



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**  
**Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas.**

**Título:**

**DISPONIBILIDAD Y DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO  
SUPERFICIAL. ESTUDIO DE CASO: SUBCUENCA ZAMORA  
HUAYCO, ECUADOR.**

**Tesista:** Ing. Amb, José Luis Alvarez Bustamante

[jlav\\_1234@hotmail.com](mailto:jlav_1234@hotmail.com)

**Director:** Mg.Sc. Ing. Ftal. Gerardo Denegrí.

Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Argentina.

**Codirector:** Mg.Sc. Ing. Amb, Natalia Samaniego Rojas.

Universidad Nacional de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Ecuador.

La Plata, Argentina

2017

## RESUMEN

El cambio de uso de suelo es parte de los factores que controla los procesos lluvia-escorrentía dentro de una cuenca hidrográfica. Estos cambios de uso del suelo a menudo tienen efectos sobre los procesos hidrológicos. El presente trabajo permitió establecer los efectos de la precipitación y el cambio de uso de suelo sobre la disponibilidad del agua de la subcuenca Zamora Huayco en Ecuador.

Se realizaron análisis de la variabilidad espacio temporal de la precipitación, determinando una distribución espacial heterogénea; esta dinámica ha sido ampliamente documentada. El sitio de estudio se ubica en una zona con características altoandinas, el balance hídrico permitió evidenciar que no existe déficit de agua, debido a precipitaciones intensas, temperaturas bajas y presencia de neblina. Este fenómeno meteorológico (neblina) no se analizó en la presente investigación, sin embargo, Frumau *et al.*, (2006), mencionan que tiene gran importancia en los ecosistemas de la región andina, debido a que modifica las variables climáticas, disminuyendo de esta manera la evapotranspiración y vapor de agua.

Se simuló hidrológicamente en el modelo HEC HMS ® 3.4, el escurrimiento que generan las microcuencas El Carmen y San Simón, las cuales poseen un área de drenaje de 11,2 y 6,3 Km<sup>2</sup> respectivamente. La demanda de agua potable de la población de la ciudad de Loja es abastecida por seis microcuencas, las microcuencas El Carmen y San Simón abastecen al 60 % de los habitantes de la ciudad, sin embargo, el sistema de redes de distribución presenta fugas y pérdidas que bordean el 58,3 % (UMAPAL, 2016) y la dotación actual de 163,65 lit/hab/día sobrepasa los valores establecidos por la ONU y OMS. Sin embargo, en mayo de 2017 en el país se suscribió el Acuerdo Ministerial 1523, que fija la cantidad mínima vital de 200 lit/hab/día. La formulación de escenarios de cobertura vegetal – uso de suelo, permitió predecir el comportamiento hidrológico, que sirvió como base para el planteamiento de cuatro estrategias, que fueron priorizadas a través de la técnica de Análisis Jerárquico (AHP), de acuerdo a criterios de viabilidad técnica y social, la estrategia “Educación Ambiental” destinada a elevar la conciencia del ahorro del agua, sería la primera a implementar, lineamientos que pueden ser aplicados por el GAD Municipal de Loja.

## PALABRAS CLAVES

Cambio de uso de suelo – simulación hidrológica – disponibilidad - demanda de agua –análisis jerárquico.

## SUMMARY

The change in land use is part of the factors that control the runoff process within a watershed. These changes in land use often have effects on hydrological processes. The present work allowed to establish the effects of the precipitation and the change of land use on the water availability of the Zamora Huayco sub-basin in Ecuador.

Analysis of the variability of the temporal space of precipitation was carried out, determining a heterogeneous spatial distribution; this dynamic has been widely documented. The study site is in an area with high characteristics, the water balance benefits from evidencing that there is no water deficit, due to intense rainfall, low temperatures and the presence of haze. This meteorological phenomenon (fog) was not analyzed in the present investigation, however, Frumau *et al.*, (2006), mention that it has great importance in the ecosystems of The Andean region, because the climatic variables, decrease in this way evapotranspiration and water vapor.

The runoff generated by the El Carmen and San Simón micro-basins, which have a drainage area of 11,2 and 6,3 km<sup>2</sup>, were simulated hydrologically in HEC HMS ® 3.4. The demand for drinking water in the city of Loja is supplied by six micro-basins, the El Carmen and San Simón micro-basins are available in 60 % of the population, however, the distribution network system is 58,3 % and the current allocation of 163,65 lit/hab/day exceeds the values established by the ONU and OMS. However, in May 2017 the Ministerial Agreement 1523 was signed in the country, which establishes the minimum vital amount of 200 lit/hab/day. The formulation of scenarios of plant cover - land use, predict the predefined hydrological behavior, which served as the basis for the approach of four strategies, which were prioritized through the technique of hierarchical analysis (AHP), according to feasibility criteria technical and social, the strategy "Environmental Education" aimed at raising the awareness of water savings, would be the first to implement, guidelines that can be applied by the Municipal GAD of Loja.

## KEYWORDS

Change in land use - hydrological simulation - availability - water demand - hierarchical analysis.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>1.1. GENERALIDADES</b> .....	11
<b>1.2. ANTECEDENTES</b> .....	13
<b>1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	15
<b>1.4. OBJETIVOS</b> .....	17
Objetivo General .....	17
Objetivos Específicos .....	17
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	18
<b>2.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS</b> .....	18
<b>2.2. GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO</b> .....	18
<b>2.3. EL CICLO HIDROLÓGICO EN LA CUENCA</b> .....	19
<b>2.4. RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES</b> .....	21
<b>2.5. BALANCE HÍDRICO</b> .....	22
<b>2.6. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL LÍQUIDO</b> .....	23
<b>2.7. VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN</b> .....	24
<b>2.8. CAMBIOS DE USO DEL SUELO</b> .....	25
<b>2.9. CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO</b> .....	26
<b>2.10. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO</b> .....	27
2.10.1. Modelo Hidrológico HEC-HMS®.....	28
2.10.2. Pruebas de Calibración del Modelo HEC-HMS ®.....	29
<b>2.11. LA POBLACIÓN Y EL AGUA</b> .....	30
<b>2.12. ESTRATEGIAS PARA USO EFICIENTE Y AHORRO DE AGUA</b> .....	32
2.12.1. Clasificación de las fugas .....	34
<b>2.13. MARCO LEGAL</b> .....	35
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	37
<b>3.1. DELIMITACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	37
<b>3.2. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA SUBCUENCA</b> .....	37
3.2.1. Parámetros de Forma.....	38

3.2.2.	Parámetros de Relieve .....	41
3.2.3.	Parámetros de Drenaje .....	42
3.3.	<b>CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DE LA SUBCUENCA .....</b>	<b>44</b>
3.3.1.	Precipitación.....	44
3.3.2.	Temperatura.....	44
3.3.3.	Caudales .....	45
3.3.4.	Zonas de Vida.....	47
3.3.5.	Mapa Taxonómico de Suelos .....	47
3.4.	<b>ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA SUBCUENCA ZAMORA HUAYCO.....</b>	<b>47</b>
3.5.	<b>ESTIMAR LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO GENERADO EN LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>51</b>
3.5.1.	Balance Hidrológico .....	51
3.5.2.	Cálculo del Caudal Líquido.....	53
3.5.3.	Calibración y Sensibilidad de los Resultados Obtenidos en el Modelo HEC HMS ® .....	57
3.6.	Estimación de la Demanda del Recurso Hídrico Superficial .....	60
3.7.	<b>ESCENARIOS DE DISPONIBILIDAD EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA SUPERFICIAL .....</b>	<b>62</b>
3.7.1.	Escenario Actual .....	63
3.7.2.	Escenario pesimista .....	64
3.7.3.	Escenario optimista.....	65
3.8.	<b>ESTABLECER ESTRATEGIAS TENDIENTES A OPTIMIZAR EL CONSUMO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE .....</b>	<b>66</b>
4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>72</b>
4.1.	<b>UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>72</b>
4.1.1.	Ubicación Geográfica.....	74
4.1.2.	Geología de la Zona en Estudio .....	74
4.2.	<b>CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA SUBCUENCA .....</b>	<b>75</b>

4.2.1.	Parámetros de Forma.....	75
4.2.2.	Parámetro de Relieve .....	75
4.2.3.	Parámetros de drenaje.....	78
4.3.	<b>CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DE LA SUBCUENCA.....</b>	<b>79</b>
4.3.1.	Precipitación.....	79
4.3.2.	Temperatura.....	80
4.3.3.	Caudales .....	82
4.3.4.	Zonas de Vida.....	83
4.3.5.	Actividades Socioeconómicas en las microcuencas El Carmen y San Simón.....	85
4.4.	<b>ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA SUBCUENCA ZAMORA HUAYCO.....</b>	<b>86</b>
4.5.	<b>ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO GENERADO EN LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>94</b>
4.5.1.	Cálculo del Balance Hídrico .....	94
4.5.2.	Cálculo del Caudal Líquido.....	100
4.5.2.1.	Modelización matemática con HEC-HMS ®.....	101
4.5.2.2.	Calibración y Sensibilidad de los Resultados Obtenidos en el Modelo HEC HMS ®.....	106
4.6.	<b>ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL.....</b>	<b>107</b>
4.7.	<b>ESCENARIOS DE DISPONIBILIDAD EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA SUPERFICIAL.....</b>	<b>111</b>
4.8.	<b>ESTABLECER ESTRATEGIAS TENDIENTES A OPTIMIZAR EL CONSUMO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE.....</b>	<b>118</b>
4.8.1.	Identificación de Alternativas .....	118
4.8.2.	Descripción de Alternativas Seleccionadas .....	120
5.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>127</b>
	<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>129</b>
6.	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>130</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Normatividad legal estipulada en el Ecuador.....	36
<b>Tabla 2.</b> Parámetros morfométricos de la subcuenca “Zamora Huayco”.....	38
<b>Tabla 3.</b> Rangos y tipos de pendiente media.....	42
<b>Tabla 4.</b> Valores interpretativos de la densidad del drenaje.....	43
<b>Tabla 5.</b> Temperatura media anual estimada sobre los datos generales de estaciones meteorológicas (coordenadas UTM y altitud). .....	45
<b>Tabla 6.</b> Datos generales de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio (sobre la base del promedio de 10 años), .....	49
<b>Tabla 7.</b> Valores referenciales del criterio de Nash y Sutcliffe (1970).....	60
<b>Tabla 8.</b> Porcentajes de pérdidas y fugas de agua potable en redes de distribución de agua potable.....	66
<b>Tabla 9.</b> Escala con valores para evaluar la preferencia relativa entre los elementos, 69	
<b>Tabla 10.</b> Subcriterios para la evaluación de estrategias.....	70
<b>Tabla 11.</b> Diseño metodológico para establecer estrategias tendientes a optimizar el consumo en un contexto de desarrollo sustentable.....	71
<b>Tabla 12.</b> Plantas de tratamiento para agua potable de la ciudad de Loja,.....	73
<b>Tabla 13.</b> Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “TIRSTA” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009,.....	94
<b>Tabla 14.</b> Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “UTPL” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009, .....	95
<b>Tabla 15.</b> Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “La Argelia” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009,.....	96
<b>Tabla 16.</b> Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “PARSTA” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009,.....	96
<b>Tabla 17.</b> Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “Cajanuma” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009,.....	97
<b>Tabla 18.</b> Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “San Francisco” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009.....	98
<b>Tabla 19.</b> Caracterización de número de curva según grupo hidrológico y tipo de cobertura-uso del suelo para la microcuenca “El Carmen”. .....	100
<b>Tabla 20.</b> Caracterización de número de curva según grupo hidrológico y tipo de cobertura y uso del suelo para para la microcuenca “San Simón”.....	101
<b>Tabla 21.</b> Valores de pérdida inicial, parámetros para el cálculo del volumen de escurrimiento, y cálculo del hidrograma de salida. ....	102
<b>Tabla 22.</b> Caudales promedio mensuales según Método Racional para la Subcuenca “Zamora Huayco” periodo 1999 – 2003.....	102
<b>Tabla 23.</b> Caudales promedios mensuales según aforo líquido químico, en Área de Experimental, para el año 2016. ....	102
<b>Tabla 24.</b> Valores de los parámetros para el cálculo de caudales en el programa HEC-HMS ®.....	103
<b>Tabla 25.</b> Datos de la sección transversal del cauce de las quebradas El Carmen y San Simón del programa HEC-HMS ®.....	104
<b>Tabla 26.</b> Valores ponderados y área de influencia de las estaciones meteorológicas según polígonos de Thiessen,.....	105

<b>Tabla 27.</b> Crecimiento poblacional de la ciudad de Loja, desde 1950 hasta 2010 según Censos de población, y proyección desde el 2016 al 2040. ....	108
<b>Tabla 28.</b> Consumo promedio mensual para los diferentes usos de agua de en la ciudad de Loja 2016.....	109
<b>Tabla 29.</b> Pérdidas y fugas de agua potable en la ciudad de Loja para los años 2010 y 2016.....	110
<b>Tabla 30.</b> Concesiones para uso - aprovechamiento de agua en las microcuencas EL Carmen y San Simón,.....	111
<b>Tabla 31.</b> Valores de precipitación promedio, máximo y mínimo registrado en la estación meteorológica La Argelia desde 1964 al 2009. ....	112
<b>Tabla 32.</b> Estimación escenario actual (2016), pesimista (2040), y optimista (1979), formulados para la subcuenca Zamora Huayco.....	115
<b>Tabla 33.</b> Estrategias planteadas, según sistemas: Recurso hídrico, Institucional y Usuario.....	119
<b>Tabla 34.</b> Estrategia 1, Conservación de microcuencas captadoras de agua, .....	120
<b>Tabla 35.</b> Estrategia 2, reparación de perdidas y fugas en red de distribución, .....	121
<b>Tabla 36.</b> Estrategia 3, Educación ambiental enfocada a elevar la conciencia del ahorro del agua, .....	121
<b>Tabla 37.</b> Estrategia 4, Cambio en los hábitos de consumo de los habitantes de la ciudad de Loja.....	122
<b>Tabla 38.</b> Estrategias a jerarquizar .....	123
<b>Tabla 39.</b> Matriz Normalizada de la MCP, para alternativas del Método AHP .....	124
<b>Tabla 40.</b> Factor de priorización para los subcriterios .....	125
<b>Tabla 41.</b> Síntesis de factor de priorización para estrategias .....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Formas de la cuenca de drenaje.....	39
<b>Figura 2.</b> Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río.....	41
<b>Figura 3.</b> Mapa Ubicación estaciones meteorológicas Subcuenca “Zamora Huayco” 49	
<b>Figura 4.</b> Hietograma Sintético promedio generado para el mes de enero, periodo 2000-2009 de la estación meteorológica La Argelia de la Subcuenca “Zamora Huayco”, Microcuencas: El Carmen y San Simón. ....	55
<b>Figura 5.</b> Esquemización de la subcuenca “Zamora Huayco”, Microcuencas: El Carmen y San Simón.....	56
<b>Figura 6.</b> Especificaciones de control para el mes de enero de la estación meteorológica “La Argelia”.....	57
<b>Figura 7.</b> Área experimental, parte alta de la microcuenca El Carmen, Aforos líquidos químicos, método de sal común (NaCl).....	58
<b>Figura 8.</b> <i>Análisis Normal climatológica, precipitación promedio y anual máxima y mínima de la estación meteorológica La Argelia desde 1964 hasta el 2009,</i> .....	62
<b>Figura 9.</b> Cobertura vegetal - cambio de uso de suelo del año 1976 (A), 2010 (B), y proyección para el año 2040 (C), Mapa cobertura 1976 se añadió zona residencial del año 2016.....	63
<b>Figura 10.</b> Esquema conceptual Uso Eficiente de Agua (UEA).....	68
<b>Figura 11.</b> Mapa base de la Subcuenca “Zamora Huayco”, Microcuencas: El Carmen y San Simón.....	72

<b>Figura 12.</b> Mapa componente hidrológico de la Subcuenca “Zamora Huayco”, Microcuencas: El Carmen y San Simón. ....	73
<b>Figura 13.</b> Mapa Taxonómico de suelos, Subcuenca “Zamora Huayco” .....	75
<b>Figura 14.</b> Relieves, imagen en 3D, Subcuenca “Zamora Huayco”, microcuencas: El Carmen y San Simón y ciudad de Loja, Ecuador, Sin escala. ....	76
<b>Figura 15.</b> Mapa altitudinal de la Subcuenca Zamora Huayco, microcuencas: El Carmen y San Simón y ciudad de Loja, Ecuador. ....	76
<b>Figura 16.</b> Mapa de rango y tipo de pendiente media, Subcuenca Zamora Huayco, microcuencas: El Carmen y San Simón. ....	77
<b>Figura 17.</b> Curva Hipsométrica de la Subcuenca “Zamora Huayco” .....	78
<b>Figura 18.</b> Número de órdenes de drenaje de la Subcuenca “Zamora Huayco”. .....	79
<b>Figura 19.</b> Mapa de Isoyetas precipitación media Subcuenca Zamora Huayco .....	80
<b>Figura 20. a)</b> Temperatura media mensual registro 2000-2009, información en base a coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca Zamora Huayco, <b>b)</b> Regresión lineal, correlación entre la temperatura (°C) y altitud (msnm). ....	81
<b>Figura 21.</b> Mapa de Isotermas de la Subcuenca Zamora Huayco, .....	81
<b>Figura 22. a)</b> Caudales promedios cada 5 años de la microcuenca “El Carmen” <b>b)</b> Caudales promedios cada 5 años de la microcuenca “San Simón” de la subcuenca “Zamora Huayco” .....	82
<b>Figura 23.</b> Clasificación de Ecosistemas para Ecuador continental, .....	85
<b>Figura 24.</b> Corte transversal de la topografía del sur de Ecuador. ....	87
<b>Figura 25.</b> Precipitación media mensual registro de datos entre los años 2000 y 2009 de las estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca “Zamora Huayco”, .....	89
<b>Figura 26.</b> Precipitación media mensual periodo 2000 – 2009, Estación Meteorológica La Argelia.....	90
<b>Figura 27.</b> Regresión lineal, correlación entre la cantidad de lluvia anual (mm) y la altitud (msnm), .....	92
<b>Figura 28.</b> Interpolación de la precipitación anual registro de datos 2000-2009 sobre la subcuenca “Zamora Huayco”, Microcuencas: El Carmen y San Simón. ....	93
<b>Figura 29.</b> Balances Hídricos mensuales de las estaciones meteorológicas cercanas a la Subcuenca “Zamora Huayco” periodo 2000 – 2009. ....	99
<b>Figura 30.</b> Hietograma e hidrograma resultado de la simulación para las microcuencas “El Carmen” y “San Simón” para el mes de enero. ....	105
<b>Figura 31.</b> Resultados obtenidos mediante la modelación con HEC HMS para la subcuenca “Zamora Huayco”, microcuencas “El Carmen” y “San Simón” para un periodo de 10 años (2000-2009). ....	106
<b>Figura 32.</b> Comparación de los resultados observados y calculados de la microcuenca El Carmen (2016) parte alta.....	107
<b>Figura 33.</b> Censos nacionales, y estimación de la población de la ciudad de Loja desde el 2016 hasta el año 2040 (cada 6 años). ....	108
<b>Figura 34.</b> Proyección de consumo de agua según censos y estimación de población de la ciudad de Loja, .....	110
<b>Figura 35.</b> Análisis de serie de tiempo, basado en la gráfica de regresión lineal de la estación meteorológica La Argelia, de una serie de registros desde 1964 al 2009. ...	112
<b>Figura 36.</b> Caudales estimados para el escenario actual, pesimista y optimista, con base en 3 tipos de cobertura vegetal-uso del suelo, y precipitaciones máximas. ....	116
<b>Figura 37.</b> Caudales estimados para el escenario actual, pesimista y optimista, con base en 3 tipos de cobertura vegetal-uso del suelo, y precipitaciones mínimas, .....	117

<b>Figura 38.</b> Esquema de Jerarquización .....	123
<b>Figura 39.</b> Jerarquización final de las estrategias método AHP .....	126

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. GENERALIDADES

El agua es el recurso natural más preciado y es el primer y principal componente de toda la materia viva en el planeta tierra (ONU, 2010). En el contexto del enfoque de manejo y la gestión integral de cuencas hidrográficas (MGICH), se reconoce a la cuenca como una unidad para la gestión de los recursos hídricos. Es así, que una cuenca hidrográfica es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua.

La cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o “divisoria de aguas” se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra a un río (Ramakrishna, 1997). El agua es considerada como el elemento central a partir del cual se articulan los demás componentes que funcionan como un sistema interconectado e indivisible en un territorio delimitado naturalmente; bajo este principio se enfatizan acciones tendientes a garantizar el abastecimiento de agua en calidad y cantidad, la sostenibilidad de los recursos asociados: suelo, bosque y biodiversidad, y el mantenimiento de las dinámicas existentes (Cervantes *et al.*, 2009).

Los cambios de cobertura/uso del suelo (CCUS), ocasionados por la deforestación son la causa principal de la disminución de los recursos forestales y degradación ambiental a escala local, regional y global, e influyen indirectamente en la desertificación, las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera y el cambio climático (Gómez *et al.*, 2004). Mientras que en los países desarrollados se reporta una ganancia neta de superficie forestal, en la mayoría de los países en vía de desarrollo se registran pérdidas de bosques, a veces a un ritmo alarmante (FAO, 2010).

Según la FAO (2009), en América Latina, países como Brasil, Ecuador, El Salvador, Honduras, Paraguay y Venezuela presentaron tasas de deforestación entre 0,6 y 3 % al año, durante el periodo 2000-2005. Ecuador tiene un alto grado de deforestación anual, durante los últimos 20 años se presentaron tasas de deforestación entre 1,5 y 1,8 % durante los periodos 1990-2001 y 2010. En la región sur del país, las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe, aproximadamente un 46 % de la cobertura natural vegetal fue convertida en pastizales y otros tipos de uso (Tapia *et al.*, 2015).

Según Crespo *et al.*, (2008), en las últimas décadas el crecimiento exponencial de la población humana ha generado presión sobre los recursos naturales; por ejemplo, el abastecimiento de agua potable, el vertido de efluentes y residuos a cuerpos receptores. En muchos casos estos recursos son escasos, y cada vez es mayor la competencia para obtenerlos.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2011), sostiene que en Ecuador la contaminación de los recursos hídricos y la degradación de los ecosistemas asociados a ellos son dos de los más grandes problemas que afectan al desarrollo sostenible del país. Incide en esta situación, el crecimiento poblacional y su creciente demanda de agua, la falta de cumplimiento de normas y la ausencia de aplicación de sanciones rigurosas. La calidad del agua se ve alterada por el vertimiento de aguas residuales, la disposición final de residuos sólidos, la presencia de agroquímicos, las actividades de extracción minera y explotación petrolera confieren un escenario perjudicial para la población y tiene una influencia negativa para los recursos hidrológicos superficiales y subterráneos.

La cuenca superior del río Zamora, que es parte del gran sistema del río Santiago (27.425 km<sup>2</sup> de área drenada), forma parte del sistema hidrográfico que está constituido por el río Zamora, al cual pertenece la Subcuenca Zamora Huayco que es la zona en estudio, constituida por las microcuencas El Carmen y San Simón, localizadas en el área de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus y a 8 Km aproximadamente de la ciudad de Loja. Las dos microcuencas permiten abastecer la demanda de agua para consumo humano del 60 % de la población de la ciudad de Loja, de ahí su importancia para un manejo y gestión adecuada (González, 2013).

Anteriormente, los alrededores de las microcuencas captadoras de agua eran fincas destinadas a la crianza de ganado y carecían de cuidado y conservación. Por esta razón se generaron acuerdos entre la municipalidad y los moradores de la zona, para evitar que se realicen actividades agrícolas y/o ganaderas, según acuerdo de ordenanza municipal destinada a la protección de las microcuencas captadoras de agua para consumo humano, expedida en agosto del 2007 y reformada en abril de 2015. El manejo integral permitirá conservar las fuentes de captación, preservar las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus (PNP), y una adecuada regulación hídrica (Maza, 2009). Además, estas áreas son de suma importancia para la investigación científica.

Por otro lado, Crespo *et al.*, (2008), en un estudio realizado en tres microcuencas de montaña, situadas en la parte lateral oeste de la cordillera occidental de la sierra sur ecuatoriana en la provincia del Cañar, señalan que los pastos asentados sobre suelos en procesos de degradación presentan la tendencia de tener flujos superficiales altos, permitiendo la generación de escorrentía inmediata, el caudal base llega a valores ínfimos después de un periodo seco corto. Los bosques primarios actúan de manera totalmente inversa, la regulación del volumen de agua es muy importante en época de estiaje y evita en época lluviosa la generación de crecientes que puedan causar problemas de inundación.

Las predicciones de las variaciones climáticas son importantes para realizar una planificación adecuada del recurso hídrico (Candela *et al.*, 2009); sin embargo, el comportamiento futuro de los recursos hídricos en una cuenca debe ser estudiado en base a los efectos combinados de los cambios del clima y el cambio de uso del suelo (Juckem *et al.*, 2008). Es por esto que, los estudios hidrológicos son un requisito primordial para la formulación y desarrollo de proyectos sostenibles, logrando crear conciencia en los habitantes, de tal manera que pueda comprenderse la posible variación del recurso hídrico ante la variabilidad climática, el incremento en la explotación del recurso hídrico, cambios en el uso del suelo, y el crecimiento poblacional.

## **1.2. ANTECEDENTES**

La variabilidad espacial y temporal del clima influye en los ciclos hidrológicos de manera natural en todas las regiones del mundo, sin embargo, las regulaciones naturales de las cuencas productoras de agua atenúan dichos ciclos. El manejo inadecuado, exagera el régimen hidrológico irregular, aumentando los eventos críticos, que pueden presentarse como temporadas de sequía o eventos significativos de precipitación (Mesa, 2007).

Sudamérica a nivel mundial, es la región con mayor tasa de deforestación (Crespo *et al.*, 2008). Los efectos sobre la dinámica hídrica de la conversión de bosque a pasto o la reforestación de zonas han sido muy estudiados, sin embargo, existen pocos estudios en zonas de bosques tropicales. La mayoría de los estudios realizados son a escala de parcela o ladera, y pocos se han realizado a escala mayor en zonas de bosque montano (PROMAS/DIUC, 2004).

Las cuencas altoandinas presentan una elevada producción de agua, la mayoría de las principales ciudades del norte de Los Andes, por ejemplo, Bogotá, y Cali en Colombia, y Quito en Ecuador se benefician del abastecimiento de agua para uso doméstico, industrial, riego y generación de energía hidroeléctrica (Crespo *et al.*, 2010). Estos ecosistemas presentan impactos antropogénicos debido a que la población ejerce presión sobre dichos recursos, generando alteración de la cubierta vegetal, incendios y explotación forestal, siendo los factores calidad y cantidad del agua y el uso del territorio los más afectados (Maza, 2009).

Las microcuencas El Carmen y San Simón que pertenecen a la subcuenca Zamora Huayco, se ubican en el flanco oriental de la región interandina, cerca de la ciudad de Loja en Ecuador. La biodiversidad de la zona en estudio se encuentra influenciada directamente por el Parque Nacional Podocarpus, caracterizado por una vegetación herbácea y arbustiva con alta biodiversidad y endemismo (Monasterio & Molinillo, 2003), que cubre 1.337.119 hectáreas de las cordilleras Oriental y Occidental del Ecuador (Beltrán *et al.*, 2009). En esta área predominan los terrenos montañosos con grandes alturas y pendientes, la orografía es la que domina el comportamiento de las lluvias (Cortés, 2010), de ahí su importancia hídrica, pues suministra agua potable al 60 % de la población de la ciudad de Loja, que para el 2010 poseía una población de 214,9 mil habitantes según el último Censo de Población y Vivienda (INEC, 2010)

Las investigaciones hidrológicas en las microcuencas El Carmen y San Simón han sido escasas debido a los insuficientes registros meteorológicos y aforos de caudales, sin embargo, estudios existentes señalan la gran importancia que tiene la subcuenca Zamora Huayco sobre el abastecimiento de agua potable para los habitantes de la ciudad de Loja. Por ello, Carbajal & Piedra (2008), realizaron un Inventario Hidrológico de la Cuenca Superior de Río Zamora aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG), dicha investigación permitió estimar mediante métodos empíricos caudales máximos para diferentes períodos de retorno ( $T_r$ ).

En la clasificación y análisis de la cobertura vegetal sobre la subcuenca Zamora Huayco, realizada por Maza (2009), el mapa de uso de suelo y cobertura vegetal determinó que las formaciones vegetales más representativas son pastizales, bosque montano, páramo arbustivo, plantaciones de árboles/pino y sucesión de vegetación; en cuanto a la condición hidrológica las partes altas se encuentran en buen estado, dicha información permitirá un manejo integral de las microcuencas.

Erazo & Palacios (2010), realizaron la valoración ecológica y económica del servicio ecosistémico hídrico de la microcuenca El Carmen y San Simón, con los resultados obtenidos en este trabajo investigativo, posibilitan plantear mecanismos de pago por servicios ambientales a los habitantes de la ciudad de Loja, y que asegure a los actores que intervienen en la provisión de estos servicios, la retribución económica y así adoptar sistemas de producción agropecuarias sustentables, que garanticen permanentemente el servicio hídrico.

La calidad de agua de la microcuenca El Carmen se encuentra dentro de los límites permisibles, lo que la hace óptima para el consumo humano, según la investigación denominada: *Elaboración de una guía eco-turística para la microcuenca El Carmen, zona intangible del Parque Nacional Podocarpus* realizada por Flores & Cabrera (2012).

El proyecto de investigación sobre la estimación espacial de la erosión del suelo y el riesgo del cambio de cobertura vegetal en Los Andes del Sur de Ecuador, ejecutado por Ochoa *et al.*, (2013), permitió generar mapas de erosión potencial de alta resolución empleando la fórmula de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) para estimar la erosión del suelo en la subcuenca Zamora Huayco. Determinando que la cobertura vegetal es el factor más importante para la erosión potencial del suelo. Los factores secundarios están relacionados con la precipitación (factor R) y la topografía (factores LS). Aunque las predicciones espaciales de la erosión potencial del suelo tienen un significado limitado para el riesgo de erosión, este método permitió proporcionar una importante herramienta de cribado para el manejo del suelo y la evaluación del cambio de cobertura vegetal, con la finalidad de contribuir en el manejo y gestión integrada del recurso hídrico en la subcuenca.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Ecuador tiene un promedio de precipitación anual de 1.200 mm, sin embargo, el abastecimiento de agua superficial es un problema muy serio, ocasionado por la variabilidad espacio temporal de la precipitación y la desigual distribución de la población (Encalada *et al.*, 1997). El uso consuntivo en calidad y cantidad requerido por la demanda sectorial de agua que predomina en el país es el agrícola, debido a que representa el 80 % del caudal utilizado, seguido del 13 % para uso doméstico y el 7 % para el sector industrial (SENAGUA, 2011). La CEPAL (2011), señala que la mayoría de la población ecuatoriana habita en la región sierra y la cuenca del río Guayas en la costa, el mayor potencial hídrico del país (88 %) se ubica en la vertiente

Amazónica; donde en contraste vive solamente el 4 % de la población nacional. Algunas áreas reciben 250 mm de precipitación anual, mientras que otras reciben tanto como 6.000 mm al año. (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, 1998; Cedeño & Donoso, 2010).

En el país, los recursos subterráneos son poco conocidos, la información disponible es aislada o limitada, lo que impide conocer la aportación de un acuífero a un río, o, al contrario, la recarga que un embalse subterráneo puede recibir de un cauce superficial. Según la CEPAL 2011, desde el año 1983 no se ha actualizado el mapa hidrogeológico nacional (escala de 1:1.000.000), el único estudio sobre el aprovechamiento de agua subterránea data de 1998 y fue realizado por Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) donde se expresa que “en los últimos años el aprovechamiento de agua subterránea ha ido en aumento, debido al crecimiento poblacional y la degradación de aguas superficiales” (CEPAL, 2011). Existen zonas en las que el agua subterránea es el único recurso accesible para abastecer a la población y sus actividades, particularmente en cuencas deficitarias del recurso superficial; en la provincia de Loja se ejecutó el Proyecto de Desarrollo de Aguas Subterráneas (2002), que benefició a más de 500 mil habitantes.

A esto, se suma el aumento considerable de las áreas de pastizal en zonas de montaña entre los años 1972 a 1985, que en sus inicios fueron utilizadas para la agricultura, pero debido a la degradación y baja productividad se procedió al cambio de uso de suelo – cobertura vegetal (Wunder, 2000), a diferencia de la época precolombina, cuando más del 90 % de la superficie del país estuvo cubierta por bosque nativo; para el año 2005 se estimó que esta cantidad decreció en un 39 % producto de la colonización según la FAO (2006).

Para el periodo 2000-2008 la deforestación se concentró principalmente en las provincias de Esmeraldas (costa norte), Zamora Chinchipe y Loja al sur del país respectivamente. La tasa de deforestación anual que se suscita a nivel nacional para este mismo periodo es de -0,66 % que corresponde a 77.647 ha/año, a diferencia del periodo 1990-2000 donde fue del -0,71 %, que corresponde a 89.944 ha/año. La deforestación disminuyó en 12.297 ha/año entre el primer y segundo periodo respectivamente (MAE, 2012).

Según Maza (2009), las actividades agrícolas y pecuarias han logrado un cambio tanto en el uso del suelo como en la cobertura vegetal, la reforestación con especies exóticas, incendios y la extracción maderera están degradando la subcuenca Zamora

Huayco, dichas actividades afectan su dinámica hídrica, logrando una disminución notable del caudal (Alvarado, 2002). En agosto del 2005 se empezaron a sentir los primeros estragos del estiaje, debido al prolongado periodo de sequía, lo que ocasionó una reducción del agua cruda en un 50 %, (GAD Municipal de Loja, 2005). Según nota de prensa de diario La Hora, el 06 de noviembre de 2010, Rafael González, director de la Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (UMAPAL), manifestó que los problemas de desabastecimiento de agua potable en la ciudad de Loja obedecen a la época de estiaje y de redes de distribución en mal estado que ocasiona pérdidas de agua.

A partir de estas referencias y tomando como variables de entrada: precipitación, cobertura vegetal, uso y tipo de suelo y número de curva (NC), permitió simular la producción de caudales en las microcuencas El Carmen y San Simón captadoras de agua, la proyección de escenarios: pesimista y optimista determinarán la disponibilidad de agua con base en la demanda del 60 % de la población de la ciudad de Loja, tomando en cuenta el crecimiento demográfico y porcentaje de pérdidas en red de distribución. Lo que permitirá plantear estrategias enfocadas en la problemática identificada y así lograr una toma adecuada de decisiones, planificación y manejo sustentable del recurso hídrico.

Este trabajo parte de la premisa de que la ***variabilidad espacio temporal de la precipitación y el cambio de uso de suelo influyen de manera directa sobre la disponibilidad del recurso hídrico superficial en la subcuenca Zamora Huayco.***

#### **1.4. OBJETIVOS**

##### **Objetivo General**

Establecer los efectos de la precipitación y cambio de uso de suelo sobre la disponibilidad y demanda del recurso hídrico superficial a mediano o largo plazo en la subcuenca “Zamora Huayco” de la ciudad de Loja, Ecuador.

##### **Objetivos Específicos**

1. Analizar la variabilidad espacio temporal de la precipitación en la subcuenca,
2. Estimar la disponibilidad del recurso hídrico generado en la zona de estudio,
3. Estimar la demanda del recurso hídrico,
4. Formular escenarios de disponibilidad en función de la demanda de agua superficial y variabilidad estudiada en el objetivo 1,

5. Establecer estrategias tendientes a optimizar el consumo en un contexto de desarrollo sustentable.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

Una cuenca hidrográfica es un área natural en donde se acumula el agua proveniente de las precipitaciones formando un cauce principal, las divisorias de agua son formadas naturalmente por los puntos más altos que encierran el río principal y los sistemas de cursos de agua que desembocan en él, formando así una unidad fisiográfica (Ramakrishna, 1997). Donde se interrelacionan sistemáticamente procesos biofísicos, socioeconómico y ambientales. Es un sistema integrado por elementos biológicos, físicos y socioeconómicos que se caracteriza por su dinámica y por la interacción de sus componentes o elementos (CATIE, 2001).

En este contexto, una cuenca hidrográfica es una fuente natural de captación de agua, con una realidad social propia determinada por las relaciones económicas, culturales, sociales y políticas que se establecen entre los diferentes grupos sociales (Aguilar, 2007). Los componentes biofísicos, biológicos y antropológicos que interrelacionan dentro de la cuenca deben estar en equilibrio, ya que al afectarse uno de ellos pone en peligro todo el sistema (Ramakrishna, 1997). En este sentido, la cuenca debe ser considerada como una unidad de planificación, en ella los habitantes deben ser los actores protagónicos y sus organizaciones comunitarias deben constituirse en la base del desarrollo local (Escobar, 2003).

En síntesis, "las cuencas hidrográficas son unidades físicas que sirven como marco práctico objetivo para la planificación y gestión del desarrollo sustentable, donde la disponibilidad de recursos hídrico, biológico y edáfico en una cuenca hidrográfica depende de la tendencia dinámica de funcionamiento espacio - temporal; la influencia de tratamientos integrados de producción y protección regionales, según elementos sociales, y económicos; y, el grado de alteración ambiental y social" (Gaspari *et al.*, 2010).

### **2.2. GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO**

REDLACH (2009), define a la Gestión Integrada de Recursos Hídrico (GIRH) como "un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los

recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico, equitativamente y sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales".

La GIRH es un proceso clave en la gestión y manejo de cuencas, debido a que se enfoca en el recurso hídrico como elemento primordial de esta unidad territorial. Mientras la gestión de cuencas debe ser flexible respecto al contexto y realidad de cada una de ellas, la gestión del agua debe tener mecanismos, instituciones y regulaciones rígidas en las esferas más altas, que guíen las políticas oficiales respecto a este tema; así mismo, en la esfera local, debería haber un departamento u oficina dedicado específicamente al recurso hídrico (Veas, 2011).

El recurso hídrico es visto como un elemento primordial para el componente humano, pero no se hace énfasis en otros usuarios de esta, como la flora y fauna, o del ecosistema en general (Veas, 2011). La gestión debe estar orientada casi en su totalidad a actividades antrópicas en un nivel local, entendiéndose que del entorno se encargaría el comité de la cuenca a través de su plan de manejo, como lo establece Dourojeanni (2009), quien además, introduce el término de gestión de recursos hídricos por cuenca, que es definido como "la gestión de las intervenciones, que los seres humanos realizan en una cuenca y sobre el agua captada por la misma, con el fin de conciliar metas económicas, sociales y ambientales que permitan mejorar la calidad de vida de todos los seres humanos que dependen del uso de su territorio y sus recursos, así como minimizar los conflictos entre los interventores y el ambiente".

### **2.3. EL CICLO HIDROLÓGICO EN LA CUENCA**

El ciclo hidrológico se describe como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado sólido, líquido, y gaseoso; como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.). El ciclo hidrológico es completamente irregular, y es precisamente contra estas irregularidades que lucha el ser humano. Una muestra de ello son los periodos de satisfacción con los requerimientos del agua para las diferentes actividades, otros periodos de sequías y otros de inundaciones (Villón, 2004). El entendimiento de la hidrología es importante debido a que se sitúa en cuencas hidrográficas que abastecen agua para diferentes usos del suelo o consumo humano urbano, y por lo tanto la calidad y cantidad del rendimiento hídrico se vuelve crítico (Gaspari, *et al.*, 2013). El ciclo hidrológico está conformado por los siguientes componentes:

### **2.3.1. Precipitación**

La precipitación es la cantidad de agua que cae sobre la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido como llovizna o lluvia, o en estado sólido: escarcha, nieve, o granizo. La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas (Aguilar, 2015).

Desde el punto de vista hidrológico, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre; sus mediciones y análisis forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua (Villón, 2004).

No toda el agua precipitada llega a la superficie de forma directa, hay una parte de ella que es interceptada en su trayecto; esta intercepción la realizan las plantas, por lo que se puede diferenciar dos términos, la precipitación incidente y la precipitación neta (Tobón *et al.*, 2009).

### **2.3.2. Evapotranspiración**

Es el resultado del proceso en donde el agua cambia de estado líquido a gaseoso directamente (evaporación) y a través de la actividad metabólica de las plantas y animales (transpiración). Esta humedad es transferida de regreso a la atmósfera en forma de vapor. Es pues, la suma de la evaporación y de la transpiración y es mayor cuanto más densa sea la cobertura de vegetación por unidad de área (Mora & Valverde 2005).

### **2.3.3. Infiltración y Percolación**

La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra; mientras que la percolación es el movimiento del agua dentro del suelo, ambos fenómenos, están íntimamente ligados puesto que, la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda (Chereque, 1996).

#### **2.3.4. Escorrentía**

El escurrimiento o escorrentía se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (Villón, 2004).

#### **2.3.5. Flujo Lateral**

El flujo lateral es el agua que se mueve por debajo de la superficie del suelo y sobre el nivel de los acuíferos, la cual fluye subsuperficialmente y alimenta los canales de drenaje, ríos, o lagos. El flujo subsuperficial lateral es calculado simultáneamente con la percolación para el perfil del suelo entre (0-2 m) mediante un modelo de almacenamiento cinético, que usa la ecuación de conservación de la masa con el perfil entero del suelo como el volumen de control (Proaño *et al.*, 2006).

### **2.4. RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES**

Se entiende como recursos hídricos superficiales a todos los cuerpos de agua que se encuentran en el planeta en forma de océanos, ríos, lagos, arroyos o lagunas, y que están disponibles para algún tipo de uso (Contreras *et al.*, 2008).

Las aguas superficiales constituyen uno de los recursos naturales renovables de mayor importancia para todos los seres vivos, Smith & Smith (2001), establecen que "...son aquellas aguas de lluvia que se canalizan a través de ríos, quebradas, lagunas, entre otras. Se forman cuando la intensidad de la lluvia supera la tasa de infiltración del suelo, y según características topográficas y cobertura del terreno, favorecer el escurrimiento aguas abajo, por ejemplo, en forma de ríos". El agua superficial está en constante movimiento, y fluye sobre una superficie determinada, Contreras *et al.*, (2008), manifestaron "...el agua viaja siguiendo la trayectoria que le marcan los suelos, los declives, las quebradas y hondonadas, formando lo que llamamos una cuenca hidrográfica".

Para Pladeyra (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. Su propósito es determinar los principales flujos hídricos en las cuencas.

## 2.5. BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico contabiliza las ganancias de agua por lluvia o riego y las pérdidas por evaporación, escorrentía, drenaje profundo y la variación del almacenamiento de aguas en el suelo. El conocimiento del balance hídrico permite determinar la duración y la magnitud a nivel macroclimático de los períodos con exceso o deficiencia de agua, y es de aplicación para definir la hidrología de una zona, realizar la clasificación climática de un área y para la planificación hidráulica. El balance hídrico es la aplicación del principio de la igualdad de las masas con respecto al flujo de agua, en un sistema determinado (Díaz *et al.*, 2005), es decir, en un espacio geográfico en el cual se examina el ciclo hidrológico, dado que el agua no puede ser creada ni destruida en dicho espacio; este balance puede ser expresado en términos de:

***Flujo de entrada – Flujo de Salida = Relación de cambio de agua almacenada***

La cuantificación del balance hídrico es normalmente complicada, pues la falta de medidas directas, la variación espacial de las variables (tales como precipitación, evapotranspiración), las pérdidas profundas (a acuíferos) y las variaciones del agua almacenada son una limitación en este proceso, sin embargo, como respuesta a estas dificultades, de manera general se admiten dos premisas: la primera supone que las pérdidas profundas son despreciables (se considera que una cuenca es impermeable) y la segunda admite que las variaciones del agua almacenada en la cuenca hidrográfica son despreciables para un periodo normalmente largo (Faustino, 2012).

Así, una forma práctica de calcular el balance hídrico en una cuenca es considerar que el agua entra, se almacena y sale de la cuenca de acuerdo a la siguiente expresión matemática:

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (1)$$

De dónde,  $SW_t$  es el contenido de agua en el suelo en el día,  $i$  es medido en mm;  $SW$  es la cantidad inicial de contenido de agua en el suelo (mm);  $t$  es el tiempo en días;  $R$  es la precipitación diaria (mm),  $Q$  es la cantidad de escorrentía diaria (mm),  $ET$  es evapotranspiración diaria (mm),  $P$  es percolación diaria (mm) y  $QR$  es el flujo de retorno o flujo base en mm (Bonini & Guzmán 2003).

El clima de una cuenca hidrográfica proporciona las entradas de humedad y energía, que controlan el equilibrio del agua y determinan la importancia relativa de los diferentes componentes del ciclo hidrológico. De modo que cuando se produce una precipitación, esto puede ser interceptada y contenido en el dosel de vegetación o caer a la superficie del suelo, y esto se infiltra en el perfil del suelo o fluirá sobre el terreno como escorrentía, moviéndose hacia un cauce y contribuyendo a la formación de los ríos.

Por otra parte, el agua infiltrada puede ser contenida en el suelo y evapotranspirada o puede avanzar lentamente a los sistemas de aguas subterráneas (Neitsch *et al.*, 2005). La evapotranspiración es un término colectivo para todos los procesos donde el agua en la fase líquida o sólida o cerca de la superficie terrestre se convierte en vapor atmosférico. Los que incluyen la evaporación de ríos y lagos, suelos desnudos, y superficies vegetativas; principalmente por efecto de la temperatura del suelo y el aire (Neitsch *et al.*, 2005).

Por otra parte, el agua subterránea se forma principalmente a través de la infiltración/percolación, también puede ocurrir la recarga por filtración de cuerpos de aguas superficiales. El agua subterránea puede dividirse en dos sistemas de acuíferos: un acuífero superficial y libre (acuífero no confinado), cuyo límite es nivel freático, que contribuye al flujo de regreso a la corrientes dentro de la cuenca hidrográfica y un acuífero profundo y limitado (acuífero confinado) es aquel que está delimitado por encima y abajo por formaciones geológicas, que contribuye al flujo de regreso a las corrientes fuera de la cuenca (Arnold *et al.*, 1998; Arnold & Fhorer 2005; & Neitsch *et al.*, 2005).

Los acuíferos se recargan principalmente a través de la precipitación en suelos con alta capacidad de infiltración o rocas superficialmente permeables. Las áreas de recarga de los acuíferos pueden o no estar a grandes distancias de donde son explotados (Juckem *et al.*, 2008).

## **2.6. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL LÍQUIDO**

Montoya (2010), realizó una explicación de los diferentes escurrimientos, estableciendo que el escurrimiento superficial es el producto del agua de la precipitación que no infiltra y que escurre sobre la superficie del suelo y red de drenaje hasta la salida de la cuenca. Considera que su efecto sobre el escurrimiento total es “directo” y solo existirá durante una tormenta o inmediatamente después que esta

haya terminado. La parte de la lluvia que contribuye al escurrimiento superficial se llama “precipitación en exceso”.

Gaspari *et al.*, (2009), indicó que el volumen total del escurrimiento y sus valores máximos están influenciados directa o indirectamente por factores de naturaleza climática, de naturaleza fisiográfica y de naturaleza humana. Los mismos se pueden caracterizar de la siguiente manera:

- a) **Factores climáticos:** relacionado con la intensidad y duración de las precipitaciones que determinan el volumen total de agua escurrida en la cuenca, cuanto mayor intensidad más rápido el suelo cumple el proceso de infiltración y el exceso de lluvia producirá escorrentía superficial. Las lluvias de baja intensidad y larga duración saturan la capacidad de retención del suelo. También está relacionada con la precipitación antecedente, ya que, estando el suelo húmedo debido a una lluvia anterior, es más rápida la generación de escorrentía.
- b) **Factores fisiográficos:** relacionados con las características físicas de la cuenca, que pueden ser, el área, la forma y pendiente media de la cuenca, permeabilidad, geología, tipo de suelo, labores de cultivo, densidad de drenaje, capacidad de evacuación, entre otros.
- c) **Factores humanos:** relacionado con las actividades humanas, por ejemplo, obras hidráulicas construidas dentro de la cuenca como represas que al acumular agua reducen los caudales máximos de escorrentía superficial; la rectificación de un río que puede aumentar la velocidad de la escorrentía superficial en el tramo rectificado.

## 2.7. VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN

Para García (1996), la variabilidad de la precipitación es “...el rasgo que mejor define a este elemento climático y adquiere especial relevancia en los climas de transición...”, “...la variabilidad es tanto espacial como temporal y está relacionada con la dinámica general de la atmósfera, de la que dependen el régimen pluviométrico anual y oscilaciones interanuales, junto con la topografía y el relieve introducen desequilibrios muy marcados en la distribución espacial de las precipitaciones.”, definición citada por Insaurralde & Campo (2012).

La UNESCO en el 2003, analizó el cambio climático y la afectación que tiene en la variabilidad de la lluvia, estableciendo que “el efecto preciso que el cambio climático

produce sobre los recursos hídricos es incierto, la precipitación aumentará probablemente desde las latitudes 30° N y 30° S, pero muchas regiones tropicales y subtropicales recibirán posiblemente una cantidad de lluvia inferior e irregular. Con una tendencia perceptible hacia condiciones meteorológicas extremas más frecuentes, es probable que las inundaciones, sequías, avalanchas de lodo, tifones y ciclones aumenten. Es posible que disminuyan los caudales de los ríos en períodos de flujo escaso y la calidad del agua empeorará, sin duda, debido al aumento de las cargas contaminantes y de la temperatura del agua".

Goodrich *et al.*, (1995), a partir de su estudio realizado en una microcuenca en Arizona reportó que la variabilidad de la precipitación también se da en pequeñas escalas espaciales. Esta afirmación ha creado gran controversia debido a la práctica común de utilizar un solo pluviómetro para la representación de la lluvia para toda una cuenca. Las conclusiones de su estudio revelan que el gradiente de precipitación es de 1,2 mm en 100 m como promedio, es decir que cada 100 m la lluvia puede aumentar o disminuir 1,2 mm, teniendo una variabilidad del 4 al 14 % en 100 m. Demostrando al mismo tiempo el efecto que pueden tener las tormentas convectivas de la zona.

La precipitación que cae sobre Los Andes con frecuencia presenta variabilidad espacio temporal, lo que dificulta realizar una estimación de manera que se pueda identificar el patrón de su variabilidad espacial. Abad (2014), sostiene que este problema se vuelve más complejo cuando es baja la densidad de estaciones de medición y el área de estudio está ubicado en zonas montañosas, la influencia de los efectos orográficos hace que la precipitación tenga una alta variabilidad espacial. Los Andes tienen un patrón de precipitación muy complejo, influido tanto por El Océano Pacífico, como por la Cuenca del Amazonas; la vertiente oriental está dominada por los vientos alisios húmedos perennes que se originan sobre la cuenca del Atlántico tropical Amazónico (Buytaert *et al.*, 2006).

## **2.8. CAMBIOS DE USO DEL SUELO**

A lo largo de su evolución la humanidad ha mostrado la tendencia a modificar los ecosistemas terrestres, los cambios del uso del suelo (CUS), son considerados entre las principales fuerzas que inciden en los desequilibrios ambientales, por lo que los usos de herramientas de modelación del cambio de uso del suelo permiten proyectar y explorar escenarios prospectivos, comprender los procesos clave y su descripción en términos cuantitativos (Mas & Sandoval, 2011).

El cambio de uso del suelo consiste en la transición de una categoría por otra, como es el caso de la deforestación, la expansión agrícola o el cambio en la extensión urbana, y está en función de la presión sobre los recursos, oportunidades, políticas, vulnerabilidad, y la organización social; estas funciones tienen una fuerte interacción que causan el cambio de uso del suelo (Lambin *et al.*, 2001, 2006).

La degradación forestal tiene una estrecha relación con la escasez de agua superficial. En el informe El Cambio Climático y el Agua presentado por Bates *et al.*, (2008), en dicha publicación citan a Myers (1997), el cual sostiene “La deforestación y la degradación de las cuencas de captación en tierras altas podría perturbar los sistemas hidrológicos, reemplazando los flujos hídricos anuales corriente abajo por regímenes de crecidas y sequías y la erosión de las laderas e inundaciones en estaciones lluviosas”.

Asimismo, el cambio del uso del suelo en la cuenca puede impactar directamente en el balance hídrico llegando a disminuir en más de un 9 % las descargas de las aguas subterráneas y en un 3 % del total de producción de agua superficial (Mango *et al.*, 2011). Algunos estudios muestran que la disminución del agua puede estar más afectada por la variabilidad climática que por el cambio de uso del suelo, sin embargo, la relación de la extensión de los cambios de uso del suelo pueden ser otro factor determinante (Li *et al.*, 2009).

## **2.9. CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO**

El aumento de población y su inadecuada distribución, aunado al acelerado proceso de expansión urbana y el incremento en las actividades económicas y productivas (agrícolas e industriales), ejercen una fuerte presión sobre los recursos naturales de las cuencas hidrográficas, especialmente sobre los recursos hídricos (Ureña, 2004).

Para Céspedes & Moreno (2009), la expansión urbana y crecimiento de la población junto a la disminución de las áreas naturales han generado problemas ambientales, tales como la degradación del suelo, manifestada a través de la erosión y la desertificación, lo que trae como consecuencia una afectación en la recarga de los mantos acuíferos y, por tanto, afecta la reserva de agua. Además, sostienen que la pobreza, la migración y el crecimiento poblacional han sido elementos determinantes en la conformación social, lo cual influye y enfrenta una relación directa en todo el proceso de sobre explotación del recurso agua.

Los asentamientos humanos, poblados, ciudades pequeñas y medianas, metrópolis y megalópolis, se construyen y se configuran modificando o transformando la naturaleza: la tierra, el aire, el agua, la flora y la fauna, sirven de soporte a estas transformaciones y son, en sí, transformados por ellas. El producto de estas es un nuevo entorno construido, un ambiente "natural" nuevo que combina lo social con lo natural, bajo patrones de alta centralidad y densidad: un ambiente urbano. Tal ambiente es la expresión concreta y dinámica de aquellas unidades físico-espaciales, eco demográficas, que denominamos "ciudades" (UNCHS, 1995).

En América Latina esta tendencia es más fuerte, el nivel de urbanización llegó al 76,6 % para el año 2000 y al 84 % para el año 2025 (UNCHS, 1995). Según el Censo Nacional de Población y Vivienda (2010), la población total del Ecuador era de 14.483.499 personas, la población ha crecido a una tasa promedio anual de 2,5 % y ha aumentado cuatro veces en estos 60 años. Las regiones más pobladas del país son la Costa y la Sierra, con más del 90 % de la población nacional. Entre 1990 y 2010 la población se ha ido concentrando en la Costa y en la Amazonía, en desmedro de la Sierra. Esto puede atribuirse, por una parte, a un fenómeno migratorio, pero también influyen en la tendencia cambios administrativos en la delimitación de las zonas (Tassara, 2004).

## **2.10. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO**

Se define como un sistema matemático o físico que obedece a ciertas condiciones específicas y cuyo comportamiento es utilizado para entender un sistema físico, biológico o social (Solis, *et al.*, 1993). Según Gaspari *et al.*, (2009), establecen que "un modelo es una representación simplificada de un sistema, por lo cual debe necesariamente desprestigiar variables del sistema real en función del objetivo para el cual, fue o será creado. Un modelo está compuesto por variables o elementos interrelacionados en un intervalo de tiempo, que actúan (procesos) sobre una entrada (materia, energía o información) de manera controlada bajo ciertas restricciones para producir una salida (materia, energía o información)".

Los modelos hidrológicos constituyen hoy día una de las herramientas más útiles en la planificación de recursos hídricos. El rápido desarrollo de la industria de la computación ha hecho posible que los microcomputadores sean cada vez más accesibles y con mayor capacidad para manejar programas complejos y voluminosas bases de datos en menor tiempo que lo que era posible en los años sesenta, cuando se iniciaron los primeros modelos digitales (Mattos *et al.*, 2010).

El trabajar con un modelo para una simulación hidrológica y la posibilidad de reproducir todos los componentes del ciclo hidrológico con la ayuda de los sistemas de información geográfica, permite a los investigadores crear escenarios tanto para condiciones presentes y/o futuras, determinando cómo afectará el cambio de una u otra variable en la producción de caudales y sedimentos en determinada cuenca (Proaño et al., 2006).

En la actualidad existen varios modelos hidrológicos, la importancia de estos radica en que, una vez calibrados o validados, pueden ser utilizados para simular diversas situaciones o para extender la información existente. En el manejo de cuencas tienen gran utilidad ya que se puede simular la respuesta de la cuenca ante cambios en el uso de la tierra, cambio climático y prácticas de conservación de suelos dentro de las cuencas (Mattos *et al.*, 2010).

#### **2.10.1. Modelo Hidrológico HEC-HMS®**

El modelo de simulación hidrológica HEC-HMS ® (Hydrological Engineers Center Hydrologic Modeling System) fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (U.S. Corps of Engineers) para simular procesos de precipitación/escorrentía en cuencas con drenaje dendrítico, mediante un sistema que integra diferentes métodos hidrológicos ya sean concentrados o distribuidos para tener como respuesta el tránsito de caudales. Esta característica del modelo permite flexibilidad combinando diferentes métodos de cálculo para cada parámetro que se desea obtener, logrando una mejor aproximación al sistema real (Carvajal, *et al.*, 2007).

Se emplea para simular el escurrimiento de una cuenca hidrográfica. Para ello, el programa requiere la especificación de los modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada, para crear corridas de precipitación o de la proporción de flujo. Los resultados de la simulación se pueden visualizar en pantalla, generar tablas de toda la información obtenida o por elementos que incluyen datos sobre el flujo máximo y el volumen total. Su aplicación es muy amplia, cuyos hidrogramas generados pueden ser utilizados directamente o con otros programas para el estudio de disponibilidad de agua, problemas relacionados a inundaciones, cálculo de drenaje urbano, pronósticos de flujo, impacto de futuras urbanizaciones, diseño de aliviaderos para represas, predicción de inundaciones, reducción de daños por inundaciones (Tapia, 2012).

Según Silva *et al.*, (2005), el programa utiliza cuatro procesos de simulación hidrológica que se describen a continuación:

- Las pérdidas por infiltración (*Loss method*). Separación de la lluvia neta, permite calcular que parte de la precipitación caída va a generar escorrentía directa, y pueden ser simuladas mediante diferentes métodos,
- Las transformaciones (*Transform method*). Calcula la escorrentía directa producida por la lluvia neta. Utiliza varios métodos: Hidrogramas Unitario, incluye Clark, Zinder y SCS, así como incluir su propio Hidrograma Unitario.
- El Caudal Base (*Baseflow method*). Suma a la escorrentía directa la escorrentía base,
- El tránsito en canales (*Routing*). Calcula cómo evoluciona un hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce o a través de un embalse. Incluye los métodos de Lag, Muskingum, Muskingum-Cunge, Onda Cinemática, entre otros,
- El modelo, de acuerdo a los datos ingresados, identifica las subcuencas en las cuales ejecuta los análisis de las tres primeras fases indicadas. Posteriormente, suma todos los escurrimientos generados y transitados y genera el hidrograma de salida de la cuenca.

La información de entrada que necesita el programa está relacionada directamente con los métodos de cálculo que maneja (Silva *et al.*, 2005). Existen cinco grupos básicos de información que deben suministrarse a HEC-HMS para efectuar las simulaciones:

1. Información acerca de la precipitación histórica o de diseño.
2. Información acerca de las características del suelo.
3. Información morfométrica de las subcuencas.
4. Información hidrológica del proceso de transformación de lluvia en escorrentía.
5. Características hidráulicas de los tramos de canal y de la capacidad de los embalses (métodos de tránsito).

### **2.10.2. Pruebas de Calibración del Modelo HEC-HMS ®**

La calibración consiste en la experimentación con varias combinaciones de valores de parámetros, en un esfuerzo por minimizar o maximizar alguna función criterio de optimización. Este procedimiento se puede realizar de forma manual o automática y la solución apropiada puede depender mucho del criterio utilizado durante el análisis. Las funciones objetivo son expresiones matemáticas que expresan una medida de la

diferencia entre los valores observados y modelados y, por tanto, son usados en la calibración como una medida de rendimiento del modelo (Mena, 2010).

Para calibrar, validar y realizar el análisis de sensibilidad del modelo, además se necesitan:

1. Registros concordantes de precipitación y caudales de salida (hietogramas e hidrogramas).
2. Determinación de las condiciones iniciales de humedad en los suelos.

## **2.11. LA POBLACIÓN Y EL AGUA**

Comprender y aceptar la dependencia mutua entre la población y el agua en las cuencas hidrográficas constituye el punto de partida para cambiar las formas de gestión de los recursos naturales en general y del agua en particular, e iniciar un proceso que posibilite hacer un manejo participativo e integrado (Siles & Soares, 2003).

Las interacciones entre la población y el agua son complejas y a la vez muy específicas. Es decir, están condicionadas por una serie de factores, entre ellos el clima, la topografía la vegetación la geología, así como las características socioeconómicas y culturales de los grupos que habitan las cuencas (Siles & Soares, 2003).

La población debe generar valoración hacia el recurso hídrico, de manera social, ambiental y económica, que posibiliten la seguridad de las poblaciones en estos tres ámbitos. La seguridad ambiental se garantiza a partir de la aceptación, valoración y cumplimiento de responsabilidades individuales, sociales e institucionales en el manejo adecuado, conservación y restauración de los ecosistemas. La seguridad social se proporciona a través de acceso equitativo, seguro y eficiente al agua, así como la responsabilidad por su conservación y manejo sustentable. Al tratarse de seguridad económica, se pretenden revertir las tendencias actuales de pautas de consumo, demográficos y de articulación sociedad – naturaleza, con el fin de garantizar la satisfacción de las demandas actuales y futuras de recursos hídricos para todas las poblaciones y sectores sociales sin comprometer la integridad ecológica de los ecosistemas (Siles & Soares, 2003).

Independientemente de los agentes que afectan la calidad del agua para consumo humano, es necesario tener en cuenta los riesgos causados por el manejo inadecuado de las cuencas captadoras de agua, inconvenientes en el tratamiento de potabilización

y la mala calidad a nivel de las redes de distribución e intradomiciliario. Sin embargo, la ausencia de enfermedades en comunidades abastecidas con agua de mala o dudosa calidad no significa que la población no esté sujeta a riesgos que puedan desencadenar una epidemia (OPS, 2004).

Un Sistema de Agua Potable (SAP), es un conjunto de instalaciones destinadas a la captación, aducción, tratamiento, regulación, distribución y comercialización de agua potable en calidad y cantidad demandada por los diversos tipos de consumidores (Albarrán *et al.*, 2007).

De acuerdo al Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado (2016), el abastecimiento de agua para uso doméstico comprende una serie de fases detalladas a continuación:

**Captación:** Es el origen del abastecimiento. El agua bruta puede provenir de aguas superficiales (ríos, lagos, embalses, canales) o de aguas subterráneas (pozos, manantiales, surgencias). Cuanta mayor calidad tenga, menores serán los tratamientos de potabilización a los que habrá que someterla. En ocasiones se construyen depósitos de reserva de agua bruta, que aseguran el suministro durante un cierto tiempo en caso de cortes de la fuente de abastecimiento.

**Potabilización:** Se realiza en la planta potabilizadora y es el conjunto de tratamientos que permiten que el agua sea apta para el consumo humano y pueda beberse con garantía de calidad. La desinfección es el tratamiento más importante.

**Almacenamiento:** El almacenamiento del agua ya tratada debe realizarse en depósitos protegidos, bien conservados y limpios. Con frecuencia se construyen depósitos elevados para asegurar la distribución por gravedad desde el depósito de almacenamiento de agua tratada.

**Distribución y transporte:** Las redes de abastecimiento y suministro de agua deben tener la menor pérdida posible y circular por el suelo a mayor altura que las redes de aguas residuales, para evitar su contaminación en caso de pérdidas de aguas sucias.

**Vigilancia y control:** Se realizan análisis químicos y biológicos de diversos parámetros del agua para asegurar su calidad y potabilidad tanto a la salida de la planta como en diversos puntos de la red de abastecimiento.

## **2.12. ESTRATEGIAS PARA USO EFICIENTE Y AHORRO DE AGUA**

La eficiencia y el ahorro se relacionan de manera directa con la racionalidad en el uso de agua, la cual parte de la concepción que tiene el usuario sobre la cantidad de agua que necesita para sus actividades diarias. Esta cultura del agua determina los niveles de consumo, que son característicos de cada contexto o población de usuarios, así como las diferentes medidas que deben ser abordadas en la consecución de un uso más razonable del recurso. Según Green (2003), la gestión de recursos hídricos debe responder a la elección entre dos estrategias: a) el aumento en oferta y b) la reducción de la demanda a través de la eficiencia en el uso de los recursos existentes. Para él, la elección de la estrategia más apropiada dependerá de las circunstancias locales. La previsión del futuro requiere de estrategias como “el medio de adecuación de las actividades de una organización al entorno en el que opera”, es decir, el punto de inflexión que permite poner en marcha el cambio y la transformación de la realidad.

Reducir el consumo de agua sin realizar grandes inversiones es posible simplemente con educación y conducta de ahorro adecuada, sin embargo, existen otras alternativas, que de manera integrada permitirían obtener grandes avances (Municipalidad de Zaragoza, 2010). Las actividades para reducir el consumo del agua incluyen desde las actividades de control permanente sobre el sistema y la infraestructura de abasto, el uso de fuentes alternativas y de tecnologías, existentes en el mercado, que disminuyan el uso del agua.

Dentro de este paquete de medidas que cumplen con la meta de uso eficiente de agua, se destaca las alternativas tecnológicas, entre ellas, el uso de dispositivos ahorradores como aireadores y reductores volumétricos o de caudal, los cuales garantizan un ahorro del 40 a 50 % dependiendo de la presión del agua; válvulas para sanitarios de bajo consumo, que permiten ahorrar hasta un 50 % de agua por descarga; uso de fuentes alternativas de abastecimiento (aguas lluvias) y tecnologías de bajo consumo para duchas, lavaplatos y procesos estratégicos de los laboratorios (prueba y calibración) que requieren el uso del recurso, ya que estas pueden representar un ahorro potencial promedio del 30 % en el consumo de agua.

Según el Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias de Ambiente (2002), un grifo desperdicia 80 litros de agua por día, lo que equivale a una pérdida de 2,4 metros cúbicos al mes ( $m^3/mes$ ), así mismo, tanto las cisternas como los tanques altos deteriorados alcanzan pérdidas del recurso de 10.000 a 12.000 litros/día, optimizar el manejo y uso racional del recurso hídrico trae consigo beneficios tanto ambientales

como económicos. Según Arregui (2007), los beneficios estimados que se exhiben son el ahorro en energía, optimización de procesos, menos agua residual y por lo tanto menos necesidad de capacidad instalada en tratamiento, así como una menor cantidad de agua facturada. Al respecto Grisham & Flemming (1998), destacan que, para que las acciones dirigidas al uso eficiente del agua tengan éxito se debe contar con la participación ciudadana. Para ello es indispensable establecer acciones de comunicación y educación, las cuales constituyen elementos de suma importancia.

Algunas herramientas de las cuales se vale un *programa de cultura del agua* son el desarrollo de estrategias educativas, la conformación de clubes defensores del agua, y la realización de talleres de formación orientados a las comunidades. Si bien es cierto, estas estrategias han sido desarrolladas en la gran mayoría de programas de uso eficiente y ahorro de agua, debe señalarse que el seguimiento de los alcances de estas, sobre los niveles de ahorro y eficiencia presenta grandes dificultades. Debido principalmente a la naturaleza cualitativa de los indicadores utilizados y a la ausencia en la mayoría de los casos de información detallada sobre el desarrollo de la estrategia.

La estrategia de educación ambiental, es entendida como un proceso permanente en el que los individuos y la colectividad cobran conciencia de su medio y adquieren los conocimientos, los valores, las competencias, la experiencia y la voluntad; capaces de hacerlos actuar, individual y colectivamente (UNESCO-PNUMA, 1987), juega quizás el papel más importante en el uso eficiente del agua en las diferentes actividades humanas, el cambio en los estilos de vida implica establecer estrategias que incida en el comportamiento ambiental. Corraliza & Martín (2000), explican diferencias registradas en los patrones de comportamiento ambiental a partir del concepto de estilo de vida, desarrollando análisis multivariados, establecen que el estilo de vida explica la conducta de despilfarro y responsabilidad ecológica. En efecto, una adecuada comunicación de los objetivos, ventajas y formas de participación debe venir complementada con programas de formación con diferentes niveles de profundidad para los distintos grupos de usuarios.

Estas estrategias educativas buscan el logro de consumos racionales y cambios en los hábitos de consumo, a través de la introducción de patrones de comportamiento que estimulen un uso eficiente del agua. Esto con el fin de reducir las dotaciones suntuarias, sin disminuir el nivel de satisfacción de la población, además de formar nuevos ciudadanos. Se ha estimado a partir de experiencias de este tipo, ahorros del 15 al 25% del consumo total de agua (Grisham & Flemming, 1998). Frente a esta

gama de alternativas posibles de uso eficiente y ahorro del agua, se hace más complejo los procesos de toma de decisiones o en la priorización de alternativas, debido a que generalmente se tienen múltiples objetivos, que se contraponen entre ellos, generando entonces la necesidad de un método que permita comparar esos múltiples criterios.

### **2.12.1. Clasificación de las fugas**

Según Ramírez (2012), considera que las pérdidas son básicamente agua entregada no facturada, y se clasifican primordialmente como físicas y comerciales. Dentro del balance hidráulico, las pérdidas son separadas como aparentes y reales. Las primeras corresponden a las pérdidas dadas por la sub-medición y por las conexiones no autorizadas y se consideran pérdidas comerciales, mientras que las segundas (reales) que se consideran pérdidas físicas, y pueden ser intradomiciliarias o en la red principal de distribución; corresponden a las fugas visibles reportadas y no reportadas, a las fugas no visibles o de fondo y a los desperdicios no controlados, como pueden ser sobre niveles en cisternas, muebles de baño en mal estado, etc. Dentro de esta clasificación, las fugas más importantes son las visibles no reportadas y las no visibles en la red principal.

**Fugas superficiales:** Las fugas que se manifiestan en la superficie, ya sea a través de las grietas en el piso firme o la humedad en terreno vegetal, se denotan como superficiales o visibles. Estas pueden ser reportadas o no reportadas; por lo general las que son reportadas se atienden en un tiempo no muy largo; son habitualmente de gran caudal y corta duración. Sin embargo, las no reportadas, a pesar de estar en la superficie o ser visibles no son reportadas ya que están en sitios de bajo tránsito o difícil acceso, por lo que no son observadas con facilidad; su caudal y duración dependen de los programas de control de fugas, ya que son fugas que, conocidas o no, no son atendidas y con el tiempo pueden crecer. Estas fugas son detectables y se localizan fácilmente mediante inspecciones simples.

**Fugas de fondo:** Con frecuencia, este tipo de fugas de agua no se manifiestan en la superficie, incluso los usuarios no dejan de recibir el servicio, ya que aún con fugas la presión es suficiente para abastecer al usuario por lo que éste no se percata del desperdicio. El agua busca salida por el camino de menor resistencia, llegando incluso hasta el drenaje. De este modo, el agua de las fugas puede afectar las cimentaciones de las vialidades, edificios y casas.

En innumerables ocasiones se han observado fugas que durante un largo tiempo han estado socavando la base de las estructuras, provocando el eventual colapso de estas, trayendo consigo grandes pérdidas económicas e incluso humanas. Generalmente son de bajo caudal y larga duración, sólo de manera eventual las fugas de fondo pueden representar grandes caudales, pero en lo general, éstas terminan por manifestarse en la superficie tiempo después.

### **2.13. MARCO LEGAL**

Ecuador posee su normativa legal ambiental encaminada a lograr el “Buen Vivir”. La presente investigación se enmarca en los estatutos mencionados y en orden jerárquico, fundamentados en la protección del recurso hídrico, manejo, disponibilidad y dotación para uso sustentable. Sánchez *et al.*, (2004), plantea que la reglamentación para el uso eficiente del agua ha ganado espacio y se ve como una estrategia a largo plazo con acciones en diferentes niveles, dependiendo en muchos casos, del tamaño de la población.

En el Marco Legal descrito en la tabla 1, la Constitución de la República del Ecuador del año 2008, por primera vez reconoce a la naturaleza como sujeto de derechos (artículo 71), que establece lineamientos sobre la protección, recuperación y conservación, y el papel que cumple El Estado en la gestión de los recursos hídricos, tanto en el nivel central como en sus tres niveles de gobierno autónomos descentralizados (parroquial, cantonal y provincial), como lo señalan sus artículos 318 y 411. Es así, que para el 2014 se promulga la “Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua” misma que se encarga de la gestión integral del recurso hídrico en todo el territorio nacional; y desde el 2010 en el “Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización” se determinaron competencias exclusivas de los municipios sobre la prestación de servicios públicos, por ejemplo, dotación de agua potable y alcantarillado.

En el plano local, la Municipalidad del cantón Loja ha emitido política pública propia, que le permite asumir esa competencia, desde el año 2007 se estableció la ordenanza municipal “Para la protección de las microcuencas y otras áreas prioritarias para la conservación del cantón Loja” la cual permitió crear un rubro económico en la facturación de consumo de agua potable, que sería destinado a la conservación de microcuencas y proyectos de desarrollo comunitario, evitando así que cesen las actividades agropecuarias en dichas microcuencas.

**Tabla 1. Normatividad legal estipulada en el Ecuador**

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
<p><b>Constitución de la República del Ecuador, 2008</b></p>	<p><b>Artículo. 14.-</b> Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, <i>sumak kawsay</i>.</p>
	<p><b>Artículo. 71.-</b> La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.</p>
	<p><b>Artículo. 264.-</b> Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley. <b>4).</b> Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.</p>
	<p><b>Artículo. 276.-</b> Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.</p>
	<p><b>Artículo. 314.-</b> El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias.</p>
	<p><b>Artículo. 318.-</b> El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.</p> <p><b>Artículo. 375.-</b> El Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual: Garantizará la dotación ininterrumpida de los servicios públicos de agua potable y electricidad a las escuelas y hospitales públicos.</p> <p><b>Artículo. 411.-</b> El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.</p>
<p><b>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua 2014</b></p>	<p><b>Artículo 12.-</b> Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales.</p>
	<p><b>Artículo 18.-</b> Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua. Las competencias son: <b>e)</b> Establecer y delimitar las zonas y áreas de protección hídrica.</p>
	<p><b>Artículo 24.-</b> Registro Público del Agua. Corresponde a la Autoridad Única del Agua la administración del Registro Público del Agua, en el cual deben inscribirse: <b>c)</b> Los planes de gestión integrada de recursos hídricos por cuencas hidrográficas.</p>
	<p><b>Artículo 59.-</b> Cantidad vital y tarifa mínima. La Autoridad Única del Agua establecerá de conformidad con las normas y directrices nacionales e internacionales, la cantidad vital de agua por persona, para satisfacer sus necesidades básicas y de uso doméstico, cuyo acceso configura el contenido esencial del derecho humano al agua.</p>
<p><b>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua 2014</b></p>	<p><b>Artículo 83.-</b> Políticas en relación con el agua. Es obligación del Estado formular y generar políticas públicas orientadas a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Fortalecer el manejo sustentable de las fuentes de agua y ecosistemas relacionados con el ciclo del agua;</li> <li>b) Mejorar la infraestructura, la calidad del agua y la cobertura de los sistemas de agua de consumo humano y riego;</li> <li>c) Establecer políticas y medidas que limiten el avance de la frontera agrícola en áreas de protección hídrica;</li> <li>d) Fortalecer la participación de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades en torno a la gestión del agua;</li> <li>e) Adoptar y promover medidas con respecto de adaptación y mitigación al cambio climático para proteger a la población en riesgo.</li> </ul>

Continuación tabla 1...

<b>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua 2014</b>	<b>Artículo 86.-</b> Agua y su prelación. De conformidad con la disposición constitucional, el orden de prelación entre los diferentes destinos o funciones del agua es: a) Consumo humano; b) Riego que garantice la soberanía alimentaria; c) Caudal ecológico; y, d) Actividades productivas
<b>Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización 2010.</b>	<b>Artículo 55.-</b> Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal. - Los gobiernos autónomos descentralizados municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley. D) Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley;
<b>Ordenanza Municipal, Loja 2007</b>	Para la protección de las microcuencas y otras áreas prioritarias para la conservación del cantón Loja

Fuente: Elaboración propia

### 3. METODOLOGÍA

Se realizó la búsqueda, compilación, análisis y clasificación bibliográfica de estudios antecedentes: artículos técnicos y científicos sobre la zona de estudio, disponible en la web e instituciones gubernamentales tales como: la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), Secretaria del Agua (SENAGUA), Instituto Geográfico Militar (IGM), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Loja, Universidad Nacional de Loja (UNL) y Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL).

#### 3.1. DELIMITACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se desarrolló en la Subcuenca Zamora Huayco; conformada por las microcuencas: El Carmen y San Simón, ubicadas al sureste de la Hoya de Loja, sobre la Cordillera Oriental de Los Andes. La Subcuenca Zamora Huayco fue delimitada utilizando el software ArcGis 10.1 ®. Para la construcción de la base de datos, y del Modelo Digital de Elevaciones (DEM), se empleó la cartografía oficial generada por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM) a escala 1:50.000 con Datum WGS 1984 UTM Zona 17S, cuya base digital se encuentra disponible en el sitio web oficial del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM) según decreto No. IGM-E-2001-04.

#### 3.2. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA SUBCUENCA

El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de sus parámetros de forma, relieve y red de drenaje es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de

lluvia (Gaspari *et al.*, 2009). A continuación, se detallan los parámetros de forma, relieve y drenaje.

Los parámetros morfométricos de forma, relieve y drenaje fueron determinadas a partir de las mediciones básicas, así como las fórmulas y empleo de software ArcGis 10.1 ®, utilizados para los distintos cálculos, los cuales se muestran en la tabla 2. Los parámetros que se calcularon en software ArcGis 10.1 ® se identificarán como “automático”.

**Tabla 2.** Parámetros morfométricos de la subcuenca “Zamora Huayco”

<b>CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA SUBCUENCA</b>			
<b>PARÁMETROS</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>FORMA DE CÁLCULO</b>
<b>De Forma</b>			
Perímetro	(P)	(Km)	Automático
Longitud axial	(La)	(Km)	Automático
Área	(A)	(Km <sup>2</sup> )	Automático
Factor de forma	(IF)	Adimensional	$IF = \frac{Ap}{La}$
Coefficiente de Compacidad de Gravelius	(Kc)	(Km)	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$
<b>De Relieve</b>			
Curva Hipsométrica	(CH)	(%)	Automático
Pendiente media de la Cuenca	(PM)	(m/m)	Automático
Coefficiente de Rugosidad	(Ra)	Adimensional	Automático
<b>De Drenaje</b>			
Densidad de Drenaje	(Dd)	(km/km <sup>2</sup> )	$D = \frac{\sum Li}{A}$
Longitud de cauce principal	(Ln)	(m)	Automático
Pendiente media del cauce	(J)	(m/m)	$J = \frac{Hmax - Hmin}{L} \times 100$
Tiempo de Concentración	(Tc)	(minutos)	$Tc = 0,3 * \left(\frac{L}{J^{\frac{1}{3}}}\right)^{0,76}$

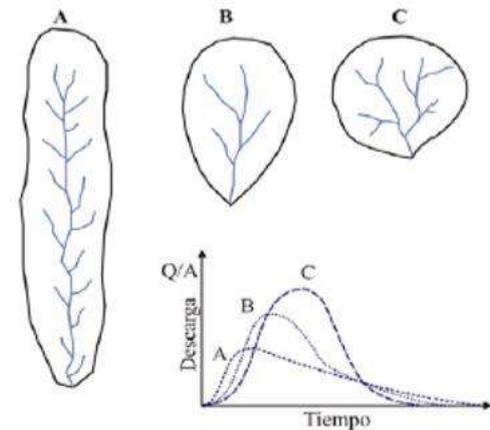
**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.1. Parámetros de Forma

Para el cálculo de los parámetros de forma se empleó el archivo shapefile del límite de la subcuenca; proceso realizado en el punto 3.1, y la información topográfica base. Información que fue ingresada y procesada en el software ArcGis 10.1 ® específicamente en la herramienta “Calculate Geometry”, y algunos parámetros como el factor de forma (IF) y coeficiente de Gravelius (Cg), fueron calculados con ecuaciones que se detallan más adelante:

La forma de la cuenca influye sobre los escurrimientos y sobre el hidrograma resultante de una lluvia. En una cuenca de forma alargada (figura 1, cuenca A) con un solo cauce principal, con tributarios cortos y poco ramificados, tendrá un hidrograma

de crecientes achatado debido a el agua que proviene de los tributarios presenta una larga circulación a través del canal principal. Además, el agua de los tributarios cercanos a la parte alta tarda mucho más tiempo en llegar a la desembocadura, que el agua de los afluentes cercanos al punto de salida, atenuando el caudal de salida (Tapia, 2012).



**Figura 1.** Formas de la cuenca de drenaje

**Fuente:** tomado de Tapia (2012).

En cuencas de forma semicircular a circular según figura 1, cuencas B y C, el tiempo de recorrido del agua dentro de la cuenca es aproximadamente igual, se caracterizan por tener tributarios abundantes y el cauce principal corto, esto ocasionará que el hidrograma de crecientes se presenta más elevado, que el de las cuencas alargadas con similares condiciones, siendo la descarga más elevada y demora menos tiempo ante lluvias iguales. El caudal pico es menor en la cuenca alargada, pero se alcanza más rápido que en la cuenca circular, mientras que el retorno al nivel base es más lento en la alargada que en la circular (Busnelli, 2009).

Los principales parámetros que fueron utilizados para este análisis se detallan a continuación:

- a) **Factor de forma (IF):** Este factor tiene relación con las crecidas en la cuenca, interpretando la tendencia de la cuenca hacia las crecidas de los ríos. Regula la concentración de la escorrentía superficial, relacionando el movimiento del agua y la respuesta de la cuenca a dicho movimiento, controlando la velocidad con que el agua llega al cauce (Cellini, 2005).

Manifiesta la tendencia de la cuenca hacia las crecidas. Cuando IF es similar a uno (1) representa una cuenca de forma redonda. La cuenca con valores de IF bajos, se caracteriza por ser una cuenca alargada, con un colector de mayor

longitud, y estará sujeta a crecientes de menor magnitud. A continuación, se expresa la ecuación:

$$IF = \frac{Ap}{La} \quad (2)$$

De donde, IF: es el factor de forma (adimensional), Ap es el ancho promedio (Km), y La es la longitud axial (km)

**b) Coeficiente de Gravelius (Cg) o Índice de compacidad (Kc):** El límite define la forma y la superficie que abarca la cuenca vertiente, teniendo influencia sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación (Lopez & Mintegui, 1987). El Kc es adimensional y permite relacionar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca, y de esta manera representa esta característica (Gaspari *et al.*, 2002). La ecuación Kc se detalla a continuación:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

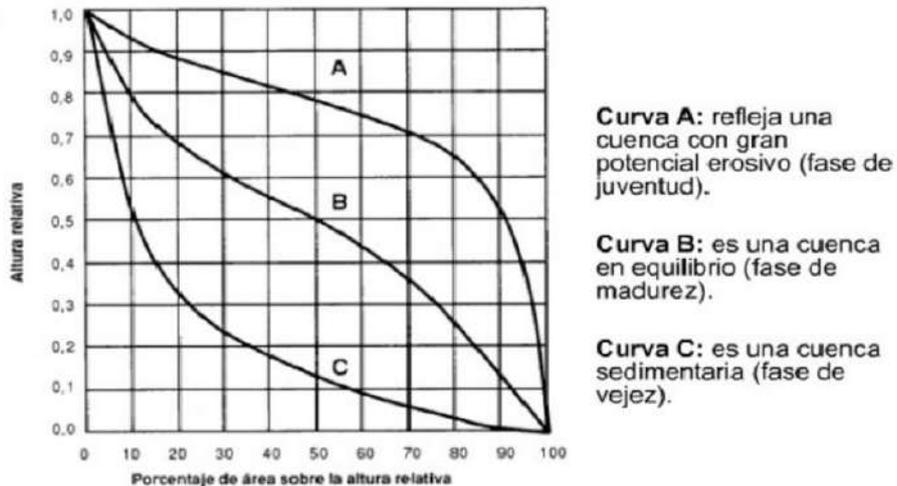
De dónde Cg es el coeficiente de Gravelius, P es el Perímetro (km), y A es la superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

El índice de compacidad está relacionado con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en trasladarse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida. Durante este tiempo ocurre la máxima concentración de agua puesto que están llegando las gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca.

Está ligado a la forma de la cuenca, cuando más irregular es la cuenca, mayor será su Kc. Una cuenca circular tendrá un coeficiente de compacidad mínimo, igual a 1, aumentando la circularidad en el cauce e incrementando una mayor probabilidad de producir avenidas máximas (eventos de torrencialidad), ya que sus tiempos de concentración para diferentes puntos de concentración serán iguales.

### 3.2.2. Parámetros de Relieve

Los parámetros de relieve se obtuvieron del análisis topográfico de la subcuenca, para ello se empleó el Modelo de Elevación Digital (MED) en el software ArcGis 10.1 ®, se calcularon las áreas de los polígonos formadas entre las cotas máximas y mínimas de información topográfica de base (equidistancia de 40 m) que se encuentren dentro del límite de la subcuenca (Beltrán & Rosales, 2012), en el software Excel 2013 ® utilizando el promedio de las alturas y el porcentaje acumulado de áreas se graficó la curva hipsométrica.



**Figura 2.** Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río.  
**Fuente:** Imagen tomada de Strahler (1952).

La importancia de la Curva Hipsométrica reside en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la Cuenca (Schumn, 1977). En la figura 2, se contemplan tres zonas en una cuenca, atendiendo a la dinámica de los sedimentos:

- 1.-Zona donde predomina la producción de sedimentos y aguas. (Curva A)
- 2.- Zona donde predomina el transporte de ambos. (Curva B)
- 3.- Zona caracterizada por la deposición de sedimentos. (Curva C)

El cálculo de la pendiente media de la cuenca (PM) se realizó en el software ArcGis 10.1 ®, dónde fue necesario emplear el Modelo de Elevación Digital (MED) y el límite de la zona de estudio. El valor obtenido se clasificó según López Cádenas de Llano (1998), expresado a continuación de la tabla 3.

**Tabla 3.** Rangos y tipos de pendiente media.

Pendiente media (en %)	Tipo de Relieve
0 - 0,5	Muy plano
0,5 - 1	Plano
1 - 3	Suave
3 - 12	Relieve con lomada
12 - 20	Accidentado
20 - 50	Muy fuerte
50 - 70	Escarpado
>70	Muy escarpado

Fuente: Elaboración propia, tomado de López Cárdenas de Llano (1998).

### 3.2.3. Parámetros de Drenaje

Estos parámetros fueron calculados con base en información de la red hidrográfica de la subcuenca, proporcionada por el Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013), y Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2014); esto permitió obtener los números de órdenes de cursos de agua, de acuerdo al criterio de Schumm (1956), que fueron realizados en el software ArcGis 10.1 ®, con las herramientas “Hydrology y Stream Orden”. Además, se calcularon los siguientes parámetros: densidad de drenaje (Dd), pendiente media del cauce (J), y tiempo de concentración (Tc), que se detallan a continuación.

El sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica es el que constituyen el cauce principal y sus tributarios o afluentes. La forma en que estén conectados estos cauces en una cuenca determinada influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación. Su estudio es importante porque permite determinar los escurrimientos sobre todo cuando no se dispone de información cuantitativa de los factores hidrometeorológicos.

- a) Densidad del drenaje (Dd):** La densidad de drenaje representa la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. Se considera que la densidad de drenaje caracteriza cuantitativamente la red hidrográfica de la cuenca, definiendo el grado de relación entre el tipo de red y la clase de material predominante, los cuales permiten el escurrimiento y nos ponen de manifiesto el tipo de manejo que se debe aplicar sobre esa cuenca para evitar el deterioro de los cauces (Henaó, 1988).

La ecuación utilizada para este cálculo fue la establecida por Horton (1945), y se expresa en  $\text{km}/\text{km}^2$  o  $\text{km}^{-1}$ , se enuncia en la fórmula:

$$D = \frac{\sum Li}{A} \quad (4)$$

De donde, D es la densidad del drenaje km<sup>-1</sup>,  $\sum Li$  es la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan en la cuenca (km), y A es la superficie de la cuenca km<sup>2</sup>.

**Tabla 4.** Valores interpretativos de la densidad del drenaje

Densidad del drenaje km/km <sup>2</sup>	Categoría
< 1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
>3	Muy Alta

Fuente: Tomado de Delgadillo & Páez (2008).

- b) Pendiente media del cauce (J):** La pendiente media del cauce resulta del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo (López Cádenas de Llano, 1998). Se expresa en porcentaje, según la fórmula siguiente.

$$J = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \times 100 \quad (5)$$

De donde, J es la pendiente media del cauce (%), H max: Cota máxima sobre el curso de agua (m), H min: Cota mínima sobre el curso de agua (m), y L: Longitud del río más largo (m)

- c) Tiempo de concentración (Tc):** López Cadena de Llano (1998), define como el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca. Para ello se supone que el tiempo de duración de la lluvia es por lo menos igual al tiempo de concentración y que se distribuye uniformemente en toda la cuenca. Este parámetro tiene relación directa con el gasto pico y con el tiempo de recesión de la cuenca, ya que tiempos de concentración muy cortos tienen gastos picos intensos y recesiones muy rápidas, en cambio, los tiempos de concentración más largos determinan gastos, pico más atenuados y recesiones mucho más sostenidas en el tiempo (Gaspari *et al.*, 2009). La ecuación usada para calcular el Tc según Témez (1991), se describe a continuación:

$$T_c = 0,3 * \left( \frac{L}{J^{\frac{1}{4}}} \right)^{0,76} \quad (6)$$

De donde,  $T_c$  es el tiempo de concentración (horas),  $L$  es la Longitud del cauce (km) y  $J$  es la Pendiente media del cauce (%).

### 3.3. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DE LA SUBCUENCA

En Ecuador, la entidad encargada del manejo de la información hidrológica y meteorológica es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), cuya instalación, así como la ubicación del instrumental para la toma de datos meteorológicos han sido realizadas de acuerdo a normativa internacional establecida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). La información necesaria para el análisis se obtuvo de la Red Hidrometeorológica Nacional operada por el INAMHI, y de datos de estaciones automáticas privadas que no están dentro de dicha red, cuyos datos están publicados por Ochoa *et al.*, (2013).

#### 3.3.1. Precipitación

Para caracterizar de manera general las precipitaciones medias de la zona de estudio, se empleó la información sobre Isoyetas, tipo polígono establecida por el MAGAP-INAMHI para todo el Ecuador continental (2005), a una escala 1:50.000 presente en el portal web. Además de datos de precipitación mensual de la red de estaciones meteorológicas del INAMHI, y registros de estaciones pluviométricas publicadas por Ochoa *et al.*, (2013). Ver tabla 6.

#### 3.3.2. Temperatura

La estación meteorológica La Argelia con el código del INAMHI M0033 es la única que posee registros sobre temperatura del aire, a diferencia de las cinco (5) estaciones meteorológicas restantes. Se optó por la utilización del software de modelación *LocClim* 1.0 desarrollado por la FAO en el 2002. Dicho programa provee un promedio estimado de las condiciones climáticas en localidades donde no existen registros de datos en estaciones meteorológicas.

*LocClim*, usa datos de precipitación, temperatura, velocidad de viento, fracción solar, presión de vapor y evapotranspiración. El software tiene datos de 28.800 estaciones en promedio mensual, e interpola los valores de estaciones conocidas (con el método

de inversa a la distancia) para dar los resultados de un punto específico (Estrada, 2010).

**Tabla 5.** Temperatura media anual estimada sobre los datos generales de estaciones meteorológicas (coordenadas UTM y altitud).

ESTACIONES METEOROLÓGICAS	CÓDIGO INAMHI	COORDENADAS UTM		ALTITUD Z (msnm)	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
		X	Y		
TIRSTA	NCI	706.084	9.559.957	2.814	12,9
Universidad Técnica Particular de Loja	UTPL	699.964	9.558.976	2.130	16,1
La Argelia**	M0033	699.719	9.553.625	2.160	16,2
PARSTA	NCI	704.138	9.546.097	3.410	10,5
Cajanuma	M0543	698.995	9.548.378	2.267	15,6
San Francisco - San Ramón	M0503	713.833	9.561.247	1.620	18,5

**Fuente:** LocClim 1.0 FAO (2002),

\*\*Única estación meteorológica (INAMHI-Ecuador) con registro de temperatura (°C).

En el software LocClim se incorporaron las coordenadas UTM y altitud (msnm) de las estaciones meteorológicas para obtener los valores de temperatura media mensual faltantes, como se observa en la tabla 5.

Para la elaboración del mapa de temperatura (Isotermas), se realizó la interpolación con el método IDW (peso del inverso de la distancia) presente en módulo “interpolation” de ArcGis 10.1 ®. Este método es el que mejor se ajusta debido a que los datos de temperatura son homogéneos (Abad, 2014). Dicho método asume que cada punto posee una influencia local que disminuye con la distancia; de esta manera, el método pondera con mayor fuerza a los puntos con datos cercanos al punto de valor desconocido, y con menor intensidad sobre aquellos ubicados a mayor distancia (Tveito & Schöner, 2002). Además, se determinó el grado de correlación entre la temperatura medio mensual (°C) y la altitud (msnm), considerando el gradiente altitudinal, mediante la ecuación establecida por Fries *et al.*, (2011).

$$T_{\text{determinada}} = T_{\text{mensual}} + (r (Z^{\text{DEM}} - Z_{\text{deter}})) \quad (7)$$

De donde,  $T_{\text{determinada}}$  es temperatura media mensual resultante [°C],  $T_{\text{mensual}}$  es la temperatura media mensual,  $r$  es Gradiente altitudinal,  $Z_{\text{deter}}$ : valor de referencia (2.000 msnm), y  $Z^{\text{DEM}}$  es el DEM de la zona donde están las estaciones meteorológicas.

### 3.3.3. Caudales

La información hidrológica usada en este trabajo corresponde al informe técnico elaborado para el GAD Municipal de la ciudad de Loja para el año 2006. Estimaciones realizadas por la Unidad Municipal de Alcantarillado y Agua Potable (UMAPAL), para

un periodo de 1999 al 2003. Y de aforos mensuales de enero a diciembre, de un área experimental realizada durante el año 2016, ubicada en la microcuenca El Carmen, para lo cual se empleó el método de sal común (NaCl) conocido como aforo químico o disolución en sal, mediciones realizadas por Loayza (2017).

Este método es aplicable a zonas altoandinas, debido a que los cauces o corrientes de agua son pequeños, sin embargo, presentan fuertes pendientes y flujos turbulentos, el uso de vertedores, de molinetes o flotadores es prácticamente imposible debido a la topografía. La dilución de soluto de sal obedece al grado que tenga el flujo de agua para diluir el trazador (Rantz, 1982). Kite (1993), menciona que la técnica de dilución está limitada por consideraciones ambientales y el método se aplica para caudales menores a 15 m<sup>3</sup>/s.

El método de aforo químico según Gualpa (2013), es un método poco usado, que fue implementado por primera vez en la Cuenca del Río Zhurucay, en la provincia de Azuay en Ecuador. El método consistió en medir la conductividad eléctrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) del flujo de agua generada por la inyección instantánea de sal común (soluto). Para que el aforo sea óptimo, el pico máximo de la curva de concentración debe estar alrededor del 200 % de la concentración inicial (Mosquera *et al.*, 2016). Durante los aforos realizados por Loayza (2017), en el "Área Experimental", adicionó 900 gramos de sal común, disuelto en 20 litros de agua (solvente líquido) que fueron vertidos a la corriente de agua, la concentración que se añadió es menor a los umbrales de toxicidad establecidos (Moore, 2004), dicho efecto fue registrado con el sensor TetraCom 925 del conductímetro Multi 3420 marca WTW cada 5 segundos, hasta que la conductividad regrese a los valores iniciales. La curva de conductividad se formó con el paso de la solución del trazado.

Así mismo, la distancia entre el punto de inyección instantánea de la solución líquida de sal común y el punto de medición de la conductividad fue de 50 m, lo que permitió alcanzar una disolución perfecta, Mosquera *et al.*, (2016), señala que la turbulencia mezcla muy bien el trazador con el agua fluvial. Fredrik & Wei (1995), menciona que existe dependencia lineal directa entre el incremento de la conductividad del agua y la cantidad de soluto de sal común. La dependencia lineal varía con la calidad de sal común usada, la cual fue analizada en laboratorio, Loayza (2017), determinó el factor promedio de la conversión de la concentración (K) cada vez que empleó una funda de sal nueva que fue usada para cada punto de muestreo.

El factor de conversión (k) permitió convertir la conductividad eléctrica (EC) en la cantidad de sal que pasa en cada momento. El área bajo la curva se determinó mediante la ecuación 8 y el caudal de aforo con la ecuación 9

$$A = \int EC(t) - EC_{bg} dt \cong \sum EC(t) - EC_{bg} \Delta t \quad (8)$$

$$Q = \frac{M}{\frac{A}{K}} \quad (9)$$

De dónde: A es el área bajo la curva de aforo [ $\mu\text{S}/\text{cm} \cdot \text{seg}$ ],  $EC_t$  es la medida de la conductividad en el tiempo  $t$  [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ],  $EC_{bg}$  es la conductividad inicial del río [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ], M es el volumen de sal inyectada [mg], K es el factor de conversión [ $\mu\text{S}/\text{cm} \cdot \text{l}/\text{mg}$ ], y Q es el caudal [l/s].

#### 3.3.4. Zonas de Vida

El Ministerio del Ambiente, para el 2013 realizó la Clasificación de Ecosistemas para Ecuador continental, mediante un conjunto de metodologías, bioclima, biogeografía, y geomorfología que permiten agrupar y delimitar comunidades bióticas y sus interacciones con los elementos de su ambiente, de forma lógica y ordenada.

La unidad de representación de este sistema de clasificación es el ecosistema, conceptualizado como un grupo de comunidades de vegetación a escala local que tienden a coexistir dentro de paisajes con variables biofísicas, gradientes ambientales, y procesos dinámicos similares (Comer *et al.*, 2003).

#### 3.3.5. Mapa Taxonómico de Suelos

Se diseñó el mapa taxonómico de suelo dentro del menú principal “geoprocessing-clip” en ArcGis 10.1 ®, con información que fue extraída de la base de datos del Mapa Nacional de Suelos, difundida por el MAG, PRONAREG/ORSTOM (2005), a una escala 1:50.000 y en formato shapefile disponible en el portal web.

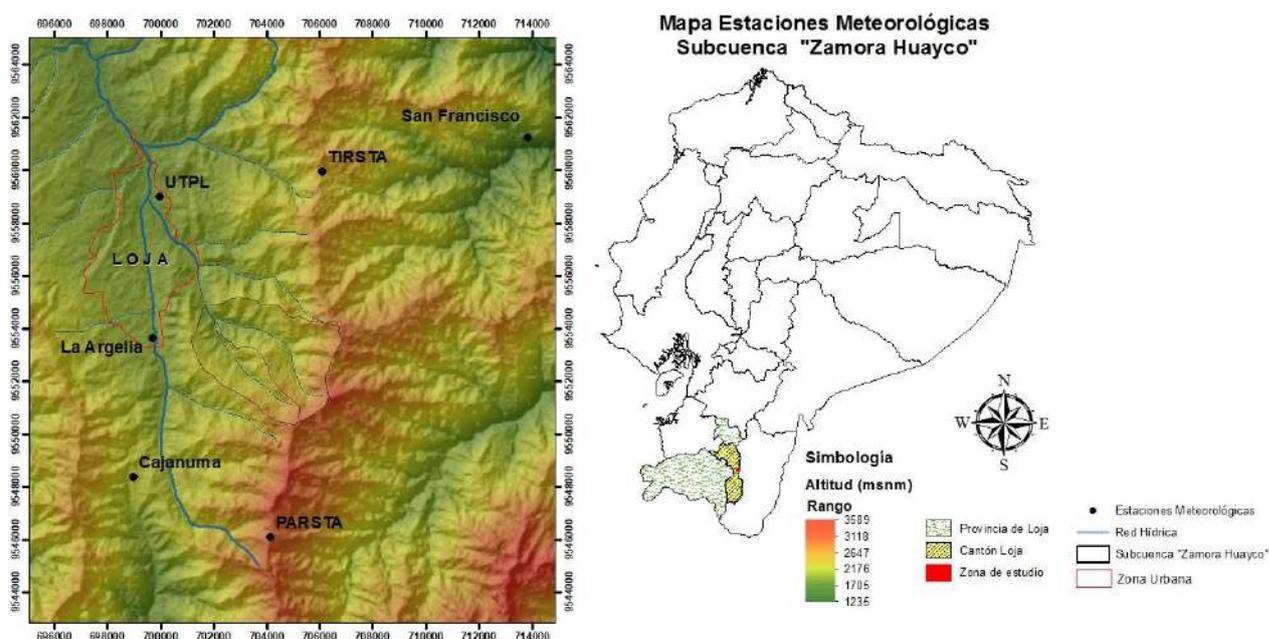
### 3.4. ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA SUBCUENCA ZAMORA HUAYCO

Varias investigaciones han identificado una estrecha relación entre la altura y la precipitación en regiones montañosas del mundo, por ejemplo, Houghton (1979); Hevesi (1992); Bell & Meentemeyer (1994). El análisis de la variabilidad espacial y

temporal de la precipitación es una tarea que requiere de herramientas que representen espacialmente la información temporal, siendo esencial el uso de métodos de interpolación espacial.

Se analizó la precipitación promedio mensual de las estaciones meteorológicas y pluviométricas basados en la publicación de Ochoa *et al.*, (2013), donde se seleccionó un período de 10 años, entre el 2000 y 2009. Encontrando datos de lluvia de la estación UTPL disponibles a partir del 2004 al 2009. Para determinar los datos faltantes de precipitación, se emplearon valores sintéticos; utilizando como base los datos de la estación meteorológica La Argelia (M0033). Ochoa *et al.*, (2013), determinó la relación de la precipitación media mensual entre las estaciones UTPL y La Argelia, suponiendo que la diferencia relativa entre las estaciones fue estacionaria en el tiempo.

Los registros de precipitación se obtuvieron de una red operativa de tres estaciones automáticas de clima y tres estaciones meteorológicas oficiales del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) como se puede observar en la tabla 6. Las dos estaciones automatizadas y una meteorológica están situadas en la cresta de la montaña. La tercera estación automatizada se encuentra en el campus de la Universidad Técnica Particular de Loja, la estación meteorológica La Argelia, una de las tres estaciones regentadas por el INAMHI, descritas en este estudio, se localiza en el campus de la Ciudad Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa" de la Universidad Nacional de Loja, en el sector La Argelia (Ochoa *et al.*, 2013), La estación meteorológica de Cajanuma se encuentra en el sector que lleva el mismo nombre y está sobre la Unidad Hidrográfica Catamayo. Y finalmente, la estación pluviométrica San Francisco – San Ramón que se ubica en la provincia de Zamora Chinchipe en el sector Sabanilla sobre la Unidad Hidrográfica del Santiago.



**Figura 3.** Mapa Ubicación estaciones meteorológicas Subcuenca "Zamora Huayco"  
**Fuente:** Datos tomados del INAMHI y del IGM de Ecuador.

**Tabla 6.** Datos generales de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio (sobre la base del promedio de 10 años),

ESTACIONES METEOROLÓGICAS	CÓDIGO	COORDENADAS UTM		ALTITUD Z (msnm)	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
		X	Y		
TIRSTA	NCI*	706.084	9.559.957	2.814	1.464
Universidad Técnica Particular de Loja	UTPL	699.964	9.558.976	2.130	877
La Argelia	M0033 INAMHI	699.719	9.553.625	2.160	998
PARSTA	NCI*	704.138	9.546.097	3.410	2.429
Cajanuma	M0543 INAMHI	698.995	9.548.378	2.267	1.157
San Francisco - San Ramón	M0503 INAMHI	713.833	9.561247	1.620	2.187

**Fuente:** Datos tomados de Ochoa *et al.*, (2013), Y datos de estaciones meteorológicas del INAMHI-Ecuador.

\*NCI: Naturaleza y Cultura Internacional

Algunas investigaciones han empleado técnicas avanzadas, como la regresión lineal múltiple, el ajuste de superficie utilizando el método de interpolación "spline" y las técnicas geoestadísticas (Buytaert *et al.*, 2006). En el presente estudio se dio particularidad a la regresión lineal considerando que las estaciones pluviométricas se encuentran distribuidas de forma irregular en la subcuenca y, según estudios de Célleri *et al.*, (2007), técnicas simples y complejas de interpolación han proporcionado resultados similares, es decir, el poder de técnicas más complejas no iba a ser completamente aprovechado.

Mediante un hietograma de valores medios mensuales de precipitación de las seis estaciones meteorológicas circundantes a la subcuenca, se caracterizaron patrones de precipitación espacial. Para medir el grado de covarianza entre dos variables linealmente relacionadas se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, que, aplicado a la meteorología, permite evaluar el grado de relación entre los registros de lluvia y altitud (Célleri *et al.*, 2007; Berne *et al.*, 2004; y Emmanuel *et al.*, 2012). Se determinaron los meses lluviosos o secos, además se estableció el tipo de distribución del régimen de lluvia durante los 12 meses del año en bimodal o unimodal, El coeficiente de Pearson está definido por la siguiente ecuación:

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x * s_y} \quad (10)$$

De donde,  $r$  es el Coeficiente de correlación de Pearson,  $s_{xy}$  es el Covarianza de  $x$  y  $y$ ,  $s_x$  es la Desviación estándar de  $x$ , y  $s_y$  es la desviación estándar de  $y$ .

El coeficiente de regresión ( $R$ ) puede tomar valores entre 1 a -1, siendo 0 una relación nula y los valores de 1 y -1 una relación perfecta. El signo que puede tomar este índice únicamente representa la dirección de la relación, es decir, si el signo es positivo la relación es directamente proporcional y si es negativo la relación es inversamente proporcional (Sucozhañay, 2014).

El coeficiente de variación (CV), fue aplicado al presente estudio dado que permite encontrar una relación entre la media y la variabilidad del parámetro estudiado. La magnitud que este coeficiente puede presentar varía entre 0 y 1, los cuales a su vez puede ser expresados en porcentaje. Cabe mencionar que los valores altos y bajos de este coeficiente expresan alta heterogeneidad y homogeneidad de la variable respectivamente. La fórmula se detalla a continuación:

$$cv = \frac{S}{|X^-|} \quad (11)$$

De donde,  $cv$  es el Coeficiente de variación,  $s$  es la desviación estándar de la variable  $|X^-| = \text{Media}$

La aplicación del coeficiente para medir la variabilidad espacial del volumen de precipitación ha sido utilizada con anterioridad por Pederse *et al.*, (2010), y Rodríguez *et al.*, (2008).

El análisis de la variabilidad espacio temporal se realizó con el método de interpolación Kriging Ordinario (KO), el cual predice los resultados en la forma de una combinación lineal de valores medidos cuyos pesos dependen de la correlación espacial entre ellos, y que están disponibles todos en la extensión de análisis geoespacial de ArcGis 10.1 ® (Abad, 2014), Cedeño & Cornejo (2008), recomiendan que para la interpolación espacial de datos de precipitaciones sobre terrenos complejos se emplee Kriging Ordinario debido a que es un método de interpolación basado en modelos estadísticos que pueden predecir valores desconocidos a partir de datos observados en ubicaciones conocidas, Ochoa *et al.*, (2008), señala que Kriging Ordinario permite regionalizar la precipitación, considerando la relación entre la precipitación y elevación el terreno.

### **3.5. ESTIMAR LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO GENERADO EN LA ZONA DE ESTUDIO**

#### **3.5.1. Balance Hidrológico**

Para Pladeyra (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 se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

El balance hídrico o balance de agua, es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios en un área determinada, así como la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda (Tapia, 2012). De acuerdo con la UNESCO-PHI (2003), el balance hídrico constituye uno de los insumos más importantes en el manejo de recursos hídricos y en la evaluación tanto del agua como de los procesos asociados a este recurso. Así, se puede observar estudios dirigidos a estimar el balance hídrico regional, estudios cuyos análisis tienen que ver con la degradación de suelos y modelaciones de lluvia - escurrimiento e investigaciones que utilizan el balance hídrico para el desarrollo de modelos de evapotranspiración.

El método directo aplicado durante los periodos correspondientes basa su estimación en que el agua del suelo va disminuyendo mes a mes hasta agotar las reservas, para poder cubrir las necesidades de agua. Primero se realizó el cálculo de la

evapotranspiración potencial, y segundo, el cálculo propiamente del balance de agua en el suelo (Tapia, 2012).

Para estimar la evapotranspiración potencial (ETP), se considera como datos de entrada a la temperatura media mensual, las precipitaciones medias mensuales, el número de días del mes y el número de horas de sol; de acuerdo con la latitud de las estaciones meteorológicas. Thornthwaite (1944), comprobó que la evapotranspiración es proporcional a la temperatura media afectada por un coeficiente exponencial “a”, Monsalve (2000), propuso la siguiente ecuación del cálculo de la evapotranspiración potencial según Thornthwaite sin ajustar,

$$ETP_{\text{sin corr}} = 16 * (10 * t_j / I)^a \quad (12)$$

De donde,  $ETP_{\text{sin corr}}$  es la evapotranspiración potencial mensual sin corregir en mm,  $t_j$  es la temperatura media mensual en °C, I es finalmente el índice de calor anual.

$$I = \sum_{j=1,2,\dots,12} i_j \quad (13)$$

Cálculo del índice de calor anual

Se calcula a partir del índice de calor mensual  $i$ , como suma de los doce índices de calor mensuales:

$$i_j = (t_j/5)^{1,514} \quad (14)$$

Cálculo del índice de calor mensual,

$a$  = Parámetro que se calcula en función de I, según la expresión:

$$a = 0,000000675 * I^3 - 0,0000771 * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239 \quad (15)$$

Cálculo del factor “a”,

Para el cálculo de la ETP de Thornthwaite (1944), de un mes determinado es necesario corregir la ETP sin corregir “ $ETP_{\text{sin corr}}$ ” mediante coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. Para lo cual se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a la ETP sin corregir ( $ETP_{\text{sin corr}}$ ) para obtener la ETP según Thornthwaite (mm/mes).

$$ETP_{\text{tho}} = ETP_{\text{sin corr}} * L_i \quad (16)$$

Evapotranspiración potencial de Thornthwaite ajustada.

De dónde,  $ETP_{th}$  es Evapotranspiración potencial de Thornthwaite (mm),  $ETP_{sin\ corr}$ : Evapotranspiración sin corregir (mm),  $L_i$ : Factor de corrección del número de días del mes ( $N_{di}$ ) y la duración astronómica del día  $N_i$  (horas de sol),

$$L_i = N_{di} / 30 * N_i / 12 \quad (17)$$

Factor de corrección solar

Para obtener la información del número de horas de sol,  $N_i$ , existen tablas diseñadas específicamente para este tema en función de la latitud (ver anexo 1).

Una vez estimada la “ETP corregida” y con los registros de la precipitación media mensual se procede a ingresar los valores en Microsoft Excel ® para obtener la evapotranspiración real (ETR), el Déficit, la Reserva y los Excedentes de agua en el suelo para el área correspondiente a la estación meteorológica en estudio,

El valor de la capacidad máxima de retención de agua en el suelo para la presente investigación es de 300 mm, dato establecido para el cantón Loja en Ecuador, según memoria técnica del Ministerio de Defensa *et al.*, (2013).

### 3.5.2. Cálculo del Caudal Líquido

Para determinar la producción de caudal líquido, se utilizó el modelo hidrológico HEC-HMS, programa de simulación hidrológica de tipo evento lineal y semi distribuido, desarrollado para estimar hidrogramas de salida en un área determinada (cuencas o subcuencas) a partir de diversas precipitaciones. Por ejemplo, Silva *et al.*, (2005) aplicaron diversos métodos que permitirán simular cálculos de hidrogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa.

Como paso previo a la estimación de la escorrentía superficial fue necesario calcular los parámetros morfométricos tales como área (A), longitud del cauce principal ( $L_n$ ), pendiente media del cauce principal (J), tiempo de concentración ( $T_c$ ), tiempo de retardo ( $T_{lag}$ ), número de curva hidrológico (CN), y los parámetros de Muskingum para el tránsito de caudales. Posterior a ello, se evaluó el comportamiento espacial y temporal de la precipitación sobre la zona de estudio. Se procedió a la adecuación y homogenización de la información de lluvias de las seis estaciones meteorológicas seleccionadas para un periodo de diez años, registro de datos desde el 2000 al 2009 (ver tabla 6).

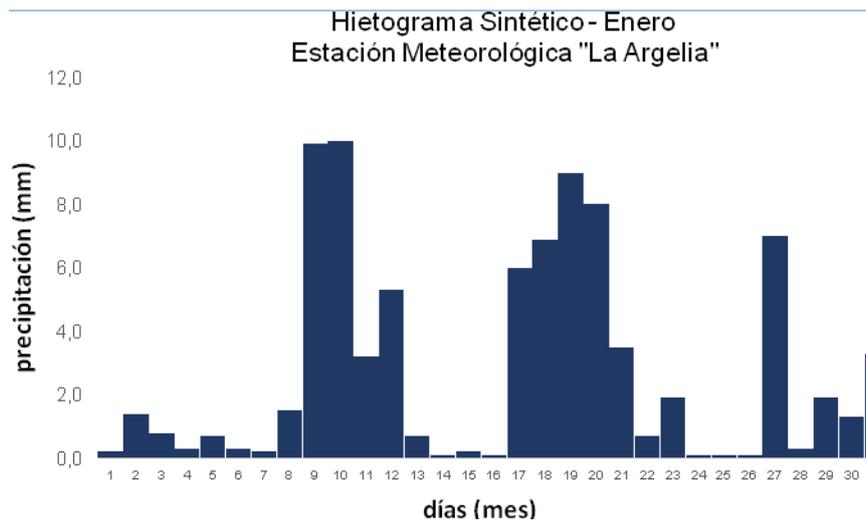
Para el cálculo del CN de las microcuencas se emplearon los mapas temáticos de cobertura – uso del suelo, tomado de Imagen Landsat (2010), resolución (1052 x 584),

y tipo de suelo (textura) según Martínez (2009), que serán interceptados en ArcGis 10.1 ® para obtener un mapa temático que proporcionó polígonos de tipo de suelo y cobertura; posteriormente se realizó una caracterización de los suelos presentes en cada microcuenca, para obtener información de pendiente, textura y drenaje natural para cada uno de los polígonos; con esta información se asignó un grupo hidrológico de suelo a cada uno de los polígonos.

Finalmente, con la información de cobertura y grupo hidrológico de suelos de cada polígono y mediante la utilización de tablas sobre CN según grupo hidrológico y cobertura vegetal o uso del suelo presente en Gaspari, *et al.*, (2013), se determinó el valor de CN para cada uno de éstos, el cual fue ponderado con respecto al área total de la subcuenca, y así obtener el CN ponderado para cada microcuenca (Bastidas, 2005).

Después de realizar el análisis espacial de la precipitación; se trazan polígonos de Thiessen, para determinar el área de influencia de cada una de las estaciones meteorológicas, se asignó un valor ponderado según la superficie de terreno que está influenciado por dichas estaciones meteorológicas. El estudio temporal de la precipitación se realizó mediante un análisis de las series históricas de lluvias diarias y número de días de lluvia de las estaciones relacionadas.

Se determinó un patrón de distribución de precipitaciones diarias para cada mes, que será aplicado a las precipitaciones medias mensuales de la microcuenca obtenidas en el análisis espacial, según su ubicación geográfica con respecto a la estación estudiada, por consiguiente, la precipitación media mensual de cada microcuenca se distribuyó diariamente obteniendo el *hietograma sintético* a nivel diario para cada mes. Para cada estación meteorológica se generaron doce *hietogramas sintéticos* correspondiente a los meses del año, los cuales se implementaron en el modelo. La figura 4, muestra la forma del hietograma sintético obtenido para el mes de enero y aplicado a la subcuenca Zamora Huayco más detalle de la metodología en Carvajal *et al.*, (2007).

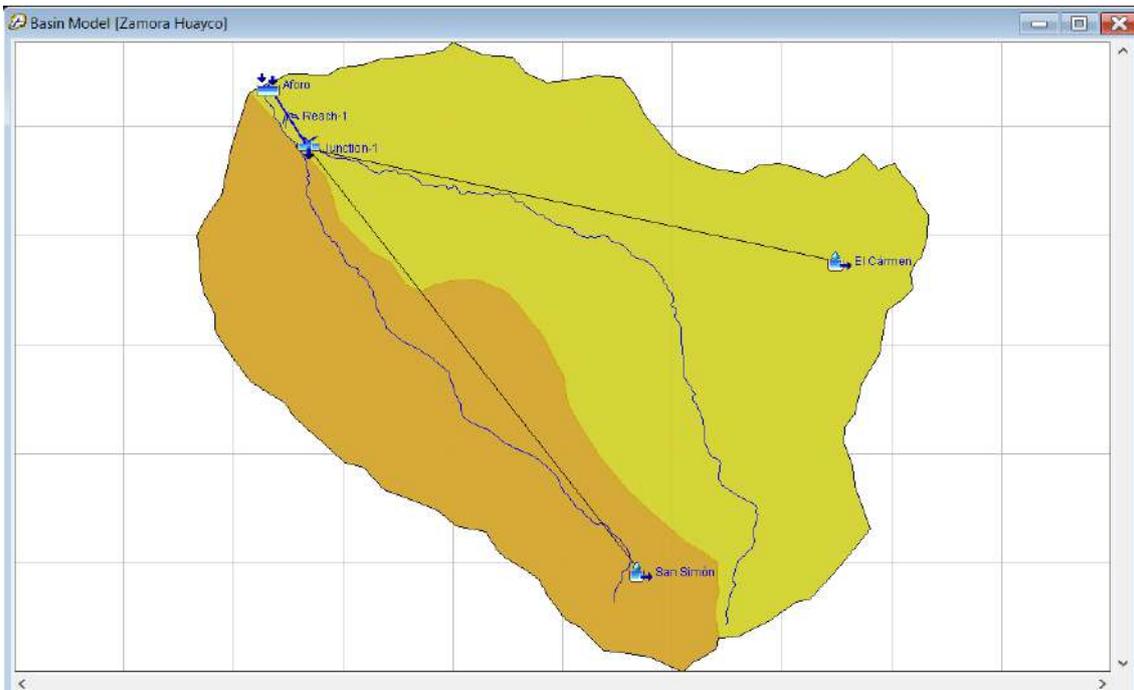


**Figura 4.** Hietograma Sintético promedio generado para el mes de enero, periodo 2000-2009 de la estación meteorológica La Argelia de la Subcuenca "Zamora Huayco", Microcuencas: El Carmen y San Simón.

**Fuentes:** INAMHI, Ecuador.

La simulación de la modelación hidrológica se realizó una vez obtenida y procesada la información, requerida por el modelo HEC-H ® para cada una de las microcuencas, los datos de entrada fueron la precipitación y los parámetros morfométricos; se procedió con la modelación hidrológica con el software HEC-HMS ®; en primer lugar, se realizó la esquematización de la subcuenca Zamora Huayco, la cual está representada como un grupo interconectado de dos microcuencas.

En cada microcuenca los procesos hidrológicos fueron representados por los valores parámetros promedio de lluvia; seguidamente, se procedió con la creación de los modelos meteorológicos para cada mes; éstos tuvieron los valores de precipitación (hietogramas sintéticos) calculados y distribuidos para cada estación meteorológica. Posteriormente, se crearon las especificaciones de control, una para cada mes, que consisten en informar al modelo durante qué periodo de tiempo deben realizarse los cálculos; finalmente, se procedió a la configuración de las corridas del modelo, las cuales tienen modelos meteorológicos, las especificaciones de control y el modelo de la subcuenca. Se elaboró una configuración de corrida para cada mes (Nanía, 2007).

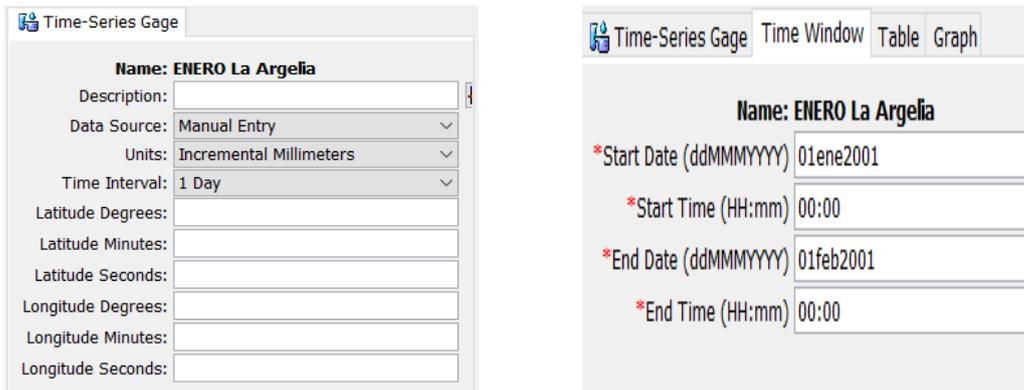


**Figura 5.** Esquemización de la subcuenca “Zamora Huayco”, Microcuencas: El Carmen y San Simón.

**Fuentes:** Software HEC-HMS 3.4 ©

La subcuenca se esquematizó desde aguas arriba, hacia aguas abajo, según como se dispusieron las microcuencas, se tuvo en cuenta todos los elementos hidrológicos que permite esquematizar el modelo HEC-HMS ® (tránsitos, uniones, derivaciones, desembocaduras). En la figura 5, se muestra la esquematización en HEC-HMS para la subcuenca Zamora Huayco.

Se creó el modelo meteorológico que asignó a cada microcuenca su respectivo hietograma sintético, para cada mes analizado. En HEC-HMS ®, las especificaciones de control se refieren a los intervalos de tiempo, en los que el programa computó los resultados, por lo tanto, éstos deben ser a lo sumo, iguales al periodo al que se está modelando. En la figura 6, se muestran las especificaciones de control para el mes de enero.



**Figura 6.** Especificaciones de control para el mes de enero de la estación meteorológica “La Argelia”.

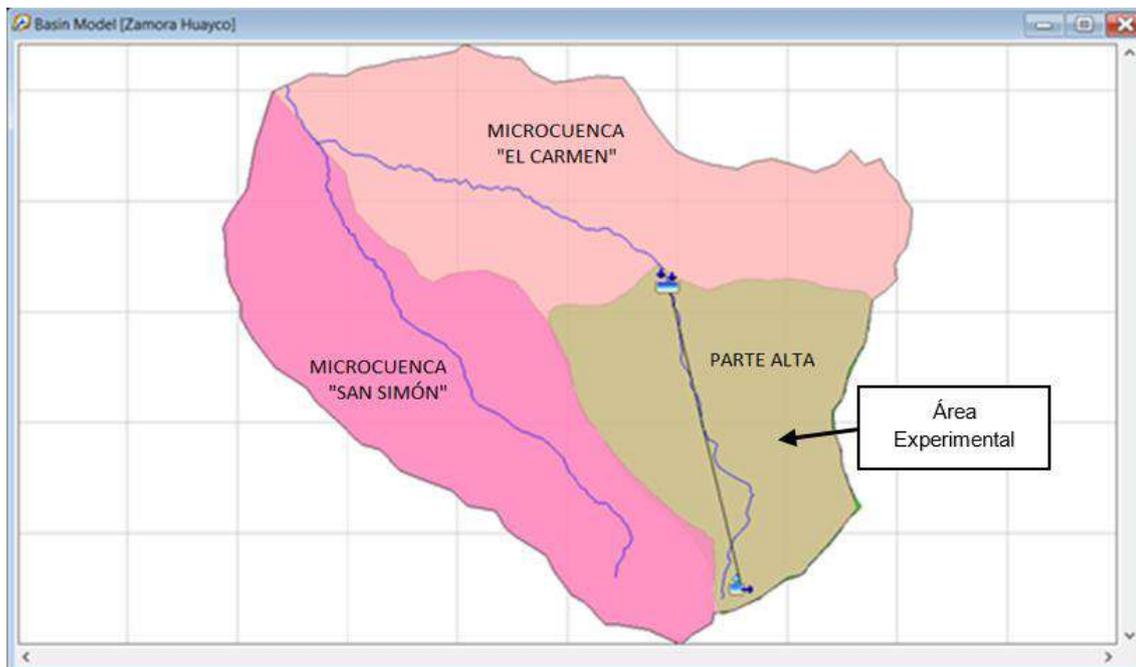
**Fuente:** Software HEC-HMS ® 3.4

El área impermeable se cuantificó por microcuencas, a partir de imágenes satelitales Landsat 2016 de Google Earth ® que tienen excelente resolución, y permitió observar zonas con afloramientos rocosos, presencia de cuerpos de agua y zonas urbanas. En el mapa de pendientes se consideraron las áreas con mayores pendientes, asumiendo la alta probabilidad de tener poca profundidad de suelo, y elevado escurrimiento (Tapia, 2012). Los valores del tiempo de retardo (Tlag) que se emplearon para el cálculo de la transformación del excedente de lluvia en escurrimiento directo (cálculo del hidrograma de salida), mediante el método de hidrograma unitario del SCS, según fórmula de Fedelman (2000).

No se pudo realizar la calibración de los escurrimientos estimados en HEC HMS ® debido a que no existe registro de aforos para el periodo de precipitaciones entre el 2000 al 2009. Las microcuencas: El Carmen y San Simón no cuentan con caudales observados en su confluencia (cierre de la microcuenca). Pero, en la parte alta de la microcuenca El Carmen existen aforos mensuales promedio para el año 2016 (ver figura 7). Se realizaron las calibraciones del modelo HEC HMS ® de la parte alta, conservando características fisiográficas, y parámetros similares como número de curva (NC), tiempo de retraso (Tlag) y el Índice de abstracción (Ia).

### **3.5.3. Calibración y Sensibilidad de los Resultados Obtenidos en el Modelo HEC HMS ®**

La calibración de un modelo radica en lograr un ajuste satisfactorio entre los escurrimientos observados y los calculados, mediante el cambio en los valores de los parámetros de mayor influencia, aún de aquellos que se consideraban conocidos (IRENAT, 2002).



**Figura 7.** Área experimental, parte alta de la microcuenca El Carmen, Aforos líquidos químicos, método de sal común (NaCl).

**Fuente:** Simulación (datos calculados) HEC HMS 3.1®

Las microcuencas El Carmen y San Simón no poseen estaciones de medición de aforos, e información actual e histórica sobre el manejo de caudales a la salida de las microcuencas, que permita comparar con los datos calculados HEC HMS ®. Se seleccionó un sector de la parte alta de la microcuenca El Carmen debido a que cumple con aspectos de “Área Experimental”, es decir, que cumple rasgos particulares en función de las características locales como semejanza u homogeneidad con el resto de la subcuenca y sobre todo la existencia de información hidrometeorológica (ver figura 7).

Para cumplir con la calibración, se emplearon series de precipitaciones del año 2016 de dos estaciones automáticas ubicadas sobre la parte alta de la microcuenca El Carmen justamente sobre la zona identificada como “Área Experimental”. La resolución temporal de captura de información de la precipitación de las estaciones automáticas es de cinco minutos, además de aforos con trazadores químicos realizados por Loayza (2017), en el mismo sector durante el año 2016 mediante el método de sal común (NaCl), se procedió a comparar el caudal obtenido durante el mes aforado con el caudal simulado. El registro de datos de precipitación y caudal fue facilitado por el CITIAB de la Universidad Nacional de Loja.

La calibración se realizó tomando como parámetros de ajuste el número de curva hidrológico (CN), el tiempo de retraso (Tlag) y el índice de abstracción (Ia) según

Escobar *et al.*, (2007). Para verificar la eficiencia del modelo y asegurar la confianza en los datos obtenidos al ejecutar el programa, se emplearon los conceptos de verificación: coeficiente de determinación  $R^2$  y el coeficiente de Nash & Sutcliffe (1970).

Mena (2010), señala que el coeficiente de determinación  $R^2$ , es el cuadrado del coeficiente de correlación, varía entre 0 y 1 y representa el porcentaje de varianza en los datos observados respecto de lo explicado por el modelo, es mejor mientras está más cercano a 1. Se usa como medida de dispersión del modelo y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R^2 = \frac{Cov(Q_o, Q_m)^2}{\sigma^2 \sigma^2} \quad (18)$$

De donde,  $Q_o$ , es el caudal observado;  $Q_m$  es el caudal simulado;  $Cov(Q_o, Q_m)$  es la covarianza entre los caudales observados y los simulados;  $\sigma^2$  es la varianza de los caudales observados; y  $\sigma^2$  es la varianza de los caudales simulados,

Sin embargo, un valor alto de  $R^2$  no garantiza únicamente que la calibración del modelo sea aceptable, además errores sistemáticos no influyen en este valor (Crespo *et al.*, 2008). El problema de este coeficiente es que es muy sensible a desviaciones constantes o proporcionales, es decir que si cumple que  $Q_s = a + bQ_o$ , entonces  $R^2$  será igual a 1 haciendo creer que el modelo responde perfectamente a la realidad. Otro problema es que es muy sensible a los valores extremos que hacen creer su valor dando nuevamente una falsa apariencia de buen ajuste (Mena, 2010). Por esta situación es recomendable tomar el resultado de  $R^2$  como un valor inicial o referencial que debe ser complementado con otros índices que midan el grado de ajuste del modelo, como el coeficiente de Nash y Sutcliffe.

El coeficiente de eficiencia del modelo EF de Nash & Sutcliffe (1970), fue analizado para este tipo de errores. Este coeficiente adimensional es la diferencia entre la varianza de los caudales observados, y el error cuadrado promedio (MSE, por sus siglas en inglés), dividida por la varianza de los resultados observados. El coeficiente de eficiencia EF se expresa por medio de la siguiente expresión matemática:

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o(i) - Q_m(i))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o(i) - \bar{Q}_o)^2} \quad (19)$$

De dónde,  $Q_o$ , es el caudal promedio observado,  $Q_m$ , es el caudal estimado, y  $\bar{Q}_o$ , es la media de los valores registrados.

Algunos valores sugeridos para la toma de decisiones son resumidos en la siguiente tabla 7.

**Tabla 7. Valores referenciales del criterio de Nash y Sutcliffe (1970).**

<b>E</b>	<b>Ajuste</b>
< 0,2	Insuficiente
0,2 – 0,4	Satisfactorio
0,4 – 0,6	Bueno
0,6 – 0,8	Muy bueno
> 0,8	Excelente

Fuente: Elaboración propia, tomado de Molnar (2011).

### **3.6. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL**

El 60 % de la ciudad de Loja se abastece de agua potable proveniente de la planta potabilizadora denominada El Pucará, conformada por las captaciones El Carmen, San Simón y Pizarro (González, 2013), cuyo caudal es de aproximadamente 583 l/s según UMAPAL (2016). La planta fue construida en el año 1970 y tuvo posteriores ampliaciones en los años 1988 y 1993. El 65 % de la red existente es de asbesto cemento que ya ha cumplido su vida útil en 1990, por lo que presenta fugas y rupturas frecuentes. Existe además la planta del proyecto Curitroje - Chontacruz que data del año 1995, con capacidad de 48 l/s (Geo Loja, 2007). Además de estas, existen otros pequeños sistemas de potabilización para sectores periféricos de la ciudad.

El procedimiento para determinar la demanda de agua potable consistió en el análisis de crecimiento de la población de la ciudad de Loja, tomando como base los Censos Nacionales de los años 1982, 1990, 2001 y 2010, además se empleó las proyecciones de población ecuatoriana según cantones de los años 2010 hasta el 2020, elaborada por el INEC (2012).

Se proyectó la población de la ciudad de Loja hasta el año 2040, mediante el método aritmético, obteniendo así el crecimiento porcentual de la población (cada 6 años) a partir del último censo. Para el año 2010 la población del cantón Loja fue de 214.855

habitantes (INEC, 2010). A continuación, se detalla la fórmula empleada para la tasa de crecimiento poblacional:

**Incremento Porcentual** = (Proyección población 2016 – Censo población 2010) \*100/  
(Censo población 2010)

Se tuvo en cuenta que el 79,30 % del total de la población del cantón Loja, reside en la ciudad de Loja, porcentaje estimado según el VII Censo de Población y VI de Vivienda (INEC, 2010),

La mejor manera de determinar la demanda de agua potable para un municipio en particular es a partir de mediciones de volúmenes de agua consumidos por los usuarios en los diferentes usos que tienen categorizados dentro del sistema de acueducto (RAS, 2003). La información sobre el consumo promedio mensual para los diferentes usos de agua fue facilitada por la Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (UMAPAL) del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de la ciudad de Loja, sobre facturación del consumo promedio mensual del año 2010 y 2016, para los diferentes usos de agua según la categorización establecida de residencial, comercial, Industrial y oficial que será contrastado con la población del Censo Nacional 2010 (ver tabla 28).

Se estimó la demanda de agua potable para la población proyectada hasta el año 2040, mediante el gasto medio diario que es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de la población en un día de consumo promedio. La RAS (2003), define la expresión sobre el gasto medio diario la cual se detalla a continuación:

$$Q_{medio} = \frac{P * D}{86400} \quad (20)$$

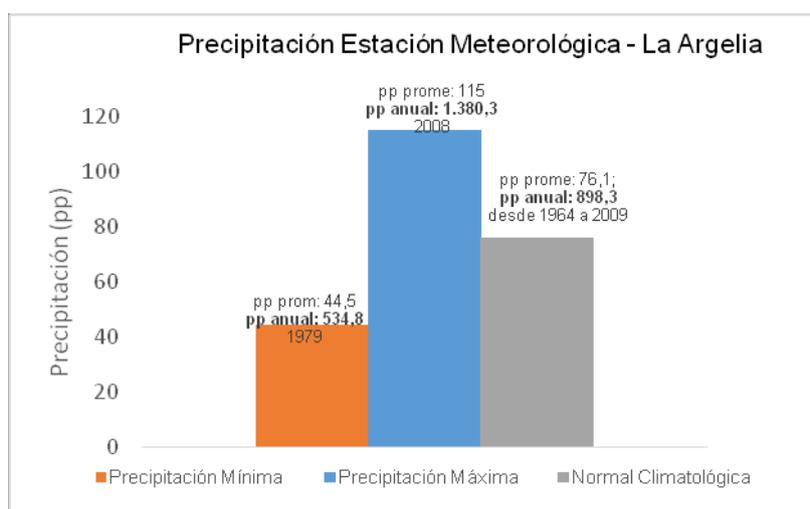
De donde  $Q_{medio}$  es el gasto medio diario l/s, P es la Población de diseño, número de habitantes, y D es la Dotación, lit/hab/día y 86.400 son los segundos que tiene un día.

Los valores de “D” fueron tomados de la dotación media futura recomendadas en las *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes* establecido por la SENAGUA cuyo valor es de 200 litro/hab/día para poblaciones mayores a 50.000 habitantes y con un clima frío/templado entre 12 a 17,9 °C.

Además, en la Secretaría del Agua (SENAGUA) se solicitó información de las distintas concesiones sobre “autorización de uso y aprovechamiento de agua” en las microcuencas: El Carmen y San Simón para análisis posteriores. Debido a que la SENAGUA es la única autoridad responsable directa de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego y abrevadero que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación; según Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014).

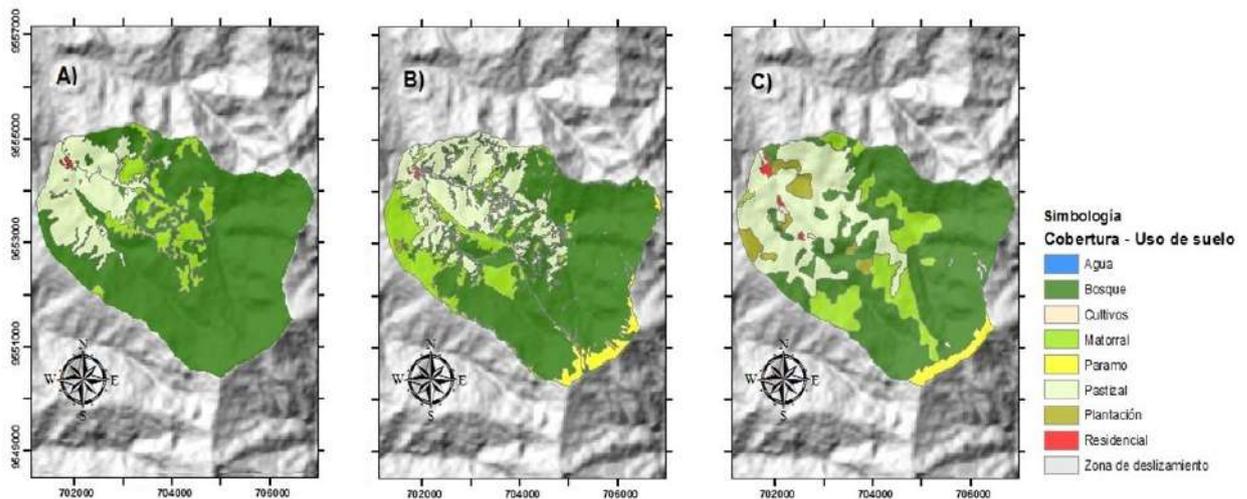
### 3.7. ESCENARIOS DE DISPONIBILIDAD EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA SUPERFICIAL

Se establecieron diferentes escenarios, tomando como guía metodológica a Fuentes (2011). Las variables de entrada del software HEC-HMS ® fueron: a) la cobertura vegetal – cambio de uso de suelo y, b) precipitaciones máximas y mínimas determinadas mediante la normal climatológica, registrada en la estación meteorológica La Argelia (M0033), de un análisis de 46 años (ver figura 8). Según la Organización Meteorología Mundial (OMM), la normal climatológica es el promedio estadístico de al menos 30 años consecutivos de observación de una variable climatológica, en este caso la precipitación. La regresión lineal permitió analizar la serie de tiempo de un registro de datos desde 1964 al 2009, se determinan los años en los cuales las lluvias tienden a aumentar o disminuir (ver tabla 31 y figura 35), valores que coincidieron con los establecidos en la normal climatológica; y que se incluyeron en los escenarios optimista y pesimista respectivamente,



**Figura 8.** Análisis Normal climatológica, precipitación promedio y anual máxima y mínima de la estación meteorológica La Argelia desde 1964 hasta el 2009.

**Fuente:** INAMHI (2016)



**Figura 9.** Cobertura vegetal - cambio de uso de suelo del año 1976 (A), 2010 (B), y proyección para el año 2040 (C), Mapa cobertura 1976 se añadió zona residencial del año 2016.  
**Fuente:** MAGAP, y CINFA-UNL, Ochoa et al, (2008).

Los tres escenarios construidos fueron: actual, pesimista y optimista, y en cada uno se establecieron ejes o criterios comunes. Se emplearon los mapas de cobertura vegetal - uso de suelo a escala 1:50.000 de los años 2010, 1976 y proyección para el 2040, como se puede observar en la figura nro. 9, se tomó el 60 % de las proyecciones de la población de la ciudad de Loja, para los años 2016 (INEC, 2012), y 2040 (según fórmula del *Incremento Porcentual* del punto 3.6).

Se empleó dicho porcentaje de la población, que es el número de habitantes a los cuales la subcuenca supe con la demanda de agua potable (Geo Loja, 2007). Además, se usó el porcentaje de pérdidas y fugas de agua potable en la red de distribución, dato otorgador por la Unidad Municipal de Agua Potable (UMAPAL, 2016). Los escenarios permitieron modificar las variables de entrada, y así generar varias simulaciones, que fueron validadas mediante el coeficiente de eficiencia de Nash (ver ecuación nro. 19). Además, la relación entre las precipitaciones máximas y mínimas con el cambio de uso del suelo – cobertura vegetal (NC), sobre la producción de escurrimiento, y este a su vez con la disponibilidad sobre la demanda de agua.

La estimación de la producción de caudal líquido para los escenarios planteados se realizó con el modelo hidrológico HEC-HMS ® basado en la metodología del punto 3.5.2. A continuación se describen los escenarios propuestos:

### 3.7.1. Escenario Actual

El escenario actual refleja la situación de oferta y demanda, se tomó en cuenta la precipitación promedio mensual del periodo 2000 al 2009 de las seis estaciones meteorológicas seleccionadas (ver tabla 6). Se emplearon los mapas temáticos de

cambio de uso de suelo – cobertura vegetal Imagen Landsat del año 2010, a escala 1:50.000 formato shape (ver figura 9B) y se procedió a determinar el Número de curva ponderado (NC) para la subcuenca Zamora Huayco, se procedió a simular en el software HEC HMS ®. En este escenario se considera al 60 % de la población para el año 2016, que es una proyección del INEC basada en el VII Censo de Población y VI de Vivienda del año 2010 (ver figura 33 y tabla 27), y los datos de consumo promedio mensual de facturación de uso residencial de agua potable, facilitados por la Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (UMAPAL) de la ciudad de Loja. El porcentaje de pérdidas y fugas actuales en red de distribución de agua potable según UMAPAL, también se añadió a los cálculos de este escenario (ver tabla 29).

### **3.7.2. Escenario pesimista**

El escenario pesimista se desarrolló siguiendo la metodología del punto 3.5.2., respecto a los datos de entrada sobre precipitación, se emplearon las lluvias anuales ocasionadas durante los años 2008 (1.380,3 mm) y 1979 (534,8 mm), que según la normal climatológica fueron determinadas como lluvias con valores máximos y valores mínimos respectivamente (ver tabla 31). La estación meteorológica La Argelia según los polígonos de Thiessen tiene influencia geoespacial sobre la subcuenca de un 80 % aproximadamente, se detalla en la tabla 26.

Para la modelación de los cambios de uso de suelo se utilizó el módulo LCM (Land Change Modeler) del software IDRISI Selva, con estas herramientas se procesó la información y se determinó la magnitud de los cambios, los patrones espaciales de los cambios sucedidos y la localización de los cambios futuros (escenario tendencial para el año 2040). Se empleó el mapa de cobertura vegetal - uso de suelo del año 1976 y escala espacial 1:50.000, el cual se obtuvo de la base de datos del CINFA (Centro Integrado de Geomática Ambiental) de la Universidad Nacional de Loja, que permitió analizar el cambio relativo a la cobertura vegetal - uso de suelo de los años 1976 al 2010 y sirvió como base para la proyección de la cobertura vegetal - uso de suelo para el año 2040, para ello, se asumió el mismo porcentaje de deforestación, pastura y crecimiento urbano del periodo 1976 al 2009 (Bendix & Beck, 2009) como se puede observar en la figura 9C.

Los componentes socioeconómicos y políticos no se tuvieron en cuenta, debido a la dificultad que genera la cuantificación de estos factores (Ochoa *et al.*, 2013). Se procedió a determinar el Número de curva ponderado (NC) para las dos microcuencas: El Carmen y San Simón. Además, se empleó el 60 % de la población y demanda de

agua de la ciudad de Loja, estimada para el año 2040, con base en el censo del año 2010 (ver figura 33, tabla 27), como se detalla en el punto 3.6., sobre demanda de agua. Además, se tendrá en cuenta el 40 % de pérdidas y fugas en la red de distribución porcentaje según el (RAS, 2000).

### **3.7.3. Escenario optimista**

El escenario optimista fue ejecutado empleando las precipitaciones anuales máximas (1.380,3 mm) y mínimas (534,8 mm) determinadas en la normal climatológica como se detalla en la tabla 30. Se empleó el mapa cobertura vegetal - uso de suelo del año 1976 en el cual se añadió la cobertura de zona residencial actual (2016) escala 1:50.000, como se puede observar en la figura 9A; se asumió que la cobertura vegetal presentó regeneración natural en las zonas de pastizales, matorrales y áreas degradadas, fundamentados en la Ordenanza Municipal expedida el 19 de julio de 2007 y reformada en el 2015 sobre "Protección de las microcuencas y otras áreas prioritarias para la conservación del cantón Loja", la cual establece una tasa ambiental que resulta del consumo de agua potable a las distintas categorías: residencial, industrial, comercial y oficial.

En dicha ordenanza menciona que los fondos económicos recaudados servirán para realizar pagos por *Servicios Ambientales* a los propietarios de los terrenos que se encuentran sobre las diversas microcuencas captadoras de agua. Además, la ordenanza contempla la dotación de herramientas, materiales e insumos para labores agroproductivas, llegando a acuerdos entre la GAD Municipal de Loja y los propietarios para que no utilicen el suelo y los recursos en actividades agrícolas o pecuarias.

Cabe mencionar que en la microcuenca El Carmen se han adquirido 17 predios y tres están en negociaciones (La Hora, 2008) con fines de restauración y conservación. Sobre gran parte de la microcuenca San Simón se ubica la Reserva Natural "Madrigal del Podocarpus" con una superficie de 3,06 Km<sup>2</sup> destinada a la regeneración natural y educación; aquí se localiza el Centro Educativo Amauta (El Mercurio, 2014).

El escenario optimista tendrá como premisas el porcentaje de pérdidas y fugas red de distribución de agua potable considerado como "bajo", establecido por el Reglamento de Agua y Saneamiento Básico (RAS, 2000), que está en el 20 % como se detalla en la tabla 8.

**Tabla 8.** *Porcentajes de pérdidas y fugas de agua potable en redes de distribución de agua potable.*

<b>NIVEL DEL SISTEMA</b>	<b>% DE PÉRDIDA Y FUGAS</b>
Bajo	20
Medio	25
Medio alto	30
Alto	40

Fuente: Elaboración propia, tomado de RAS (2000).

### **3.8. ESTABLECER ESTRATEGIAS TENDIENTES A OPTIMIZAR EL CONSUMO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE**

Los resultados obtenidos en el desarrollo de los objetivos anteriores permitieron identificar los problemas o necesidades prioritarios derivados de la situación actual de un determinado grupo social y así proponer alternativas de solución de tipo práctico en el marco de un proceso de planificación participativa. En síntesis, tras conocer "¿cómo son las cosas?" es necesario plantear "¿cómo deberían ser?" (Hurtado, 1998). Trujillo & Sarmiento (2012), señalan que el diseño de estrategias requiere evaluación y análisis de los problemas, la identificación de soluciones y la elaboración de planes de acción para el cambio. Para ello, es fundamental contar con la participación de los actores, tanto de aquellos que directamente influyen en las políticas, programas y actividades de desarrollo, como quienes se ven involucrados de manera indirecta.

De acuerdo con Green (2003), la gestión de recursos hídricos debe responder a la elección entre dos estrategias: **a)** el aumento en oferta y **b)** la reducción de la demanda a través de la eficiencia en el uso de los recursos existentes; señalando que la elección de la estrategia apropiada dependerá de las circunstancias locales. La eficiencia y el ahorro están relacionados directamente con la racionalidad en el uso de agua, la cual parte de la concepción que tiene el usuario sobre la cantidad de agua que necesita para su subsistencia. Esta cultura del agua determina los niveles de consumo, que son característicos de cada contexto o población de usuarios, así como las diferentes medidas que deben ser abordadas en la consecución de un uso más razonable del recurso hídrico.

Para que las acciones dirigidas al uso eficiente del agua tengan éxito, se debe contar con la participación ciudadana. Para ello es indispensable establecer acciones de comunicación y educación, las cuales constituyen elementos de suma importancia. Algunas herramientas de las cuales se vale un programa de cultura del agua son el desarrollo de estrategias educativas, la conformación de clubes defensores del agua, y la realización de talleres de formación orientados a las comunidades. Si bien es cierto que estas estrategias han sido desarrolladas en la gran mayoría de programas de uso

eficiente y ahorro de agua, debe señalarse que el seguimiento de los alcances de estas, sobre los niveles de ahorro y eficiencia presenta grandes dificultades, debido principalmente a la naturaleza cualitativa de los indicadores utilizados y a la ausencia en la mayoría de los casos de información detallada sobre el desarrollo de la estrategia (Grisham & Flemming, 1998).

El estado ecuatoriano en su marco legal determina un manejo sustentable de los recursos naturales, en el numeral 4 del artículo 276 de la Constitución de la República señala como uno de los objetivos de régimen de desarrollo, el recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividad el acceso equitativo y permanente en este caso al recurso hídrico. Así mismo el artículo 12, de La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, establece “la protección, recuperación y conservación de fuentes de agua señalando al Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos...”,

Las estrategias tendientes a optimizar el consumo de agua en un contexto de desarrollo sustentable fueron desarrolladas en tres fases (proceso metodológico):

1. **Diagnósticos:** incluye la exploración, contextualización y caracterización de la demanda de agua de la ciudad de Loja, los diferentes usos, pérdidas y fugas que se generan en el sistema de red de distribución.
2. **Direccionamiento estratégico:** identificación de oportunidades y selección de estrategias para el uso eficiente y ahorro de agua, las cuales se determinaron en el diagnóstico de la anterior fase de investigación. Además, se utilizaron técnicas como el análisis de la información con el fin de identificar una serie de alternativas las cuales fueron agrupadas en dos categorías: alternativas de tipo tecnológico y alternativas culturales o de comportamiento social. Categorías que están compuestas a su vez por tres sistemas que integrados dan lugar a sinergias en las cuales se obtienen las estrategias para uso eficiente del recurso hídrico.

Los sistemas son: Recurso Hídrico, Institucional y Usuario, son adaptaciones del Instituto Mexicano de Tecnologías (2007), y desarrollo de un modelo conceptual de Trujillo & Sarmiento (2012), los cuales emplearon la metodología de Sistemas Blandos de Checkland (2002).

Estos tres sistemas forman una relación de interfaces, como lo menciona Pesci (2000), establece que “las interfaces entre sistemas son el punto de mayor interés de los estudios y propuestas ambientales. En las interfaces, dos o más sistemas se interceptan o interactúan, produciéndose la mayor concentración de intercambio de materia, energía e información, y por ello son los sitios privilegiados para comprender los ciclos de la naturaleza, sus energías y el aprendizaje para manejarse con su complejidad sistémica” ver figura 10.



**Figura 10.** Esquema conceptual Uso Eficiente de Agua (UEA).

**Fuente:** Elaboración propia, tomado de Trujillo & Sarmiento (2012).

A su vez la interacción de los sistemas y sus interfaces permiten, realizar un uso eficiente y ahorro de agua, ya que contempla los elementos necesarios para que exista un desarrollo sustentable. Pues se encontró que el sistema social está compuesto por los usuarios los cuales representan todo el sistema cultural, en cuanto al sistema ambiental lo integra el recurso hídrico representando todo el componente natural y finalmente el sistema institucional compuesto por los entes de regulación y control que representan toda la parte normativa en cuanto a legislación. Es así, como estos sistemas interactúan formando una relación de interfaces entre ellos, dando origen a las siguientes interfaces: Cultural - Educar; Tecnológico - Reducir; y Político - Lineamientos, siendo los principios rectores de las estrategias planteadas.

Las estrategias son priorizadas a través de la técnica de Análisis Jerárquico AHP (Analytic Hierarchy Process) aplicado por Zaragoza (2007), que es una herramienta útil en la toma de decisiones con un objetivo específico, y en este caso, la elección de estrategias que permitan el uso eficiente y ahorro de agua.

El desarrollo del método AHP, permitió descomponer el problema en una jerarquía de elementos interrelacionados, se identificó los 4 niveles principales que son: la **Meta General**, los **Criterios**, los **Subcriterios** y **Estrategias Posibles**.

Se desarrolló la Matriz de Comparación por Pares (MCP), para cada uno de los criterios estableciendo el rango (Rating) de importancia relativa entre ambas alternativas consideradas, La MCP permite emitir juicios de valor subjetivos de las diferentes alternativas, para calificar las comparaciones se tomó los valores descritos en la tabla 9. Más detalle de esta metodología se describen en Jácome & Piedra (2014).

**Tabla 9.** Escala con valores para evaluar la preferencia relativa entre los elementos,

ESCALA DE PREFERENCIAS	
PLANTEAMIENTO VERBAL DE LA PREFERENCIA	CALIFICACIÓN NUMÉRICA
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuerte y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuerte preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderada y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igual y moderadamente preferible	2
Igualmente, preferible	1

**Fuente:** Elaboración propia, tomada de Saaty (1980).

Finalmente, la ejecución del método AHP permitió obtener las estrategias priorizadas, pues estas quedan en orden dependiendo de su ponderación y su valor próximo a 1, de mayor a menor, dependiendo del orden que brinde la priorización.

En la tabla 9, se describen los criterios y subcriterios, que se ubican en el segundo y tercer nivel respectivamente, dentro de los cuatro niveles principales de jerarquización. Las respectivas descripciones, permiten una adecuada evaluación de las estrategias, el cual ofrece la posibilidad de priorizar en toma de decisiones con un objetivo específico en este caso, la elección de estrategias que permitan el uso eficiente y ahorro de agua en la ciudad de Loja. Los criterios establecidos son: La *Viabilidad Técnica*: que hace referencia al grado de innovación técnico necesario para reducir el consumo de agua y que este sea eficiente y en corto tiempo, y la *Viabilidad Social*: que es el grado de reacción y los beneficios que ofrece para los usuarios. Así mismo, miden la capacidad de gestión del GAD Municipal de Loja, y los recursos disponibles con respecto a la implementación del proyecto.

**Tabla 10. Subcriterios para la evaluación de estrategias.**

CRITERIO	SUBCRITERIO	DESCRIPCION
Viabilidad Técnica	% Ahorro	Es el porcentaje de ahorro que aporta la tecnología o la estrategia cultural, Su indicador es porcentaje de agua ahorrada en litro/día.
	Facilidad de instalación	Hace referencia a la complejidad para la instalación del dispositivo y que el usuario pueda realizarla sin necesidad de ayuda profesional.
	Mantenimiento	Todas las acciones que tienen como objetivo mantener un dispositivo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida, Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.
	Compatibilidad	Es la cualidad de ser compatible con las instalaciones ya existentes y que su ensamble no cause ningún esfuerzo.
Viabilidad Social	Facilidad de implementación	Hace referencia al proceso de ejecución y que este sea cómodo para la persona que la implementa.
	Pedagógico	Capacidad para que la estrategia tenga un contenido participativo entre los diferentes usuarios y estrategias.
	Capacitación usuarios	Este sub-criterio busca que la estrategia implementada capacite el mayor número de usuarios en cuanto al uso eficiente y ahorro de agua.
	Gestión ambiental municipal	Se refiere a la articulación que existe entre las estrategias planteadas en el presente estudio con respecto a los instrumentos de planificación ambiental de GAD Municipal de Loja.

**Fuente:** Trujillo & Sarmiento (2012).

**3. Proyectiva y Propositiva:** contiene la evaluación de estrategias de mejoramiento para el uso eficiente y ahorro de agua. Para realizar este análisis se debe utilizar tres criterios relacionados con la evaluación financiera de proyectos: Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Beneficio Neto (BN), este punto no se desarrolló en la presente investigación.

A continuación, en la tabla 11, se detalla el diseño metodológico que permitirá elaborar las estrategias con base en el desarrollo sustentable.

**Tabla 11.** *Diseño metodológico para establecer estrategias tendientes a optimizar el consumo en un contexto de desarrollo sustentable.*

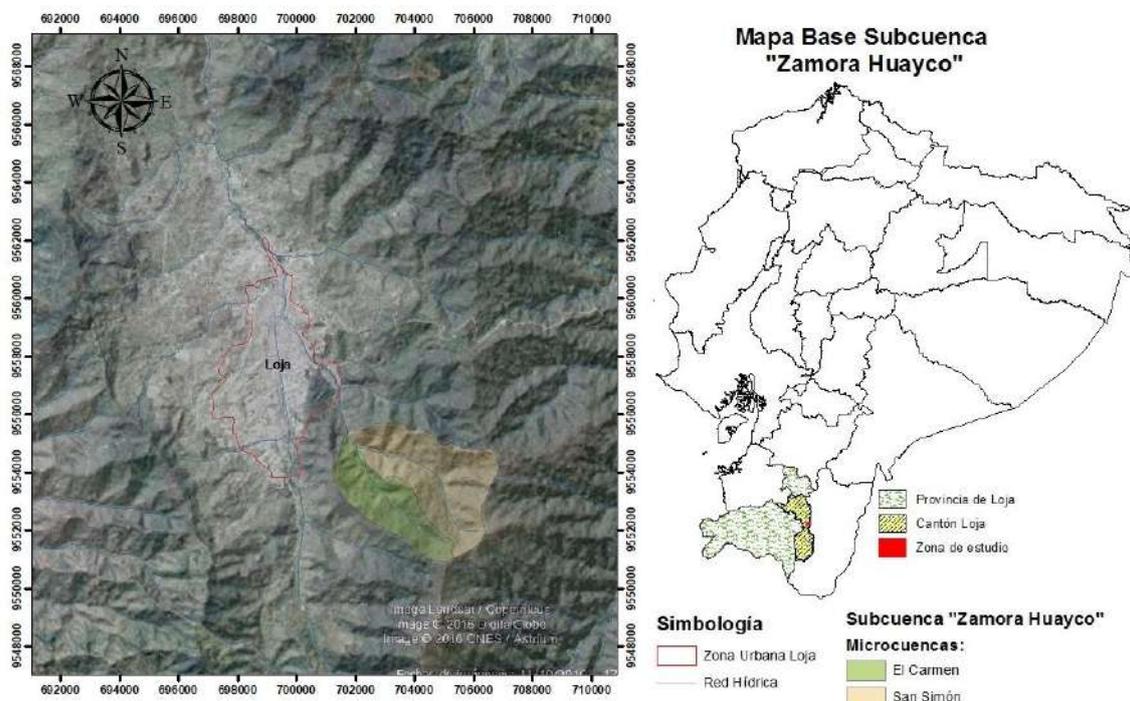
FASE	OBJETIVO	PROCESO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA	INSTRUMENTO	PRODUCTO
Diagnostico	Objetivo 1	Estimar la demanda del recurso hídrico superficial de la ciudad de Loja	Organización sistemática de la información	Gestión de información UMAPAL, 2016	Gestión de la información	Diagnóstico de consumo y pérdidas de agua
			Identificación y clasificación de usuarios según el uso del agua		Planillas Software Excel® comportamiento estadístico de consumos en la ciudad de Loja 2011	
			Identificación de pérdidas y fugas en redes de distribución			
			Estimación de consumo	Estimación	Software HEC-HMS®	
			Balance del sistema	Estadística descriptiva	Software Excel	
Direccionamiento estratégico	Objetivo 2	Definir alternativas de uso eficiente de mejoramiento para las estrategias de uso eficiente y ahorro de agua en un contexto de desarrollo sustentable	Identificación y descripción de alternativas	Revisión de bibliografía on line, base de datos de varias universidades, Redalyn,	Inventario de información, Revisión documental	Descripción de alternativas de mejoramiento en el uso del agua
			Clasificación de alternativas	Criterios y parámetros de decisión (sinergia)	Priorización de alternativas	Documentos con alternativas seleccionadas y priorizada

**Fuente:** Elaboración propia, tomado de Según Trujillo & Sarmiento (2012).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

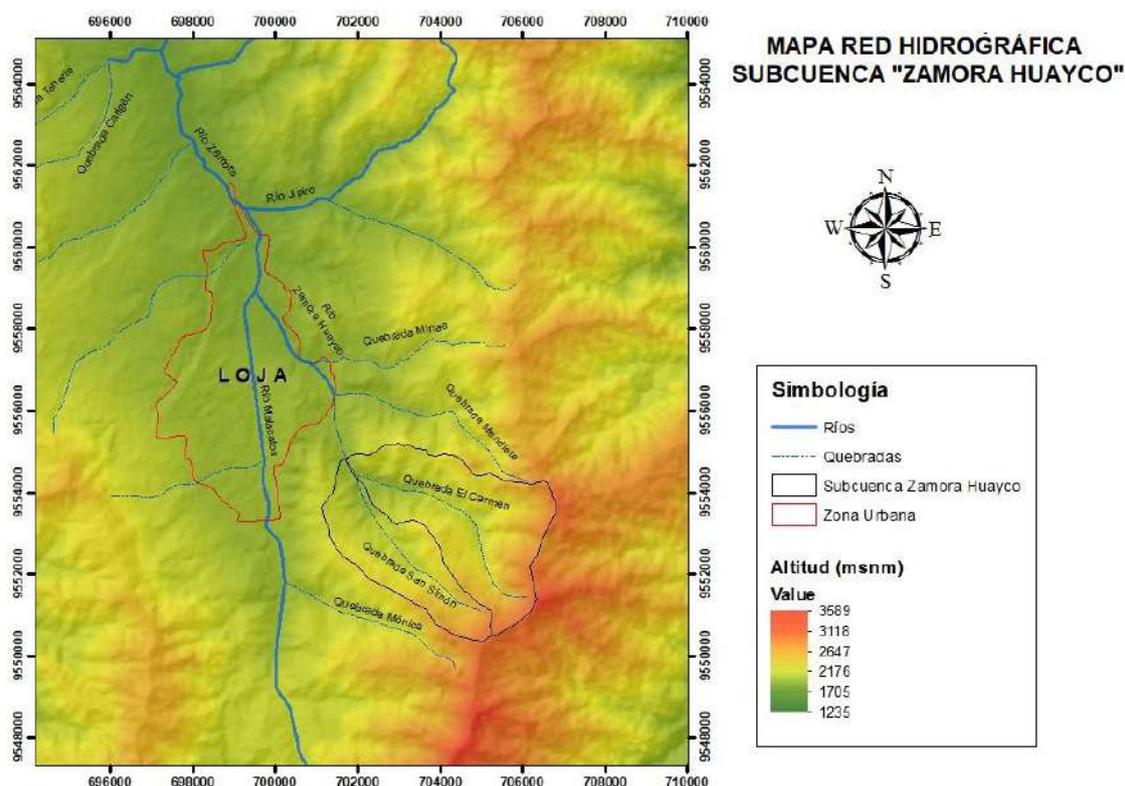
La unidad de estudio se encuentra conformada por las microcuencas El Carmen y San Simón que pertenece a la Subcuenca Zamora Huayco (38,2 km<sup>2</sup>), ésta a su vez es parte de la Cuenca Superior del Río Zamora (622 km<sup>2</sup>), sus aguas forman parte del río Zamora Huayco, que aguas abajo forman el río Zamora, el cual desembocan al Océano Atlántico (ver figura 12). Para esta clasificación se tomó en cuenta la superficie de terreno, establecida por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Suelos (1978); Ordoñez (2011). En la figura 11 se observa el mapa de ubicación.



**Figura 11.** Mapa base de la Subcuenca "Zamora Huayco", Microcuencas: El Carmen y San Simón.

**Fuentes:** Google Earth (Imagen Landsat/Copernicus, 11/19/2010) e Instituto Geográfico Militar.

Cabe indicar que las microcuencas: San Simón, El Carmen, Mendieta y Minas conforman la subcuenca Zamora Huayco, las cuales vierten sus aguas al río del mismo nombre, la microcuenca El Carmen es la que aporta mayor caudal (Benavides & Solano, 2005). La red hidrografía del río Zamora Huayco tiene su origen en los páramos del Parque Nacional Podocarpus. El recorrido del cauce principal es de aproximadamente 10 Km desde su origen hasta unirse con el río Malacatos.



**Figura 12.** Mapa componente hidrológico de la Subcuenca "Zamora Huayco", Microcuencas: El Carmen y San Simón.

La ciudad de Loja cuenta con seis fuentes de abastecimiento o captación y cinco plantas de potabilización. La ciudad se abastece de agua potable principalmente de la planta denominada El Pucará, la cual capta agua cruda de las microcuencas El Carmen, San Simón y Pizarros, con un caudal aproximado de 450 l/s, y las captaciones adicionales del río Jipiro, en el sector nororiental de Loja (ver tabla 12). La planta de tratamiento Pucará cubre el 60 % de la demanda total de agua potable de la ciudad (Geo Loja, 2007).

**Tabla 12.** Plantas de tratamiento para agua potable de la ciudad de Loja,

PLANTA DE TRATAMIENTO	SISTEMA HIDROGRÁFICO	CAPTACIÓN	CAUDAL l/s
Pucará	Zamora Huayco	El Carmen y San Simón	450
		Pizarros	97
	Jipiro	Volcán	111
Curitroje – Chontacruz	Curitroje	Curitroje	48
Pucacocha	Sañe	Shucos	12
Motupe		Las Lágrimas	8
Carigán	Shucos	Shucos	180
<b>Total, Oferta</b>			<b>906</b>

**Fuente:** UMAPAL, 2016.

**Fuente:** Elaboración propia

Las microcuencas El Carmen y San Simón aportan con el 87 % del agua cruda para la planta de potabilización del Pucará, que ésta a su vez abastece al 60 % de la población de la ciudad de Loja.

#### **4.1.1. Ubicación Geográfica**

La Subcuenca Zamora Huayco constituida por las microcuencas: EL Carmen y San Simón geográficamente está limitada por las siguientes microcuencas hidrográficas:

- Al Norte con la microcuenca Mendieta
- Al Sur con la microcuenca Namanda
- Al Este con el ramal de la Cordillera Oriental de los Andes
- Al Oeste río Malacatus en la hoya de Loja.

Se encuentra en la Zona 17 S de la Proyección Transversa de Mercator, se ubicada en las siguientes coordenadas:

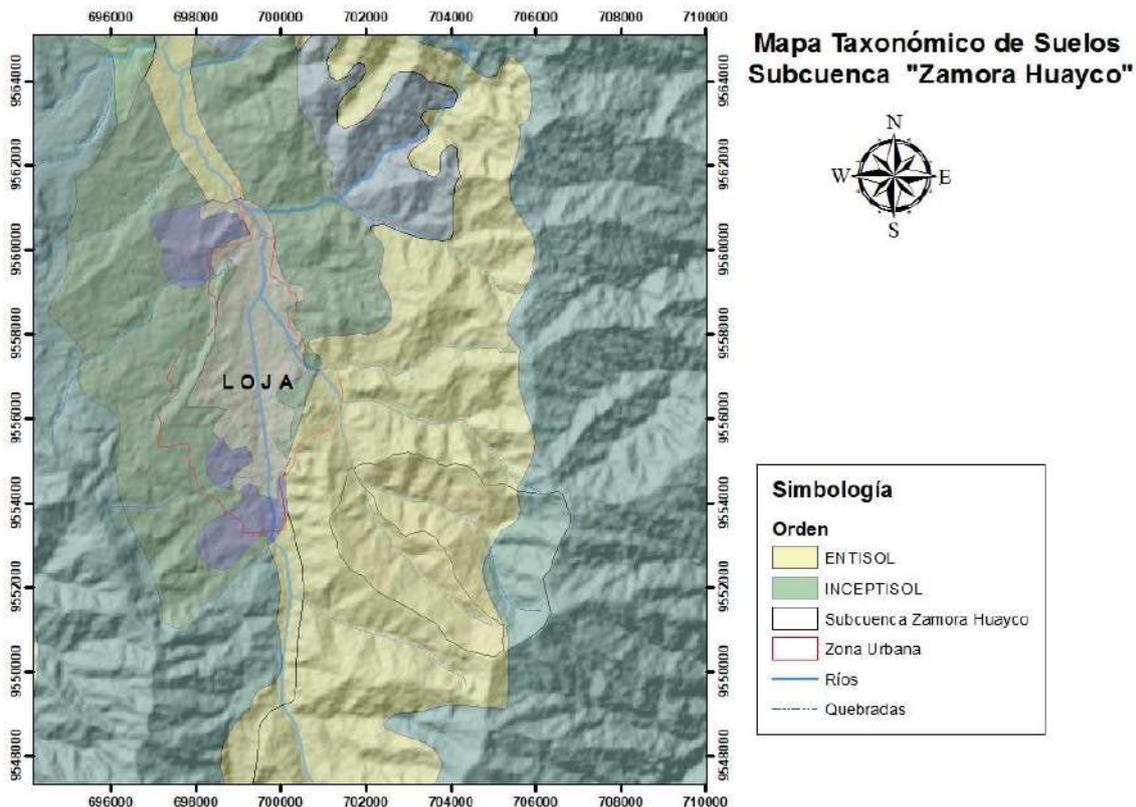
Coordenada N: 9.550.232,56 m a 9.555.103,75 m

Coordenada E: 701.151,59 m a 706.863,49 m

#### **4.1.2. Geología de la Zona en Estudio**

Según el mapa de suelos difundido por el MAG, PRONAREG/ORSTOM (1984) escala 1:30.000, la subcuenca Zamora Huayco se encuentra sobre una base litológica variable de rocas metamórficas del Paleozoico que cubren el 80 % de la zona, con lutitas conglomeradas y areniscas superpuestas. Los Entisoles son los suelos que predominan, Gran grupo de los Troorthents, suborden Orthents ubicados desde la zona media hasta la zona baja de la subcuenca, en la parte de cumbres de las montañas predominan los Inceptisoles (figura 14).

Los suelos son minerales con gran cantidad de piedras y rocas en proceso de descomposición. Según la UMAPAL (1998), no hay estructura del suelo lo que lo convierte en frágil y erosionable,



**Figura 13.** Mapa Taxonómico de suelos, Subcuenca "Zamora Huayco"  
**Fuente:** Elaboración Propia, Información tomada de MAGAP-Ecuador.

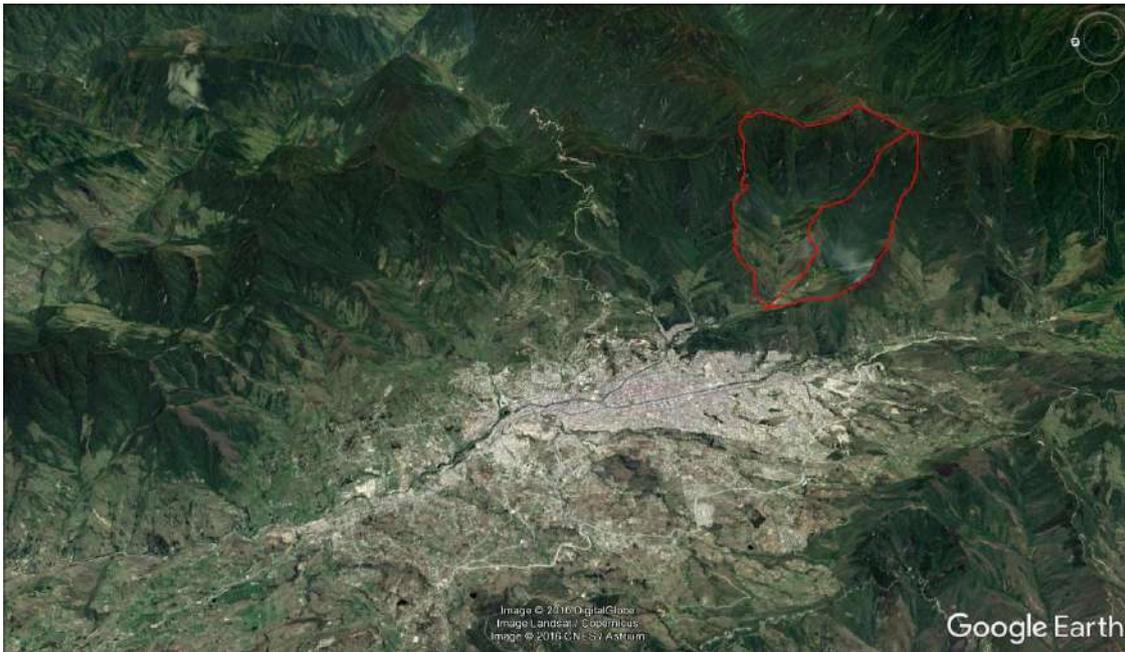
## 4.2. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA SUBCUENCA

### 4.2.1. Parámetros de Forma

La subcuenca Zamora Huayco posee una superficie de 17,5 Km<sup>2</sup> de donde El Carmen ocupa el 64 % y San Simón el 36 % del área total. El perímetro que bordea a la subcuenca tiene un total de 29,4 Km. El factor de forma (IF) de la subcuenca es de 0,51 considerado como valor adimensional el cual determinó su forma alargada; sujeta a crecidas de menor magnitud y susceptibilidad baja a la erosión; Kc tiene un valor de 1,96 lo que establece que la subcuenca tiene una forma rectangular-oblonga alargada. Dado que se aleja de la forma circular cuando Kc tiende a uno (Kc=1), la probabilidad a la peligrosidad de crecidas de gran magnitud disminuye, debido a que las distancias entre la divisoria de aguas y la desembocadura son mayores.

### 4.2.2. Parámetro de Relieve

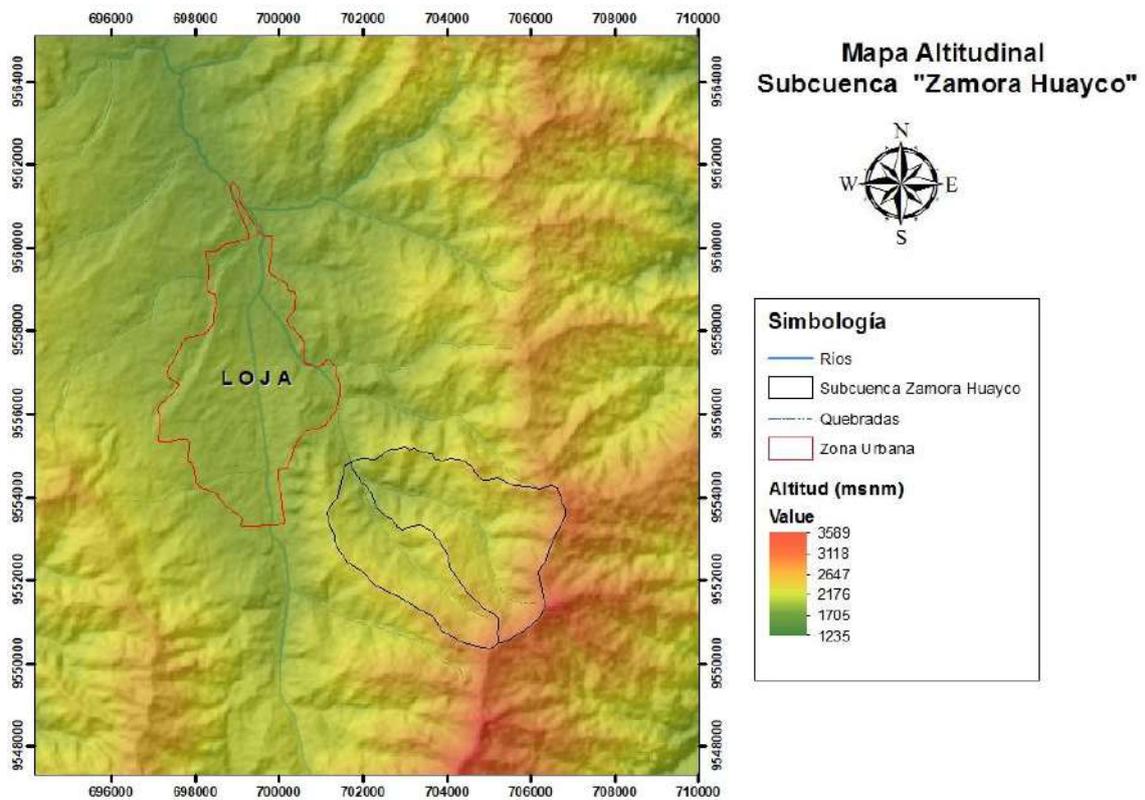
La figura 14, permite observar en 3D (tres dimensiones) los principales relieves del sistema montañoso donde se encuentra la zona de estudio, así como de la Hoya donde se ubica la ciudad de Loja. La imagen Lansat 2016 de Google Earth fue distorsionada verticalmente en la elevación del terreno, lo que modificó su escala.



**Figura 14.** Relieves, imagen en 3D, Subcuenca “Zamora Huayco”, microcuencas: El Carmen y San Simón y ciudad de Loja, Ecuador, Sin escala.

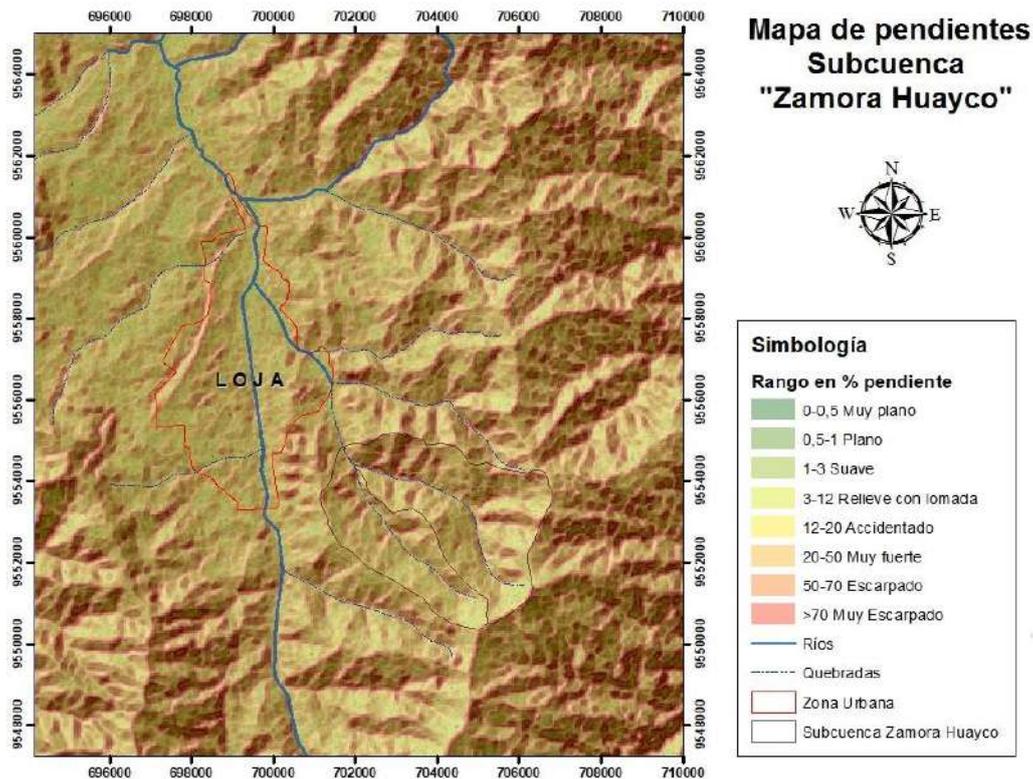
**Fuente:** Elaboración propia, información tomada de Google Earth – Imagen Lansat 2010.

El área en estudio se encuentra entre los 3.338 a 2.123 msnm, esta distribución altitudinal se observa en la figura 15, detallándose los polígonos de las áreas parciales formadas por el límite de la cuenca.



**Figura 15,** Mapa altitudinal de la Subcuenca Zamora Huayco, microcuencas: El Carmen y San Simón y ciudad de Loja, Ecuador.

**Fuente:** Elaboración propia, información tomada del IGM-Ecuador.

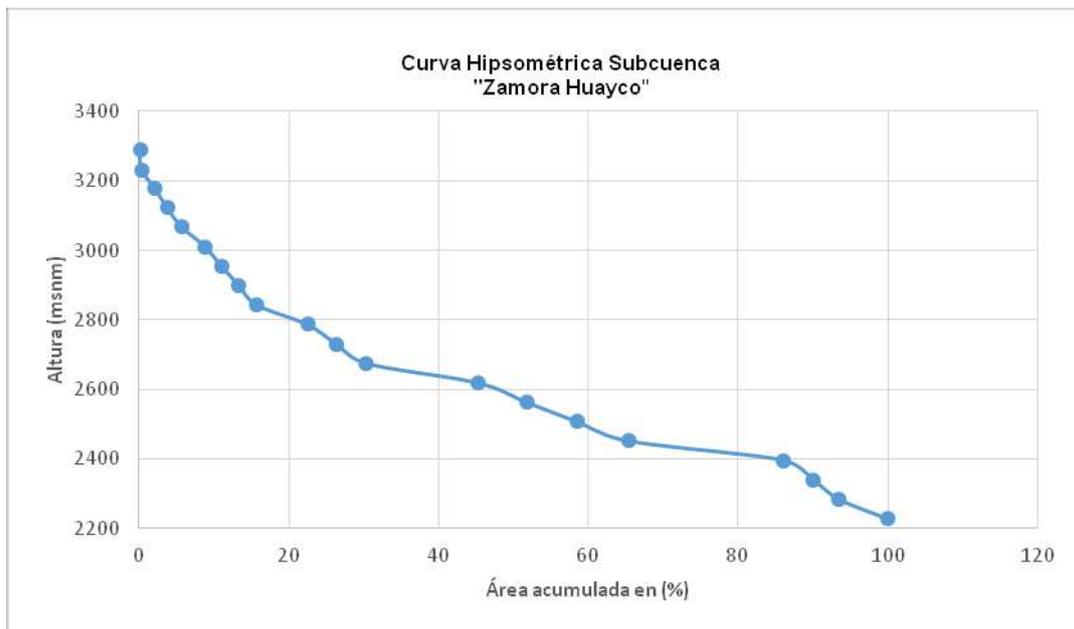


**Figura 16.** Mapa de rango y tipo de pendiente media, Subcuenca Zamora Huayco, microcuencas: El Carmen y San Simón.

**Fuente:** Elaboración propia, información tomada de IGM-Ecuador, Clasificación López Cádenas de Llano (1998).

La subcuenca Zamora Huayco se encuentra sobre relieve escarpado en la parte alta, y con pendientes mayores al 50 % de inclinación según Maza (2009). Al analizar las imágenes de altitud (figura 16), puede observarse como las pendientes pronunciadas corresponden a las zonas de cotas mayores. Gran parte de la subcuenca se encuentra sobre un rango de pendiente entre 50 y 70 %, establecido como "escarpado" según López Cádenas de Llano (1998); los rangos altitudinales y pendientes fueron determinadas a partir de un modelo de elevación digital (DEM).

Los Andes ecuatorianos se caracterizan por pendientes empinadas, quebradas profundas y picos escarpados, llegando en algunos lugares a darse cambios altimétricos de 4.000 m en distancia cortas horizontales de tan solo 100 Km (Josse *et al.*, 2009). Las zonas que tienen este tipo de pendientes elevadas son propensas a la inestabilidad de los suelos, este fenómeno es más evidente cerca de la red hidrográfica donde las pendientes son aún más pronunciadas, consecuentemente estos suelos generan gran cantidad y arrastre de sedimentos (Rodríguez & Gordón, 2015).



**Figura 17.** Curva Hipsométrica de la subcuenca "Zamora Huayco".

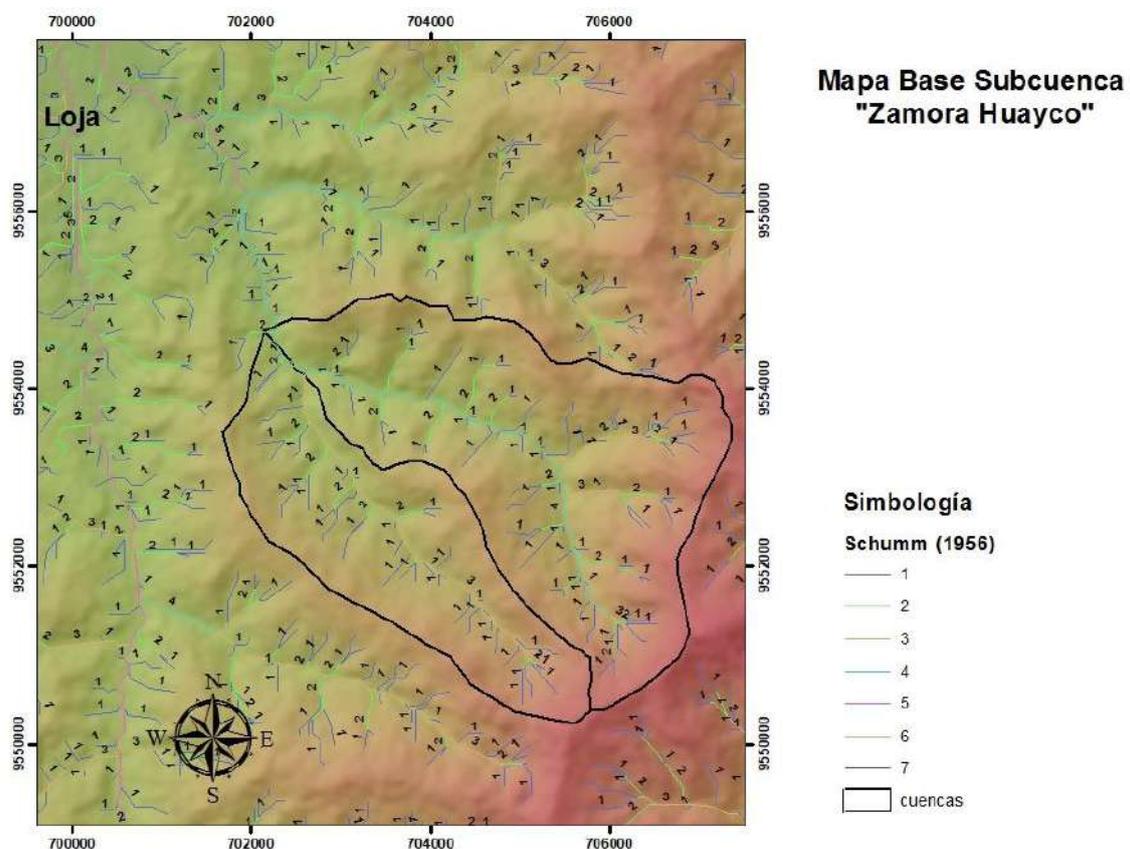
**Fuente:** Elaboración propia, datos tomados de IGM-Ecuador.

La curva hipsométrica de la subcuenca Zamora Huayco, representada en la figura 17, muestra que es una zona de alta montaña, tiene tendencia a un equilibrio con su fase de madurez donde predomina el transporte de sedimentos y agua (ver figura 2, Curva B). La distribución altitudinal de la subcuenca permitió determinar que la pendiente media de la cuenca (PM) tiene un valor de 35,5 %, relieve considerado entre accidentado y muy fuerte, con una alta rugosidad topográfica (Ra) de 1,1 y un alto riesgo a erosión.

#### 4.2.3. Parámetros de drenaje

La parte alta de la subcuenca presenta una topografía irregular, que favorece a la formación de pequeños cursos de agua. La microcuenca El Carmen presenta un valor de orden de drenaje en su cauce principal de cuatro (4), a diferencia de la microcuenca San Simón, donde su cauce principal tiene una orden de drenaje de 3, según lo establecido por Schumm (1956). La densidad de drenaje (Dd) posee un valor de 0,94 km/km<sup>2</sup> lo que instituye una menor intensidad de drenaje, la respuesta de la subcuenca frente a una tormenta será lenta, predominando la infiltración ante el escurrimiento disminuyendo el poder erosivo y por lo tanto eventos torrenciales, evacuando el agua en un tiempo considerable, de esta manera una gota de agua tardará mayor tiempo en llegar hasta el aforo (Villela & Mattos, 1975). Generalmente los valores altos de densidad de drenaje están asociados a regiones de rocas impermeables y de régimen pluviométrico caracterizado por alta concentración de la precipitación (Tonello, 2005).

El tiempo de concentración ( $T_c$ ) de la microcuenca El Carmen es de 0,7 horas y el ( $T_c$ ) de la microcuenca San Simón es de 0,6 considerado como moderado según Fuentes (2004), este es el tiempo estimado que tardará en llegar hasta la salida o punto de cierre de la subcuenca, el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante, y tienen una relación directa con la longitud del cauce que atraviesa a cada una de las microcuencas. López & Mintegui (1987), señalan que el tiempo de concentración también depende de la forma de la cuenca. La pendiente media del cauce ( $J$ ) es de 19,7 % porcentaje considerado como accidentado de acuerdo a Heras (1976). La distribución del orden de los cursos de agua se puede observar en la figura 18.



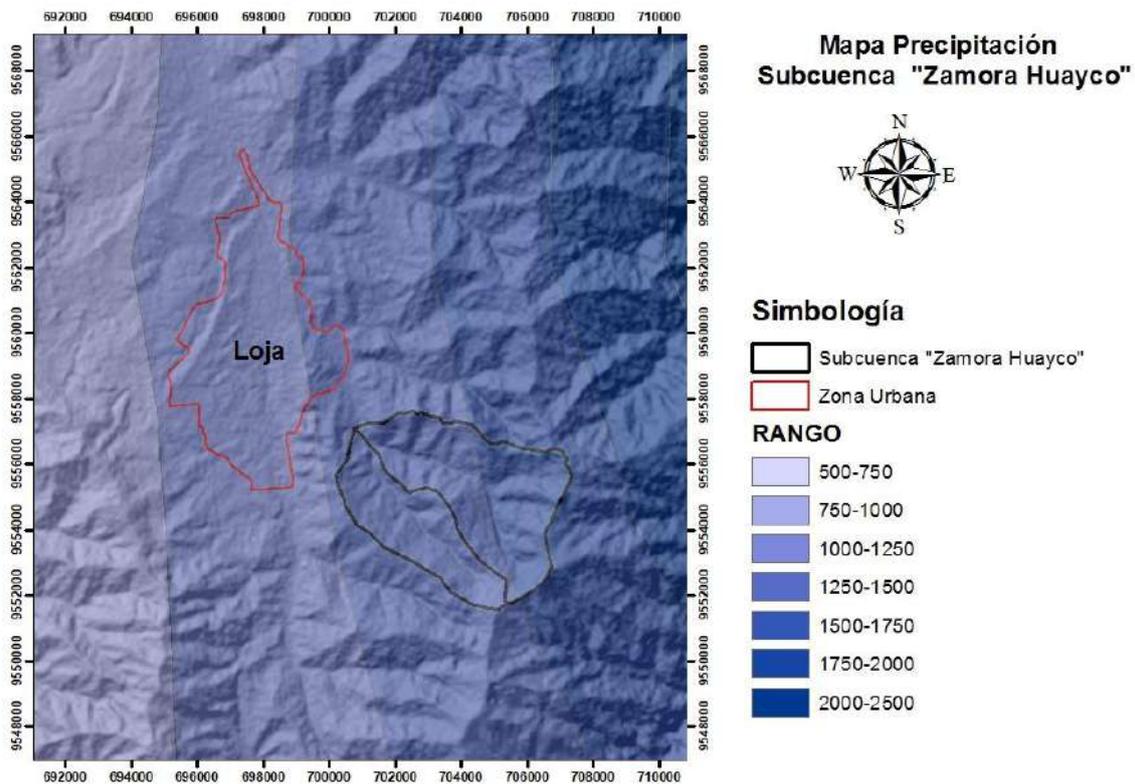
**Figura 18.** Número de órdenes de drenaje de la Subcuenca "Zamora Huayco".  
**Fuente:** Elaboración propia, información del IGM-Ecuador, criterio según Schumm (1956).

### 4.3. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DE LA SUBCUENCA

#### 4.3.1. Precipitación

El clima de Ecuador varía considerablemente a cortas distancias por su ubicación geográfica y por la gran variedad de alturas impuestas por la cordillera; lo que determina las características de la precipitación en cada una de las regiones (Hernández & Zambrano, 2007).

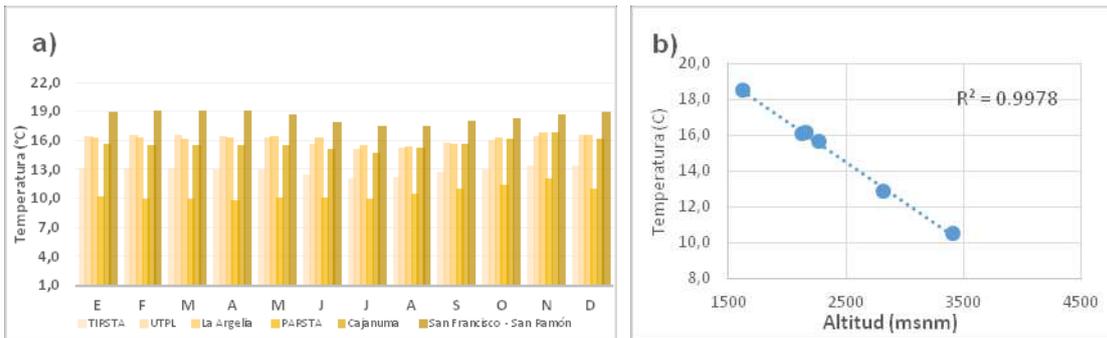
En la subcuenca la precipitación media anual en la parte alta oscila entre 2.500 mm hasta los 900 mm que se registran en la parte baja (figura 19). La precipitación que cae sobre Los Andes con frecuencia presenta una variabilidad espacio temporal. Abad (2014), señala que no es tarea fácil realizar su estimación, de manera que se identifique el patrón de su variabilidad espacio temporal. En zonas altoandinas, las influencias de los efectos orográficos hacen que la precipitación tenga una variabilidad espacial alta.



**Figura 19.** Mapa de Isoyetas precipitación media Subcuenca Zamora Huayco  
**Fuente:** Elaboración propia, datos de precipitación tomados del INAMHI-Ecuador. Periodo 2002 - 2009

#### 4.3.2. Temperatura

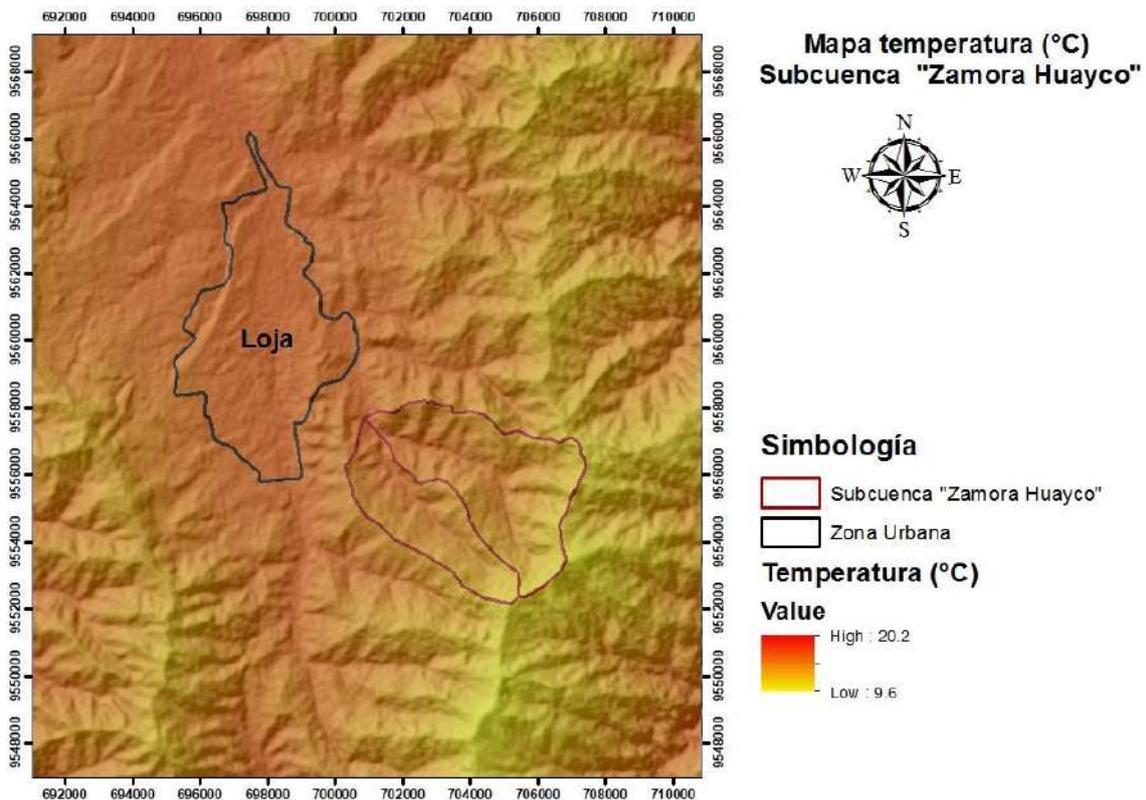
La temperatura media del aire es relativamente constante durante todo el año, por ejemplo, en los páramos los ciclos día - noche son marcados, con temperaturas cercanas a cero por la noche (0) y pueden llegar a 14 °C durante el día (Buytaert *et al.*, 2007).



**Figura 20. a)** Temperatura media mensual registro 2000-2009, información en base a coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca Zamora Huayco, **b)** Regresión lineal, correlación entre la temperatura (°C) y altitud (msnm).

**Fuente:** Elaboración propia, información tomado de Climate Estimator FAO (2002) e INAMHI.

La temperatura en el área de estudio varía entre 12 y 18 °C como se puede observar en la figura 20, según publicaciones realizadas por Ochoa *et al.*, (2013). La temperatura desciende con la altitud, con un gradiente promedio de 0,5 a 0,7 °C por cada 100 m (Bacuilima *et al.*, 1999; Castaño, 2002). En la región interandina se registran variaciones de hasta 10 °C en el día (Crespo, *et al.*, 2014).



**Figura 21. Mapa de Isotermas de la Subcuenca Zamora Huayco,**

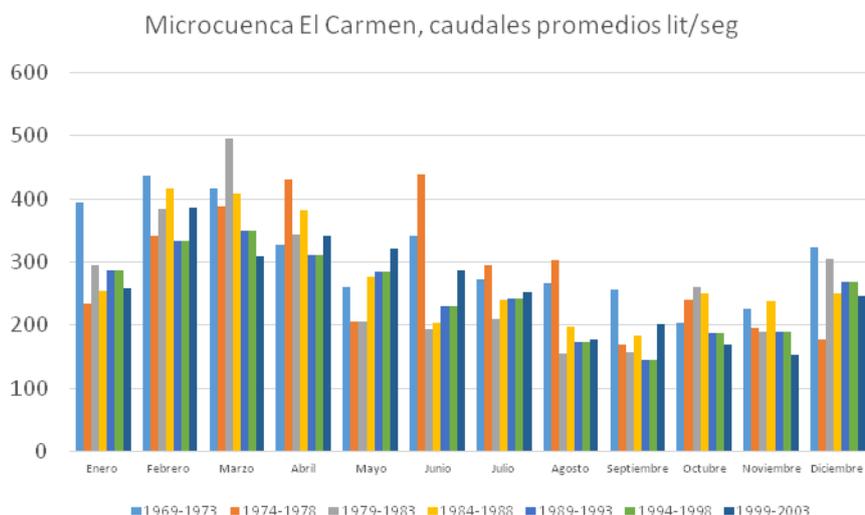
**Fuente:** Elaboración propia, información tomada del IGM-Ecuador, Climate Estimator FAO (2002) e INAMHI.

### 4.3.3. Caudales

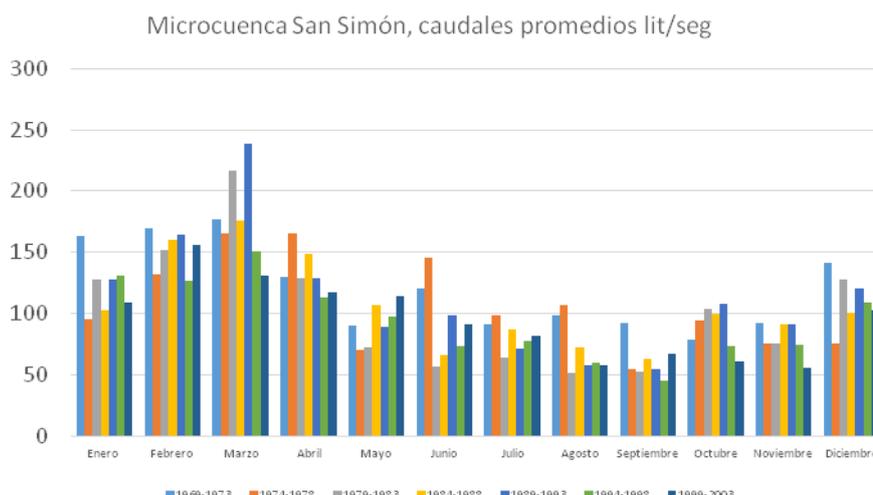
En la figura 22, verificamos que al igual que las precipitaciones los caudales promedio son heterogéneos, en el último periodo de análisis sobre todo en el mes de septiembre y noviembre presentan una disminución (época de estiaje), pero es una tendencia de casi todos los periodos.

Cabe mencionar que el caudal medio anual generado por la subcuenca es de 4.210,2 l/s estimaciones realizadas en la unión de la quebrada El Carmen y San Simón (Erazo y Palacio, 2010).

a)



b)



**Figura 22. a) Caudales promedios cada 5 años de la microcuenca “El Carmen” b) Caudales promedios cada 5 años de la microcuenca “San Simón” de la subcuenca “Zamora Huayco”.**  
**Fuente:** Figuras tomadas de GAD Municipal de Loja *et al.*, (2006), Método Racional.

#### 4.3.4. Zonas de Vida

Según estudio del MAE (2013), establece 91 ecosistemas existentes para el Ecuador Continental. El análisis de estos ecosistemas lo realizaron para cada región biogeográfica del Ecuador. En los Andes se han identificado un total de 45 ecosistemas, de los cuales 5 se encuentra presentes en la subcuenca “Zamora Huayco”. Se pueden observar en la figura 23, y se detallan a continuación:

***Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes (AsMn02):*** Ocupa grandes extensiones en laderas, entre cultivos, en hondonadas, por lo general soporta frecuentes incendios forestales. Los suelos sobre los que se desarrolla son medianamente fértiles y se recuperan con el aporte de la materia vegetal. La mayor parte de este ecosistema se encuentra hacia las vertientes occidentales de la cordillera oriental y las vertientes disectadas de la cordillera occidental, Con un rango altitudinal de 2.200 – 2.900 msnm, temperatura de 15,2 °C y 530 mm de precipitación,

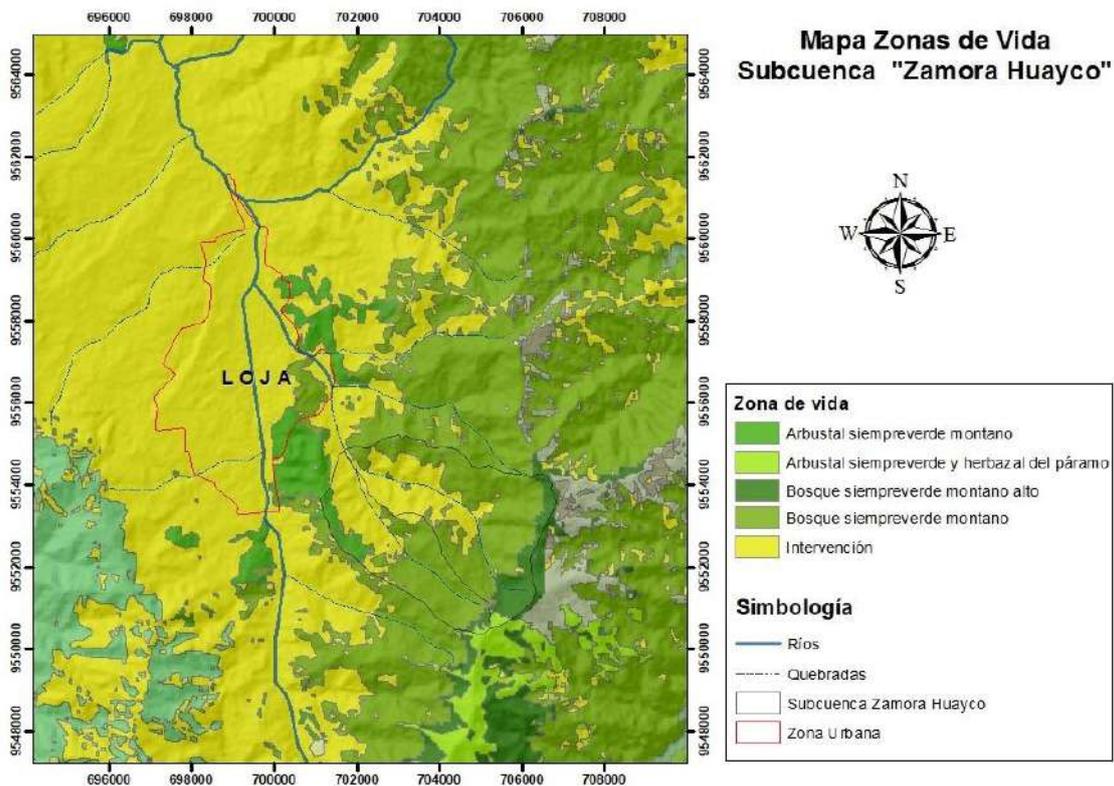
***Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo (AsSn01):*** La composición y estructura de este ecosistema cambia hacia la parte baja de su distribución altitudinal pues la riqueza de especies y promedio de altura de los arbustos se incrementa. Los arbustos llegan a una altura de 3 m que se mezclan con pajonales, la riqueza de especies vegetales varía en la parte baja. Lo consideran un ecosistema diferente localizado sobre la línea de bosque, sin embargo, otros autores consideraron a éste como franja del ecosistema de bosque montano alto (Cuatrecasas, 1954; Cleef, 1981), El rango altitudinal varía entre 2.800 a 3.600 msnm, la temperatura oscila en 7,9 °C y una precipitación de 1.407 mm.

***Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02):*** El ecosistema se extiende desde los 2.200 a 3.000 msnm, en algunas localidades puede encontrarse fuera de este rango altitudinal (Fehse *et al.*, 1998; Valencia *et al.*, 1999), Con temperatura de 11,1 °C y precipitaciones de 2.894 mm. Los suelos son inceptisoles de textura franco, franco-limoso, franco-arcilloso, y limoso. Los suelos presentan un drenaje que va de moderado a bueno, este suelo está cubierto por hierbas, arbustos, trepadoras y gramíneas epifitas enraizadas en el suelo (Madsen & Øllgaard, 1993). La topografía juega un papel importante en estos ecosistemas. En las zonas más uniformes con pendientes que van de muy inclinado a escarpado (15° - 87°) según la clasificación geomorfológica de Demek (1972).

***Bosque siempreverde montano alto del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsAn02):*** El ecosistema está presente como fragmentos o parches relegados

a las quebradas o en laderas montañosas con topografía accidentada, con pendientes empinadas a escarpadas; según la clasificación geomorfológica de Demek (1972), se encuentran sobre rocas metamórficas indiferenciadas y poseen suelos de taxonomía de orden inceptisol, de textura franco-arcilloso, franco-arcillo-limoso con un drenaje moderado y pequeños parches de suelos franco (mal drenado). Debido a alteraciones antropogénicas en ocasiones estos ecosistemas quedan aislados en zonas de pendientes fuertes rodeadas por Herbazal del Páramo. Se encuentra entre los 3.000 y 3.400 msnm, con una temperatura que oscila los 9,9 °C con precipitaciones de 1.761 mm.

**Intervención (Inter01):** Es el área donde la intervención de carácter antrópico (ciudades, cultivos, carreteras, etc.) puede desencadenar una serie de alteraciones del ecosistema que pueden ser irreversibles, además, por sus condiciones biofísicas, culturales, nivel de amenaza o por interés público, deben ser objeto de un manejo particularizado y son declarados como tales por el Ministerio del Ambiente (2013), que establece que, a mayor fragilidad, mayor es la necesidad de conservación del ecosistema. Hacia el Sur del país, entre los 2.000 y 3.000 msnm, en los valles interandinos, la vegetación original ha sido casi totalmente destruida durante los últimos siglos y reemplazada por campos dedicados a la agricultura y a pastizales. Aún se encuentran remanentes restringidos a quebradas y montañas aisladas. Se caracteriza principalmente por estar compuestos de árboles pequeños y arbustos, frecuentemente con espinos. Los valles interandinos en la actualidad están dominados por *Eucalyptus globulus*, introducida desde 1860. Esta especie se encuentra a lo largo de las carreteras, en algunas áreas se encuentran *Pinus radiata* y *Pinus patula* que fueron introducidos desde California y México, respectivamente, a principios del siglo 20 mientras que la gramínea *Pennisetum clandestinum* introducida de África predomina en la mayoría de los pastizales.



**Figura 23.** Clasificación de Ecosistemas para Ecuador continental,

**Fuente:** Elaboración propia, información del Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013).

#### 4.3.5. Actividades Socioeconómicas en las microcuencas El Carmen y San Simón.

Según Guarderas (2013), en el barrio Zamora Huayco Alto ubicado a 8 km desde el centro de la ciudad de Loja, cercano a la unión de los cauces provenientes de las microcuencas El Carmen y San Simón, tiene una población de 350 habitantes en una extensión territorial de 2 hectáreas.

En la subcuenca se han desarrollado cambios significativos, los mismos que se generan por distintos procesos tales como deforestación, y degradación de bosque nativo. Esto implica que la pérdida debe ser permanente y que el sitio ha cambiado a otros tipos de usos tales como agricultura, y pastizales destinados a ganadería, o áreas urbanas (FRA, 2005).

En el estudio de Ochoa *et al.*, (2008), se identifican problemas antrópicos que afectan a la subcuenca Zamora Huayco, la cual presenta procesos de degradación en su ecosistema natural, principalmente por presiones generadas de la desigual repartición de recursos y servicios entre áreas urbanas y rurales, que acrecienta el proceso en sitios donde resulta prioritaria su conservación, problemática detallada a continuación:

**Colonización:** Los procesos de colonización, más la constante migración desde las zonas rurales a las urbanas, ha hecho que continuamente se requiere gran cantidad de recursos como suelo (alimentos y construcción) y agua para consumo y usos múltiples, lo que ha provocado para la subcuenca la expansión de la frontera agropecuaria a zonas con pendientes fuertes o que se destinaban como reservas para proteger: el suelo, agua o biodiversidad ecológica,

**Deforestación:** Los procesos de deforestación a los que está inmersa la subcuenca son provocados principalmente por la extracción de madera propia del lugar, en este caso el romerillo (*Podocarpus oleifolius*) y cedro (*Cedrela montana*); que permite extender la frontera agropecuaria. Estas prácticas han traído consigo inconvenientes en la disminución del potencial hídrico; alteración de la vida acuática y corredores biológicos; que amenazan con seguir disminuyendo la belleza paisajística y variabilidad genética de la subcuenca. La tasa de deforestación asociada a esta área para los años 1976 y 2001 fue de 0,94 % por cada año.

**Contaminación:** Contaminación relacionada directamente con las actividades agropecuarias observadas, alteración física de la calidad del agua debido a la extracción de materiales pétreos junto a los cauces de las vertientes, para su comercialización y uso constructivo en la ciudad (Maza, 2009).

**Incendios:** Los incendios a la cubierta vegetal son provocados principalmente en los meses (octubre – diciembre) y épocas de sequía por algunos propietarios de las fincas de la zona, por considerar que es una forma fácil de limpiar el terreno de algunas especies invasoras o pioneras como la Llashipa o helecho (*Pteridium aracnoides*), que por su estructura es altamente inflamable. Durante los últimos 10 años en la Hoya de Loja se han reportado no menos de 100 incendios, algunos pequeños, otros de gran magnitud y en la mayoría de los casos el reporte inicial considera como causa principal a la negligencia en el uso del fuego para actividades agrícolas (Maza, 2009).

#### **4.4. ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA SUBCUENCA ZAMORA HUAYCO**

Para entender la variabilidad espacio temporal de la precipitación en la región interandina, y sobre todo en la zona de estudio se deben conocer los factores que influyen en los regímenes climáticos desde una visión global hasta lo específico. El movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) hacia el norte o el sur determina la entrada de masas de aire con diferentes condiciones de temperatura y

humedad, la ubicación geográfica y topografía de la Cordillera de los Andes; que forman lluvias orográficas, la presencia del Océano Pacífico y las masas de aire desde la Amazonía, forman diversos tipos de climas y microclimas que generan zonas con altos niveles de biodiversidad (Rollenbeck *et al.*, 2006),

La lluvia en la región andina está influenciada por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). La ZCIT está definida como “una franja donde se encuentran las corrientes de aire cálido y húmedo (vientos alisios) provenientes de los cinturones de alta presión situados en la zona subtropical de los hemisferios norte y sur. Este encuentro da origen a grandes masas de nubes y abundantes precipitaciones” (Jaramillo, 2005).

Los Andes Septentrionales comprenden: Los Andes venezolanos, Andes colombianos y Andes ecuatorianos. Entre el norte de Colombia y sur de Ecuador se dividen en dos cordilleras distintas llamadas Oriental y Occidental. En Ecuador la Cordillera se une y al sur del país, límite con Perú forma el tramo más angosto y es conocido como Andes Centrales. Las altitudes más bajas de la cordillera occidental facilitan la interacción con la costa del Pacífico. Cuando se cuenta con un terreno montañoso en donde predominan las grandes alturas y pendientes, es la orografía la que domina el comportamiento de las lluvias (Cortez, 2010).

La Región Sur del Ecuador (provincia de Loja) y el Noroeste peruano conforman una macro región ubicada en la zona de transición entre Los Andes Septentrionales y los Andes Centrales, en un sector en el cual los macizos andinos descienden en altitud sin traspasar los 4.000 msnm. En este territorio de los Andes Bajos, las cordilleras andinas cambian bruscamente de dirección, de NE-SO a O-SE, siguiendo el perfil costanero del Pacífico. La topografía complicada conforma la llamada “Depresión de Huancabamba” (Maldonado *et al.*, 2005, Emck 2007; Rollenbeck *et al.*, 2011).



**Figura 24.** Corte transversal de la topografía del sur de Ecuador.  
**Fuente:** Tomado de Emck (2007).

En Ecuador, Los Andes tienen un patrón de precipitación muy complejo, influenciado por las corrientes marítimas del Pacífico, como por la cuenca del Amazonas; la

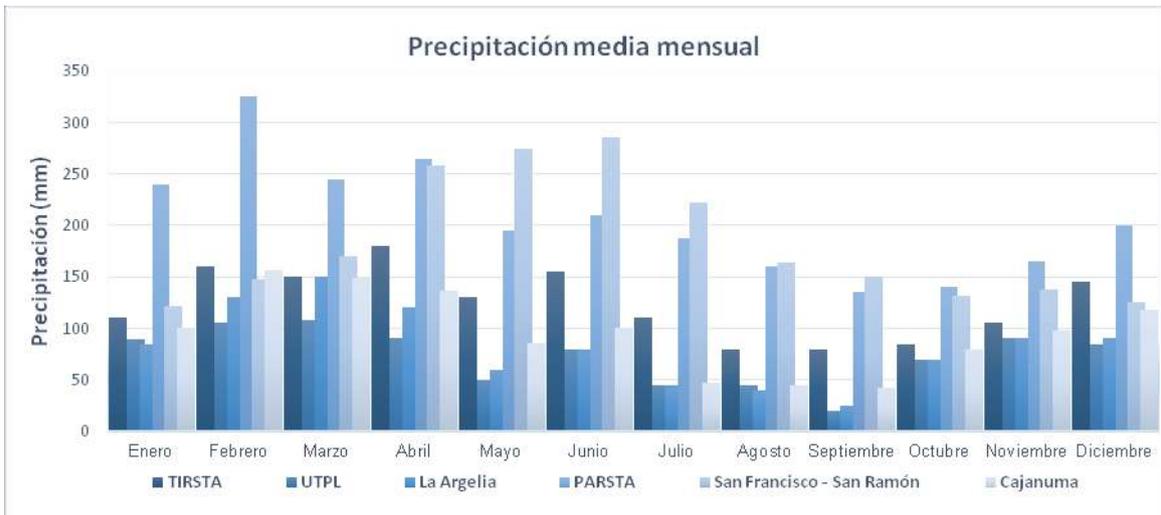
vertiente oriental está dominada por los vientos alisios húmedos perennes que se originan sobre la cuenca del Atlántico Tropical Amazónico (Buytaert *et al.*, 2006),

Según Kottek *et al.*, (2006), gran parte de esta región sur andina está predominada por el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo, a excepción de los Valles de Catamayo y Malacatos (figura 24), vertientes sotavento con inviernos relativamente secos, debido a la pérdida de humedad que sufren las masas de aire al chocar en los flancos de la cordillera (Vuille *et al.*, 2000b),

El Océano Pacífico con sus corrientes marítimas determina la diversidad climática, la corriente fría de Humboldt que se produce en las costas occidentales de América del Sur, es originada por el ascenso de aguas profundas, que traslada el agua muy fría hasta las costas de Ecuador (Sepulchre *et al.*, 2009) y la corriente cálida ecuatorial que se dirige hacia el sur del continente sudamericano, que junto a oscilación del sur regula los regímenes de circulación atmosférico, que son los responsables del flujo de humedad desde el océano, e inciden notablemente en la distribución de lluvias a lo largo de las costas de Ecuador y Perú (Tarras-Wahlberg *et al.*, 2006 & Kane, 2000).

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es la interacción entre el océano (El Niño “EN” y La Niña “LN”) y la atmosfera (Oscilación del Sur), fenómeno climático recurrente que implica cambios en la temperatura de las aguas entre 1 y 3 °C que se desarrollan en la parte central y oriental del Pacífico Tropical, dinámica que ocurre cada tres o siete años aproximadamente y dura de 12 a 18 meses; ocasionado sequías, inundaciones, tormentas torrenciales, olas de calor, y otros fenómenos meteorológicos extremos, generando severas consecuencias ambientales, sociales y económicas (McPhaden, 2002).

En la figura 25, se observa que no existe una estación seca definida, el régimen es bimodal, y la distribución espacial de la lluvia es heterogénea, Rollenbeck & Bendix (2011), establecen que Los Andes del Ecuador presentan una heterogeneidad extrema sobre la distribución espacial y temporal de la precipitación. La estación meteorológica PARSTA ubicada a 3.410 msnm, muestra que la temporada de lluvias altas es en los meses de enero, febrero, marzo y abril, y durante los meses de septiembre, octubre y noviembre las lluvias disminuyen. PARSTA se ubica sobre el flanco oriental de la cadena montañosa, debido a que los vientos húmedos que se producen en la Cuenca del Amazonas chocan con el componente orográfico de la región, ocasionan que aquí se registren grandes cantidades de lluvia de manera permanente (Rollenbeck & Bendix, 2011).



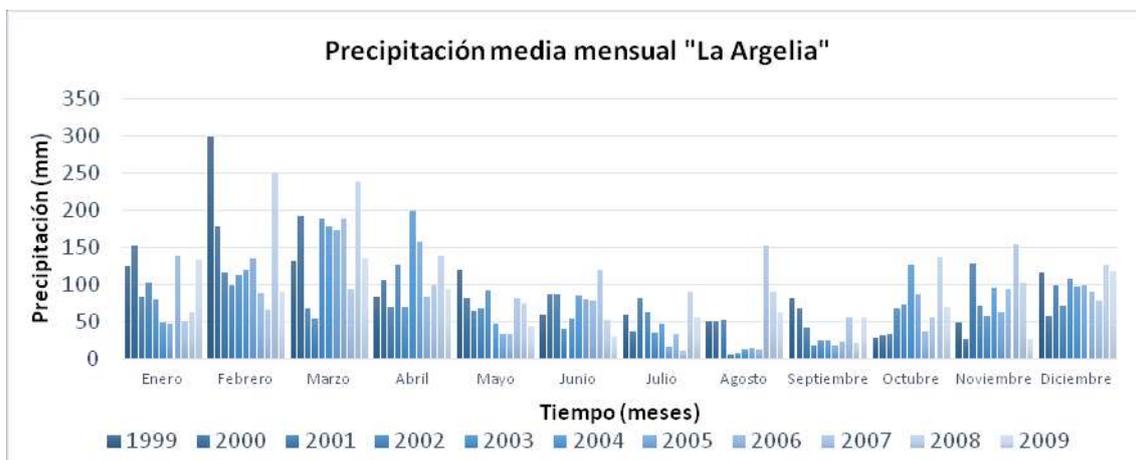
**Figura 25.** Precipitación media mensual registro de datos entre los años 2000 y 2009 de las estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca “Zamora Huayco”,  
**Fuente:** Elaboración propia, datos tomados de Ochoa *et al.*, (2013) y del INAMHI – Ecuador.

La elevación de la Cordillera Real no excede los 3.900 msnm, esta extensión vertical es la más baja de Los Andes del Sur de Ecuador Richter *et al.*, (2009). Además, es la línea divisoria entre dos ecosistemas y climas diferentes, entre la región Amazónica conocida popularmente como “Oriente” y la región seca interandina (Beck, 2008). La depresión de Huancabamba, que es la transición entre Los Andes Tropicales más altos del norte y del centro sur, en dirección este - oeste entre la selva amazónica húmeda y el desierto de Sechura en Perú (Richter *et al.*, 2009). Por lo tanto, esta región también actúa como una conexión natural entre las tierras bajas húmedas de la Amazonía y las áreas costeras semiáridas a áridas. La humedad que proviene de la Amazonía no logra sobre pasar la cresta principal de la Cordillera Oriental; por ello, las precipitaciones que se generan en el verano austral, especialmente en las zonas de Loja y Vilcabamba, están relacionadas con el flujo de corriente del oeste provenientes del Océano Pacífico. (Bendix *et al.*, 2004).

Sin embargo, La Cordillera Oriental en el sector “El Tiro” que es el límite provincial entre Loja y Zamora Chinchipe, y en la cual se ubica la vía de acceso principal; aquí, el sistema montañoso desciende a 2.750 msnm (Emck *et al.*, 2007), permiten el ingreso de los vientos alisios, flujos de calor y fuertes vientos provenientes de la Amazonía hacia las vertientes del sotavento de la región interandina, debilitándose en los valles de Loja, Malacatos, Vilcabamba y Yangana (Ritchter & Moreira-Muñoz, 2005).

Peters *et al.*, (2013), afirman que la estación climática de la Estación Científica San Francisco (ECSF), ha documentado una disminución de las precipitaciones durante los últimos 10 años, en las regiones húmedas de la cordillera principal con dirección al

este (E) particularmente después del año 2005. Esta tendencia negativa se puede atribuir principalmente a un aumento en el número de días secos y una mayor frecuencia de fases secas de mayor duración ocasionadas en el 2005, 2006 y 2010. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la alta variabilidad de la precipitación anual y la longitud limitada de las series de datos no permiten realizar un análisis de tendencias.



**Figura 26.** Precipitación media mensual periodo 2000 – 2009, Estación Meteorológica La Argelia

**Fuente:** Elaboración propia, datos tomados del INAMHI – Ecuador.

La ciudad de Loja se encuentra sobre el Valle de Cuxibamba, el cual no forma parte de la Cuenca del Catamayo, aunque su génesis lo atestiguan en su forma y sedimentos lacustres. La ciudad se encuentra a 2.100 msnm, e hidrológicamente es parte de la Cuenca del Amazonas. Sin embargo, la cuenca pertenece a una región que está "sellada" a las direcciones del viento principal. Al oeste, la cuenca del Valle de Cuxibamba está separada de la cuenca del Catamayo por la barrera de montaña N-S "Uritusinga - Villonaco" (3.000 msnm) y al sur por el paso "Cajanuma", a 2.400 msnm (ver figura 24). El macizo de Uritusinga - Villonaco se extiende desde el Nudo de Loja al sur y termina al norte de Malacatos, es más bajo que la Cordillera Real, pero lo suficientemente alto para atrapar la humedad dispersa de la Cordillera y por lo tanto actúa como una división climática secundaria del oeste (Emck, 2007). Se tomó como referencia a la estación meteorológica La Argelia código INAMHI M0033 la cual se encuentra sobre el perímetro urbano en el sector sur a 2.160 msnm. En la figura 26, se presenta la distribución media mensual de la precipitación del periodo 2000 al 2009.

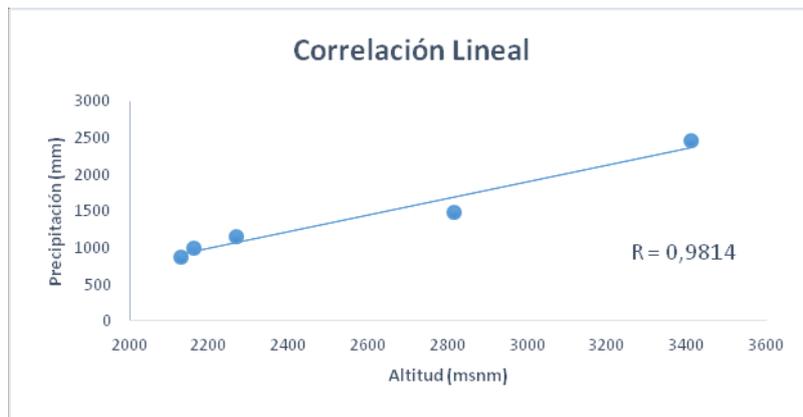
Los registros de precipitación altos se presentan durante los meses de febrero, marzo y abril, el mes que registra valores bajos es septiembre, no se observa estación seca definida, el régimen de lluvia es bimodal, y su distribución espacial es heterogénea. La distribución espacial de las lluvias en las tierras altoandinas es irregular debido a la

compleja estructura del terreno, donde los fuertes efectos de barlovento y sotavento causan una alternancia de las condiciones húmedas, sobre la ciudad de Loja y semiáridas en la ciudad de Catamayo (Bendix *et al.*, 2011).

En la provincia de Loja, la situación del buen tiempo se llama "Veranillo del Niño" [según sabiduría popular]. El Veranillo del Niño (VdN) regresa cada año en la primera semana de noviembre Emck (2007). Esto se origina debido a que la ZCIT se encuentra en el hemisferio norte, detiene el movimiento de las masas de aire, y sin que haya mayor ingreso de aire marítimo húmedo, provoca una ligera recesión pluviométrica. Debido a las fuertes temperaturas las masas de aire tropical continental (MATC) de la Amazonía siguen reforzándose; al verse empujadas luego hacia la cordillera, ingresan en parte al callejón interandino y dan lugar a un segundo pico lluvioso a partir de marzo (INAMHI, 2001).

En la figura 26, se observa que las precipitaciones disminuyen en el mes de agosto, y no en noviembre, la investigación de Emck (2007), señala que en los últimos años supuestamente se ha vuelto cada vez más irregular las precipitaciones, alteraciones relacionado al cambio climático global. Al analizar los registros diarios de precipitación de un rango de 10 años, que puede estar asociado a la variabilidad interanual de la estación La Argelia, se observa que lo mencionado por Emck, (2007), se cumple.

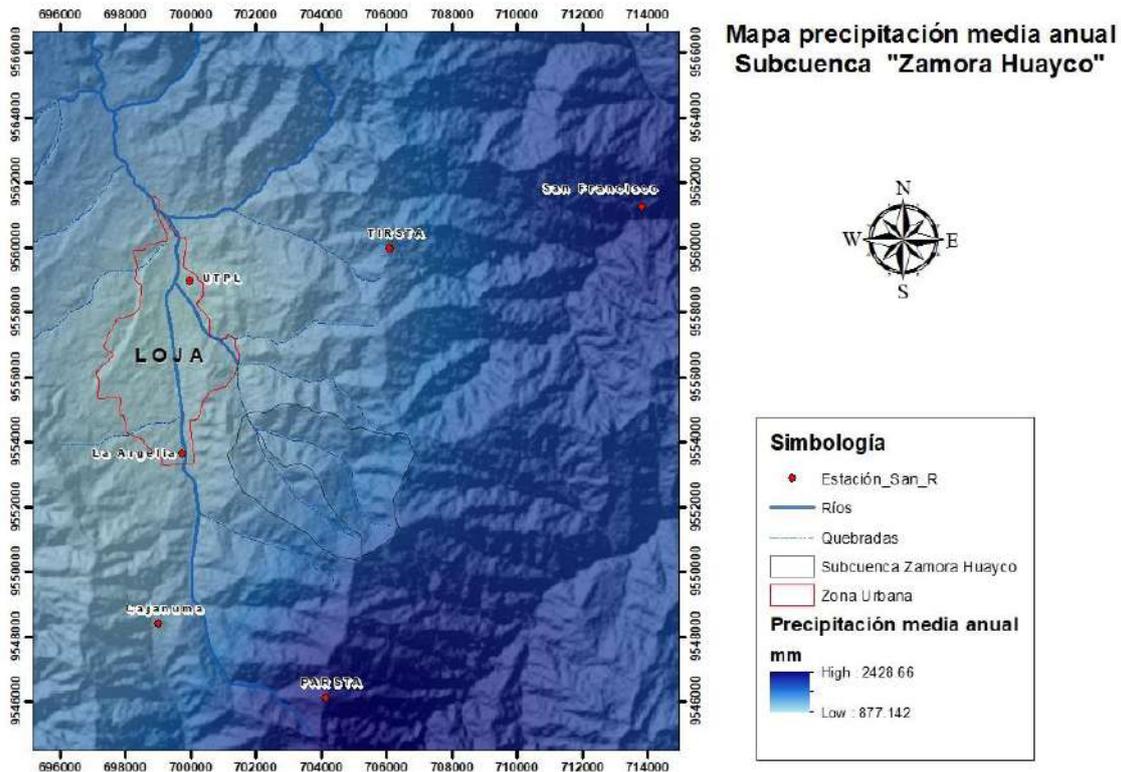
Una de las regiones más sensibles para observar los cambios meteorológicos y los impactos de El Niño "EN" y La Niña "LN" son las costas del sur de Ecuador y Norte de Perú, aquí, se puede evidenciar severas sequías o inundaciones durante los meses de enero a abril de un año EN / LN, sobre todo en las llanuras costeras, mientras que en las partes altas de Los Andes las precipitaciones fuertes ocasionan grandes deslizamientos. El Niño "EN" en condiciones moderadas de enero a abril presenta situaciones que parecen disminuir en intensidad e impacto sobre la lluvia, mientras que La Niña "LN" presenta anomalías positivas de lluvia en las tierras altas. (Bendix *et al.*, 2011). Aquí también convergen el aire cálido y seco, que proviene del "Desierto de Sechura" desde el norte de Perú, cuyas masas de aire ingresan por el río Catamayo, que atraviesa el centro de la provincia de Loja, y tocan la cumbre de la cordillera (Salaverry, 2006).



**Figura 27.** Regresión lineal, correlación entre la cantidad de lluvia anual (mm) y la altitud (msnm),

**Fuente:** Elaboración propia, datos tomados de Ochoa, *et al.*, (2013) e INAMHI-Ecuador.

En la figura 27, se observa el coeficiente de Pearson, correlación entre las variables precipitación media anual (dependiente) y altitud en msnm (independiente) el cual da un valor muy alto de  $R=0,98$  que determina una relación fuerte, con asociación lineal perfecta positiva. La relación es directamente proporcional, se entiende que si el valor de X (variable altitudinal) aumenta, el valor de Y (variable precipitación) también aumenta. La precipitación media anual más alta se registró en la parte superior del sistema montañoso (sudeste - SE) con un valor de 2.500 mm, disminuyendo hacia el noroeste (NE) parte baja de la Hoya en 900 mm. El coeficiente de variación (CV) tuvo un valor de 0,5 catalogado como variación heterogénea. Beck *et al.*, (2008), manifiestan que las precipitaciones generalmente aumentan hacia las partes más altas de las laderas orientadas hacia el oeste de la cordillera andina, que se caracteriza por una depresión de altura significativa.



**Figura 28.** Interpolación de la precipitación anual registro de datos 2000-2009 sobre la subcuenca "Zamora Huayco", Microcuencas: El Carmen y San Simón.

**Fuente:** Elaboración propia, datos tomados de Ochoa *et al.*, (2013) e INAMHI-Ecuador, aplicación método Kriging Ordinario en SIG.

En la figura 28, se observa la heterogeneidad de la distribución espacial de la precipitación obtenida con el método geostatístico de interpolación Kriging Ordinario (KO) en la cual no se incorporan variables auxiliares que están íntimamente relacionadas con la precipitación. Teniendo en cuenta que entre más cerca se encuentre el coeficiente de Pearson (R) al valor estandarizado de 1, mejor será la interpolación realizada (ver figura 28). Se asume que el método Kriging Ordinario para el presente estudio es ligeramente superior a otros métodos analizados (Rodríguez *et al.*, 2008).

Además, se evidencia que las lluvias provienen del este (E), según Pourrut *et al.*, (1995), señala que las precipitaciones de tipo atmosférica son abundantes, frecuentes e intensas, sobre las llanuras amazónicas se conforman masas de aire caliente con una notable humedad (90 %) que procedente de la evaporación de la densa cobertura boscosa, estas masas producen importantes precipitaciones tanto en las planicies amazónicas como a lo largo de toda la ladera oriental de la Cordillera Real, las mismas que en ocasiones invaden la zona interandina. Donde se desarrollan estructuras muy complejas de ecosistemas con características secas y húmedas en distancias cortas (Beck *et al.*, 2008).

## 4.5. ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO GENERADO EN LA ZONA DE ESTUDIO

### 4.5.1. Cálculo del Balance Hídrico

A continuación, se muestran los resultados de los balances mes a mes del agua en el suelo, obtenidos del análisis hidroclimático para cada una de las estaciones meteorológicas que circundan a la Subcuenca Zamora Huayco, en base al método de Thornthwaite, considerando los datos meteorológicos de los periodos entre los años 2000 al 2009.

En la tabla 13, sobre el balance hídrico de la estación meteorológica “TIRSTA”, se presentan los datos usados y los resultados obtenidos de la aplicación del programa para el cálculo del balance hídrico a nivel mensual. Se observan las temperaturas y precipitaciones medias mensuales y los resultados de los cálculos de la evapotranspiración potencial corregida (ETP corr), la evapotranspiración real (ETR), el déficit, la reserva y el excedente del agua en el suelo.

**Tabla 13.** Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “TIRSTA” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009,

<b>TIRSTA</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>
<b>Temperatura media mensual (°C)</b>	12,8	12,9	13,3	13,4	13,1	13,2	13,1	13,0	12,9	12,4	12,1	12,2
<b>ETP corregida (mm)</b>	47,4	50,7	52,0	53,7	51,4	47,2	51,3	48,6	49,3	45,0	44,5	45,8
<b>Precipitación media mensual (mm)</b>	80	85	105	145	110	160	150	180	130	155	110	80
<b>ETR (mm)</b>	47,4	50,7	52,0	53,7	51,4	47,2	51,3	48,6	49,3	45,0	44,5	45,8
<b>Déficit (mm)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Reserva (mm)</b>	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0
<b>Excedentes (mm)</b>	32,6	34,3	53,0	91,3	58,6	112,8	98,7	131,4	80,7	110,0	65,5	34,2

**Fuente:** Elaboración propia.

Este comportamiento es propio de las estaciones climáticas de zonas húmedas, se caracteriza por mantener un régimen de lluvias durante casi todo el año, lo que mantiene las reservas en su capacidad máxima de almacenamiento, los excedentes son considerables durante los meses de febrero, abril y junio, que coinciden con el aumento de las lluvias, como se puede observar en la figura 29a.

INERHI-PREDESUR-CONADE (1994), establecen en base a elementos del balance hídrico la necesidad de riego para la ciudad de Loja, a diferencia del sector occidental (zonas bajas y áridas). Paulatinamente va pasando de rangos menos severos de requerimiento facultativo a complementario, en la medida en que el régimen pluviométrico se hace más homogéneo, es decir, hacia el sector oriental, más alto y húmedo.

Se observa en la tabla 14, sobre el balance hídrico de la estación meteorológica “UTPL” que para el mes de mayo hay una disminución en el almacenamiento, y existe uso del agua de la reserva en el suelo, para junio el almacenamiento del agua en la reserva aumenta y se presenta excedente debido a las precipitaciones, en julio nuevamente hay una disminución en la reserva, y se evidencia el uso del agua en la reserva del suelo, lo mismo sucede en los meses de agosto, septiembre y octubre. El mayor excedente se produce en el mes de febrero, el déficit tiene un valor de cero, ver figura 29b,

**Tabla 14.** Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “UTPL” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009,

UTPL	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos
Temperatura media mensual (°C)	15,8	16,0	16,4	16,6	16,5	16,6	16,6	16,5	16,2	15,6	15,2	15,3
ETP Corregido (mm)	54,4	58,4	59,8	62,9	61,1	56,4	61,7	58,7	58,0	52,7	51,9	53,0
Precipitación media mensual (mm)	20	70	90	85	89	105	108	90	50	80	45	45
ETR (mm)	54,4	58,4	59,8	62,9	61,1	56,4	61,7	58,7	58,0	52,7	51,9	53,0
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	265,6	277,2	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	292,0	300,0	293,1	285,2
Excedentes (mm)	0,0	0,0	7,4	22,1	27,9	48,6	46,3	31,3	0,0	19,3	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia,

El balance hídrico de la estación meteorológica “La Argelia” se observa en la tabla 15, en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre el uso del agua en el suelo aumenta debido a la disminución en sus reservas, ya en los meses que van desde noviembre hasta junio se produce aumento en almacenamiento del agua en la reserva y se crean excedentes debido a las precipitaciones altas, el mes de marzo presenta el valor de excedente más alto, el déficit es cero, ver figura 29c.

**Tabla 15. Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “La Argelia” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009,**

<b>LA ARGELIA</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>
<b>Temperatura media mensual (°C)</b>	15,6	16,3	16,8	16,5	16,3	16,3	16,2	16,3	16,5	16,3	15,5	15,4
<b>ETP corregida (mm)</b>	53,0	60,2	62,2	62,0	59,6	54,4	58,9	57,3	59,7	56,7	53,5	53,4
<b>Precipitación media mensual (mm)</b>	25	70	90	91	85	130	150	120	60	80	45	40
<b>ETR (mm)</b>	53,0	60,2	62,2	62,0	59,6	54,4	58,9	57,3	59,7	56,7	53,5	53,4
<b>Déficit (mm)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Reserva (mm)</b>	272,0	281,8	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	291,5	278,1
<b>Excedentes (mm)</b>	0,0	0,0	9,6	29,0	25,4	75,6	91,1	62,7	0,3	23,3	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia,

El balance hídrico de la estación meteorológica “PARSTA” se detalla en la tabla 16. Debido a las condiciones climáticas y altitudinales, se produjo almacenamiento del agua en la reserva y los excedentes son considerables durante todo el año, siendo el mes de febrero el que presenta un valor elevado. El déficit es cero para todos los meses.

**Tabla 16. Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “PARSTA” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009,**

<b>PARSTA</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>
<b>Temperatura media mensual (°C)</b>	11,0	11,3	12,1	11,0	10,2	9,9	9,9	9,9	10,1	10,1	9,9	10,5
<b>ETP corregido (mm)</b>	45,5	49,4	52,8	48,3	43,1	38,0	41,6	40,0	41,8	40,6	40,8	44,3
<b>Precipitación media mensual (mm)</b>	135	140	165	200	240	325	245	265	195	210	187	160
<b>ETR (mm)</b>	45,5	49,4	52,8	48,3	43,1	38,0	41,6	40,0	41,8	40,6	40,8	44,3
<b>Déficit (mm)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Reserva (mm)</b>	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0
<b>Excedentes (mm)</b>	89,5	90,6	112,2	151,7	196,9	287,0	203,4	225,0	153,2	169,4	146,2	115,7

Fuente: Elaboración propia.

El estudio de Frumau *et al.*, (2006), señala que la presencia de niebla en bosques altoandinos modifica la mayoría de las variables que intervienen en el balance hídrico

de estos ecosistemas: reduce la radiación solar, aumenta la humedad relativa y disminuye la evapotranspiración y el déficit de vapor de agua en el aire, ver figura 29d. El balance hídrico de la estación meteorológica “Cajanuma” se presenta en la tabla 17, los meses de julio, agosto y septiembre presentan disminución en las reservas de agua en el suelo, por ende, el agua disponible en el suelo empezará a usarse, El aumento de las lluvias desde octubre a julio ocasionan que las reservas se completen, originando excedentes, siendo febrero el que mes que presenta un valor elevado, El déficit para todo el año tiene un valor de cero, ver figura 29e.

**Tabla 17.** Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “Cajanuma” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009,

CAJANUMA	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Temperatura media mensual (°C)	15,7	16,2	16,9	16,2	15,6	15,5	15,6	15,5	15,5	15,1	14,8	15,2
ETP corregida (mm)	55,3	61,3	64,6	61,9	56,9	51,4	56,9	54,2	55,2	51,3	51,1	54,0
Precipitación media mensual (mm)	42	79,6	98,5	117,4	100,6	156,9	148,4	136,5	86	100,1	46,9	44,8
ETR (mm)	55,3	61,3	64,6	61,9	56,9	51,4	56,9	54,2	55,2	51,3	51,1	54,0
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	286,7	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	295,8	286,7
Excedentes (mm)	0,0	5,0	33,9	55,5	43,7	105,5	91,5	82,3	30,8	48,8	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia,

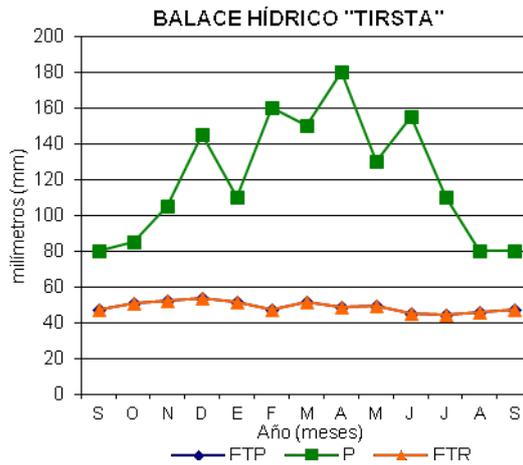
En la tabla 18, se muestra el balance hídrico para la estación meteorológica “San Francisco”, aunque la ETR presenta aumento en los valores, respecto a las otras estaciones meteorológicas, el aumento de la precipitación es considerable, las reservas de almacenamiento suplen su capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo durante todo el año, evidenciándose excedentes para cada mes, presentándose en junio el valor más elevado, El déficit durante todo el año es de cero, ver figura 29f.

**Tabla 18. Resumen del Balance Hídrico de la estación meteorológica “San Francisco” método de Thornthwaite, periodo 2000 – 2009.**

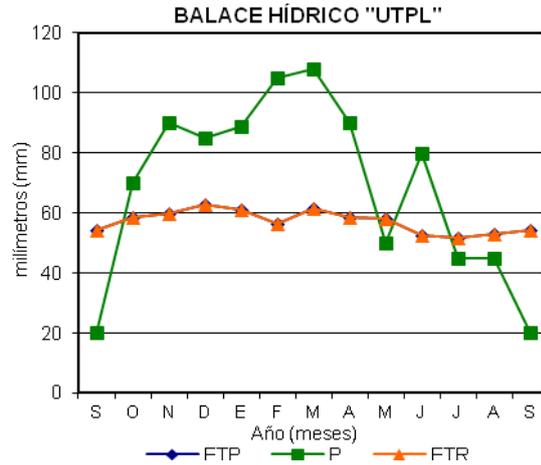
<b>SAN FRANCISCO</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>
<b>Temperatura media mensual (°C)</b>	18,0	18,3	18,7	19,0	18,9	19,1	19,1	19,1	18,7	18,0	17,5	17,6
<b>ETP corregido (mm)</b>	61,0	66,2	67,9	72,2	70,1	65,4	71,6	68,9	67,3	60,4	58,7	60,0
<b>Precipitación media mensual (mm)</b>	149,7	132,2	137,8	125,6	121,2	147,4	170	258,6	274,1	285	222	163,7
<b>ETR (mm)</b>	61,0	66,2	67,9	72,2	70,1	65,4	71,6	68,9	67,3	60,4	58,7	60,0
<b>Déficit (mm)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Reserva (mm)</b>	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0
<b>Excedentes (mm)</b>	88,7	66,0	69,9	53,4	51,1	82,0	98,4	189,7	206,8	224,6	163,3	103,7

**Fuente:** Elaboración propia.

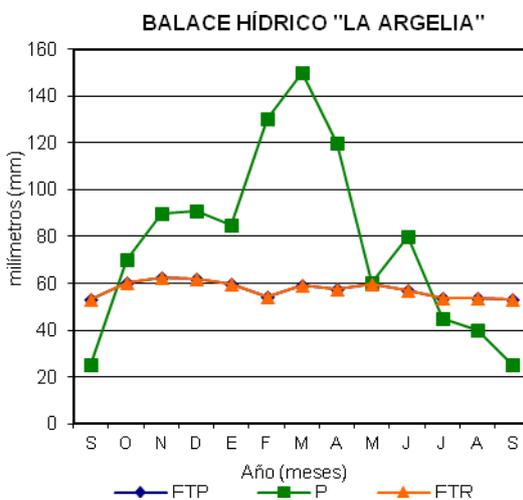
A continuación, en la figura 29, se presentan las figuras del Balance Hídrico determinado para cada una de las estaciones meteorológicas, empleando los resultados obtenidos en las tablas anteriores descritas.



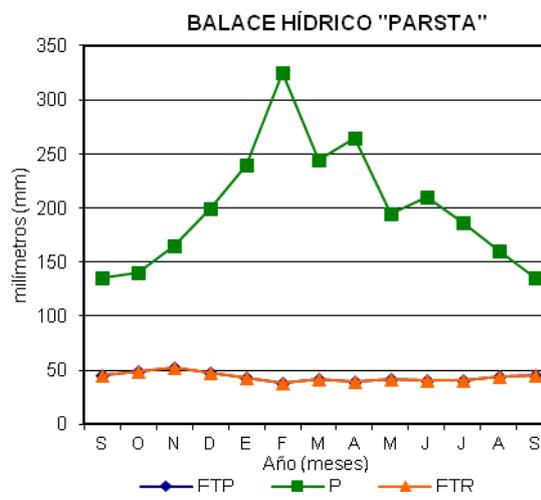
a) Balance Hídrico de TIRSTA periodo 2000-2009



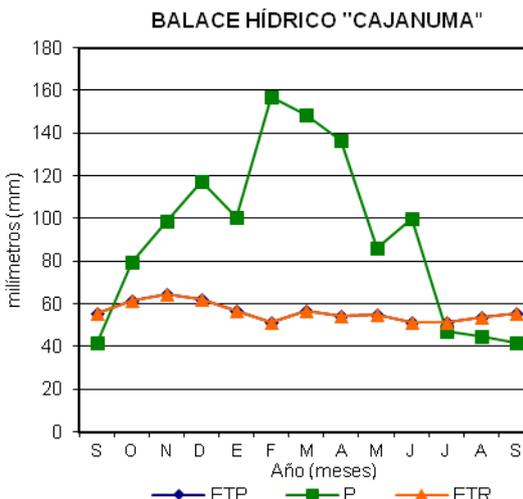
b) Balance Hídrico de La UTPL periodo 2000-2009



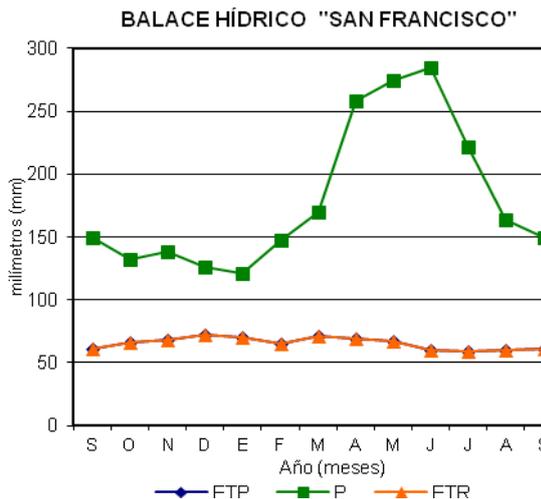
c) Balance Hídrico de La Argelia periodo 2000-2009



d) Balance Hídrico de PARSTA periodo 2000-2009



e) Balance Hídrico de Cajanuma periodo 2000-2009



f) Balance Hídrico de San Francisco periodo 2000-2009

**Figura 29.** Balances Hídricos mensuales de las estaciones meteorológicas cercanas a la Subcuenca "Zamora Huayco" periodo 2000 – 2009.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.2. Cálculo del Caudal Líquido

En la tabla 19 y 20, se muestran los valores de las áreas en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de cada combinación de cobertura vegetal y Grupo Hidrológico (GH), según tipo de suelo, generador del entrecruzamiento de los shape a escala 1:25.000 aplicado en software Arc Gis 10.1®, además del NC ponderado para cada microcuenca, los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 19.** Caracterización de número de curva según grupo hidrológico, tipo de cobertura-uso del suelo para la microcuenca "El Carmen".

VEGETACIÓN	1		2		3		NC PONDERADO
	GH C	NC	GH A	NC	GH B	NC	
<b>Suelo desnudo</b>	4826,9	91	0,0	77	4150,8	86	72
<b>Agua-laguna</b>	0,0	100,0	0,0	100,0	2042,5	100,0	
<b>Cultivos</b>	0,0	85	0,0	65	718,7	78	
<b>Matorral</b>	284869,4	77	49148,7	48	115735,9	67	
<b>Bosque</b>	4842219,7	71	450785,2	30	1995019,7	58	
<b>Páramo</b>	77651,5	70	0,0	6	366054,8	35	
<b>Pastizal</b>	1154561,4	79	514344,9	49	1460493,4	69	
<b>Residencial baja densidad</b>	898,6	80	850,1	54	3744,8	70	

**1-2-3:** Superficie de ocupación (m<sup>2</sup>) de cada combinación de cobertura vegetal-uso del suelo y Grupo Hidrológico (GH), con su respectivo Número de Curva (NC) según composición.

**GH:** Grupo Hidrológico según estructura del suelo.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 20.** Caracterización de número de curva según grupo hidrológico, tipo de cobertura y uso del suelo para la microcuenca “San Simón”.

VEGETACIÓN	1		2		3		NC PONDERADO
	GH C	NC	GH A	NC	GH B	NC	
<b>Suelo desnudo</b>	6526,6	91	0,0	77	6938,9	86	67
<b>Plantación</b>	0,0	84	24462,1	65	11503,5	76	
<b>Cultivos</b>	19721,5	85	7701,5	67	13900,3	78	
<b>Matorral</b>	601712,4	77	133415,7	48	1172714,9	67	
<b>Bosque</b>	310197,8	71	133493,9	30	2647324,00	58	
<b>Páramo</b>	0,0	70	0,0	6	159430,8	35	
<b>Pastizal</b>	434495,7	79	45903,7	49	482652,1	69	
<b>Residencial baja densidad</b>	843,2	80	344,7	54	344,7	70	

**1-2-3:** Superficie de ocupación (m<sup>2</sup>) de cada combinación de cobertura vegetal-uso del suelo y Grupo Hidrológico (GH), con su respectivo NC según composición,

**GH:** Grupo Hidrológico según estructura del suelo,

**Fuente:** Elaboración propia

La investigación de Armijos (2015), y Mejía (2017), determinaron un NC ponderado de 70,4 y 71 respectivamente para la subcuenca Zamora Huayco, valores cercanos a los establecidos en las tablas 18 y 19, para cada una de las microcuencas en estudio con un NC ponderado 72 y 67.

#### 4.5.2.1. Modelización matemática con HEC-HMS ®

La información ingresada en cada uno de los parámetros durante la simulación en el modelo HEC-HMS, permitió determinar los volúmenes de escurrimiento, la transformación de escorrentía directa, el caudal base y el tránsito de caudales para el modelo HEC-HMS ®. Dicha información para cada microcuenca se muestra en la tabla 21.

**Tabla 21.** Valores de pérdida inicial, parámetros para el cálculo del volumen de escurrimiento, y cálculo del hidrograma de salida.

MICROCUENCAS	CAPACIDAD DE RETENCIÓN MÁXIMA (S)	PÉRDIDAS INICIALES lo (mm)	ÁREA IMPERMEABLE (%)	TIEMPO DE RETARDO (Tlag)
El Carmen	85	17	15	25 minutos
San Simón	125	25	10	21 minutos

**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores que se utilizaron en el parámetro de caudal base, de acuerdo al método “constantes mensuales” del modelo HEC HMS ®, son las estimaciones de caudal mensual mediante el Método Racional para el período desde 1999 - 2003 realizadas por el GAD Municipal de Loja *et al.*, (2006), debido a la falta de estaciones hidrológicas y falta de registro sobre aforos en la zona de estudio (ver tabla 22).

**Tabla 22.** Caudales promedio mensuales según Método Racional para la subcuenca “Zamora Huayco” periodo 1999 – 2003.

MICROCUENCA	Caudal m <sup>3</sup> /s											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
El Carmen	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
San Simón	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

**Fuente:** UMAPAL & CGA, 2006.

En la tabla 23, se muestran los valores promedio mensuales aforados en la parte alta de la microcuenca El Carmen durante el año 2016, con el método de sal común (NaCl). Dicha zona se identificó como “área experimental”.

**Tabla 23.** Caudales promedios mensuales según aforo líquido químico, en Área de Experimental, para el año 2016.

MICROCUENCA	Caudal m <sup>3</sup> /s											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
El Carmen “Área Experimental”	0,3	0,9	0,7	1,2	0,9	0,6	0,7	0,4	0,4	0,5	0,2	0,2

**Fuente:** Elaboración propia, tomado de Loayza (2017), datos no publicados.

Los valores proporcionados al programa HEC-HMS ® para el cálculo de caudales a través de canales por el método Muskingum-Cunge se presentan en la tabla 24.

**Tabla 24.** Valores de los parámetros para el cálculo de caudales en el programa HEC-HMS ®.

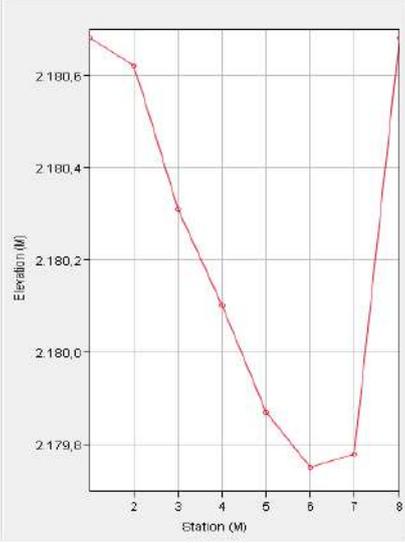
PARÁMETROS	EL CARMEN TRAMO 1	SAN SIMÓN TRAMO 2	UNIÓN EL CARMEN – SAN SIMÓN
Longitud del cauce (m)	7.000	6.500	300
Pendiente del cauce (%)	0,197	0,197	0,197
coeficiente de Manning del lecho del cauce	0,04	0,04	0,035
Forma de sección transversal	Ocho puntos	Ocho puntos	Ocho puntos
Ancho (m)	2,8	2,5	4,5
Manning del lado izquierdo			0,03
Manning del lado derecho			0,03

**Fuente:** Elaboración propia.

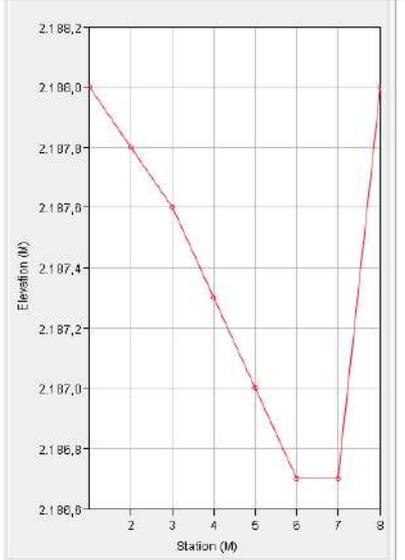
Los datos de la sección transversal de las microcuencas El Carmen y San Simón se muestran en la tabla 25, según la forma del canal de ocho puntos.

**Tabla 25.** Datos de la sección transversal del cauce de las quebradas El Carmen y San Simón del programa HEC-HMS ®.

MICROCUENCA EL CARMEN			Sección transversal de la quebrada El Carmen en programa HEC-HMS ®,
ESTACIÓN (m)	PROFUNDIDAD (m)	ELEVACIÓN (msnm)	
1	0,16	2.180,68	
2	0,11	2.180,62	
4	0,21	2.180,31	
4	0,21	2.180,10	
5	0,22	2.179,87	
6	0,17	2.179,75	
7	0,07	2.179,78	
8	0,15	2.181,00	

MICROCUENCA SAN SIMÓN			Sección transversal de la quebrada San Simón programa HEC-HMS ®,
ESTACIÓN (m)	PROFUNDIDAD (m)	ELEVACIÓN (msnm)	
1	0,16	2.180,68	
2	0,11	2.180,62	
4	0,21	2.180,31	
4	0,21	2.180,10	
5	0,22	2.179,87	
6	0,17	2.179,75	
7	0,07	2.179,78	
8	0,15	2.181,00	



**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 26, se presentan los valores ponderados y área de influencia de las estaciones meteorológicas según los polígonos de Thiessen, la estación meteorológica La Argelia (M0033) tiene mayor influencia geoespacial sobre la zona de estudio.

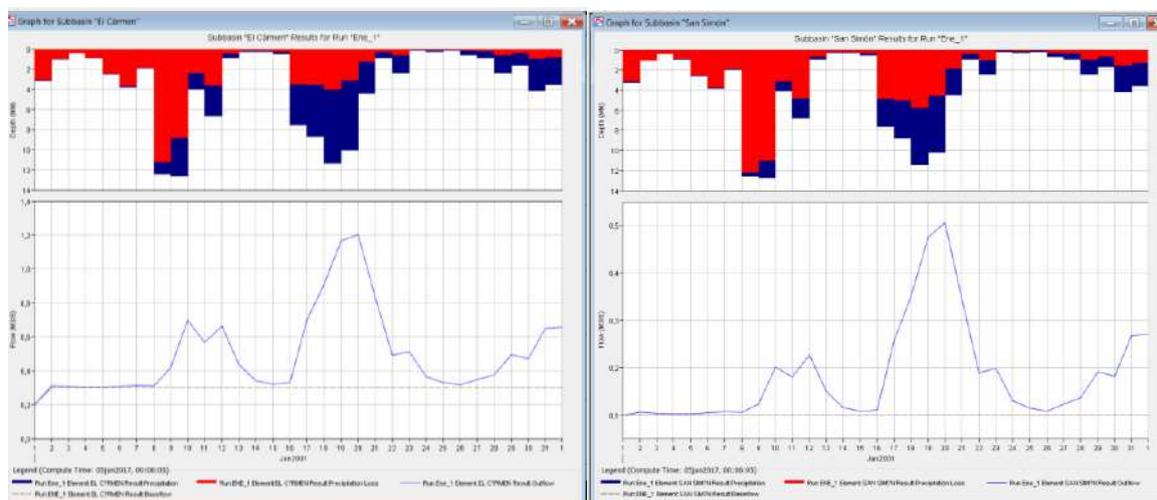
**Tabla 26.** Valores ponderados y área de influencia de las estaciones meteorológicas según polígonos de Thiessen,

MICROCUCENCA	ESTACIÓN METEOROLÓGICA	ÁREA Km <sup>2</sup>	VALOR PONDERADO
El Carmen	La Argelia	8,76	0,78
	TIRSTA	0,90	0,08
	PARSTA	1,56	0,14
San Simón	La Argelia	5,3	0,84
	PARSTA	1,0	0,16

**Fuente:** Elaboración propia,

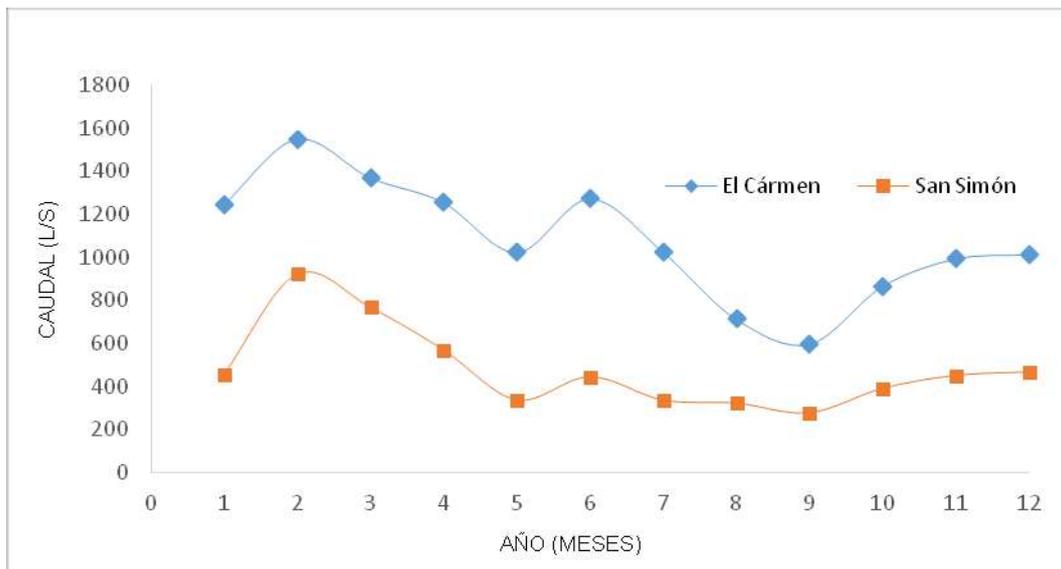
En la figura 30, se muestra los resultados para cada microcuenca: hietogramas e hidrogramas obtenidos en HEC-HMS ® durante la simulación hidrológica para el mes de enero, cuya modelación fue realizada aplicando lluvias sintéticas, dónde las magnitudes mensuales corresponden al valor promedio mensual para el periodo de 10 años, desde el 2000 al 2009, el mismo proceso se realizó para el resto de meses (12 en total),

En los hidrogramas (parte superior), el color rojo señala la pérdida de precipitación por medio de la infiltración, y el color azul muestra el exceso de precipitación que forma la escorrentía.



**Figura 30.** Hietograma e hidrograma resultado de la simulación para las microcuencas “El Carmen” y “San Simón” para el mes de enero.

En la figura 31, se observan los resultados de la modelación en HEC HMS ® para los 12 meses promedio, de un periodo del 2000 al 2009, para las microcuencas El Carmen y San Simón. Además, se evidencia que durante los meses de agosto – septiembre los caudales descienden, a diferencia de los meses de enero a marzo, periodo en el que los caudales presentan gran cantidad de agua.



**Figura 31.** Resultados obtenidos mediante la modelación con HEC HMS para la subcuenca “Zamora Huayco”, microcuencas “El Carmen” y “San Simón” para un periodo de 10 años (2000-2009).

Debido a la falta de registros sobre aforos en el cierre de las dos microcuencas (datos observados), no se podrá determinar el grado de confiabilidad de los valores obtenidos en la modelación en HEC-HMS® (datos calculados) mediante el cálculo del coeficiente de correlación para el periodo 2000 – 2009 de los caudales observados versus los estimados.

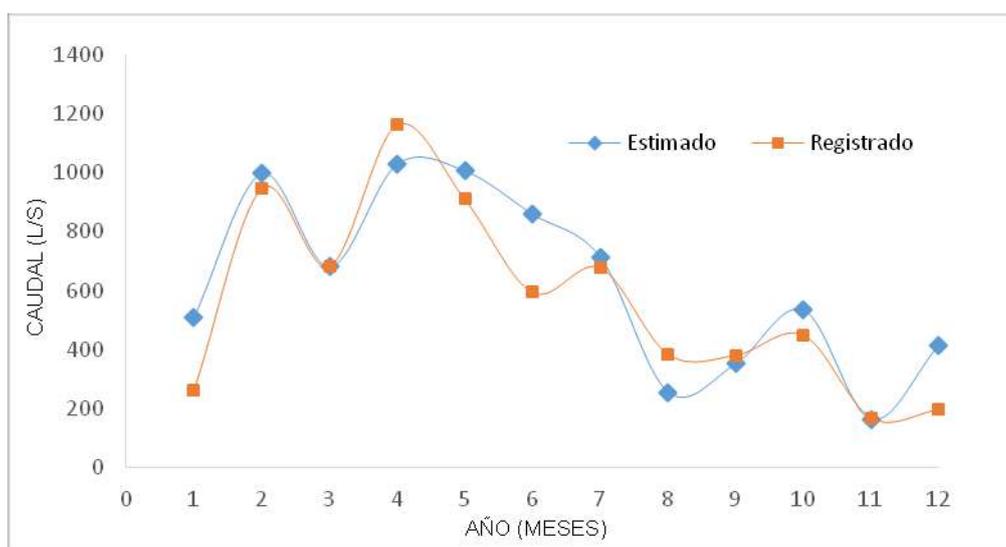
#### 4.5.2.2. Calibración y Sensibilidad de los Resultados Obtenidos en el Modelo HEC HMS®.

Una vez que se identificó la zona que posee información hidrometeorológica, esta debe cumplir con aspectos operacionales como “Área Experimental” es decir, que cumplan rasgos particulares en función a las características regionales como semejanza u homogeneidad con el resto de la subcuenca.

El “Área Experimental” está ubicada sobre la microcuenca El Carmen, cuenta con dos estaciones, una pluviométrica y otra meteorológica, se tomó la información procesada por Mejía (2017), de una serie de datos de enero a diciembre de 2016. En HEC-HMS® se ingresaron los valores de registros diarios de lluvia para cada mes, el resto de la metodología se basó en el punto 3.5.2. sobre el cálculo de caudal líquido, lo que permitió estimar la escorrentía para cada uno de los 12 meses del año 2016,

Los aforos (datos observados) realizados por Loayza (2017), se registraron en el cierre del “Área experimental”, lo que permitió comparar con los caudales estimados en HEC-HMS® (datos calculados), y así determinar el grado de confiabilidad entre el

valor estimado del caudal de ese mes con el volumen de agua estimado en la modelación. Se obtuvieron los parámetros estadísticos de coeficiente de Nash= 0,61 con un criterio de ajuste muy bueno y  $R^2= 0,82$  lo que indica una excelente correlación de las variables, señalando una aproximación a los datos reales; esto demuestra que la calidad de los resultados de la modelación depende del grado de confiabilidad de la información utilizada para el modelo (ver figura 32). El parámetro sensible es el “Número de Curva (NC)” con valores de 72 a 70, y está directamente relacionado con el tipo de suelo (potencial de escurrimiento), y cobertura vegetal-tipo de suelo. El NC fue modificado mientras los otros parámetros se mantuvieron fijos.



**Figura 32.** Comparación de los resultados observados y calculados de la microcuenca El Carmen (2016) parte alta.

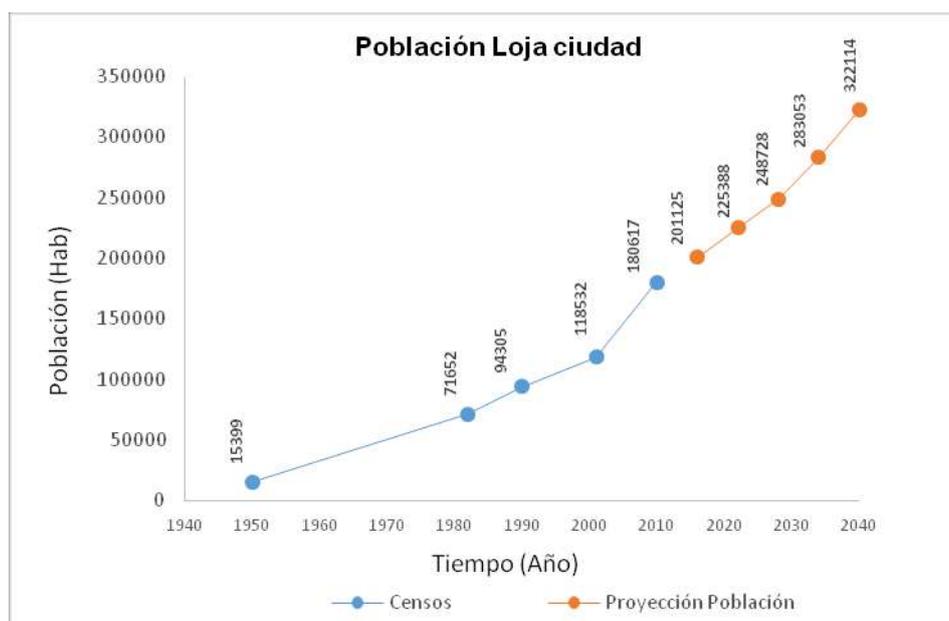
**Fuente:** Elaboración propia, datos aforos (observados) tomado de Loayza (2017).

#### 4.6. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

De acuerdo con la información proporcionada por el INEC, el censo 2010 evidenció que la población de la ciudad de Loja ha crecido abruptamente desde el año 1950, dado que se ha multiplicado en aproximadamente 11 veces (GeoLoja, 2007). Durante la década de 1990 al 2001 la tasa de crecimiento fue de 2,08 %. Para el año 1950 la población era de 15.399 habitantes mientras que para el año 2010 fue de 180.617 habitantes, tal como se puede observar en la figura 33.

Cabe mencionar que para el año 2005, los hogares con acceso al servicio de alcantarillado y agua potable de la ciudad representaban el 50,5 %. Durante el 2010 la cobertura de agua por red pública alcanzó el 83,7 % y el 74,5 % para el servicio de

alcantarillado (INEC, 2010). Según la UMAPAL el año 2016 presentó una cobertura de agua potable del 96 % y 86 % para alcantarillado.



**Figura 33.** Censos nacionales, y estimación de la población de la ciudad de Loja desde el 2016 hasta el año 2040 (cada 6 años).

**Fuente:** Elaboración propia, INEC, 2010.

Los datos de la población para el año 2016, fueron tomados de la “Proyecciones de la población ecuatoriana, por años calendario, según cantones” elaborado por el INEC (2012). El crecimiento porcentual de la población cada 6 años, con base en el último censo poblacional del año 2010, es de 13,8 % lo que permite estimar la población hasta el año 2040, ver tabla 27.

**Tabla 27.** Crecimiento poblacional de la ciudad de Loja, desde 1950 hasta 2010 según Censos de población, y proyección desde el 2016 al 2040.

	AÑO	POBLACIÓN Habitantes
<b>CENSO</b>	1950	15.399
	1982	71.652
	1990	94.305
	2001	118.532
	2010	180.617
<b>ESTIMACIÓN</b>	2016	201.125
	2022	225.388
	2028	248.728
	2034	283.053
	2040	322.114

**Fuente:** Elaboración propia, INEC (2010; 2012).

Para 1954, la dotación de agua para los habitantes de la ciudad de Loja fue de 150 litros/hab/día; mientras que para el año 2006, la dotación fue de 170 litros/habitante/día, alcanzando un consumo total de 795.000 m<sup>3</sup>/mes. El número total de usuarios a finales de dicho año llegó a 25.054 (Geo Loja, 2007). En la tabla 28, se muestra la categoría de uso y dotación lit/hab/día de la ciudad de Loja para el año 2016, tomando el valor promedio de 3,75 que están conformando las viviendas familiares de la ciudad de Loja, según INEC (2012).

**Tabla 28.** Consumo promedio mensual para los diferentes usos de agua en la ciudad de Loja 2016.

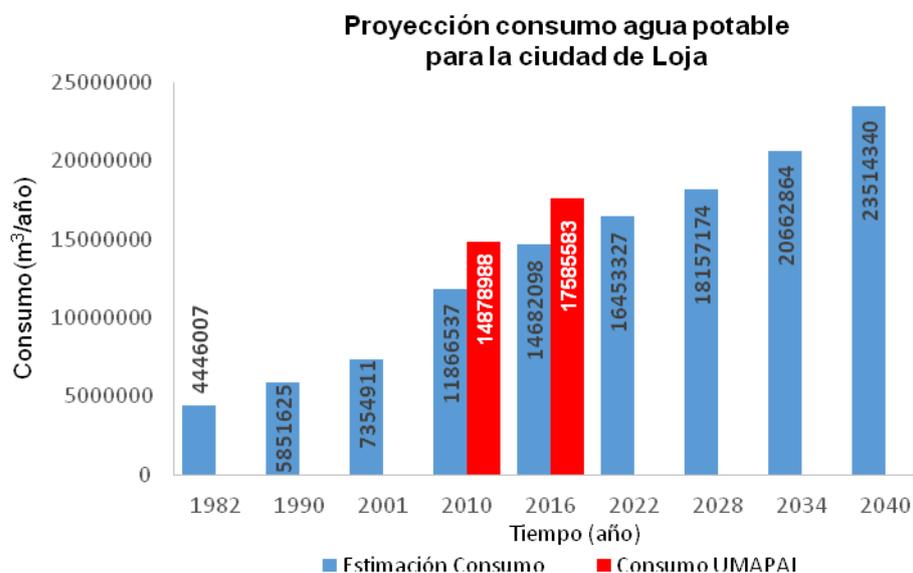
CATEGORIZACIÓN	Nro. USUARIOS	CONSUMO m <sup>3</sup>	DOTACIÓN
RESIDENCIAL	30.470	612.993	163,65 lit/hab/día
COMERCIAL	4.439	131.383	197 lit/hab/día
INDUSTRIAL	9	3203	2.373 lit/hab/día
OFICIAL	354	76.833	1447 lit/hab/día
<b>TOTAL</b>	<b>35.272</b>	<b>824.412</b>	

**Fuente:** Elaboración propia, INEC (2012), y UMAPAL-Loja consumo agua potable (2016).

Para el 2016, la ciudad de Loja presentó un promedio de consumo de 163,65 lit/hab/día, así mismo la ciudad de Quito pasó de 200 a 220 lit/hab/día; cantidad superior a las que registran: Bogotá, 168; Medellín, 150; y La Paz, 120. Incluso, la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2010), recomienda que el uso óptimo del agua, por habitante, debe ser 100 lit/hab/día. Esta cantidad permite cubrir sus necesidades de consumo y de higiene, y que sea segura, aceptable y asequible (el coste del agua no debería superar el 3 % de los ingresos del hogar), y accesible físicamente (El Comercio, 2015). De igual manera para la Organización Mundial de la Salud, son necesarios entre 50 y 100 lit/hab/día para garantizar que se cubran las necesidades básicas y que no surjan grandes amenazas para la salud (OMS, 2003).

En la figura 34, podemos observar el consumo estimado de agua según la población censada de 1982 a 2010 y estimada desde el 2016 hasta el 2040. Para los años 2010 y 2016 (barra color rojo) se muestran los datos de facturación de consumo de los usuarios, datos facilitados por la UMAPAL (2017). A dicho valor se le adicionó el porcentaje de pérdidas y fugas en las unidades de conducción, plantas de tratamiento, reservas, redes de distribución, conexiones clandestinas y consumo no facturado, que para el 2010 alcanzó un 50,4 % y 58,3 % para el 2016 del caudal total. Con la cantidad de agua desperdiciada en fugas y pérdidas del año 2010 se hubiera podido abastecer a 57.320 habitantes, así mismo, el agua desaprovechada del año 2016 se pudo proveer a 71.674 habitantes como se puede observar en la tabla 29, como lo establecen Hunt & Watkiss (2011), las ciudades andinas son particularmente

vulnerables a los cambios climáticos y recursos hídricos bajo estrés. La tendencia mundial de la urbanización y la creciente población de las ciudades requieren volúmenes cada vez mayores de agua para ser extraídos y transportados.



**Figura 34.** Proyección de consumo de agua según censos y estimación de población de la ciudad de Loja, 2010 y 2016 datos reales de consumo (barra color rojo)

**Fuente:** INEC, 2010 y UMAPAL-Loja consumo anual de agua potable; años 2010 y 2016

Para el año 2040, la población requerirá 23.514.340 m<sup>3</sup>/año, valor estimado conservando el valor de ingreso actual a las plantas de captación que es de 902 l/s, el mismo porcentaje de fugas-pérdidas (58,3 %), y sin tomar en cuenta la época de estiaje y horas pico, en 23 años se estimó recibir 38,06 % menos de agua potable, la dotación será 96,8 lit/hab/día para el año 2040.

**Tabla 29.** Pérdidas y fugas de agua potable en la ciudad de Loja para los años 2010 y 2016

AÑO	FUGAS Y PÉRDIDAS (%)	ESTIMACIÓN CONSUMO (m <sup>3</sup> /año)	UMAPAL CONSUMO (m <sup>3</sup> /año)	PÉRDIDA Y FUGAS (m <sup>3</sup> /año)	DOTACIÓN (lit/hab/día)
2010	50,4 **	11.866.537	14.878.988 **	4.986.044 **	216 **
2016	58,3 **	14.682.098	17.585.583 **	6.476.560 **	163,65 **
2022		16.453.327		9.871.996	138,3
2028		18.157.174		10.894.305	125,3
2034		20.662.864		12.397.719	110,1
2040		23.514.340		14.108.604	96,8

\*\*UMAPAL-Loja (2017).

En la tabla 30, se muestra el caudal concesionado para uso – aprovechamiento de agua en las microcuencas El Carmen y San Simón, otorgadas por la SENAGUA, siendo la captación “El Carmen” la que lleva mayor caudal, para consumo humano, con una capacidad de 270 l/s de agua cruda, por parte del GAD Municipal de Loja.

**Tabla 30.** Concesiones para uso - aprovechamiento de agua en las microcuencas EL Carmen y San Simón,

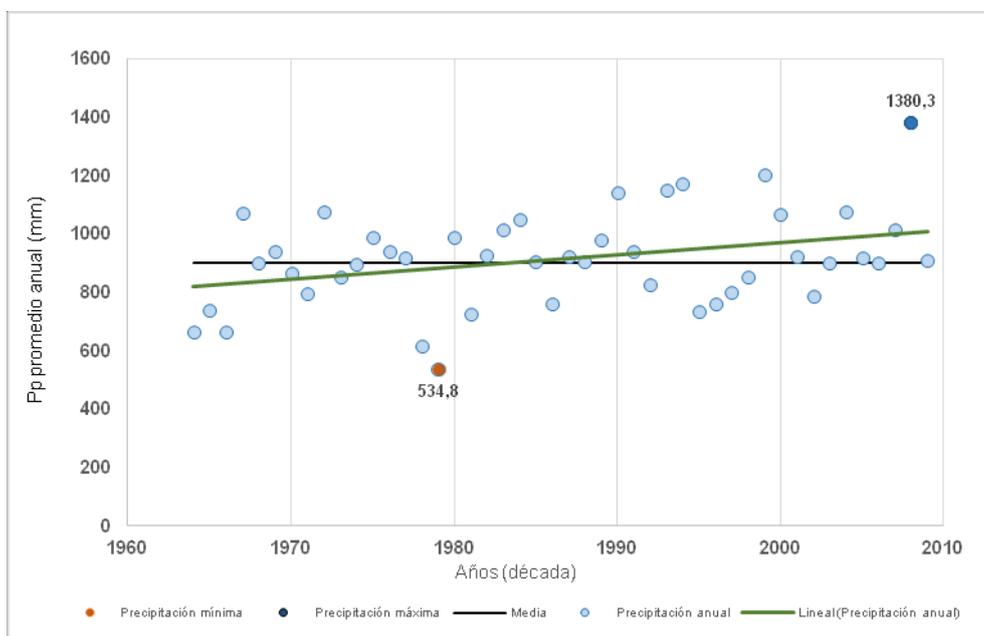
MICROCUENCA	USUARIO	USO	AÑO CONCESIÓN	FIN CONCESIÓN	CAUDAL l/s
El Carmen	Empresa de agua potable y alcantarillado de Loja	Uso general para agua potable	12/03/1981	_____	270
	Sigcho Cango Daniel	Uso de abrevadero general	25/08/1998	_____	0,06
		Uso doméstico	25/08/1998	_____	0,03
		Riego	25/08/1998	25/08/2008	0,16
		Riego	25/08/1998	25/08/2008	0,20
	Guamán Carmen B, e Hijos	Riego	25/08/1998	25/08/2008	0,20
	Ramón Rivera Miguel Ángel	Riego	25/08/1998	25/08/2008	0,20
<b>Total</b>					270,85
San Simón	Empresa de agua potable y alcantarillado de Loja	Uso general para agua potable	13/03/1981	_____	67

**Fuente:** Información proporcionada por SENAGUA (2017).

#### 4.7. ESCENARIOS DE DISPONIBILIDAD EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA SUPERFICIAL

El análisis de la normal climatológica de un registro de por lo menos 30 años, que concierne al periodo entre 1964 y 2009, permitió determinar la precipitación anual, y la lluvia promedio anual, estableciendo así, los años donde se presentaron lluvias máximas y mínimas como se puede observar en la tabla 31. El análisis de serie de tiempo, basado en la regresión (ver figura 35), determinó una tendencia lineal creciente, la relación entre el año y la precipitación total anual es directamente proporcional; es decir, a medida que los años van transcurriendo, la precipitación tiende a aumentar. La serie de datos de lluvia anual es no estacionaria, debido a que la variabilidad de los datos anuales cambia, mostrando una tendencia a lo largo del tiempo (Alonso, 2007). La figura 35, muestra los valores de las precipitaciones anuales, el punto de dispersión de color negro hace referencia a la precipitación máxima, el de color rojo a la precipitación mínima, y en color verde se observa la línea de tendencia.

Además, se determinó el coeficiente de variación (CV) dando un valor de 0,2 estableciendo que la dispersión de los datos con respecto a la media es relativamente homogénea. Se asume que por cada año que transcurre, la precipitación aumenta en 0,35 mm, valor de pendiente de la recta (ver figura 35).



**Figura 35.** Análisis de serie de tiempo, basado en la gráfica de regresión lineal de la estación meteorológica La Argelia, de una serie de registros desde 1964 al 2009.

**Tabla 31.** Valores de precipitación promedio, máximo y mínimo registrado en la estación meteorológica La Argelia desde 1964 al 2009.

Estación Meteorológica La Argelia M0033			
Valores de precipitación	Precipitación promedio anual (mm)	Precipitación anual (mm)	Año suscitado
Máximo	115	1.380,3	2008
Mínimo	44,5	534,8	1979
Promedio	76,1	898,3	Desde 1964 hasta el 2009

**Fuente:** Elaboración propia, datos de normal climatológica y regresión lineal.

Para estimar los escurrimientos en HEC HMS ®, se tomó en cuenta las precipitaciones anuales máximas y mínimas, y los valores de NC ponderado para cada microcuena según cobertura vegetal-uso del suelo, estas variables se establecieron para cada uno de los escenarios, lo que permitió determinar que el caudal logra suplir en su totalidad la cantidad anual de agua cruda requerida por el Gobierno Municipal de Loja para su potabilización. Además, se muestra el 60 % del total de la población de la ciudad de Loja, estimada por el INEC (2012), para el año 2016 y proyección para el 2040 (tabla 32).

Las dotaciones (lit/hab/día) establecidas en este caso para el escenario “actual” permitieron determinar la demanda de agua del 60% de la población, dicha

información fue facilitada por la UMAPAL, que presentó un promedio de consumo de 163,65 lit/hab/día para el año 2016. La disponibilidad de escenario “pesimista” fue tomada de El Comercio (2015), donde se establece que Ecuador es el país que consume más agua potable por habitante/día en Latinoamérica (170 litros en promedio), y sobrepasa con un 40 % el promedio de la región. Para el escenario “optimista” se usó una dotación de 100 lit/hab/día, que es el valor establecido por la ONU (2010), y la OMS (2003), para Latinoamérica.

Los porcentajes de pérdidas de agua potable en redes de distribución para el escenario “actual” se tomaron de UMAPAL (2016), y de RAS (2007), que establece para los países en vías de desarrollo, un porcentaje entre 40 % y 20 % considerados como alto y bajo, para los escenarios “pesimista” y “optimista” respectivamente. En el país, el agua ya potabilizada se desperdicia debido al uso irracional que se le da, a esto se suma las fugas en la red de distribución (El Comercio, 2015), por ejemplo, la ciudad de Portoviejo, en la provincia de Manabí presenta un valor del 34 %, porcentaje muy por debajo del que se da en la ciudad de Loja (58,3 %), lo que causa cuantiosos daños económicos según la UMAPAL (2016).

Es así, que los escenarios “actual” y “pesimista” presentan un déficit entre la cantidad de agua que demanda el 60 % de la población y el porcentaje de fugas y pérdidas en redes de distribución respecto del agua cruda captada para potabilización. El escenario “optimista” presenta un excedente después de haber cubierto la demanda de la población proyectada para el 2040, siempre y cuando la dotación (lit/hab/día) y porcentaje de pérdidas y fugas sean bajas.

Cabe recalcar que los tres tipos de cobertura vegetal – uso del suelo presentaron un cambio notorio, la cobertura boscosa disminuyó en un 19,3 %, es así que para 1976 poseía una superficie del 73,7 % durante el 2016 fue del 60 % y se estimó que para el año 2040 será de 54,4 %. La cobertura pastizales hasta el año 2040 aumentará en un 8 %, así mismo los matorrales acrecentarán en un 3 % (ver figura 9). La cobertura vegetal – uso del suelo, influye en el comportamiento hídrico, como lo señala Crespo *et al.*, (2008), en su análisis sobre el cambio de uso de suelo en tres microcuencas con diferente grado de conservación, señala que la respuesta hidrológica de las microcuencas presenta diferencias marcadas durante la época seca y lluviosa.

El escenario “pesimista” presentó un aumento del 34 % en la producción de caudal, cuando se susciten un año con lluvias máximas, respecto del escenario “actual”, conservando las mismas condiciones de precipitación, el escenario “optimista”

aumentará en un 24 % su caudal. Es decir, las microcuencas con escenario “pesimista” responden de manera rápida a los eventos de lluvia, y su aporte para épocas de estiaje es mínimo o nulo. Mientras que las microcuencas con cobertura no degradada “optimista” aportan considerablemente al flujo base, presentando caudales bien regulados (Crespo *et al.*, 2008), como se observa en la figura 36 y 37.

**Tabla 32. Estimación escenario actual (2016), pesimista (2040), y optimista (1979), formulados para la subcuenca Zamora Huayco.**

ESCENARIO ACTUAL										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
MICROCUENCA	AÑO COBERTURA VEGETAL	NC	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	ESTIMACIÓN CAUDAL m <sup>3</sup> /año	CAPTACIÓN MUNICIPIO LOJA m <sup>3</sup> /año	POBLACIÓN CIUDAD DE LOJA 60 %	DEMANDA 60 % CIUDAD DE LOJA m <sup>3</sup> /año	FUGAS Y PÉRDIDAS 58,3 % m <sup>3</sup> /año	BALANCE (F-(H+I)) m <sup>3</sup> /año	DISPONIBILIDAD (lit/hab/día)
El Carmen	2016	75	1380,3 (máx.)	37,496,131	10,482,048	120,675	7,109,447	6,111,034	-2,738,433	163,65
San Simón		67	Año 2008							
El Carmen		75	534,8 (min)							
San Simón		67	Año 1979	31,966,358						
ESCENARIO PESIMISTA										
MICROCUENCA	AÑO COBERTURA VEGETAL	NC	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	ESTIMACIÓN CAUDAL m <sup>3</sup> /año	OFERTA CAPTACIÓN MUNICIPIO LOJA m <sup>3</sup> /año	POBLACIÓN CIUDAD DE LOJA 60 %	DEMANDA 60 % CIUDAD DE LOJA m <sup>3</sup> /año	FUGAS Y PÉRDIDAS 40 % m <sup>3</sup> /año	BALANCE (Oferta - Demanda) m <sup>3</sup> /año	DISPONIBILIDAD (lit/hab/día)
El Carmen	2040	77	1380,3 (máx.)	56,068,070	10,482,048	193,269	11,828,063	4,192,819	-5,538,834	170,00
San Simón		75	Año 2008							
El Carmen		77	534,8 (min)							
San Simón		75	Año 1979	35,466,336						
ESCENARIO OPTIMISTA										
MICROCUENCA	AÑO COBERTURA VEGETAL	NC	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	ESTIMACIÓN CAUDAL m <sup>3</sup> /año	OFERTA CAPTACIÓN MUNICIPIO LOJA m <sup>3</sup> /año	POBLACIÓN CIUDAD DE LOJA 60 %	DEMANDA 60 % CIUDAD DE LOJA m <sup>3</sup> /año	FUGAS Y PÉRDIDAS 20 % m <sup>3</sup> /año	BALANCE (Oferta - Demanda) m <sup>3</sup> /año	DISPONIBILIDAD (lit/hab/día)
El Carmen	1976	55	1380,3 (máx.)	48,823,171	10,482,048	193,269	6,957,684	2,096,410	1,427,954	100,00
San Simón		53	Año 2008							
El Carmen		55	534,8 (min)							
San Simón		53	Año 1979	33,500,045						

**A:** Microcuenca El Carmen y San Simón que forman parte de la subcuenca Zamora Huayco,

**B:** Año de cobertura vegetal - uso del suelo, según Google Earth-imagen Lansat para el 2016 y proyección en IDRISI SELVA para el 2040,

**C:** Número de Curva (NC), según año de cobertura vegetal - uso del suelo (B)

**D:** Lluvias máximas y mínimas según Normal Climatológica de la estación meteorológica "La Argelia" de un período de análisis desde 1964 al 2009,

**E:** Estimación de caudal en software HEC HMS®, para cada escenario, tomando en cuenta variables de entrada, NC y precipitación máxima y mínima,

**F:** Captación de agua cruda para potabilización que realiza el Municipio de Loja desde 1981 en las dos microcuencas según autorización de SENAGUA (2017)

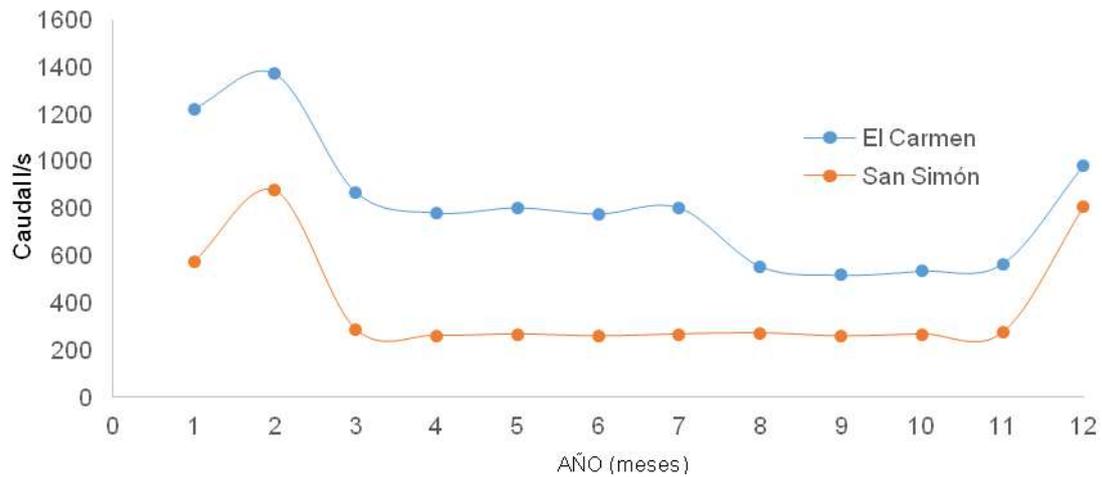
**G:** 60 % del total de la población de ciudad de Loja, estimada para los años 2016 y 2040 según datos del INEC (2012),

**H:** Cálculo según disponibilidad (K), promedio personas que habitan en hogares, valor de 3,75 estimado para la ciudad de Loja INEC (2012), y proyecciones habitantes del 2016 y 2040 respectivamente,  $H=K*3,76*(G/3,76)$

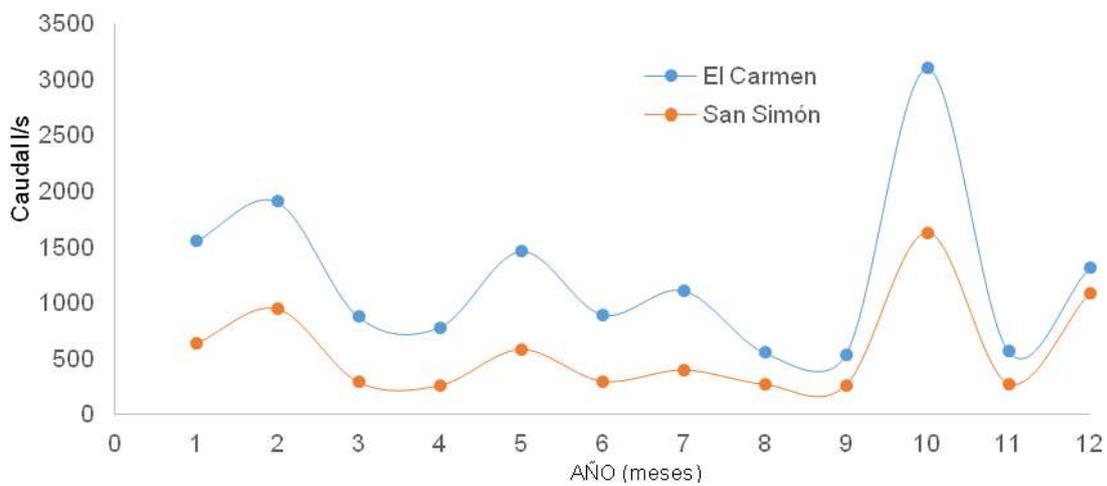
**I:** Fugas y pérdidas en red de distribución valor de 58,3 identificado por UMAPAL (2016), Las pérdidas de 40 % y 20 % catalogados como "alta" y "baja" fueron tomados de la RAS (2000),

**J:** Substracción entre F y (H+I) para determinar equilibrio entre oferta y demanda

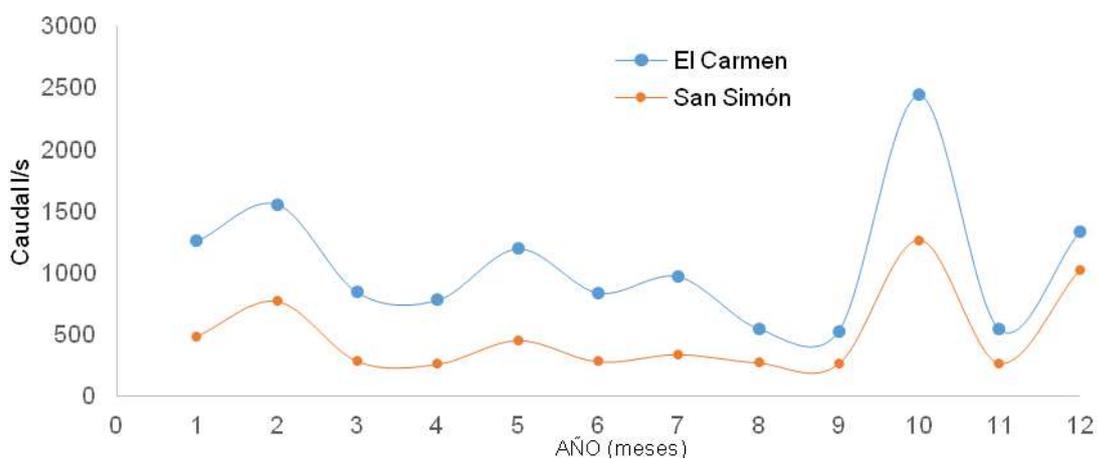
**K:** valor de escenario actual fue otorgado por UMAPAL, valor escenario pesimista fue tomado de El Telégrafo, 2016, y dato de escenario optimista es determinado por la ONU y OMS,



a) *Estimación caudal con precipitación máxima 1380,3 mm para escenario actual*



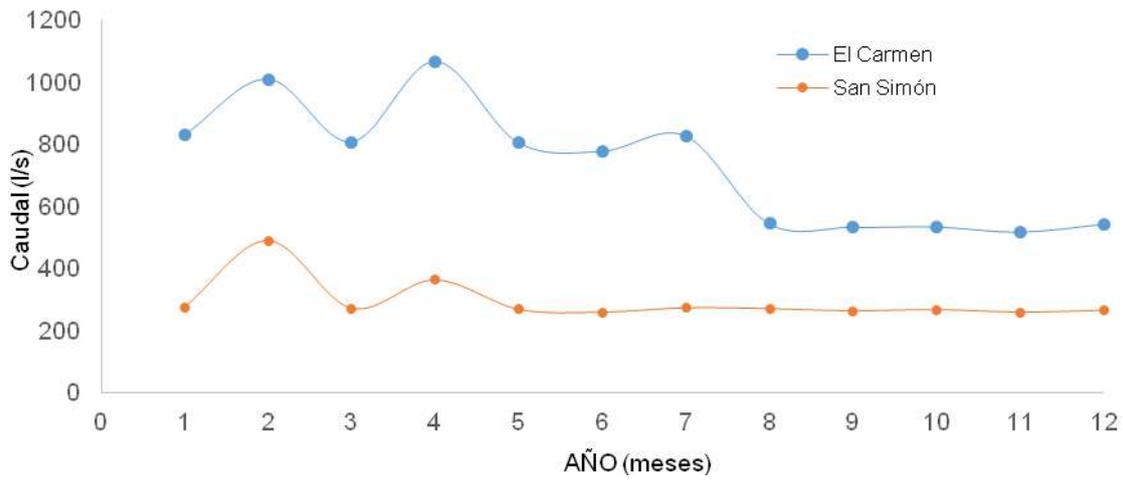
b) *Estimación caudal con precipitación máxima 1380,3 mm para escenario pesimista*



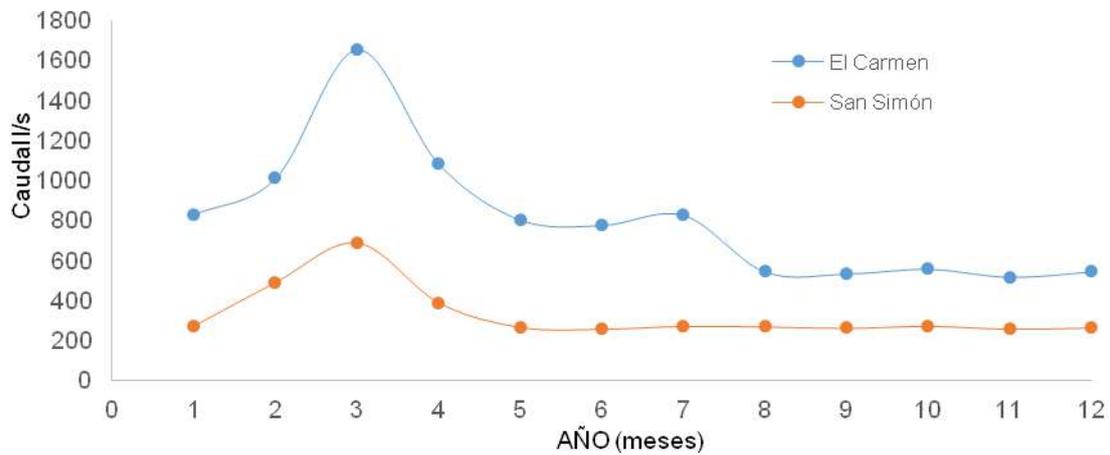
c) *Estimación caudal con precipitación máxima 1380,3 mm para escenario optimista*

**Figura 36.** Caudales estimados para el escenario actual, pesimista y optimista, con base en 3 tipos de cobertura vegetal-uso del suelo, y precipitaciones máximas.

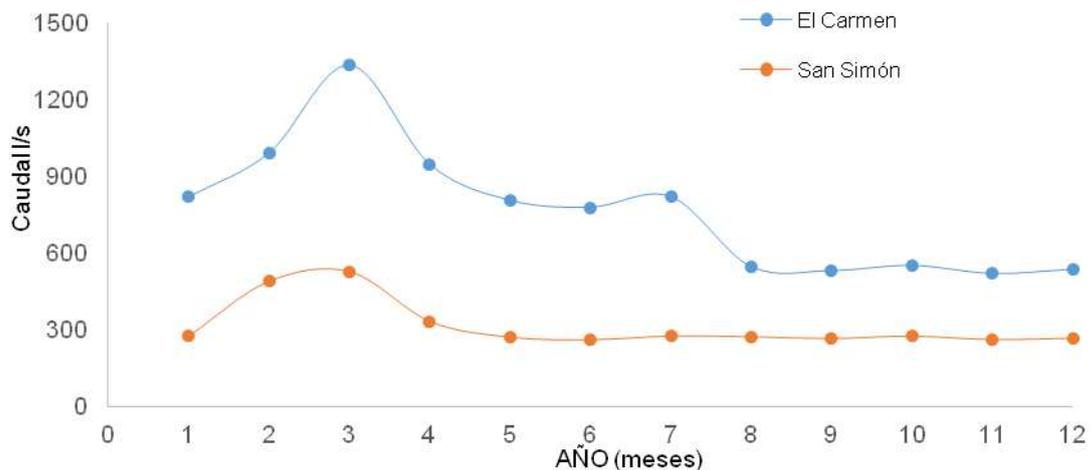
**Fuente:** Cobertura vegetal-uso de suelo de MAGAP, y CINFA-UNL, precipitación de INAMHI y CITIAB, UNL y cálculos de HEC-HMS®.



a) Estimación caudal con precipitación máxima 534,8 mm para escenario actual



b) Estimación caudal con precipitación máxima 534,8 mm para escenario pesimista



c) Estimación caudal con precipitación máxima 534,8 mm para escenario optimista

**Figura 37.** Caudales estimados para el escenario actual, pesimista y optimista, con base en 3 tipos de cobertura vegetal-uso del suelo, y precipitaciones mínimas,

**Fuente:** Cobertura vegetal-uso de suelo de MAGAP, y CINFA-UNL, precipitación de INAMHI y CITIAB, UNL y cálculos de HEC-HMS ®.

#### **4.8. ESTABLECER ESTRATEGIAS TENDIENTES A OPTIMIZAR EL CONSUMO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE.**

A continuación, se describen los problemas identificados durante el análisis de la información y estimación de la demanda de agua durante la presente investigación:

**Problema 1:** Uno de los principales problemas es la *Pérdida de agua en las redes de distribución (58,3 %)* debido al manejo técnico inadecuado del sistema, y a la obsolescencia de la tubería, cuya vida útil se cumplió en 1990 (El Universo, 2006), año desde el cual se han realizado cambios en ciertos tramos. El valor de fugas y pérdidas ha sido determinado por la UMAPAL en el año 2016.

Cabe mencionar que desde el 14 de marzo de 2016 iniciaron las actividades del proyecto: *Plan de Ordenamiento y Desarrollo Sostenible del Casco Urbano Central de la Ciudad de Loja "REGENERAR"*, el cual pretende renovar el sistema de agua potable, y alcantarillado en su totalidad, realizar el soterramiento de cables de energía eléctrica, fibra óptica, telefonía, semaforización y mejoramiento del ornato del sector (Alvarado, 2016).

Diario El Telégrafo señala que, hasta el 18 de marzo de 2017, se han colocado 20,3 Km de redes de distribución de agua potable, de un total de 32 Km de polietileno de alta densidad, en reemplazo de tuberías de asbesto cemento. Información que será tomada en cuenta al momento de priorizar las estrategias.

**Problema 2:** Otro problema relevante es el consumo de 163,65 lit/hab/día (UMAPAL, 2016), valor excesivo al ser comparado con los datos de la OMS (2003), y ONU (2010), que estipulan en 100 lit/hab/día como óptimo para garantizar que se cubran las necesidades básicas, evitando que no surjan amenazas a la salud.

##### **4.8.1. Identificación de Alternativas**

Se encontraron cuatro estrategias de uso eficiente y ahorro del agua, las cuales emergen de las interfases: *Recursos Hídrico – Usuario Institucional – Usuario*. Finalmente se agruparon en dos categorías: las estrategias de tipo tecnológico y las de tipo cultural. Para el presente estudio, es importante aclarar que al sistema Usuario lo integran la población de la ciudad de Loja, y su relación con aquellos instrumentos de planificación como son: Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017. Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento, Agenda Nacional, Agenda Zonal: Zona 7 y Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GAD Municipal de Loja (tabla 33).

**Tabla 33. Estrategias planteadas, según sistemas: Recurso hídrico, Institucional y Usuario.**

SISTEMAS	ESTRATEGIAS	INTERFASE	RELACIÓN INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN
RECURSO HÍDRICO	Conservación y manejo integral de las microcuencas de captación de agua	Lineamientos – político	<p>Constitución de la República del Ecuador, en sus artículos: 14 y 276, numeral 4, artículo 395 numeral 1, artículo 411.</p> <p>El objetivo 2 del Plan Nacional para el Buen Vivir señala “Auspiciar la igualdad, la cohesión, la inclusión y la equidad social y territorial, en la diversidad”.</p> <p>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, artículo 111.</p> <p>PDOT-Municipio de Loja “Ordenanza para la protección de las microcuencas y otras áreas prioritarias para la conservación del cantón Loja.</p>
INSTITUCIONAL	Reparación en red de distribución, evitando pérdidas y fugas de agua	Tecnológico – Reducir	<p>Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, artículo 55, literal d, y artículo 24 literal d.</p> <p>Plan Agenda Zonal 7, Apoyar la creación del plan integral de agua y alcantarillado, que contemple los respectivos diagnósticos por cuenca hidrográfica, para lograr una cobertura equitativa de acuerdo con las características territoriales.</p>
USUARIOS	Educación Ambiental	Cultural – Educar	<p>Constitución de la República del Ecuador, artículo 83, literal 6.</p> <p>Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, artículo 136.</p> <p>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, artículo 18, literal t, Artículo 59, y artículo 83 literal f y h.</p>
	consumo y de uso responsable del agua	Lineamientos – político; Cultural – Educar	<p>La Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) plantea la Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento (ENAS) en su Programa Nacional de Asistencia Técnica plantea en sus objetivos:</p> <p>Mejorar la calidad de los servicios de agua y saneamiento</p> <p>Mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los servicios</p> <p>Apoyar en la introducción de modelos de gestión público comunitarios,</p> <p>Y el Programa Nueva Cultura del Agua, plantea los objetivos:</p> <p>Sensibilizar y promover hábitos de higiene adecuados, prácticas de consumo y de uso responsable de los servicios de agua y saneamiento</p>

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.8.2. Descripción de Alternativas Seleccionadas

Como principio básico para la selección de estas cuatro estrategias se tomaron en cuenta la fase de diagnóstico, y los resultados obtenidos. Estas estrategias son adaptaciones de otras metodologías y del esquema conceptual que son sustento primordial del presente informe. A continuación, desde las tablas 33 hasta la 36 se describe las estrategias propuestas.

**Tabla 34. Estrategia 1. Conservación de microcuencas captadoras de agua,**

<b>Nombre de la estrategia:</b>	Conservación y manejo integral de las microcuencas de captación de agua
<b>Interface:</b>	Político – lineamientos
<b>Objetivo:</b>	Eficiencia para lograr una mayor durabilidad de los recursos hídricos,
<b>Actores de articulación:</b>	GAD Municipal de Loja, Ministerio del Ambiente, GAD Parroquiales, Dirección Provincial de Educación, Universidades, SENAGUA, FORAGUA, ONG, GAD Provincial de Loja y comunidades de la zona de influencia, sociedad civil del cantón Loja,
<b>Aparato/aplicación que conforma la estrategia:</b>	Implementar mesas de trabajo interinstitucionales para conocer y discutir la problemática de degradación de áreas protegidas y zonas deforestadas y definir responsabilidades y plantear acciones a fin de reducir el problema,  Ordenanza sobre creación de zonas intangibles, que envite actividades agrícolas y pecuarias,  Sistema de compensación a los habitantes de las microcuencas: El Carmen y San Simón según ordenanza Registro Oficial Suplemento 151, del 20 de agosto 20
<b>Descripción (objeto):</b>	Estrategia de tipo político encaminada a proteger las microcuencas captadoras de agua, regeneración natural, protección de riveras y mejoramiento de la calidad y cantidad del agua.  Buena regulación hídrica, en tiempos de estiaje no se suspenderá el suministro de agua a los habitantes de la ciudad de Loja,
<b>Reducir:</b>	El avance de la frontera agrícola y pecuaria,

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 35. Estrategia 2. reparación de perdidas y fugas en red de distribución,**

<b>Nombre de la estrategia:</b>	Reparación de fugas
<b>Interface</b>	Tecnológico - Reducir
<b>Objetivo:</b>	Optimizar el sistema de distribución de agua potable
<b>Actores de articulación:</b>	GAD Municipal de Loja: Personal técnico y operadores del sistema, Usuarios: barrios y comunidad en general,
<b>Aparato/aplicación que conforma la estrategia</b>	Cambio de la red de distribución obsoleta de asbesto cemento por tubería de polietileno de alta densidad, ejecutado desde marzo de 2016 por el proyecto "REGENERAR", Mantenimiento preventivo, evitar o reducir el Golpe de Ariete, mediante el control en tiempo de apertura y cerrado de válvulas, Instalación de mecanismos que ayuden a disipar la presión generada, reduciendo el impacto en el sistema de distribución
<b>Descripción (objeto)</b>	Estrategia de tipo tecnológico para reducir las fugas y pérdidas detectadas en el sistema de conducción de agua, De incidencia técnica sobre la ingeniería del sistema,
<b>Reducir:</b>	Se espera que al finalizar la colocación de 31 Km de tubería de asbesto cemento las pérdidas por fugas se reduzca de 58,3 % a 20 % para que el nivel sea considerado como bajo RAS, (2000),

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 36. Estrategia 3. Educación ambiental enfocada a elevar la conciencia del ahorro del agua,**

<b>Nombre de la estrategia:</b>	Educación Ambiental
<b>Interface</b>	Cultural – Educar
<b>Objetivo:</b>	Promover una actitud positiva y responsable en el manejo integral de los recursos naturales y en la búsqueda conjunta de soluciones de las necesidades del ahorro de agua,
<b>Actores:</b>	GAD Municipal de Loja, Dirección Provincial de Educación, Instituciones de Educación Superior, organizaciones barriales y comunitarias, y usuarios,
<b>Aparato/aplicación que conforma la estrategia:</b>	Socialización, campañas de sensibilización, actividades lúdicas: talleres y foros en escuelas y colegios
<b>Descripción (objeto):</b>	Estrategia de tipo cultural, tiene como objeto realizar campañas, talleres, foros de educación ambiental, Educación en materia del recurso hídrico busca crear opinión y conciencia responsable por parte de los usuarios, con medios de comunicación comprometidos y con actores sociales involucrados responsables, en la protección y mejoramiento de su entorno, Su implementación es de mediana complejidad ya que se puede requerir de asistencia profesional,
<b>Reducción:</b>	Según Plan Nacional del Buen Vivir (SENPLADES), el uso desmesurado del recurso agua,

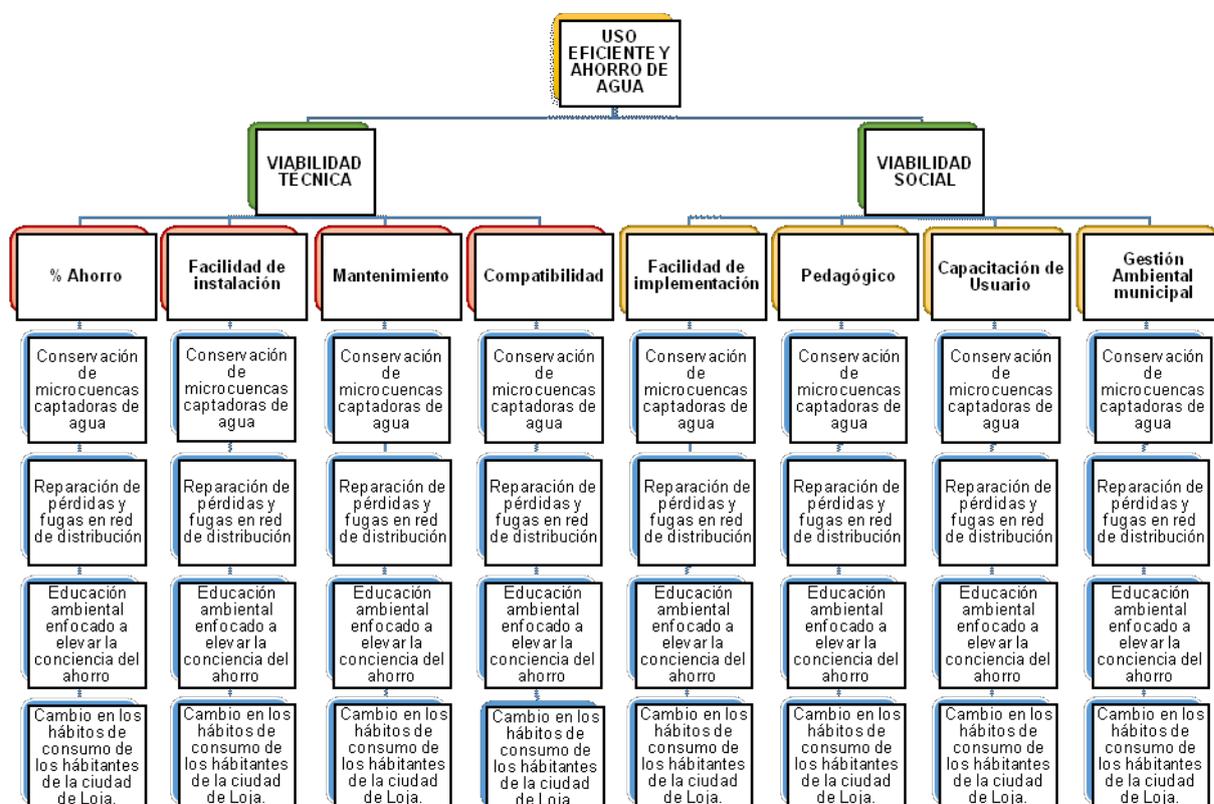
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 37. Estrategia 4. Cambio en los hábitos de consumo de los habitantes de la ciudad de Loja.**

<b>Nombre de la estrategia:</b>	Cambio en los hábitos de consumo
<b>Interface</b>	Político – Lineamiento; Cultural – Educar
<b>Objetivo:</b>	Fomentar una cultura del agua, basada en el compromiso de valoración y preservación del recurso hídrico, bajo un esquema de desarrollo sustentable
<b>Actores:</b>	GAD Municipal, GAD Parroquiales, ONG, Centros de educación superior, Usuarios,
<b>Aparato/aplicación que conforma la estrategia</b>	Generación e implementación de política pública alrededor de la gestión social de agua, taller, congreso, foro, campañas de capacitación y socialización, y seminario a los habitantes de la ciudad de Loja,
<b>Descripción (objeto)</b>	Estrategia de tipo cultural, tiene como objeto modificar los comportamientos de los usuarios para lograr un uso eficiente del recurso hídrico en la ciudad de Loja. Estos cambios son netamente de conducta y estos pueden incluir: minimizar el consumo en las actividades cotidianas para que disminuyan las pérdidas, revisar que no se produzcan fugas internas en los domicilios de los usuarios, reportar al personal de mantenimiento del GAD Municipal cualquier fuga o falla en el sistema de distribución, Su implementación es de baja complejidad y en cuanto a su mantenimiento puede ser periódico,
<b>Reducir:</b>	Según ONU-OMS de 163,65 litro/habitante/día a 120 litro/habitante/día, logrando un uso óptimo,

**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 38, se muestra la jerarquización del problema, en el primer nivel se ubica la meta general, en el segundo nivel los criterios, en el tercer nivel se encuentran los subcriterios y finalmente en el cuarto nivel están las estrategias planteadas.



**Figura 38.** Esquema de Jerarquización

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las tablas obtenidas de la aplicación del método AHP, En el Anexo 3 y 5, se puede observar las calificaciones de la Matriz por Pares (MCP) para las estrategias y subcriterios,

**Tabla 38.** Estrategias a jerarquizar

<b>Estrategias</b>	<b>1</b>	Conservación de microcuencas captadoras de agua,
	<b>2</b>	Reparación de pérdidas y fugas en red de distribución,
	<b>3</b>	Educación ambiental enfocada a elevar la conciencia del ahorro del agua,
	<b>4</b>	Cambio en los hábitos de consumo de los habitantes de la ciudad de Loja,

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 39, se observa el valor promedio de prioridad, cálculo realizado del promedio de cada fila de la matriz normalizada (ver anexo 4, que se obtuvo de dividir

cada un de los valores de a matriz de comparación por pares, por la sumatoria de todos los valores de la columna en cada alternativa).

**Tabla 39. Matriz Normalizada de la MCP, para alternativas del Método AHP**

VIABILIDAD TÉCNICA						VIABILIDAD SOCIAL					
PORCENTAJE (%) AHORRO						FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN					
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Promedio Prioridad	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Promedio Prioridad
Est 1	0,11	0,21	0,06	0,13	<b>0,13</b>	Est 1	0,21	0,33	0,15	0,36	<b>0,26</b>
Est 2	0,22	0,43	0,57	0,38	<b>0,40</b>	Est 2	0,07	0,11	0,15	0,09	<b>0,11</b>
Est 3	0,56	0,21	0,28	0,38	<b>0,36</b>	Est 3	0,62	0,33	0,46	0,36	<b>0,44</b>
Est 4	0,11	0,14	0,09	0,13	<b>0,12</b>	Est 4	0,10	0,22	0,23	0,18	<b>0,18</b>
FACILIDAD DE INSTALACIÓN						PEDAGÓGICO					
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Promedio Prioridad	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Promedio Prioridad
Est 1	0,35	0,19	0,18	0,27	<b>0,25</b>	Est 1	0,25	0,30	0,20	0,18	<b>0,23</b>
Est 2	0,18	0,19	0,36	0,36	<b>0,27</b>	Est 2	0,25	0,30	0,20	0,55	<b>0,32</b>
Est 3	0,35	0,56	0,36	0,27	<b>0,39</b>	Est 3	0,25	0,30	0,20	0,09	<b>0,21</b>
Est 4	0,12	0,06	0,09	0,09	<b>0,09</b>	Est 4	0,25	0,10	0,40	0,18	<b>0,23</b>
MANTENIMIENTO						CAPACITACIÓN USUARIOS					
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Promedio Prioridad	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Promedio Prioridad
Est 1	0,12	0,06	0,12	0,22	<b>0,13</b>	Est 1	0,14	0,21	0,09	0,13	<b>0,14</b>
Est 2	0,35	0,17	0,15	0,22	<b>0,22</b>	Est 2	0,29	0,43	0,55	0,38	<b>0,41</b>
Est 3	0,47	0,69	0,59	0,44	<b>0,55</b>	Est 3	0,43	0,21	0,27	0,38	<b>0,32</b>
Est 4	0,06	0,09	0,15	0,11	<b>0,10</b>	Est 4	0,14	0,14	0,09	0,13	<b>0,13</b>
COMPATIBILIDAD						GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL					
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Promedio Prioridad	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Promedio Prioridad
Est 1	0,20	0,31	0,17	0,25	<b>0,23</b>	Est 1	0,14	0,11	0,11	0,20	<b>0,14</b>
Est 2	0,10	0,15	0,17	0,25	<b>0,17</b>	Est 2	0,29	0,22	0,22	0,20	<b>0,23</b>
Est 3	0,60	0,46	0,50	0,38	<b>0,48</b>	Est 3	0,29	0,22	0,22	0,20	<b>0,23</b>
Est 4	0,10	0,08	0,17	0,13	<b>0,12</b>	Est 4	0,29	0,44	0,44	0,40	<b>0,39</b>

Fuente: Elaboración propia,

En la tabla 40, se observa el factor de priorización aplicado a los subcriterios,

**Tabla 40. Factor de priorización para los subcriterios**

<b>MATRIZ NORMALIZADA - VIABILIDAD TÉCNICA</b>					
<b>SUBCRITERIOS</b>	<b>% Ahorro</b>	<b>Facilidad de Instalación</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Compatibilidad</b>	<b>Promedio Prioridad</b>
% Ahorro	0,52	0,67	0,46	0,38	<b>0,51</b>
Facilidad de Instalación	0,13	0,17	0,31	0,25	<b>0,21</b>
Mantenimiento	0,17	0,08	0,15	0,25	<b>0,17</b>
Compatibilidad	0,17	0,08	0,08	0,13	<b>0,11</b>

<b>MATRIZ NORMALIZADA - VIABILIDAD SOCIAL</b>					
<b>SUBCRITERIOS</b>	<b>Factibilidad de implementación</b>	<b>Pedagógico</b>	<b>Capacitación Usuarios</b>	<b>Compatibilidad</b>	<b>Promedio Prioridad</b>
Factibilidad de implementación	0,13	0,18	0,33	0,29	<b>0,23</b>
Pedagógico	0,50	0,36	0,33	0,29	<b>0,37</b>
Capacitación Usuarios	0,13	0,09	0,17	0,14	<b>0,13</b>
Compatibilidad	1,00	1,00	1,00	1,00	<b>1,00</b>

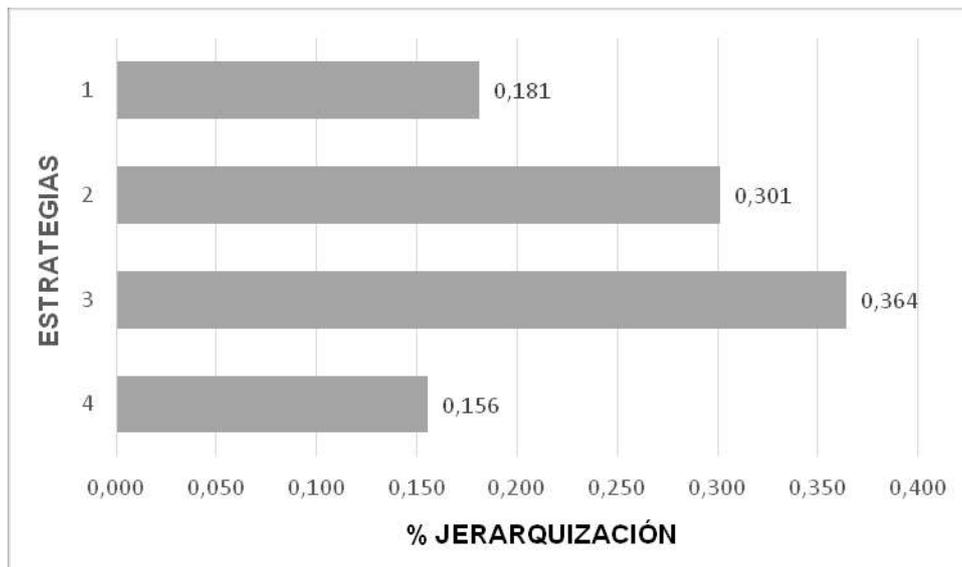
**Fuente:** Elaboración propia,

Finalmente, se realiza la jerarquización de acuerdo a la multiplicación de los valores de promedio prioridad de las estrategias por el promedio de prioridad de los subcriterios. El valor "Total" es la sumatoria de las filas de las estrategias, las cuales se dividen por el número de criterios (02) que en el presente estudio fueron: viabilidad técnica y viabilidad social, obteniendo así la "jerarquización" (ver tabla 41).

**Tabla 41. Síntesis de factor de priorización para estrategias**

<b>ESTRATEGIAS</b>	<b>% Ahorro</b>	<b>Facilidad de Instalación</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Compatibilidad</b>	<b>Factibilidad de implementación</b>	<b>Pedagógico</b>	<b>Capacitación Usuarios</b>	<b>Compatibilidad</b>	<b>TOTAL</b>	<b>JERARQUIZACIÓN</b>
	<b>Factores de Priorización para Subcriterios</b>									
	<b>0,51</b>	<b>0,214</b>	<b>0,165</b>	<b>0,115</b>	<b>0,267</b>	<b>0,231</b>	<b>0,371</b>	<b>0,131</b>		
<b>Estrategias 1</b>	0,065	0,053	0,021	0,027	0,070	0,054	0,053	0,019	0,362	<b>0,181</b>
<b>Estrategias 2</b>	0,203	0,058	0,037	0,019	0,028	0,075	0,151	0,031	0,603	<b>0,301</b>
<b>Estrategias 3</b>	0,182	0,083	0,090	0,056	0,119	0,049	0,120	0,031	0,728	<b>0,364</b>
<b>Estrategias 4</b>	0,060	0,019	0,017	0,013	0,049	0,054	0,046	0,052	0,311	<b>0,156</b>

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 39.** Jerarquización final de las estrategias método AHP.  
**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 39, se muestran los resultados de jerarquización, el orden a priorizar las estrategias, de acuerdo a su ponderación y su valor próximo a 1. De mayor a menor son: estrategia 3 (educación ambiental) seguida de la estrategia 2 (reparación de pérdidas en fugas en red de distribución de agua), estrategia 1 (Conservación de microcuencas captadoras de agua), y finalmente la estrategia 4 (Cambio en los hábitos de consumo).

Cabe mencionar que para el año 2016, el sistema de distribución de agua potable era totalmente ineficiente, sin embargo en dicho año inició el cambio de tubería obsoleta por polietileno resistente, acción realizada por el Gobierno Municipal de Loja, precedente que fue tomado en cuenta al momento de asignar peso a la estrategia 2, respecto de la estrategia 3. El cambio de tubería aún no se ha realizado en su totalidad, lo que no permite evaluar los nuevos porcentajes de pérdidas y fugas, que se espera sea menores. Es así que se priorizó la estrategia 3, la cual pretende elevar la conciencia de la población de la ciudad de Loja en en el ahorro de agua potable, logrando una dotación óptima, con valores cercanos a los establecidos por la ONU y OMS.

En síntesis, la priorización realizada indica la importancia con la que se debe implantar o ejecutar cada una de las estrategias dando como resultado que la estrategia tres (educación ambiental) es la primera a implementar, de acuerdo a los criterios de viabilidad técnica y social,

## 5. CONCLUSIONES

La variabilidad espacio temporal de la precipitación es muy alta, las estaciones meteorológicas muestran una distribución espacial heterogénea, como se puede observar en las estaciones meteorológicas La Argelia (M033) y PARSTA que generan una diferencia de 1.500 mm, de registros promedio mensual. La influencia de los efectos orográficos hace que la precipitación tenga una alta variabilidad espacial. Las precipitaciones están fuertemente correlacionadas a distancias inferiores a los 4000 m (4 Km). Dicha variación de la precipitación está controlada principalmente por corrientes marinas, variables topográficas, procesos climatológicos y la interacción de ambos. Podría concluirse que el método geoestadístico de kriging ordinario (KO), para el caso estudiado, es ligeramente superior a los otros dos métodos analizados.

El Balance Hídrico con déficit cero, se debe a una elevada precipitación versus la ETP, que depende de la latitud, la radiación astronómica por latitud y la temperatura media mensual.

Los resultados de la modelación en HEC-HMS ® dependen del grado de confiabilidad de la información ingresada en el modelo, para este caso se emplearon precipitaciones sintéticas, conservando las magnitudes correspondientes al valor promedio mensual de las estaciones meteorológicas, la distribución temporal de la lluvia se realizó analizando la tendencia que se presentaba en el sector, no se tomó una lluvia específica. El parámetro sensible en la simulación hidrológica es el NC de 75 a 70, este último valor presentó un mejor ajuste de los resultados. La calibración se realizó en base a un “área experimental” dentro de la zona de estudio, los datos observados versus los calculados muestran una aproximación a los datos reales, el coeficiente de eficiencia de Nash de 0,61 % señala un criterio de ajuste muy bueno, y un coeficiente de determinación  $R^2= 0,82$  que determina una excelente correlación entre dichas variables.

La demanda de agua potable de la ciudad de Loja (17.585.583 m<sup>3</sup>/año) es cubierta por el caudal generado en las microcuencas captadoras de agua, para el año 2016 la dotación de agua potable fue de 163,65 lit/hab/día, y se proyecta una dotación de 100 lit/hab/día para el año 2040, valor recomendado por la OMS y ONU que establecen 100 lit/hab/día que bajo estas condiciones permite obtener un excedente de agua. Las fugas y pérdidas del 58,3 % que se ocasionan en el sistema de distribución de agua potable, exceden el valor establecido por la RAS que señala al 40 % como valor alto de pérdidas y fugas.

La cobertura vegetal – uso de suelo genera grandes cambios y problemas sobre la hidrología de las dos microcuencas, los escenarios: actual, pesimista y optimista permiten estimar proyecciones futuras en la generación de caudales y dotación de agua potable a los habitantes de la ciudad de Loja, al modificar variables como el NC, precipitación, número de habitantes y porcentaje de fugas y pérdidas en el sistema de distribución de agua potable; se evidenció que las microcuencas con escenario “pesimista” responden de manera rápida a los eventos de lluvia, y su aporte en épocas de estiaje es mínimo o nulo, los caudales base tienden a disminuir notoriamente, presentando una respuesta rápida a precipitaciones, generando picos mayores, mientras que las microcuencas con cobertura no degradada escenario “optimista” y presencia de cobertura boscosa actúan de manera diferente, presentan una respuesta hidrológica lenta durante eventos fuertes de precipitación evitando crecidas de gran magnitud. Además, en épocas de escasez de lluvia regulan el aporte de agua hacia el cauce principal. Las simulaciones de escenarios determinan que las cuencas con un manejo adecuado de los recursos permiten mantener a través del tiempo una regulación hídrica en cantidad y calidad.

Las estrategias planteadas en la investigación son el resultado de un análisis de información, basado en un esquema conceptual, adaptación de principios y conceptos de varios autores sobre Desarrollo Sustentable y la Teoría General de Sistemas, El proceso de Analytic Hierarchy Process (AHP) permite la toma de decisiones en situaciones en las que se presenten múltiples criterios. Basándose en información tanto cualitativa como cuantitativa según el conocimiento de los actores y los datos utilizados en el proceso, de acuerdo con criterios de viabilidad técnica y social, la jerarquización permite identificar a la estrategia tres (3) “Educación Ambiental” como la primera a implementar. Es importante resaltar la articulación entre las estrategias planteadas y los instrumentos de planificación del Estado Ecuatoriano y GAD Municipal de la Ciudad de Loja, ya que estas contribuyen al fortalecimiento y mejoramiento de la gestión y el desempeño ambiental.

Y finalmente, la presente investigación contribuirá al desarrollo sustentable de la ciudad de Loja, mediante las propuestas basadas en la educación ambiental, sobre el cambio de hábitos; lineamientos que pueden ser aplicados por la Municipalidad, y así lograr un uso racional del agua potable durante las actividades diarias de sus habitantes, además de la conservación (regeneración natural) de las microcuencas captadoras de agua cruda para potabilización, un manejo técnico adecuado y cambio

en tuberías de distribución obsoletas. Evitando así, que la cantidad, calidad y dotación del agua se vea afectada a corto o mediano plazo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Sin duda un agradecimiento a Dios y a la Pachamama por haber equilibrado mi vida, y permitieron que viva esta experiencia lejos de mi patria. A la Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, y en especial a la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas por los conocimientos impartidos a través de cada uno de sus docentes.

A mi director Gerardo Denegrí, por todo su apoyo brindado, A Natalia Samaniego por su Codirección: guía, información, consejos y aporte en la presente investigación, a mi “pana” Diego Mejía por haber “acolado” durante todo el proceso que duró la presente investigación con información científica, bases de datos, y consejos (esas bielas fueron fructíferas), sin duda a todos ellos “Que Dios les pague”.

A todas las personas de los distintos países que me crucé durante mi estadía en la ciudad de La Plata, aprendí de cada uno de ustedes

Y finalmente, dedico este trabajo a mis padres, hermanos y sobrinos; y en especial a mi querida abuelita Manuela Jumbo, gracias por tu apoyo en los distintos ámbitos, tus bendiciones y por creer desde siempre en mí.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

ABAD, I. (2014), *Estimación de precipitación espacial mediante correlación con variables secundarias y la ayuda de tecnologías de información geográfica* (Tesis Maestría). Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

AGUILAR, I. (2007). *Las Cuencas y la Gestión del Riesgo*, Serviprensa S. A. Guatemala, Guatemala. 45 p.

AGUIRRE, N. (2007). *Manual para el Manejo Sustentable de Cuencas Hidrográficas*. Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador, 115 p-

ALBARRÁN, M., BANDA, F., COLLA, E., CONCHA, H., FERREIRA, M., FIGUEROA, A., & ORELLANA, J. (1997). *Proyecto: Reducción de pérdidas en sistemas de agua potable* (Informe sobre preparación y evaluación de proyectos). Pontificia Universidad Católica de Chile.

ALVARADO, R. (2016). *Loja construye su futuro con regeneración urbana*. Recuperado de <http://www.loja.gob.ec/noticia/2016-02/loja-construye-su-futuro-con-regeneracion-urbana>

ALVARADO, R. (2002). *Levantamiento de las Unidades de Paisaje de la Cuenca Zamora Huayco provincia de Loja*. Fundación Ecológica Arcoíris. Programa Atlas de las Américas, *The Nature Conservancy*. Loja – Ecuador.

Anónima, (2002, enero 09). *Proyecto de Aguas Subterráneas beneficiará a más de 500 mil habitantes*. *La Hora*, p, 22 a. Recuperado de [http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1000046938/-1/Proyecto de Aguas Subterr%C3%A1neas beneficiar%C3%A1 a m%C3%A1s de 500 mil habitantes.html#V92n7fDhChc](http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1000046938/-1/Proyecto%20de%20Aguas%20Subterr%C3%A1neas%20beneficiar%C3%A1%20a%20m%C3%A1s%20de%20500%20mil%20habitantes.html#V92n7fDhChc)

Anónima. (2008, marzo 14). *El Municipio quiere ser dueño de las microcuencas*. *La Hora*. Recuperado de <https://www.lahora.com.ec/noticia/694159/home>

Anónima. (2010, noviembre 06). *Distribución y estiaje causan escasez de agua*. *La Hora*. p. 23 b. Recuperado de <http://lahora.com.ec/index.php/noticias/showm>

Anónima. (2013, noviembre 13). *Seis microcuencas abastecen de agua a Loja*. *El Telégrafo*. Regional Sur.

Anónimo. (2006, marzo 16). 120 km de tubería se cambian en Loja, *El Universo*, Recuperado de: <http://www.eluniverso.com/2006/05/19/0001/12/1058620B21664418B9BA2F831D386948.html>

Anónimo. (2014, enero 12). LOJA: UTPL estudia hábitat de oso andino y promueve conservación de la especie, *El Mercurio*, Recuperado de: <https://www.elmercurio.com.ec/413435-loja-utpl-estudia-habitat-de-oso-andino-y-promueve-conservacion-de-la-especie/>

Anónimo. (2015, noviembre 14). Ecuador consume más agua en la región. *El Comercio*. Recuperado de: <http://especiales.elcomercio.com/planeta-ideas/planeta/noviembre-14-del-2015/ecuador-consume-mas-agua-en-la-region>

Anónimo. (2016, noviembre 15). En el centro del país se consumen 166 litros diarios de agua por persona en promedio. *El Telégrafo*, Recuperado de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/informacion-general/1/en-el-centro-del-pais-se-consumen-166-litros-diarios-de-agua-por-persona-en-promedio>

Anónimo. (2017, marzo 17). La regeneración urbana de Loja avanza en 48%. *El Telégrafo*. Recuperado de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional-sur/1/la-regeneracion-urbana-de-loja-avanza-en-48>

APARICIO, F. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, Editorial Limusa, México 302 p.

ARMENTA, G. (2013). *Análisis detallado del efecto FOEHN generado por la cordillera Oriental en el alto Magdalena (Huila y Tolima)* (Tesis Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, DC.

ARMIJOS, J. (2015). *Análisis regional de las relaciones entre la geometría del cauce lleno de ríos de montaña con las características morfométricas de la cuenca drenante, Caso de estudio zona Interandina del sur del Ecuador* (Tesis Ingeniería). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador,

ARNOLD, J., & FOHRER, N. (2005). SWAT 2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrol Process*, 19(3), 563–572,

- ARNOLD, J., SRINIVASAN, R., MUTTIAH, S., & WILLIAMS, J., (1998). Large area hydrologic modeling and assessment – *Part 1: Model development*, *J, Am, Water Resour, Assoc*, 34(1). 73–89,
- ARREGUI, F. (2007). *Gestión Integral de Contadores de Agua*, España: Instituto Tecnológico del Agua.
- Asamblea Nacional. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*, Quito: Asamblea Nacional.
- BACUILIMA, F., BACUILIMA, J., & BERMEJO, W. (1999). *Caracterización de clima por Microcuencas en el Austro Ecuatoriano* (Tesis Maestría), Facultad de Ingeniería. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Benavides, J. & Solano, C. (2005). *Evaluación del Impacto Ambiental de los Planes de Forestación y Reforestación Ejecutados en la Cuenca Zamora Huayco del Cantón Loja* (Tesis de Ingeniería). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- Banco Mundial [BC]. (2013). América Latina: ¿Por qué las empresas de agua y saneamiento intentan ahorrar energía? Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2013/09/03/latin-america-water-lossenergy-efficiency>
- BASIST, A., BELL, G., & MEENTEMEYER, V. (1994). Statistical relationships between topography and precipitation patterns. *Journal Climate*. 1305-1315
- BASTIDAS, C. (2005). *Manual para el uso del modelo hidrológico HEC–HMS*, Departamento Ingeniería Hidrometeorológica. Universidad Central de Venezuela.
- BATES, B., KUNDZEWICZ, Z., WU, S., & PALUTIKOF, J. (2008). *El Cambio Climático y el Agua* (Informe Técnico Nro. 06). Ginebra, Suiza. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
- BAZO, J. (2014). *Proyecciones climáticas sobre Perú y su relación con el Fenómeno ENSO* (Tesis de Doctorado). Universidad de Vigo. Pontevedra, España.
- BECK E., MAKESCHIN, F., HAUBRICH, H., RICHTER, M., BENDIX, J., & VALAREZO, C, (2008), *The ecosystem* (Reserva Biológica San Francisco). Pp, 1-14,

BELTRÁN, B. (2015, octubre 08). La media diaria de consumo de agua en Quito subió 20 litros. *El Comercio*. Recuperado de <http://www.elcomercio.com/actualidad/media-diaria-consumo-agua-subio.html>

BELTRÁN, G. & ROSALES, O. (2012). Manual de Trabajos de Hidrología. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. 72 p

BELTRÁN, K., SALGADO, S., CUESTA, F., LEÓN, S., ROMOLEROUX, K., ORTIZ, E., CÁRDENAS, A., & VELASTEGUI, A. (2009). Distribución Espacial. Sistemas Ecológicos y Caracterización Florística de los Páramos en el Ecuador. *EcoCiencia*. Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA. Quito-Ecuador, 75 p.

BENDIX, J., ROLLENBECK, M., RICHTER, P., FABIAN, P., EMCK. (2008b), Climate, En: BECK E., BENDIX J., KOTTKE I., MAKESCHIN F., MOSANDL R, (eds.). Gradients in a tropical mountain ecosystem of Ecuador. *Ecological Studies*, Berlin, AI, 63-73 p.

BENDIX, J., ROLLENBECK, R., & PALACIOS, W. (2004). Cloud detection in the Tropics--a suitable tool for climate-ecological studies in the high mountains of Ecuador. *International Journal of Remote Sensing* 25:4521–4540.

BENDIX, J., TRACHTE, K., PALACIOS, E., ROLLENBECK, R., GÖTTLICHER, D., NAUSS, T., BENDIX, A. (2011). El Niño meets La Niña-anomalous rainfall patterns in the “traditional” El Niño region of Southern Ecuador. *Erdkunde* 65: 151-167 p.

BERNE, A., DELRIEU, G., CREUTIN, D., & OBLED, C, (2004). Temporal and spatial resolution of rainfall measurements required for urban hydrology, *Journal of Hydrology*, 299(3-4), 166–179. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.08.002

BONINI, J., & GUZMÁN, E. (2003). Estimación de caudales y sedimentos en la cuenca del río Chaguana, mediante el modelo matemático AVSWAT (Soil and Water Assessment Tools), Guayaquil, Ecuador, 43 p,

Brothers, K., (2009). DMA Design - One Size May Not Fit All, Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference, Ciudad Del Cabo, Sudáfrica.

BUSNELLI, J. (2009). *Evolución histórica, situación actual y perspectivas futuras del riesgo de inundación en la cuenca del Río Gastona, Tucumán* (Tesis Maestría). Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 626 p,

BUYTAERT, W., & DE BIÈVRE, B. (2012). Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes, *Water Resour, Res.*, 48, W08503, doi:10.1029/2011WR011755.

BUYTAERT, W., CÉLLERI, R., WILLEMS, P., BIÈVRE, B., & WYSEURE, G., (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*. 329(3-4), 413:421,

CANDELA, L., IGEL, W., JAVIER, & ARONICA, G. (2009). Impact assessment of combined climate and management scenarios on groundwater resources and associated wetland (Majorca, Spain). *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 376(3/4), 510:527.

CARBAJAL, K., & PIEDRA, R., (2007). *Inventario hidrológico de la cuenca superior del río Zamora aplicando sistemas de información geográfica [SIG]* (Tesis Ingeniería). Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador.

CARVAJAL, Y., ARANGO, D., & JIMÉNEZ, H. (2007). Estimación de caudales promedios mensuales por subcuencas hidrológicas mediante modelación con HEC-HMS, *Universidad Distrital Francisco José de Caldas* 11(21):14-28,

CEDEÑO, J., & CORNEJO, P. (2008). Evaluation of three precipitation products on ecuadorian coast, Availablet. Recuperado de: <http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/Workshops/Reanalysis2008/Documents/>

CEDEÑO, J., & DONOSO, M. (2010). Atlas pluviométrico del Ecuador (*Documento Técnico*). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. Universidad Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

CELLINI, J. (2005). *Estado y Propuesta de Manejo de los Recursos Naturales de la Cuenca del Arroyo Grande, Tierra del Fuego, Argentina* (Tesis Maestría). Universidad Nacional de La Plata.133 p.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE]. (2001). *Modulo I: Concepto, enfoques y estrategias para el manejo de cuencas hidrográficas*. Proyecto FOCUENCAS-CATIE-ASDI. Matagalpa, Nicaragua. 16 p.

CERVANTES, R., FAUSTINO, J., JIMÉNEZ, F., & BENEGAS, L. (2009). Principios y criterios para la cogestión de cuencas hidrográficas en América Tropical. *Revista Recursos Naturales y Ambiente* 56(57) 59:65.

CÉSPEDES, S., & MORENO, E. (2009). La urbanización y el crecimiento demográfico en relación al recurso agua: caso municipio de Chimalhuacán. Estado de México Quivera. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca. México, *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* 11(2).127:141

CHECKLAND, P. (2002), *La metodología de sistemas suaves en acción*. México, Noriega.

CHEREQUE, W. (1996). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima, Perú CONCYTEC.

Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM].

CASTAÑO, C. (2002). Páramos y ecosistemas altoandinos de Colombia en condición hotspot y global climatic tensor, Bogotá, 387 p.

Colombia. Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS Sección II: Título B. Sistema de Acueducto. Bogotá.

Colombia. Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2003), Reglamento Técnico del Sector del Agua Potable y Saneamiento Básico; Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua. (Guía-RAS-001), Bogotá.

COMER, P., FABER-LANGENDOEN, D., EVANS R., GAWLER, S., JOSSE, C., KITTEL, G., MENARD, S., PYNE, M., REID, M., SCHULZ, K., SNOW, K., & TEAGUE J. (2003). *Ecological Systems of the United States: A Working Classification of U.S. Terrestrial Systems*. NatureServe, Arlington. Virginia.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2011). *Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador* (Informe Final). Santiago de Chile.

CONTRERAS, K., CONTRERAS, J., CORTI, M., DURÁN, MAGHY., & ESCALANTE, M. (2008). El Agua un recurso para preservar (Informe sin número, Cátedra de Demografía). Mérida, Venezuela. Universidad Nacional de Los Andes.

CORTÉS, A. (2010). *Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en una ciudad de media montaña andina, caso de estudio: Manizales* (Tesis Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.

CRESPO, P., CELLERI, F., BUYTAERT, W., FEYEN, J., IÑIGUEZ, V., BORJA, P., & BIEVRE, B.}. (2010). *Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems*. En Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. 1 – 6 pp, Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22092>

CRESPO, P., COELLO, C., IÑIGUEZ, V., CISNEROS, F., CISNEROS, P., RAMÍREZ, M., & FEYEN, J. (2008, octubre). *Evaluación de SWAT2000 como herramienta para el análisis de escenarios de cambio de uso del suelo en microcuencas de montaña del sur del Ecuador*. Trabajo presentado en el XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito-Ecuador.

Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. (1998). Evaluación de los Recursos de Agua del Ecuador, Estados Unidos de Norte América.

Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual; Hydrologic Engineering Center.

DELGADILLO, A. & PÁEZ, G. (2008). Aspectos hidrológicos, subsuencas susceptibles a crecidas, escenario de riesgos por crecidas. Plan de Desarrollo Urbano del Municipio Antonio Pinto Salinas Bajo el enfoque de Gestión de Riesgos.

DEMEK, J. (1972). Manual of detailed geomorphological mapping, International Geographical Union, Commission on Geomorphological Survey and Mappingue. Prage.

DÍAZ, C., ESTELLER, A., & LÓPEZ, F. (2005). Recursos hídricos: Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. Uruguay. Piriguazú Ediciones - CIRA – UAEM.

DOUROJEANNI, A. (2009). Los desafíos de la gestión integrada de cuencas y recursos hídricos en América Latina y el Caribe. *Desarrollo Local Sostenible*. 3(8). Santiago, Chile. 13 p.

Ecuador, Ministerio del Ambiente [MAE]. (2012). Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental. Quito, Ecuador,

Ecuador. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales [FLACSO]. Ministerio del Ambiente [MAE]. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2008). Geo Ecuador: Informe sobre el estado del medio ambiente. 130 p.

Ecuador. GAD Municipal de LOJA; Grupo de Consultores Asociados [GCA] & Naturaleza y Cultura Internacional [NCI]. (agosto, 2006). Valoración del recurso hídrico en microcuencas abastecedoras de agua para el cantón Loja (Memoria Técnica).

Ecuador. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Loja. (2017). Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (Documento Microsoft Excel: Comercialización. Consumo de la ciudad de Loja 2006, 2010 y 2016).

Ecuador. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Loja. (2005). *Informe de Gestión Ambiental*, Recuperado de: [http://www.loja.gov.ec/loja/index.php?option=com\\_content&task=view&id=54&Itemid=115](http://www.loja.gov.ec/loja/index.php?option=com_content&task=view&id=54&Itemid=115),

Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos [INERHI]. Programa Regional Ecuatoriano para el Desarrollo del Sur [PREDESUR]. Consejo Nacional de Desarrollo [CONADE]. (1994). Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja, Recuperado de: <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea02s/ch14.htm>

Ecuador. Instituto Geofísico Militar [IGM]. (2013). Capas de Información Geográfica Básica. Escala 1:250.000. Quito, Ecuador.

Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2010). VII Censo de Población y VI de Vivienda del Ecuador, Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/loja.pdf>

Ecuador. Secretaria Nacional del Agua [SENAGUA]. (2011). Base de datos Concesiones. Quito.

Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2012). Proyección de la población ecuatoriana, por años calendario, según cantones: 2010-2020, Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

[inec/Poblacion\\_y\\_Demografia/Proyecciones\\_Poblacionales/proyeccion\\_cantonal\\_total\\_2010-2020.xlsx](#)

Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2001). Estudio sobre el cambio climático, Detección de cambio climático en el Ecuador. [www.inamhi.gov.ec/meteorologia/ecambio.htm](http://www.inamhi.gov.ec/meteorologia/ecambio.htm)

Ecuador. Instituto Oceanográfico de la Armada [INOCAR]. HERNÁNDEZ, F., & ZAMBRANO, E. (2007). Inicio, duración y término de la estación lluviosa en cinco localidades de la costa ecuatoriana. *14*(1). 8-11p.

Ecuador. Ministerio de Agricultura, Ganadería. Acuacultura y Pesca [MAGAP]; Programa Nacional de Regionalización [PRONAREG/ORSTOM]. (1984). Mapa de Suelos: Loja 1:200 000, Quito, Ecuador, Recuperado de [http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/Fuentes/no%20validas/ficfue\\_mappro.htm](http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/Fuentes/no%20validas/ficfue_mappro.htm)

Ecuador. Ministerio de Defensa; Instituto Espacial Ecuatoriano; Secretaria de Planificación y Desarrollo; Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP]; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2013). *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional Escala 1:25.000* (Memoria Técnica para el cantón Loja), 30 p.

Ecuador. Ministerio del Ambiente [MAE]. (2013). Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental, Subsecretaría de Patrimonio Natural, Quito.

Ecuador. Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Loja [UMAPAL]. (1998), Proyecto de manejo, Conservación y Protección de la Microcuenca Zamora Huayco. Ilustre Municipio de Loja (Informe sin número).

Ecuador. ENCALADA, T., CASTANIER, H., & CABEZAS, R. (1997). Fortalecimiento y Ampliación de los Servicios Básicos de Salud. Quito.

Ecuador, Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Loja [UMAPAL], Grupo de Consultores Asociados [GCA]. (2006). Memoria técnica valoración del recurso hídrico Loja, Ilustre Municipio de Loja (Informe sin número).

Ecuador. Universidad Nacional de Loja, [UNL]; & Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, [SNGR]. (2013). Vulnerabilidad a Nivel Municipal del Cantón Loja (Memoria Técnica para el cantón Loja). 30 p.

EMCK, P. (2007). A climatology of South Ecuador - with special focus on the major andean ridge as atlantic-pacific climate divide, Universität Erlangen, Nürnberg.

EMCK, P. (2007). *A Climatology of South Ecuador - With special focus on the major Andean ridge as Atlantic-Pacific climate divide* (Tesis Doctoral), Universität Erlangen-Nürnberg (FAU). Urn:nbn:de:bvb:29-opus-6563

EMMANUEL, I., ANDRIEU, H., LEBLOIS, E., & FLAHAUT, B. (2012), Temporal and spatial variability of rainfall at the urban hydrological scale, *Journal of Hydrology*, 430431, 162–172, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.02.013.

ERAZO, J. & PALACIOS, F. (2010). *Valoración ecológica y económica del servicio ambiental hídrico de la microcuenca Zamora Huayco y propuesta de una retribución económica* (Tesis Ingeniería). Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.

ESCOBAR, A. (2003). Mundos y conocimientos de otro modo. El programa de investigación de modernidad/colonialidad latinoamericana. *Tabula Rasa* 1(51-86). Bogotá, Colombia,

España. Ministerio de Medio Ambiente. LÓPEZ CADENAS DE LLANO F. (1998). Restauración Hidrológico-Forestal de cuencas y Control de la erosión. Libro Blanco Del Agua en España.

España. Municipalidad de Zaragoza y Fundación Ecología y Desarrollo. (2011). Guía Práctica para el Ahorro de Agua y Energía en el Hogar. Recuperado de: <http://www.aqua-dulce.org>.

ESTRADA, J. (2010). *Balance de nutrientes en sistemas agroforestales de cacao (Theobroma cacao) orgánico en el municipio de Waslala, Nicaragua* (Tesis Maestría). CATIE. San José de Costa Rica.

FEHSE, J., AGUIRRE, N., PALADINES, C., DE NIE D., HOFSTEDE R., & SEVINK, J. (1998). Caracterización de los bosques naturales de la sierra del Ecuador con mapa de bosques andinos. Quito-Ecuador.

FERNÁNDEZ, F., (1996). *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Madrid: Síntesis, 288 p.

FLORES, V., & CABRERA, M. (2012). *Elaboración de una guía eco-turística para la Microcuenca El Carmen, zona intangible del Parque Nacional Podocarpus del cantón Loja* (Tesis Ingeniería). Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador.

FOLEY, J., DEFRIES, R., ASNER, P., BARFORD, C., BONAN, G., CARPENTER, S., CHAPIN, F., COE, M., DAILY, C., GIBBS, H., HELKOWSKI, J., HOLLOWAY, T., HOWARD, E., KUCHARIK, C., MONFREDA, C., PATZ, J., PRENTICE I., RAMANKUTTY, N., SNYDER, P. (2005), Global consequences of land use, *Science*, New York, (309):570- 574.

FREDRIK, S., & WEI, J. (1995). Effect of heat transfer additives on the instabilities of an absorbing falling film. *Chemical Engineering Science* 50:3077-3097. Recuperado de: [doi.org/10.1016/0009-2509\(95\)00146-V](https://doi.org/10.1016/0009-2509(95)00146-V)

FRIES, A., ROLLENBECK, R., NAUSS, T., PETERS, T., & BENDIX, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization, *Agricultural and Forest Meteorology* 152: 17–30.

FRUMAU, K., BRUIJNZEEL, L., & TOBON, C. (2006). Hydrological measurement protocol for montane cloud forest, Annex 2, Final Technical Report DFID-FRP Project R7991. Vrije Universiteit, Amsterdam. 105 pp.

GARCÍA, S., & OTERO, J., (2005). *Estimación de la evapotranspiración real en la cuenca superior del río Lebrija* (Tesis Ingeniería). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

GASPARI, F., RODRÍGUEZ, A., SENISTERRA, G., DELGADO, M., & BESTEIRO, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional de La Plata: Edulp,

GASPARI, F., SENISTERRA, G., DELGADO, M., RODRÍGUEZ, A., & BESTEIRO, S. (2010). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. Grupo de Manejo de Cuencas. La Plata, Argentina. 321 p.

GASPARI, F., SINISTERRA, G., DELGADO, M., RODRÍGUEZ, A., & BESTERIO, S. (2009). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. La Plata, Argentina. 321 p.

GÓMEZ, L., GALICIA, E., VEGA, I., RAMÍREZ, J., & PALACIO, L. (2004). Proyección de los cambios de uso del suelo y vegetación en la sierra norte de Oaxaca: una aplicación de los modelos markovianos", III *Seminario Latinoamericano de Geografía Física*, Puerto Vallarta, Jalisco.

GONZÁLEZ, A. (2013). *Autodesarrollo y conservación de los recursos naturales de la microcuenca Zamora Huayco* (Tesis Maestría). Universidad Nacional de Loja.

GONZÁLEZ, M., DI PRIETO, L., GONZÁLEZ, M., ARGERICH, M., & CASTILLO, N. (s.f.). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para la gestión y planificación local. 55 p.

GOODRICH, D., FAURÈS, J., WOOLHISER, A., LANE, J., & SOROOSHIAN, S. (1995). Measurement and analysis of small-scale convective storm rainfall variability, *Journal of Hydrology*. 173(1–4). 283:308,

GREEN, C. (2003). *Water Economics, Principles and Practice* Wiley, West Sussex.

GRISHAM, A., & FLEMMING, W. (1998). Long Term Options for Municipal Water Conservation. En: *journal of the American water works association*, Julio 1998. No 34.

GUALPA, M. (2013). Efecto de la incertidumbre de las observaciones hidrometeorológicas en estudios hidrológicos. Zhurucay, Soldados y Mazar (*Tesis Ingeniería*). Universidad de Cuenca, Ecuador.

GUARDERAS, V. (2013). *Propuesta de rescate de la identidad cultural de la fiesta religiosa de la Virgen del Carmen en el barrio Zamora Huayco Alto El Carmen* (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Loja. Loja Ecuador.

HENAO, J. (1988). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Universidad Santo Tomas. Centro de enseñanza desescolarizada. Bogotá. 396 p.

HEVESI, J. (1992), Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics, Part I, *Journal of Applied Meteorology*, 661-676,

HORTON, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, *Bull, Geol, Soc, Am.*, 56:275-370

HOUGHTON, J. (1979). A model for orographic precipitation in the NorthCentral Great Basin. *Monthly Weather Review*. 1462-1475.

HUNT, A., & WATKISS, P. (2011). Climate change impacts and adaptation in cities: A review of the literature. *Clim Change*. 104, 13-49.

HURTADO, J. (2000). *Metodología de La Investigación Holística*. Caracas, Venezuela,

INSAURRALDE, J., & CAMPO, ALICIA M. (2012). La variabilidad temporal de las precipitaciones en el suroeste chaqueño, desde 1955 a 2009. En Universidad Nacional del Sur. IX Jornadas Nacionales de Geografía Física: CONICET, (73-82 p). Bahía Blanca.

JÁCOME, D., & PIEDRA, D. (2014). *Estudio comparativo de las modalidades de adquisición de software mediante el desarrollo a medida, compra de paquetes y servicios tipo cloud computing* (Tesis Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional.

JARAMILLO, A. (2005). *Clima andino y café en Colombia*. Cenicafé, 196 pp.

JOSSE, C., CUESTA, F., NAVARRO, G., BARRENA, V., CABRERA, E., CHACÓN, E., & TOVAR, A. (2009). *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*, Secretaría General de la Comunidad Andina. Lima-Perú, 96 p.

JUCKEM, P., HUNT, R., ANDERSON, M., & ROBERTSON, D. (2008). Effects of climate and land management change on streamflow in the driftless area of Wisconsin, *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 355(1/4), 123-130.

KANE, R. (2000). El Niño/La Niña relationship with rainfall at Huancayo, in the Peruvian Andes. *International Journal of Climatology*. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(200001)20:1

KITE, G. (1993). Computerized streamflow measurement using slug injection. *Hydrological Processes* 7:227–233.

KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., & RUBEL, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologische Zeitschrift* 15:259-263 p.

LAMBIN, E., & GEIST, H. (2006). *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes, Global Impacts*. Global Change - The IGBP Series. Berlin, 44 p.

LAMBIN, E., TURNER, B., GEISTA, H., AGBOLAC, B., ANGELSEN, A., BRUCE, J., COOMES, O., DIRZOG, R., FISCHER, G., FOLKEI, C., GEORGE, G., HOMEWOOD, K., IMBERNON, J., LEEMANS, R., LIN, X., MORANO, E., MORTIMORE, M., RAMAKRISHNAN, P., RICHARDS, J., STEFFEN, W., STONE, G., SVEDIN, U., VELDKAMP, T., VOGEL, C., & XUY, J. (2001). The causes of land-use and land cover change: moving beyond the myths, 261- 269 p.

LAVELL, A. (2011). Desempacando la adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo: Buscando las relaciones y diferencias: Una crítica y construcción conceptual y epistemológica. UICN – FLACSO. 45 p.

LI, Z., LIU, W., ZHANG, X., & ZHENG, F. (2009). Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 377(1/2). 35:42.

LOAYZA, A. (2017). *Variabilidad temporal de la producción de sedimentos en suspensión en microcuencas prioritarias de la provincia de Loja* (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.

LOPEZ & MINTEGUI. (1987). *Hidrología de superficie*, Ed., Salazar, Escuela Superior de Ingenieros de Montes, Madrid. España.

LÓPEZ CÁDENAS DE LLANO, F. (1998). *Restauración hidrológica forestal y control de la erosión, Ingeniería Ambiental*, Tragsa-Tragsatec, Ministerio del Medio Ambiente, Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. 945 p.

LUGO, J. (1988). *Elementos de Geomorfología Aplicada: Métodos Cartográficos*, México: Instituto de Geografía.

MADSEN, J., & ØLLGAARD, B., (1993). Floristic composition, structure, and dynamics of an upper montane rain forest in Southern Ecuador. *Nordic Journal of Botany* 14. 403-423.

MALDONADO, N. (1985). Contribución al Estudio del Clima en la Provincia de Loja.

*Revista Estudios Universitarios*, Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador, 111-140 p.

MALDONADO, N., VIVAR, F., & VELEZ, J. (2005). El clima de Loja, Rasgos generales, Casa de la Cultura Ecuatoriana.

MANGO, L., MELESSE, A., MCCLAIN, M., GANN, D., & SETEGN, S. (2011). Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: results of a modeling study to support better resource management, *Hydrol, Earth Syst, Sci* 15(22), 45-225.

MARTÍNEZ, F. (2009). *Influencia de la textura en la permeabilidad del suelo en la Subcuenca Zamora Huayco- cantón Loja* (Tesis Ingeniería). Universidad Técnica Particular de Loja.

MAS, J., & SANDOVAL, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México, *GeoTrópico* 5(1), 1:24,

MATTOS, S., GUTIERREZ, L., PARODI, G., & DAMIANO, F. (2010). Análisis de amenaza por inundación en área urbana empleando modelos hidrodinámicos y herramientas SIG. Buenos Aires, Argentina, 45 p.

MAZA, C. (2009). Clasificación y análisis de la cobertura vegetal sobre la subcuenca Zamora Huayco - cantón Loja (Tesis de Ingeniería). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.

MCPHADEN, M. (2002). El Niño and La Niña: Causes and Global Consequences, (M, C, Maccracken, J, S, Perry, Eds,) *Encyclopedia of Global Environmental Change*.

MEJÍA, D. (2017). *Estimación de la escorrentía en una microcuenca alto andina utilizando imágenes de radar de alta resolución* (Tesis Maestría, No publicada). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

MENA, S. (2010). *Evolución de la Dinámica de los escurrimientos en zonas de alta montaña: caso del volcán Antisana* (Tesis Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2503>

MESA, O. (2007). *¿A dónde va a caer este Globo? Acerca del futuro de la Tierra*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia, 348 p.

México. Colegio de Postgraduados [IRENAT]. (2002). *Empleo del Modelo SWAT para Generar Alternativas de Manejo en la Cuenca del Río Laja, Gto., México*. Recuperado de: <http://www.micascuencas.com/swat.pdf>,

México. Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado.

México. Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación Del Recurso Hídrico [CINARA]. (2007).

México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2007). Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla/n41.pdf>

México. Instituto Nacional de Ecología. FUENTES, J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. 47 p.

México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2010). Estimación de las demandas de consumo de agua, Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados.

MOLNAR, P. (2011). "Calibration", Watershed Modelling, SS 2011. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich, Switzerland.

MONASTERIO, M., & MOLINILLO, M., (2003). Venezuela, En: HOFSTEDE, R., SEGARRA, P., & MENA, P. (eds.), Los Páramos del Mundo, Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia, Quito, Pp, 205-236.

MONSALVE, G. (2000). *Hidrología en la Ingeniería*, Segunda Edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia, 382 p.

MONTOYA, Á. (2010). Apuntes de clase del curso de Hidrología. 50 p.

MOORE, R. (2004). Introduction to salt dilution gauging for streamflow measurement: Part 1. Streamline Watershed Management Bulletin 7(4):20 – 23.

MORA, S., & VALVERDE, R. (2005). Geología: Procesos de la dinámica interna y externa, Cartago. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

MOSQUERA, S., TIMBE, E., WINDHORST, D., BREUER, L., & GEORG FREDE, H. (2016). Hydro-geochemical Monitoring Guidelines for the “Reserve Biologica San Francisco” and the “Quinoas River Ecohydrological Observatory”. Recuperado de: <http://fb09-pasig.umwelt.uni-giessen.de/MonitoringGuidelines.pdf>

MYERS, N. (1997). *The world's forests and their ecosystem services, Nature is Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, G.C, Daily, Ed., Island Press. Washington, DC, 215-235.

NARNIA, L. (2007). Manual básico HEC-HMS 3,0,0 (Curso especialización: Cálculo de caudales y avenidas). Universidad de Granada. España.

NASH, E., & SUTCLIFFE, V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3): 282–290.

NEITSCH, S., ARNOLD, G., KINIRY, R., & WILLIAMS, R. (2001). Soil and water assessment tool user's manual; versión 2000, Grassland, soil and water research laboratory of agricultural research service and blackland research Center at Texas Agricultural Experiment Station. Temple, Texas, USA.

NEITSCH, S., ARNOLD, J., KINIRY, J., & WILLIAMS, J. (2005). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Verison 2005, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Sataion, Temple, Texas.

NEW, M., HULME, M., & JONES, P. (2000). Representing twentieth century space-time climate variability, Part II: Development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate, *Journal of Climate* 13: 2217–2238.

OCHOA, P., & MAZA, C. (octubre de 2008). *Riesgo de degradación de suelos con diferente uso en la subcuenca del rio Zamora Huayco, Loja*. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Congreso llevado a cabo en Quito, Ecuador.

OCHOA, P., FRIES, A., MONTESINOS, P., RODRÍGUEZ, J., & BOLL, J. (2016). Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. *Catena* 140:31- 42 p.

OCHOA, P., FRIES, A., MONTESINOS, P., RODRIGUEZ, J., BOLL, J. (2013). Spatial Estimation of Soil Erosion Risk by Land Cover Change in the Andes of Southern Ecuador. *Land Degradation and Development*, 26(6), 565 - 573, Recuperado de [file:///E:/Users/Usuario%20PC/Downloads/Erosion%20Ecuador%20%20LD&D,%202013%20\(1\).pdf](file:///E:/Users/Usuario%20PC/Downloads/Erosion%20Ecuador%20%20LD&D,%202013%20(1).pdf)

ORDOÑEZ, J. (2011). *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico* (Cartilla Técnica). Lima, Perú. Recuperado de [http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)

Organización de las Naciones Unidad para la Educación la Ciencia y Cultura [UNESCO], Programa Hidrológico Internacional [PHI]. (2003). *Balance hídrico superficial de América Latina* (Informe final). Guayaquil, Ecuador. Recuperado de [www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/PHISesion-5.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/PHISesion-5.pdf)

Organización de las Naciones Unidad para la Educación, la Ciencia y Cultura [UNESCO], Programa Hidrológico Internacional [PHI]. (2003). Balance hídrico superficial de América Latina (Informe final). Guayaquil, Ecuador. Recuperado de [www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/PHI-Sesion-5.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/PHI-Sesion-5.pdf)

Organización de las Naciones Unidas – Agua [ONU]. (2010). *Climate change adaptation: The pivotal role of water* Roma: FAO, Recuperado de <http://www.unwater.org/documents.html>

Organización de las Naciones Unidas [ONU], Programa de Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales [FRA]. (2005). Definiciones y Términos, Programa de evaluación de los recursos forestales, Departamento de Montes, FAO: Roma.

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2010). *Asamblea General de las Naciones Unidas: Derecho del humano al agua y el saneamiento*. Resolución A/RES/64/292, 2010 Roma: FAO, Recuperado de [www.un.org/Depts/dhl/resguide/r64sp.shtml](http://www.un.org/Depts/dhl/resguide/r64sp.shtml)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2002). Local Climate Estimator, Disponible en: [http://www.fao.org/nr/climpag/pub/en3\\_051002\\_en.asp](http://www.fao.org/nr/climpag/pub/en3_051002_en.asp)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (2009). Situación de los bosques del mundo 2009, Roma.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (2006). *Global forest resources assessment 2005, Progress towards sustainable forest management*, Roma: FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (2006). *Global forest resources assessment 2005, Progress towards sustainable forest management*, Roma: FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (2010). La deforestación disminuye en el mundo, pero continúa a ritmo alarmante en muchos países, Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/news/story/es/item/40952/icde/>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2003). *La cantidad de agua domiciliaria, el nivel del servicio y la salud*. Ginebra, Suiza. Recuperado de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1)

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [IPCC]. (2007). Cambio Climático, Base de las ciencias físicas, Resumen para responsables de políticas, (Resumen Técnico. Preguntas frecuentes, Contribución del Grupo de Trabajo 1 al Cuarto Informe de Evaluación). OMMUNEP, 153 p.

PEDERSEN, L., JENSEN, E., CHRISTENSEN, L., & MADSEN, H. (2010). Quantification of the spatial variability of rainfall based on a dense network of rain gauges, *Atmospheric Research*, 95(4). 441–454, doi:10.1016/j.atmosres.2009.11.007

Perú. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente [CEPIS]. (2002). Día inter americano del agua. Recuperado de: <http://www.paho.org/per/>

Perú. Organización Panamericana de la salud [OPS]. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada. Lima, 12 p.

PESCI, R. (2000). “Del Titanic Al Velero” La Vida Como Proyecto. Fundación CEPA, Buenos Aires, Argentina.

PETERS, T., DROBNIK, T., MEYER, H., RANKL, M., RICHTER, M., ROLLENBECK, R., THIES, R., & BENDIX J. (2012). Environmental Changes Affecting the Andes of Ecuador, DOI: 10.1007/978-3-643-38137-9\_2

PLADEYRA, S. (2003). Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapa-la, DF. México.

POURRUT, P., RÓVERE, O., ROMO, I., & VILLACRÉS, H. (1995). Clima del Ecuador, En: P, Pourrut, editor, El agua en el Ecuador, Clima, precipitaciones, escorrentía. Quito, 13-26 p.

PROAÑO, M., GAVILANES, M., VALENZUELA, P., & CISNEROS, C. (2006). Aplicación Del Modelo Swat En La Subcuenca del río Ambato: Proyecto Cuencas Andinas – CODESAN – GTZ. Quito, Ecuador, 44 p.

Programa para el Manejo de Agua y Suelo [PROMAS], Dirección de Investigación Universidad de Cuenca [DIUC]. (2004). Efectos de la cobertura vegetal en la regulación hidrológica de microcuenca de páramo. No Publicado.

RAMAKRISHNA, B. (1997). *Estrategias de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Conceptos y Experiencias*, Editorial de IICA. San José, Costa Rica, 338 p.

RAMÍREZ, M. (2012). *Metodología para la reducción de pérdidas en redes de agua potable y su puesta en práctica en la red de ciudad universitaria de la UNAM* (Tesis Ingeniería). Universidad Autónoma de México.

RANTZ, S. (1982). Measurement and Computation of Streamflo. Technical report, USGS

Red Latinoamericana de Cuencas Hidrográficas, [REDLACH]. (2009). Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas como aporte a la Mitigación de los Cambios Climáticos. Publicaciones FAO. Santiago, Chile. 18 p.

RICHTER, M., & MOREIRA-MUÑOZ, A. (2005). Heterogeneidad climática y diversidad de la vegetación en el sur de Ecuador: un método de fitoindicación. Revista Peruana de Biología 12(2). 217-238 p.

RICHTER, M., DIERTL, H., EMCK, P., PETERS, T., & BECK, E. (2009). Reasons for an outstanding plant diversity in the tropical Andes of Southern Ecuador, *Landsc, Online* 12, 1–35. doi:10.3097/LO.200912

RODRÍGUEZ, E., CAMACHO, L., VILLARREAL, J., JIMÉNEZ, A., SANTOS, C., & DUARTE, M. (2008). Análisis de la variabilidad espacio - temporal de la precipitación en una microcuenca urbana. Bogotá, Colombia. *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, 17, 139–153.

RODRÍGUEZ, M., & GORDÓN, D. (2015). Análisis Automático de la Susceptibilidad de las Inestabilidades de Laderas Provocadas por Terremotos en un Sector de la Cordillera de los Andes, Ecuador. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 28(1), 91-104.

ROLLENBECK, R., & BENDIX, J. (2011). Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations, *Atmospheric Research* 99: 277289 p.

ROLLENBECK, R., FABIAN, P., & BENDIX, J. (2006). Precipitation dynamics and chemical properties in tropical mountain forests of Ecuador, *Advances in Geosciences* 6: 73-76 p.

SAATY, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, Ed, McGrawHill, New York.

SALAVERRY, J. (2006). Macro-ecología de Los Andes Peruanos: Situación actual y dinámica de cambio en los últimos 20 000 años, Tecnológica – CONCYTEC. Lima, Perú.

SÁNCHEZ, L., & SÁNCHEZ, A. (2004). *Uso Eficiente Y Ahorro De Agua*, International Water and Sanitation C.

SÁNCHEZ, L., FLÓREZ, M., & MEJÍA, P. (2011). Caracterización de Pérdidas de Agua en el Sistema de Distribución del Acueducto “El Retiro”. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible.

SCHUMM, S. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlans at Perth-Amboy, New-Jersey, *Geo, Soc, Am, Bull.*, p,p, 597-646.

SEPULCHRE, P., SLOAN, L., SNYDER, M., FIECHTER, J. (2009). Impacts of andean uplift on the Humboldt current system: A climate model sensitivity study, *Paleoceanography* 24: 1-11 p.

SILES, J., & SOARES, D. (2003). *La fuerza de la Corriente: Gestión de Cuencas Hidrográficas con Equidad de Género*. San José, CR, Hivos/IUCN, 266 p.

SILVA, M., ALVEAR, C., & CARPIO, J. (2005). Modelación Hidrológica para pronóstico de caudales mediante la aplicación del paquete HEC-HMS ® en la cuenca del Río Paute, Disponible en: <http://www3.espe.edu.ec:8700/bitstream/21000/2090/1/T-ESPE-014940.pdf>

SMITH, R., & SMITH, T. (2001). *Ecología*, Madrid, España, 642.

SOLIS, H., OREAMUNDO, R., MURRILLO, W., & CHACON, J. (1993). Modelación hidrológica e hidráulica para el control de inundaciones en Centroamérica. CATIE, Costa Rica.

STRAHLER, N. (1952). Hypsometric area altitude analysis of erosional topography, *Bulletin of the Geological Society of America* 63:1117-1142.

SUCOZHAÑAY, A. (2014). *Análisis de la variabilidad espacio temporal de la precipitación en la ciudad de Cuenca durante el período febrero – julio de 2014* (Tesis Ingeniería). Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

TAPIA, J. (2012). *Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del Río Guayas en la producción de caudales y sedimentos* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina.

TAPIA, F., HOMEIER, J., ESPINOSA, C., LEUSCHNER, C., & DE LA CRUZ, M. (2015). Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since the 1970s – Losing a Hotspot of Biodiversity. *Revista Plos* 10(9): e0133701, Doi: [10.1371/journal.pone.0133701](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133701)

TARRAS-WAHLBERG, N., CAUDWELL, S., & LANE, S. (2006). El Niño events, rainfall patterns and floods in the Puyango river basin, Southern Ecuador, *Revista Brasileira de Meteorologia* 21: 201-210 p,

TASSARA, A. (2004, 01 junio). Características generales de la demografía del Ecuador (1990-2010), *Revista para la Docencia de Ciencias Económicas y Administrativas en el Ecuador*.

TÉMEZ, J. (1991). Extended and improved Rational Method, Proc, XXIV Congress, Madrid, España,

TVEITO, O., & SCHÖNER, W. (2002). Application of spatial interpolation of climatological and meteorological elements by the use of geographical information systems (GIS), *Klima Report No, 28/0*.

THORNTON, C. (1984). An approach towards a rational classification of climate, *Geogr, Rev, 38:55-94*.

THORNTON, J., & LAMBERT, A. (2005). Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships, Proceedings of the IWA Specialised Conference "Leakage 2005", Halifax, Nueva Escocia, Canadá

TOBÓN, C., BARRIONUEVO, M., BARRERO, J., BIEVRE, B., CRETZAZ, M., CUESTA, F., DOORNBOS, B., MARULANDA, A., MEDINA, G., & OSORIO, A. (2009). *Los bosques andinos y el agua*. Quito, ECOBONA.

TONELLO, K. (2005). *Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões* (Tesis Maestría). Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

TRUJILLO, C., & SARMIENTO, J. (2012). *Estrategias de uso eficiente y ahorro de agua en centros educativos, caso de estudio, edificio Facultad de Ciencias Ambientales* (Tesis Administrador Ambiental). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira Colombia.

UNESCO -PNUMA [Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization]. (1987). Congreso sobre Educación y Formación Ambiental, Moscú.

United Nations Commission for Human Settlements [UNCHCS]. (1995). Nueva York, USA,

UREÑA, N. (2004). *Efectos del aumento poblacional y del cambio de uso del suelo sobre los recursos hídricos en la Microcuenca del Río Ciruelas* (Tesis Maestría).

CATIE, Costa Rica.

VALENCIA, R., CERÓN, C., PALACIOS, W., & SIERRA, R. (1999). Los Sistemas de clasificación de la Vegetación propuestos para el Ecuador, En: Propuesta preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador continental, Ed., Sierra R, pp, 1928, Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia, Quito.

VEAS, N. (2011). *Gestión del agua para consumo humano en la microcuenca del río Purires, Costa Rica* (Tesis Maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.

Venezuela. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras [CIDIAT], Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales [MARN]. (1978). *Cuencas Hidrográficas*. Mérida, Venezuela: CIDIAT, 125 p.

VERÓN, S., PARUELO, J., & OESTERHELD, M. (2010). Grazing-induced losses of biodiversity affect the transpiration of an arid ecosystem. *Oecologia* 1780-1784.

VILLELA, S. & MATTOS, A. (1975). *Hidrología Aplicada*, São Paulo, McGraw-Hill, 245p.

VILLÓN, M. (2004). *Hidrología*, Cartago. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

VITOUSEK, P. (1994). Beyond Global Warming: Ecology and Global Change. *Ecology* 75(7), 1861-1876.

VUILLE, M., BRADLEY, R., & KEIMIG, F. (2000). Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate* 13: 2520-2535 p.

WAYLEN, P., & POVEDA, G. (2002). El Niño-Southern Oscillation and aspects of western South American hydro-climatology, *Hydrological Processes* 16: 1247-1260 p.

WUNDER, S. (2000). *The economics of deforestation: the example of Ecuador*, St, Martin. New York,

## ANEXOS

**Anexo 1, Factor de corrección  $f$ , por duración media de las horas sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una,**

Latitud	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D	
<b>NORTE</b>	50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
	45	0.80		1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
	40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
	35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
	30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
	25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.71	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
	20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
	15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
	10	0.98	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
	5	1.00	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	0.10
0	1.02	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.00	1.04	
<b>SUR</b>	5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
	10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
	15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
	20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
	25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
	30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
	35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
	40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
	45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36
	50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

Fuente: tomado de Juela (2011)

**Anexo 2, Consumo de agua potable de los distintos usuarios de la ciudad de Loja, 2016**

**Municipio de Loja**  
UNIDAD MUNICIPAL ADMINISTRATIVA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LOJA

COMERCIALIZACION  
CONSUMOS EN LA CIUDAD DE LOJA 2016

CATEGORIA	USUARIOS	MES												PROMEDIO	RECONOCIMIENTO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECEMBER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
RESIDENCIAL	BUENO	38097	38677	36780	36975	37102	37094	37147	37247	37384	37519	37645	37790	37926	38062	38198	38334	38470	38606	38742	38878	39014	39150	39286	39422	39558	39694	39830	39966	40102	40238	40374	40510	40646	40782	40918	41054	41190	41326	41462	41598	41734	41870	42006	42142	42278	42414	42550	42686	42822	42958	43094	43230	43366	43502	43638	43774	43910	44046	44182	44318	44454	44590	44726	44862	44998	45134	45270	45406	45542	45678	45814	45950	46086	46222	46358	46494	46630	46766	46902	47038	47174	47310	47446	47582	47718	47854	47990	48126	48262	48398	48534	48670	48806	48942	49078	49214	49350	49486	49622	49758	49894	50030	50166	50302	50438	50574	50710	50846	50982	51118	51254	51390	51526	51662	51798	51934	52070	52206	52342	52478	52614	52750	52886	53022	53158	53294	53430	53566	53702	53838	53974	54110	54246	54382	54518	54654	54790	54926	55062	55198	55334	55470	55606	55742	55878	56014	56150	56286	56422	56558	56694	56830	56966	57102	57238	57374	57510	57646	57782	57918	58054	58190	58326	58462	58598	58734	58870	59006	59142	59278	59414	59550	59686	59822	59958	60094	60230	60366	60502	60638	60774	60910	61046	61182	61318	61454	61590	61726	61862	61998	62134	62270	62406	62542	62678	62814	62950	63086	63222	63358	63494	63630	63766	63902	64038	64174	64310	64446	64582	64718	64854	64990	65126	65262	65398	65534	65670	65806	65942	66078	66214	66350	66486	66622	66758	66894	67030	67166	67302	67438	67574	67710	67846	67982	68118	68254	68390	68526	68662	68798	68934	69070	69206	69342	69478	69614	69750	69886	70022	70158	70294	70430	70566	70702	70838	70974	71110	71246	71382	71518	71654	71790	71926	72062	72198	72334	72470	72606	72742	72878	73014	73150	73286	73422	73558	73694	73830	73966	74102	74238	74374	74510	74646	74782	74918	75054	75190	75326	75462	75598	75734	75870	76006	76142	76278	76414	76550	76686	76822	76958	77094	77230	77366	77502	77638	77774	77910	78046	78182	78318	78454	78590	78726	78862	79002	79138	79274	79410	79546	79682	79818	79954	80090	80226	80362	80498	80634	80770	80906	81042	81178	81314	81450	81586	81722	81858	81994	82130	82266	82402	82538	82674	82810	82946	83082	83218	83354	83490	83626	83762	83898	84034	84170	84306	84442	84578	84714	84850	84986	85122	85258	85394	85530	85666	85802	85938	86074	86210	86346	86482	86618	86754	86890	87026	87162	87298	87434	87570	87706	87842	87978	88114	88250	88386	88522	88658	88794	88930	89066	89202	89338	89474	89610	89746	89882	90018	90154	90290	90426	90562	90698	90834	90970	91106	91242	91378	91514	91650	91786	91922	92058	92194	92330	92466	92602	92738	92874	93010	93146	93282	93418	93554	93690	93826	93962	94098	94234	94370	94506	94642	94778	94914	95050	95186	95322	95458	95594	95730	95866	96002	96138	96274	96410	96546	96682	96818	96954	97090	97226	97362	97498	97634	97770	97906	98042	98178	98314	98450	98586	98722	98858	98994	99130	99266	99402	99538	99674	99810	99946	100082	100218	100354	100490	100626	100762	100898	101034	101170	101306	101442	101578	101714	101850	101986	102122	102258	102394	102530	102666	102802	102938	103074	103210	103346	103482	103618	103754	103890	104026	104162	104298	104434	104570	104706	104842	104978	105114	105250	105386	105522	105658	105794	105930	106066	106202	106338	106474	106610	106746	106882	107018	107154	107290	107426	107562	107698	107834	107970	108106	108242	108378	108514	108650	108786	108922	109058	109194	109330	109466	109602	109738	109874	110010	110146	110282	110418	110554	110690	110826	110962	111098	111234	111370	111506	111642	111778	111914	112050	112186	112322	112458	112594	112730	112866	113002	113138	113274	113410	113546	113682	113818	113954	114090	114226	114362	114498	114634	114770	114906	115042	115178	115314	115450	115586	115722	115858	115994	116130	116266	116402	116538	116674	116810	116946	117082	117218	117354	117490	117626	117762	117898	118034	118170	118306	118442	118578	118714	118850	118986	119122	119258	119394	119530	119666	119802	119938	120074	120210	120346	120482	120618	120754	120890	121026	121162	121298	121434	121570	121706	121842	121978	122114	122250	122386	122522	122658	122794	122930	123066	123202	123338	123474	123610	123746	123882	124018	124154	124290	124426	124562	124698	124834	124970	125106	125242	125378	125514	125650	125786	125922	126058	126194	126330	126466	126602	126738	126874	127010	127146	127282	127418	127554	127690	127826	127962	128098	128234	128370	128506	128642	128778	128914	129050	129186	129322	129458	129594	129730	129866	130002	130138	130274	130410	130546	130682	130818	130954	131090	131226	131362	131498	131634	131770	131906	132042	132178	132314	132450	132586	132722	132858	132994	133130	133266	133402	133538	133674	133810	133946	134082	134218	134354	134490	134626	134762	134898	135034	135170	135306	135442	135578	135714	135850	135986	136122	136258	136394	136530	136666	136802	136938	137074	137210	137346	137482	137618	137754	137890	138026	138162	138298	138434	138570	138706	138842	138978	139114	139250	139386	139522	139658	139794	139930	140066	140202	140338	140474	140610	140746	140882	141018	141154	141290	141426	141562	141698	141834	141970	142106	142242	142378	142514	142650	142786	142922	143058	143194	143330	143466	143602	143738	143874	144010	144146	144282	144418	144554	144690	144826	144962	145098	145234	145370	145506	145642	145778	145914	146050	146186	146322	146458	146594	146730	146866	147002	147138	147274	147410	147546	147682	147818	147954	148090	148226	148362	148498	148634	148770	148906	149042	149178	149314	149450	149586	149722	149858	149994	150130	150266	150402	150538	150674	150810	150946	151082	151218	151354	151490	151626	151762	151898	152034	152170	152306	152442	152578	152714	152850	152986	153122	153258	153394	153530	153666	153802	153938	154074	154210	154346	154482	154618	154754	154890	155026	155162	155298	155434	155570	155706	155842	155978	156114	156250	156386	156522	156658	156794	156930	157066	157202	157338	157474	157610	157746	157882	158018	158154	158290	158426	158562	158698	158834	158970	159106	159242	159378	159514	159650	159786	159922	160058	160194	160330	160466	160602	160738	160874	161010	161146	161282	161418	161554	161690	161826	161962	162098	162234	162370	162506	162642	162778	162914	163050	163186	163322	163458	163594	163730	163866	164002	164138	164274	164410	164546	164682	164818	164954	165090	165226	165362	165498	165634	165770	165906	166042	166178	166314	166450	166586	166722	166858	166994	167130	167266	167402	167538	167674	167810	167946	168082	168218	168354	168490	168626	168762	168898	169034	169170	169306	169442	169578	169714	169850	169986	170122	170258	170394	170530	170666	170802	170938	171074	171210	171346	171482	171618	171754	171890	172026	172162	172298	172434	172570	172706	172842	172978	173114	173250	173386	173522	173658	173794	173930	174066	174202	174338	174474	174610	174746	174882	175018	175154	175290	175426	175562	175698	175834	175970	176106	176242	176378	176514	176650	176786	176922	177058	177194	177330	17746

**Anexo 3, Matriz Comparación por Pares MCP, para alternativas del Método AHP.**

VIABILIDAD TÉCNICA					VIABILIDAD SOCIAL				
Porcentaje (%) Ahorro					Facilidad de Implementación				
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4
Est 1	1	1/2	1/5	1	Est 1	1	3	1/3	2
Est 2	2	1	2	3	Est 2	1/3	1	1/3	1/2
Est 3	5	1/2	1	3	Est 3	3	3	1	2
Est 4	1	1/3	1/3	1	Est 4	1/2	2	1/2	1
<b>Sumatoria Total</b>	<b>9</b>	<b>2 1/3</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>Sumatoria Total</b>	<b>4 5/6</b>	<b>9</b>	<b>2 1/6</b>	<b>5 1/2</b>
Facilidad de Instalación					Pedagógico				
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4
Est 1	1	1	1/2	3	Est 1	1	1	1	1
Est 2	1/2	1	1	4	Est 2	1	1	1	3
Est 3	1	3	1	3	Est 3	1	1	1	1/2
Est 4	1/3	1/3	1/4	1	Est 4	1	1/3	2	1
<b>Sumatoria Total</b>	<b>2 5/6</b>	<b>5 1/3</b>	<b>2 3/4</b>	<b>11</b>	<b>Sumatoria Total</b>	<b>4</b>	<b>3 1/3</b>	<b>5</b>	<b>5 1/2</b>
MANTENIMIENTO					CAPACITACIÓN USUARIOS				
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4
Est 1	1	1/3	1/5	2	Est 1	1	1/2	1/3	1
Est 2	3	1	1/4	2	Est 2	2	1	2	3
Est 3	4	4	1	4	Est 3	3	1/2	1	3
Est 4	1/2	1/2	1/4	1	Est 4	1	1/3	1/3	1
<b>Sumatoria Total</b>	<b>8 1/2</b>	<b>5 5/6</b>	<b>1 2/3</b>	<b>9</b>	<b>Sumatoria Total</b>	<b>7</b>	<b>2 1/3</b>	<b>3 2/3</b>	<b>8</b>
COMPATIBILIDAD					GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL				
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4
Est 1	1	2	1/3	2	Est 1	1	1/2	1/2	1/2
Est 2	1/2	1	1/3	2	Est 2	2	1	1	1/2
Est 3	3	3	1	3	Est 3	2	1	1	1/2
Est 4	1/2	1/2	1/3	1	Est 4	2	2	2	1
<b>Sumatoria Total</b>	<b>5</b>	<b>6 1/2</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>Sumatoria Total</b>	<b>7</b>	<b>4 1/2</b>	<b>4 1/2</b>	<b>2 1/2</b>

**Anexo 4, Matriz Normalizada, para alternativas del Método AHP,**

VIABILIDAD TÉCNICA					VIABILIDAD SOCIAL				
PORCENTAJE (%) AHORRO					FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN				
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4
Est 1	1,00	0,50	0,20	1,00	Est 1	1,00	3,00	0,33	2,00
Est 2	2,00	1,00	2,00	3,00	Est 2	0,33	1,00	0,33	0,50
Est 3	5,00	0,50	1,00	3,00	Est 3	3,00	3,00	1,00	2,00
Est 4	1,00	0,33	0,33	1,00	Est 4	0,50	2,00	0,50	1,00
<b>Sumatoria Total</b>	<b>9,00</b>	<b>2,33</b>	<b>3,53</b>	<b>8,00</b>	<b>Sumatoria Total</b>	<b>4,83</b>	<b>9,00</b>	<b>2,17</b>	<b>5,50</b>
FACILIDAD DE INSTALACIÓN					PEDAGÓGICO				
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4
Est 1	1,00	1,00	0,50	3,00	Est 1	1,00	1,00	1,00	1,00
Est 2	0,50	1,00	1,00	4,00	Est 2	1,00	1,00	1,00	3,00
Est 3	1,00	3,00	1,00	3,00	Est 3	1,00	1,00	1,00	0,50
Est 4	0,33	0,33	0,25	1,00	Est 4	1,00	0,33	2,00	1,00
<b>Sumatoria Total</b>	<b>2,83</b>	<b>5,33</b>	<b>2,75</b>	<b>11,00</b>	<b>Sumatoria Total</b>	<b>4,00</b>	<b>3,33</b>	<b>5,00</b>	<b>5,50</b>
MANTENIMIENTO					CAPACITACIÓN USUARIOS				
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4
Est 1	1,00	0,33	0,20	2,00	Est 1	1,00	0,50	0,33	1,00
Est 2	3,00	1,00	0,25	2,00	Est 2	2,00	1,00	2,00	3,00
Est 3	4,00	4,00	1,00	4,00	Est 3	3,00	0,50	1,00	3,00
Est 4	0,50	0,50	0,25	1,00	Est 4	1,00	0,33	0,33	1,00
<b>Sumatoria Total</b>	<b>8,50</b>	<b>5,83</b>	<b>1,70</b>	<b>9,00</b>	<b>Sumatoria Total</b>	<b>7,00</b>	<b>2,33</b>	<b>3,67</b>	<b>8,00</b>
COMPATIBILIDAD					GESTIÓN MUNICIPAL				
ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	ESTRATEGIAS	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4
Est 1	1,00	2,00	0,33	2,00	Est 1	1,00	0,50	0,50	0,50
Est 2	0,50	1,00	0,33	2,00	Est 2	2,00	1,00	1,00	0,50
Est 3	3,00	3,00	1,00	3,00	Est 3	2,00	1,00	1,00	0,50
Est 4	0,50	0,50	0,33	1,00	Est 4	2,00	2,00	2,00	1,00
<b>Sumatoria Total</b>	<b>5,00</b>	<b>6,50</b>	<b>2,00</b>	<b>8,00</b>	<b>Sumatoria Total</b>	<b>7,00</b>	<b>4,50</b>	<b>4,50</b>	<b>2,50</b>

**Anexo 5, Matriz Comparación por Pares del Método AHP, viabilidad técnica,**

**MATRÍZ MCP - VIABILIDAD TÉCNICA**

SUBCRITERIOS	% Ahorro	Facilidad de Instalación	Mantenimiento	Compatibilidad
% Ahorro	1	4	3	3
Facilidad de Instalación	¼	1	2	2
Mantenimiento	1/3	½	1	2
Compatibilidad	1/3	½	½	1
<b>Sumatoria Total</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>6 1/2</b>	<b>8</b>

**Anexo 6, Matriz Comparación por Pares del Método AHP, viabilidad social,**

**MATRÍZ MCP - VIABILIDAD SOCIAL**

SUBCRITERIOS	Factibilidad de implementación	Pedagógico	Capacitación Usuarios	Compatibilidad
Factibilidad de implementación	1	2	1/2	2
Pedagógico	½	1	1	2
Capacitación Usuarios	2	2	1	2
Compatibilidad	½	½	1/2	1
<b>Sumatoria Total</b>	<b>4</b>	<b>5 1/2</b>	<b>3</b>	<b>7</b>