en sus turnos de riego, lo que evidencia que existe un alto grado de pérdida de agua en su manejo y uso, más aun en la parte baja de la microcuenca que posee suelos arenosos.
- E. La zona baja de la microcuenca (Palmira) presenta precipitaciones bajas (635 mm/año), por lo que se hace difícil la actividad agrícola y obtener agua para su consumo.
- F. La fuerte pendiente, la utilización inadecuada de la maquinaria agrícola y la malas prácticas agrícolas y pecuarias evidencian que la microcuenca presente un alto grado de erosión hídrica del suelo, produciendo una pérdida de 250 kg/ha.

VII. RECOMENDACIONES

- A. El estudio del balance hídrico se debe constituirse en un proceso permanente en instituciones como los gobiernos locales y regionales para realizar planes de riego eficientes y garantizar que las concesiones de agua sean equitativos (caudal/superficie).
- B. Realizar un plan de manejo del ecosistema páramo en la microcuenca, para mantener y garantizar el almacenamiento almacenar y regulación de la esorrentía del agua.
- C. Tecnificar los sistemas de riego, para regular y normar el acceso y la utilización del agua, lo que permitirá que la población se beneficie más equitativamente del volumen de agua y los turnos de la misma y que abastezca mayor superficie que el riego que la actual.
- D. Que las instituciones y organizaciones pertinentes (SENAGUA y Juntas de agua) hagan cumplir con leyes, normas y reglamentos a los beneficiarios.

VIII. RESUMEN

Esta investigación propone: determinar el balance hídrico en la microcuenca del río Atapo para establecer recomendaciones de aprovechamiento adecuado de la disponibilidad del recurso agua, desarrollada en las parroquias Palmira y Tixán de los cantones Guamote y Alausí, provincia Chimborazo; al inicio se socializó a las comunidades beneficiarias, se delimitó, estableciendo tres zonas en la microcuenca de acuerdo al rango altitudinal y dos de acuerdo a la vertiente, se instalaron en total seis estaciones meteorológicas temporales para registrar las variables precipitación, evapotranspiración, también se realizaron las pruebas de infiltración y escorrentía de acuerdo a las pendientes que presentan, utilizando: cilindro de infiltración doble anillo, bandeja de escurrimiento, para determinar el balance hídrico en las 14284,28 h de la microcuenca; para la misma se utilizó la fórmula: $P_p - Q_e - DR - Ev_{tr} = 0$, planteada por Nicolay, 2007, en el manual manejo sustentable de cuencas hidrográficas; los cálculos de las variables dieron como resultados que la precipitación promedio fue de 746,3 mm, con un volumen de 107656,66 m³/año, la evapotranspiración registró 1349,3 mm, con un volumen de 108905.87 m³/año, en cuanto a escorrentía fue de 46086,44 m³/año, el caudal aforado en el cauce principal presento un volumen de 1,341 m³/s, un caudal total de 2,653 m³/s obtenidos del caudal concesionado y el aforado, por último el volumen de la infiltración fue de 61570,21 m³/año; así llegamos a determinar que la microcuenca registra un déficit hídrico de 108906,52 m³/año; Se recomienda realizar estos estudios para tener referencias que sirva como base de futuros trabajos de sistemas hídricos.

Palabras Claves:

Balance hídrico. Demanda hídrica, Oferta hídrica, Evapotranspiración, precipitación, escorrentía, infiltración, ciclo hidrológico.



IX. SUMMARY

This research proposal is to determine the water balance in the river Atapo watershed in order to establish recommendations for appropriate use of the available water resources, in Palmira and Tixán towns, Guamote and Alausí counties, Chimborazo province; at the beginning the proposal was socialized to beneficiary communities, then it was delimited by establishing three areas in the watershed according to altitude range and two according to the slope, six temporary weather stations were installed to record the rainfall and evaporation variables, infiltration and overflow tests were also conducted according to the slopes by using a double ring infiltration cylinder and a drip tray to determine the water balance in the 14284,28 acres of the watershed; for this purpose the $Pp - Qe - DR - Evtr = 0$ formula was applied, proposed by Nicolay 2007, in the watersheds sustainable management manual; the variables calculation results were precipitation average 746,3 mm, with a volume of 107656,63 m³/year, evapotranspiration recorded 1349,3 mm, with a volume of 108905,87 m³/year, overflow was 46086,44 m³/year, the volumetric flow in the main riverbed presented a volume of 1,341 m³/s, a total volume of water of 2,653 m³/s obtained from the resulting and volumetric flow, finally the infiltration volume was 61570,20 m³/year, these results determined that the watershed registers a water deficit of 47335,66 m³/year. It is recommended to develop studies in order to have references as a basis for future water systems.

Keywords:

Hydrological balance, Water demand, Water supply, Evapotranspiration, Precipitation, Overflow, Infiltration, Hydrological cycle.



X. BIBLIOGRAFÍA

1. Allen , B. 2007. *Hidrología Básica y Aplicada*. Recuperado Agosto 2013, de Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos : <http://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
2. Aparicio, F. 1992. *Fundamentos de Hidrología de Superficie* . Recuperado Febrero 2012, de PDF web del Profe: http://webdelprofesor .ula.ve/ingenieria/adamoreno/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf
3. Argente L y González, L. 2006. *Comportamiento del contenido relativo de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos de variedades de trigo cultivadas en condiciones de salinidad*. Recuperado Mayo 2013, de redalyc.org Cltivos Tropicales : <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193215825008.pdf>
4. Arrueta, M. 2009. *Balance hídrico y análisis de las relaciones precipitación-escorrentía en la microcuenca de la Quebrada El Gallo, San Antonio de Oriente*. Recuperado Julio 2013, de PDF,Google: <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/259/1/T2730.pdf>
5. Barreto, C. 2010. *Cuencas hidrográficas*. Recuperado Enero 2012, de Monografias.com: <http://www.monografias.com/trabajos96/cuencas-hidrograficas/cuencas-hidrograficas.shtml>
6. Becca, H. 2008. *Precipitación* . Recuperado Marzo 2012, de Ventajas all Universo: <http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/precipitation.html&lang=sp>
7. Belmonte F y Díaz , A. 2006. *Medida de la evapotranspiración real en coberturas vegetales semiáridas según las variaciones de humedad del suelo medidas mediante el procedimiento (TDR)*. Recuperado Enero 2013, de Papeles de Geografía, 43 pp: <http://www.redalyc.org/pdf/407/40704301.pdf>
8. Blanco A, M. S. 2004. *Un Modelo de Balance Hídrico para Cuencas Hidrográficas*. Madrid .
9. Bosque Valdivia. 2005. *Influencia de las masas boscosas en el régimen hídrico de una cuenca semiárida, Chile*. Recuperado Enero 2013, de Bosque: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002005000100008&script=sci_arttext
10. CAMAREN. 2005. *Guía metodológica de inventarios de recursos hídricos* . Azogues, Cañar.
11. CESA. 2011. *Inventario y Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Microcuenca del Río Atapo*. Riobamba.
12. Chicas R y Vanegas, E. 2013. *Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala*. Recuperado Agosto 2014, de Scielo, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542014000100007&script=sci_arttext
13. CODERRECH. 2007. *Gestión Integrado de Cuencas Hidrográficas*. Recuperado Febrero 2012, de Foro Órgano de Difusión de RN Chimborazo:

- <https://repository.unm.edu/bitstream/handle/1928/11727/Gesti%C3%B3n%20integrada%20de%20cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas%20Foro%201.pdf?sequence=1>
14. Crystal, C. 2000. *Manual Agrícola de los principales cultivos de Ecuador INIAP*. 81.
 15. Dardón, J. 2002. *La Cuenca Hidrográfica y su Importancia para la Gestión Regional del Desarrollo Sustentable*. Recuperado Enero 2013, de Centro pluricultural para la democracia: <http://cpdguatemala.org/wp-content/uploads/2008/07/la-cuenca-hidrografica.pdf>
 16. Díaz, C. 2005. *Conceptos Básicos y Estudios de caso en Iberoamérica*. Toluca, México: Periguazú.
 17. Díaz, P. 2008. Inventariación de caudales para determinar el Balance Hídrico. *Tesis*, 75.
 18. Díaz, R. 1998. *La erosión en la región de Murcia*. Murcia: Reseña.
 19. Elena, C. 2010. Evaluación de la pérdida productiva y económica por la erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca de río Alumbre . *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, (pág. 10). Santo Domingo.
 20. Encarta. 2009. *Escorrentias*. Recuperado el Abril de 2012, de Mricosoft Encarta.
 21. FAO. 2006. *Estimation of Reference Evapotranspiration using the FAO Penman-Monteith Method for Climatic Conditions of Poland*. Recuperado Abril 2013, de cdn.intechopen.com: http://cdn.intechopen.com/pdfs/14190/InTech-Estimation_of_reference_evapotranspiration_using_the_fao_penman_monteith_method_for_climatic_conditions_of_poland.pdf
 22. FAO. 2013. *Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia, Opciones Técnicas para la Agricultura Familiar*. Recuperado Febrero 2014, de Participación del Fondo Internacional para el Desarrollo de la Agricultura (FIDA) y la Cooperación Suiza,: <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>
 23. FAO. 2014. *Experiencias de manejo y gestión de cuencas en el Ecuador* . Recuperado el Diciembre de 2014, de [Monografias.com](http://www.monografias.com): <http://www.monografias.com/trabajos96/cuencas-hidrograficas/cuencas-hidrograficas.shtml>
 24. FAO 56. 2000. *Evaporación del cultivo: Guías de la determinación de los requerimientos de agua de cultivos*. Recuperado Abril 2012, de Riegos: <https://riegos.files.wordpress.com/2008/03/fao56castellano-x0490s.pdf>
 25. FAO 56. 2006. *Evaporación del cultivo: Guías de la determinación de los requerimientos de agua de cultivos*. Recuperado Abril 2012, de Riegos: <https://riegos.files.wordpress.com/2008/03/fao56castellano-x0490s.pdf>
 26. FAO 68. 1997. *Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía*. Recuperado Abril 2012, de Boletín de Suelos de la FAO - 68: <http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s00.HTM>
 27. FAO 68. 2000. *Medición Sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía*. En FAO, *Medición Sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía* (pág. 167). Roma .
 28. Faustino J y Jiménez, F. 2000. *Manejo de cuencas hidrográficas. Centro Agrónomo Tropical de Investigación y enseñanza*. Recuperado Enero 2012, de Área de cuencas y sistemas agroforestales. Turrialba – Costa Rica.: <http://books.google.com.ec/books?id=99oOAQAIAAJ&pg=PT14&dq>

- =Plan+de+manejo+de+cuencas+hidrograficas&hl=es&sa=X&ei=etBnVPq4GoujgwTtuILQCQ&ved=0CB0Q6AEwAA#v=onepage&q=Plan%20de%20manejo%20de%20cuencas%20hidrograficas&f=false
29. Faustino, J. 2000. *Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Recuperado Enero 2012, de Google: https://books.google.com.ec/books?id=99°OAQAIAAJ&pg=PT2&lpg=PT2&dq=Restrepo,+concepto+Cuencas+hidrogr%C3%A1fica&source=bl&ots=2bBoFGreque&sig=vt_eVDABMKUWit06cUByjO-UIXw&hl=es&sa=X&ved=0CCsQ6AEwAmoVChMllrujy_7-xgIVk7geCh1EogP-#v=onepage&q&f=false
 30. Fetter, C. 2001. *Conservación de Suelos*. Recuperado Junio 2012, de Rincon del vago: <http://html.rincondelvago.com/conservacion-de-suelos.html>
 31. Franquet, J. 2009. *Método del correntómetro o molinete*. Recuperado Febrero 2012, de Edmund.net: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2009b/564/Metodo%20del%20correntometro%20o%20molinete.htm>
 32. García R y Schnabel, S. 2012. *Evaluación de las precipitaciones en el Suroeste de la Península Ibérica*. Recuperado Diciembre 1012, de Extremadura: <file:///C:/Users/pc/Downloads/Dialnet-EvolucionDeLasPrecipitacionesEnElSuroesteDeLaPenin-4376827.pdf>
 33. García y Muñoz, P. 2011. *Estudio sobre Caudales Ecológicos*. Recuperado Mayo 2013, de Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales, (praa) : http://www.infoagua-guayllabamba.ec/sirhcg/images/M_images/PDF/Estudio%20de%20caudales%20ecologicos.pdf
 34. García, W. 2005. *El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica*. Recuperado Febrero 2012, de Telesecundaria: http://telesecundaria.gob.mx/mesa_tecnica/files/Sistema-Cuenca_Hidrografica.pdf
 35. García, W. 2005. *El Sistema complejo de la cuenca hidrográfica*. Recuperado Enero 2012, de SlideShares : <http://es.slideshare.net/samuellandaperez/sistema-complejo-de-la-cuenca-hidrografica>
 36. Gardiner, L. 2009. *Precipitación*. Recuperado Febrero 2013, de Hidrografía: <http://procesosdelagua.galeon.com/precipitacion.html>
 37. González , A. 2013. Contenido de humedad del Agua en el suelo, Bogota. *Sieclo*, 45.
 38. Gurovich, L. 1985. *Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riegos*. Costa Rica: Levantex.
 39. Horizonte .2008. *Demanda y consumo de agua para riego*. Recuperado Diciembre 2013, de Plan Nacional de Regadío-Horizonte 2008: http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/apartado4-9_tcm7-9788.pdf
 40. Ibarra P y Ecveverría, M. (2004). *Relaciones clima suelo y vegetación, 200-210 pg*. Zaragoza: Sánchez.
 41. INAMHI. 2010. *Anuario meteorológico 2010*. Recuperado Enero 2013, de inec.bov.ec: <http://186.42.174.231/publicaciones/Anuarios/Meteoro/Am%202010.pdf>
 42. INAMHI. 2010. *Fortalecimiento del Inamhi en Apoyo a la Gestión Integral de Riesgo*. Recuperado Noviembre 2013, de Secretaria Nacional de gestion de Riesgo e Inamhi : <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/2013/04/PROYECTO-GESTION-DE-RIESGOS-INAMHI.pdf>

43. INAMHI. 2010. *Información Hidrometeorológico en línea*. Recuperado Abril 2012, de Información en Línea: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>
44. INEC. 2010. *VII Censo de población y vi de vivienda 2010*. Recuperado Abril 2013, de El Nuevo INEC: http://www.inec.gob.ec/nuevo_inec/cpv.html
45. INIAP. 2000. *Manual agrícola de Leguminosas*. Quito, Santa Catalina.
46. INIAP. 2000. *SHYRI 2. Nueva variedad de cebada para el Austro Ecuatoriano*. Quito: MIC.
47. INIAP. 2010. *Manual agrícola de leguminosas*. Quito.
48. INIAP. 2012. *Manual agrícola de granos andinos, tercera edición*. Quiro.
49. Jaramillo , D. 2002. *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín.
50. Laar, & Savenije, G. 2008. *Assessment of surface water resources availability using catchment modelling and the results of tracer studies in the mesoscale Migina Catchment, Rwanda*. Recuperado Abril 2013, de Hydrology and Earth System Sciences: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/5289/2014/hess-18-5289-2014.pdf>
51. Landon , W. 2006. *Medición de la velocidad de infiltración*. Londres.
52. León , J. 2012. *Modelación para la velocidad de infiltración, lámina de infiltración*. Riobamba.
53. Llerena , C. 2003. *Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú*. Recuperado Marzo 2013, de FAO Presentado en el Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), Arequipa, Perú, Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
54. Llorens J y Gallart , P. 2002. *Hydrological processes and their seasonal controls in a small Mediterranean mountain catchment in the Pyrenees*. Recuperado Febrero 2013, de Hydrology and Earth System Sciences: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/6/527/2002/hess-6-527-2002.html>
55. López, D. 2000. *Pluviómetros y pluviógrafos: Un afán histórico por medir la lluvia*. Recuperado Octubre 2013, de TuTiempo.net: <http://www.tutiempo.net/noticias/pluviometro-y-pluviografo.html>
56. Martín, E. 2010. *Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego* . Recuperado Julio 2013, de EXTENSION: del Suelo para la Programación del Riego
57. Martínez J y Sánchez, N. 2011. *Estudios en la zona no saturada del suelo*. Recuperado el Diciembre de 2013, de VOLUMEN X. ZNS 11 : http://lluvia.dihma.upv.es/ES/publi/congres/056_ZNS_MP_CM_FF_paper.pdf
58. Martínez, P. 2012. *Cuáles son los factores que afectan la evapotranspiración?* Recuperado Enero 2013, de Docsity: <http://es.docsity.com/preguntas/10331/cuales-son-los-factores-que-afectan-la-evapotranspiracion>
59. Mass, C. 2014. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Recuperado Septiembre 2014, de SEMARNAT: <http://www.inecc.gob.mx/cuencas-conceptos>
60. Méndez J y Návaz , J. 2007. *Análisis de Tendencias de Precipitación (1920-2004) en México*. Recuperado Enero 2012, de Investigaciones científicas, Bolitin del instituto de Geografía UNAM: <http://www.ejournal.unam.mx/rig/RIG065/RIG000006503.pdf>

61. Mestas , R. 2011. *Régimen Hídrico del Suelo y Evapotranspiración en Áreas Agrícolas y Forestales, Interpretación de las lluvias por la cubierta y efecto en los caudales de crecida*. Recuperado Marzo 2014, de Tesis Doctoral Google.com.ec, Caruña: [https:// www.google. com.ec/url? sa= t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAAahUKEwuw7HF24DHAhUFHh4KHXB7APA&url=http%3A%2F%2Fruc.udc.es%2Fbitstream%2F2183%2F8487%2F2%2FMestas_Roger_TD_2011.pdf&ei=Nvm4Va7QEIW8ePD2gYAP&usg=AFQjCNECewGLshC9u6BwBB1G_eV5Tq](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAAahUKEwuw7HF24DHAhUFHh4KHXB7APA&url=http%3A%2F%2Fruc.udc.es%2Fbitstream%2F2183%2F8487%2F2%2FMestas_Roger_TD_2011.pdf&ei=Nvm4Va7QEIW8ePD2gYAP&usg=AFQjCNECewGLshC9u6BwBB1G_eV5Tq)
62. Monsalve , E. 2000. Precipitación . En P. d. Hidrogeografía, *Estudio del Ciclo Hidrológico. Instituto de Geografía* (pág. 382). México: Alfaomega.
63. Nicolay. 2007. Manual para Manejo Sustentable de las Cuencas Hidrográficas . En Nicolay, *Manual para Manejo Sustentable de las Cuencas Hidrográficas* (pág. 77). Loja.
64. Ochoa C y Urroz, F. 2011. *Determinación de los indicadores biológicos de suelos agrícolas*. Recuperado Febrero 2013, de Monografías .com: <http://www.monografias.com/trabajos95/determinacion-indicadores-biologicos-suelos-agricolas/determinacion-indicadores-biologicos-suelos-agricolas2.shtml>
65. Oñate , M. 200. *Geología y mineralogía* . Riobamba.
66. Ordoñez, J. 2011. *Cartilla Técnica de Ciclo Hidrológico*. Recuperado Enero 2012, de Global Water Partnership: http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf
67. Parker, Á. y. 2009. Estudios del 8vo Semestre de Educación Mención Ciencias Sociales, universidad de Carabobo. *Escorrentia y Precipitación*, 39-81.
68. PDOT. 2011. *Plan de Ordenamiento Territorial del la Parroquia Palmira*. Riobamba.
69. Peñacastillo, O. 2005. *Observación y medida de precipitaciones* . Recuperado Junio 2012, de Tiempo: <http://foro.tiempo.com/observacion-y-medida-de-las-precipitaciones-t38845.0.html>
70. Pineda C. 2013. *Guía técnica para la Formulación de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas*. Recuperado el Abril de 2014, de MinAmbiente: [http:// faolex.fao. org/docs/pdf/ col130738 anx.pdf](http://faolex.fao.org/docs/pdf/col130738_anx.pdf)
71. Pizarro R y Flores, J. 2008. *Módulo 3 Curvas de infiltración*. Recuperado Junio 2013, de Sociedad estándares de ingeniería para aguas y suelos Ltda.: http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/c_modulo_curva_infiltracion.pdf
72. Pizarro R, Flores J, Sanguesa C y Martínez, E. 2004. *Zanjas de infiltración* . Chile .
73. Pladeyra. 2003. Paisajes Hidrológicos y Balance Hídrico. En Pladeyra, *Paisajes Hidrológicos y Balance Hídrico* (pág. México). Chapala : Lerma.
74. Pladeyra. 2003. *Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias de sus posibilidades de aplicación* . Recuperado Enero 2012, de FAO foro regional sobre sistemas de pago por servicios ambientales: [http://www.gwp.org /Global/GWP-SAm_ Files/ Publicaciones/Varios/Balance_Hidrico.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Balance_Hidrico.pdf)
75. PPA, Proyecto Páramo Andino. 2002. *Páramo y agua, conservación de la diversidad en el techo de los andes*. Quito.

76. Ramón, B. (11 de Noviembre de 2003). *Pluviógrafo*. Recuperado Mayo 2013, de Pluviógrafo, Registrador de la Precipitación: <http://www.rumtor.com/pluviografo.html>
77. Ritter A y Regalado, M. 2007. *Eficacia de un sensor de capacitancia para medir simultáneamente salinidad y contenido hídrico* . Recuperado Diciembre 2013, de zonanosaturada.com: http://www.zonanosaturada.com/publics/ZNS07/area_2/12.pdf
78. Sanchez, J. 2004. *Ciclo Hidrológico*. Recuperado Mayo 2012, de PDF Inea: http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwff/mdez/~edisp/inea_013095.pdf
79. Santos L y Valero , J. (Marzo de 2010). *El Uso de Riego y sus Tecnologías*. Recuperado el Mayo de 2013, de Fagro.edu: http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf
80. SENAGUA. 2008. *Secretaría Nacional de Aguas, Plan de concesiones* . Recuperado Agosto 2013, de Senagua.gov.ec: <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/PROCESO-2009-46.pdf>
81. Siso G y Cunill, P. 2002. *Caudal efluente y afluente*. Recuperado Noviembre 2013, de Hidrografía: <http://procesosdelagua.galeon.com/cuenca.html>
82. Uhlenbrook, S. 2008. *Introducción, Catcchments and Water Balance*. Recuperado Julio 2013, de UHESCO, Engineering Hybrology: file:///C:/Users/pc/Downloads/Eng-Hydrology_Uhlenbrook-1.pdf
83. Vélez , R. 2002. *Infiltración de agua en el suelo con diferentes usos* . Chaco.
84. Vinueza, M. 2003. *Ecuador Forestal*. Loja.

XI. ANEXO

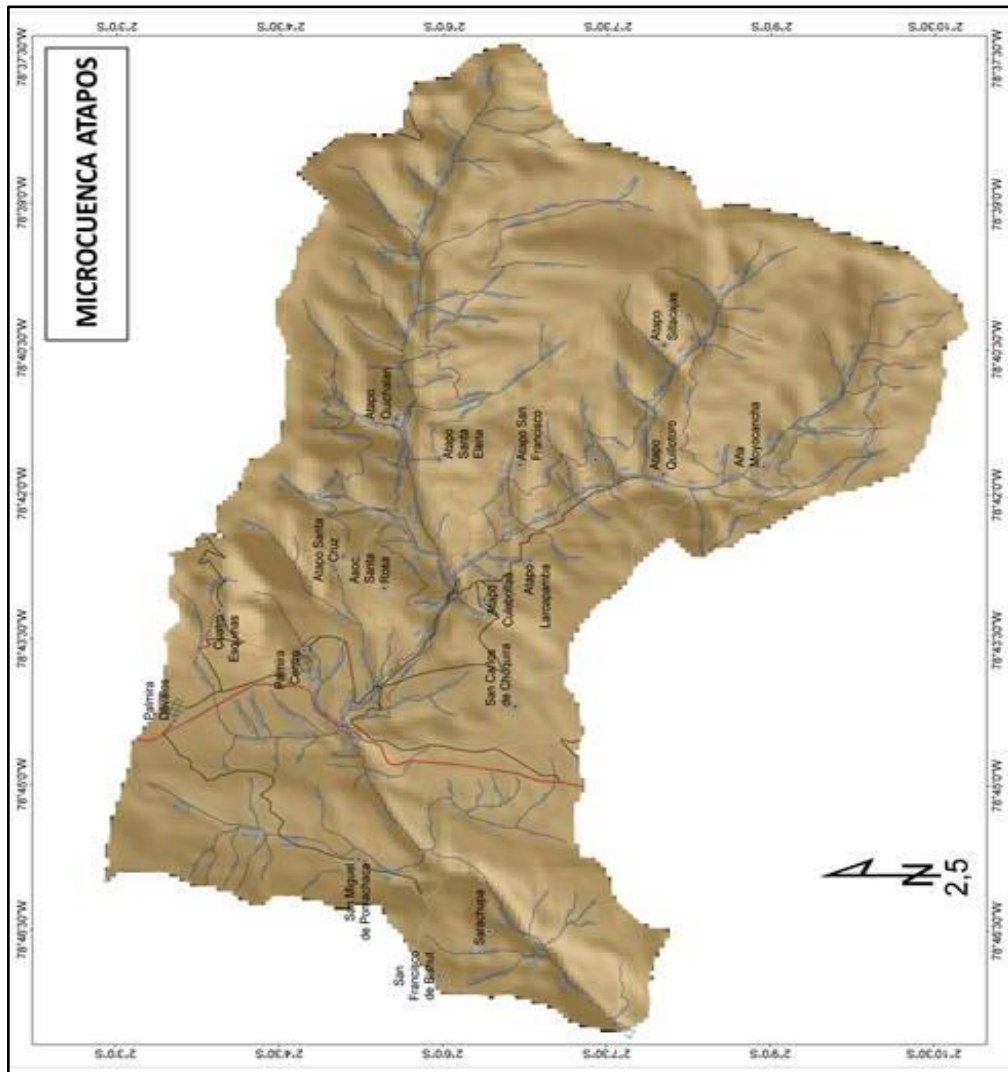
1). Socialización.



Taller de manejo de equipos y/o instrumentos, registro de datos



2). Zonificación de la microcuenca



3). Instalación de equipos



4). Tabla de registro para el Aforo

<u>Hoja de cálculo de caudales</u>			Aforo #	001
<i>Datos referenciales</i>				
Río:	RIO ATAPO		Cuenca:	GUAYAS
Quebrada:	-		Subcuenca:	YAGUACHI
Acequia:	-		Microcuenca:	RIO ATAPO
Otro:	-			N E
			Coordenadas:	9.761.810 752.084
Código del sitio:	-		Fecha:	07/09/2012
m.s.n.m.	3.183		Hora:	13H15
	Ancho del espejo de agua (m):		4,05	
	Ancho del segmento b (m):		varios	
	Total No. de segmentos:		8	
	Profundidad máxima del vertical d (m):		0,38	
	Molinete SEBA - Propela No.		2.1450.250.125	
<i>Sección transversal de cálculo</i>				
		Velocidad de corriente de agua m/s.	V	1,205
		Área de la sección m ² .	A	1,097
		Caudal m ³ /s.	Q	1,322
Responsable:	JOSE C.AGUANA			

5). Tabla de registro de variables

Tabla registro de datos del balance hídrico			
ESTACIÓN N° 1:			
Comunidad:			
Nombre del Técnico:			
Fecha:			
Factor		Precipitación	Evaporación
DIA	HORA	mm	mm
Lunes			
Martes			
Miércoles			
Jueves			
Viernes			
Sábado			
Domingo			
Responsable			

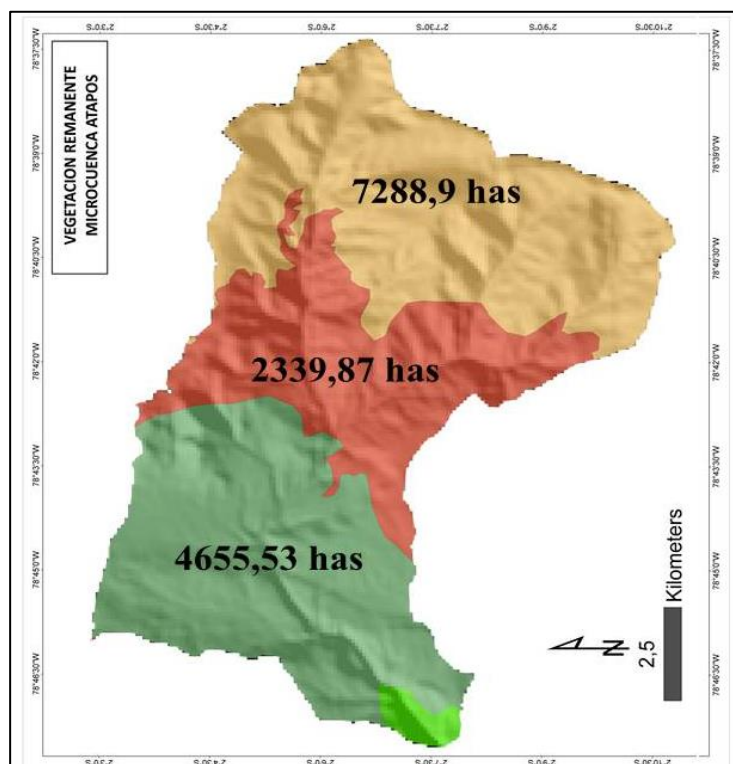
6). Calibración de pluviómetro casero y tanque de evaporación



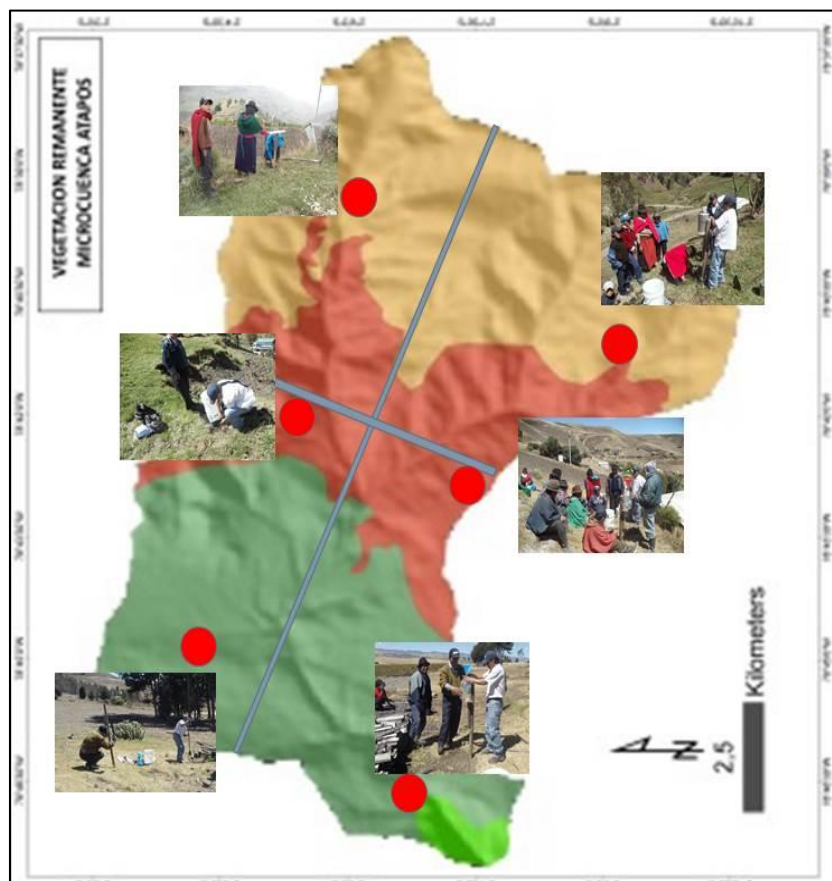
7). Área del río Pomachaca

<i>Sección transversal de cálculo</i>			
	<i>Velocidad de corriente de agua m/s.</i>	<i>V</i>	1,205
	<i>Área de la sección m².</i>	<i>A</i>	1,097
	<i>Caudal m³/s.</i>	<i>Q</i>	1,322
<i>JOSE CAGUANA</i>			

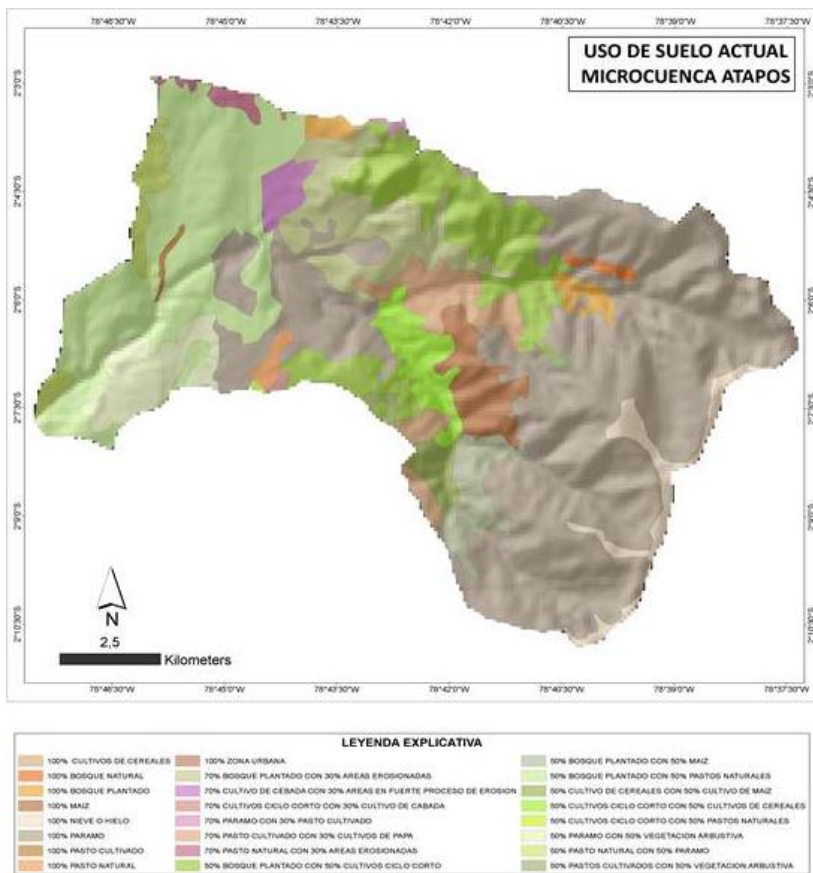
8). Distribución por zonas de la microcuenca



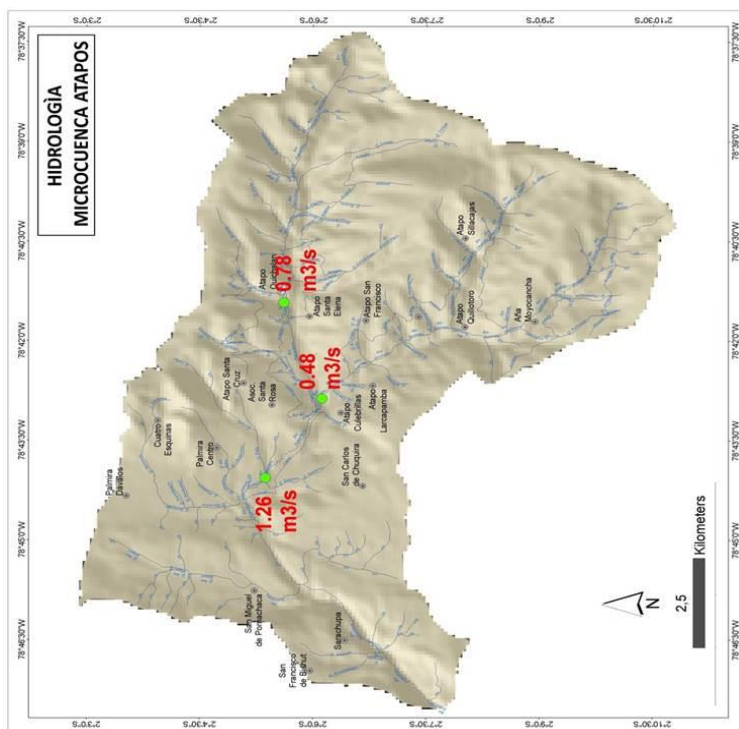
9). Instalación de equipos



10). Uso actual de suelo, distribución de cultivos



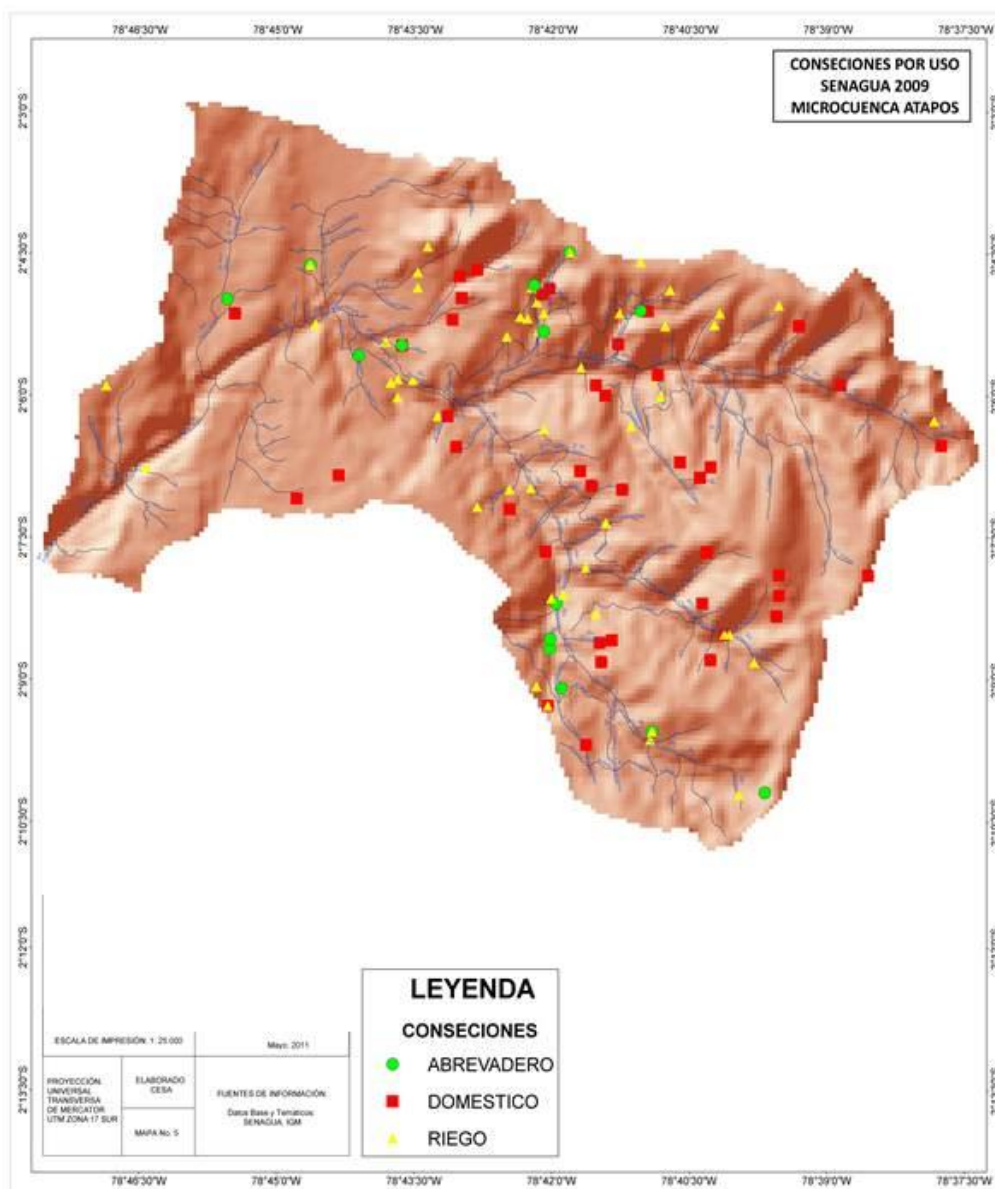
11). Medición de caudal en el río Quichalan y Pomachaca.



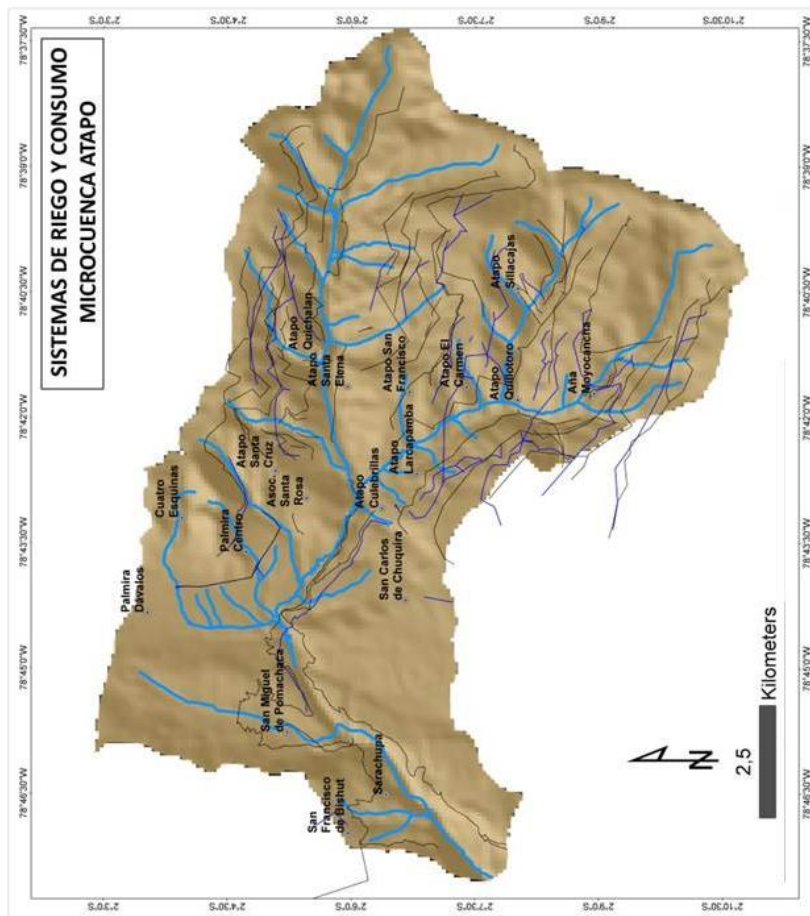
12). Medición de caudal



13). Captaciones



14). Sistemas

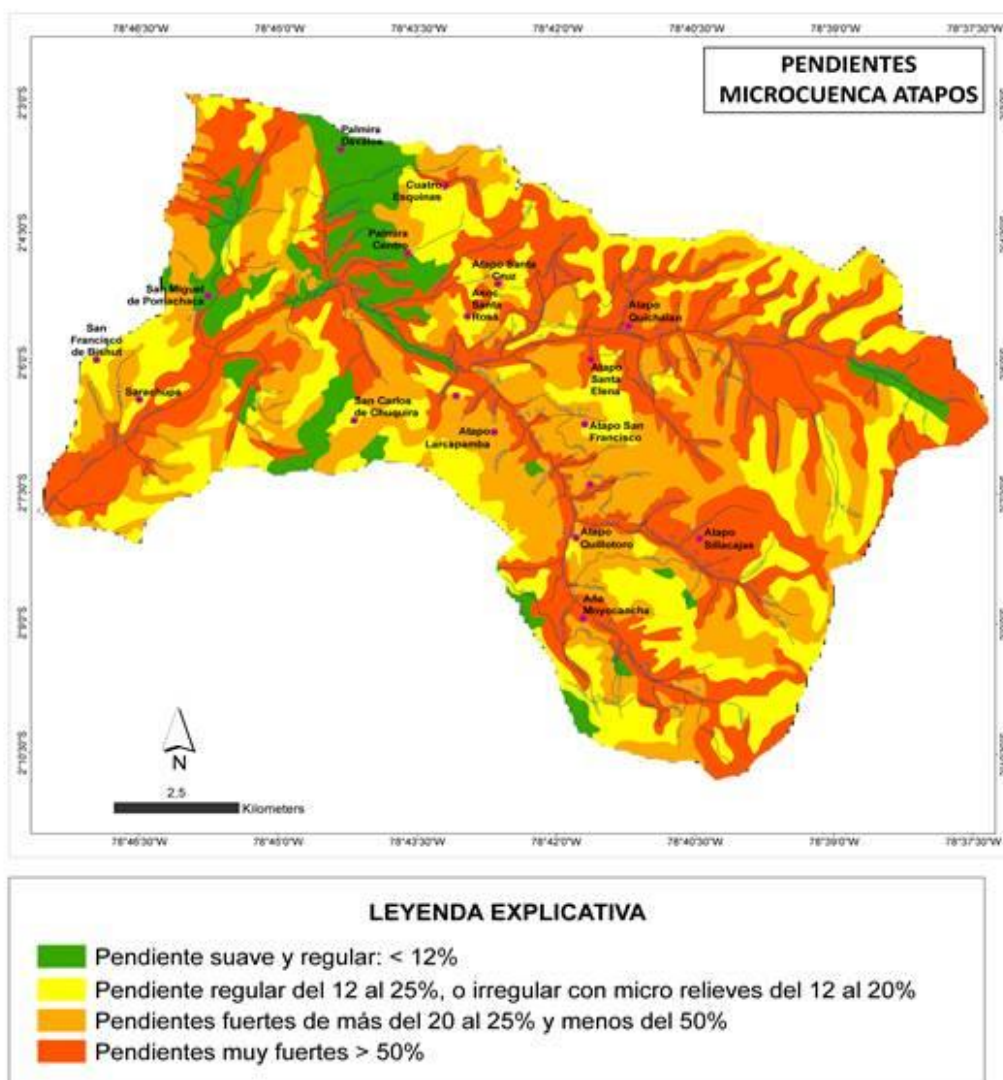


15). Registro de concesiones.

Microsoft Excel (Error de activación de productos)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	AGENCI	PE	AÑO	SI	NUN	IRIS	T	CL	NOM_CONCES	DIR_CONCES	REPRI	C	N	F	V	F	V	F	V	F	V	NOM_APROV
179	RIOBAMBA	4762	2003	0	942	CNRH	P		LOGROÑO SANTILLAN SEGUNDO MARCIAL	RIOBAMBA	###	0	06	06	52	13	52	06	21	QUEBRADA EL CASTILLA		
180	RIOBAMBA	6438	2007	0	0	SENAC	P		MEJIA ROLDAN MANUEL TRINIDAD	COMUNIDAD ATAPO STA. CRUZ/PALMIRA												REMANENTES QUEBRAC
181	RIOBAMBA	6438	2007	0	0	SENAC	P		MEJIA ROLDAN MANUEL TRINIDAD	COMUNIDAD ATAPO STA. CRUZ/PALMIRA												REMANENTES QUEBRAC
182	RIOBAMBA	2115	1987	0	0	CNRH	P		MEJIA TIXI JOSE VICENTE	SECTOR ATAPO SANTA CRUZ / PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												VERTIENTES GOLAG / D
183	RIOBAMBA	6490	2007	0	0	SENAC	P		MEJIA TIXI JOSE VICENTE	PALMIRA GUAMOTE												VERTIENTES JIGUERON
184	RIOBAMBA	6490	2007	0	0	SENAC	P		MEJIA TIXI JOSE VICENTE	PALMIRA GUAMOTE												VERTIENTES JIGUERON
185	RIOBAMBA	6490	2007	0	0	SENAC	P		MEJIA TIXI JOSE VICENTE	PALMIRA GUAMOTE												VERTIENTES JIGUERON
186	RIOBAMBA	510	1973	0	0	INERH	PU		MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA	D TIXAN / ALAUSI												VERTIENTE GUAMANI /
187	RIOBAMBA	4467	2003	0	0	CNRH	P		MOROCHO BRAVO FELICIANO	COMUNIDAD AÑA MOYOCANILLA / PARROQUIA TIXAN / ALAUSI												QUEBRADA PUENTE NEI
188	RIOBAMBA	4467	2003	0	0	CNRH	P		MOROCHO BRAVO FELICIANO	COMUNIDAD AÑA MOYOCANILLA / PARROQUIA TIXAN / ALAUSI												QUEBRADA PUENTE NEI
189	RIOBAMBA	3624	1993	0	261	CNRH	P		NARANJO HUGO MESIAS	LLAGOS / CHUNCHI												VERTIENTE CEDRO DEL
190	RIOBAMBA	3624	1993	0	261	CNRH	P		NARANJO HUGO MESIAS	LLAGOS / CHUNCHI												VERTIENTE CEDRO DEL
191	RIOBAMBA	467	1996	0	763	CNRH	P		PACA GUAMANI JOSE APOLINARIO	SECTOR SILLACAJA PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE											VERTIENTE YURAC QUIC	
192	RIOBAMBA	4139	2002	0	634	CNRH	P		PACA PULLAY ALBERTO Y PACA PULLAY JUAN AR	COMUNIDAD ATAPO QUILLOTORO / PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												VERTIENTE REDONDEL /
193	RIOBAMBA	4440	2003	0	0	CNRH	D/JA		PRE JUNTA DE AGUAS DE LA COMUNA COCAN Y COMUNIDAD	COCAN / PARROQUIA TIXAN / ALAUSI												VERTIENTES PUCUPALA
194	RIOBAMBA	333	1995	###	45	CNRH	P		PULLAY PEDRO Y OTROS	COMUNIDAD ATAPO EL CARMEN / PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												VERTIENTE CAPULI O Q
195	RIOBAMBA	464	1996	0	414	CNRH	P		PULLAY GUARACA SIMON	SECTOR ATAPO EL CARMEN / PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												VERTIENTE PUNTO DE P
196	RIOBAMBA	4928	2004	0	0	SENAC	P		PULLAY SISTEMA JOSE Y OTROS	PALMIRA GUAMOTE												QUEBRADAS MACHAY R
197	RIOBAMBA	300	1973	0	0	INERH	P		RICAUARTE JOAQUIN	SECTOR LA CONSTANCIA / PARROQUIA TIXAN / ALAUSI												VERTIENTE MOYOCANCI
198	RIOBAMBA	300	1973	0	0	INERH	P		RICAUARTE JOAQUIN	SECTOR LA CONSTANCIA / PARROQUIA TIXAN / ALAUSI												VERTIENTE MOYOCANCI
199	RIOBAMBA	2047	1987	0	749	CNRH	P		RIVERA JULIO CESAR Y ROLDAN SANTIAGO	PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												VERTIENTE HUAICO / D
200	RIOBAMBA	313	1981	0	0	INERH	P		ROLDAN DOROTEO	PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												QUEBRADA AQUISIN / I
201	RIOBAMBA	313	1981	0	0	INERH	P		ROLDAN GUARACA JUAN	PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												QUEBRADA AQUISIN / I
202	RIOBAMBA	1380	1985	0	534	INERH	P		ROLDAN PULLAY JACINTO	PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												QUEBRADAS QUILLOT
203	RIOBAMBA	922	1997	0	568	CNRH	P		ROLDAN ROLDAN FRANCISCO	COMUNIDAD ATAPO STA. CRUZ / PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												VERTIENTE QUISHUAR /
204	RIOBAMBA	3178	1992	0	36	CNRH	P		ROLDAN ROLDAN FRANCISCO	COMUNIDAD ATAPO SANTA CRUZ PALMIRA												VERTIENTE PALLA PASA /
205	RIOBAMBA	312	1981	0	0	INERH	P		ROLDAN SISTEMA MANUEL	PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												VERTIENTES GULAG Y C
206	RIOBAMBA	312	1981	0	752	CNRH	P		ROLDAN SISTEMA MANUEL Y SISTEMA RIVERA	PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												VERTIENTES GULAG Y C
207	RIOBAMBA	4092	2002	0	519	CNRH	P		ROLDAN SISTEMA MANUEL	COMUNIDAD ATAPO SANTA ELENA / PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												QUEBRADA RABUA DE
208	RIOBAMBA	1422	1985	###	726	INERH	P		SANTILLAN EUDORO	SECTOR ATAPO CHICO / PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												QUEBRADA AULLAPALA
209	RIOBAMBA	300	1981	0	0	INERH	P		SILVA HEREDIA JULIO	PARROQUIA PALMIRA / GUAMOTE												VERTIENTES QUESERA /

16). Pendientes



17). Secado de muestras de suelo en la estufa

