

# CAPITULO 5

## RESULTADOS

### 5.1.- Recopilación de bibliografía y definición del Área Experimental

Durante la fase de recopilación y a medida que se obtenían los datos, bibliografía e información necesaria para el procesamiento de estos, se realizaron conversaciones con personal técnico de las instituciones que mantienen a su cargo la captura, procesamiento y publicación de la información hidrológica, meteorológica, edáfica, suelos, imágenes satelitales, cartas topográficas, quienes orientaron las potenciales áreas para la aplicación de la metodología del tema elegido en función de la información disponible.

#### 5.1.1 Definición del Área Experimental

Dentro del área representativa de interés, se seleccionaron las Microcuencas del Río Colimes, del Río Daule, del Río Baba, del Río Toachi, del Río Lulu y del Río San Pablo. Se descartó la posibilidad de trabajar en la microcuenca del Río Colimes (ver Figura 22) debido a la falta de información hidrometeorológica (necesaria para el análisis hidrológico). También se desechó la cuenca del Río Daule (ver Figura 23) debido a la falta de disponibilidad de información actual e histórica sobre el manejo de caudales de la represa que se ubica en la misma. No se consideraron las zonas de la cuenca baja debido a la influencia de la marea. A partir de estas consideraciones, se delimitó el área superior de la subcuenca del Río Vines para realizar un estudio más detallado de sus microcuencas (ver Figura 23).

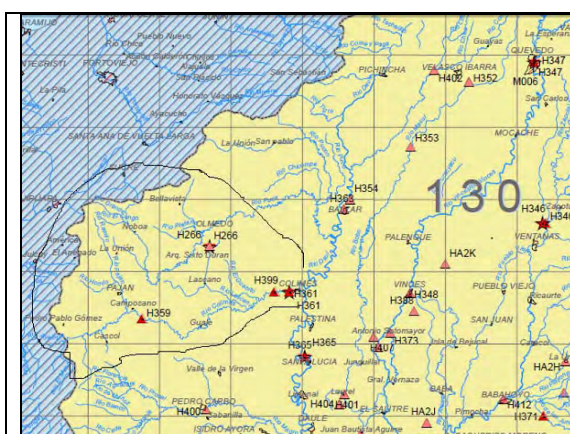


Figura 18. Microcuenca del Río Colimes

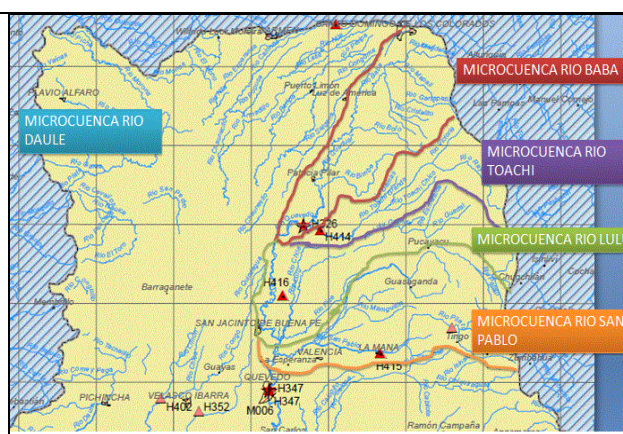


Figura 19. Microcuencas del Río Daule, Río Baba, Río Toachi, Río Lulu y Río San Pablo.

Para el análisis particular de esta zona se utilizaron 18 cartas topográficas elaboradas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50.000, disponibles en formato digital (shape) en la página web<sup>12</sup>, las cuales se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29. Cartas topográficas utilizadas para la definición del Área Experimental.

79° 30' W	79° 15'	79° 00'	78° 45' W	
	EL CARMEN NIII-B3	SANTO DOMINGO NIII-B4	ALLURIQUIN NIII-S3	0° 10' S
	LUZ DE AMERICA NIII-D1	SAN VICENTE NIII-D2	MANUEL CORNEJO ÑIII-C1	0° 20'
	PATRICIA PILAR NIII-D3	SANTA MARIA DEL TOACHI NIII-D4	JATUNLOMA ÑIII-C3	0° 30'
	LOS VERGELES NIII-F1	PUCAYACU NIII-F2	SIGCHOS ÑIII-E1	0° 40'
	VALENCIA NIII-F1	LA MANA NIII-F4	PILALO ÑIII-E3	0° 50'
	QUEVEDO NIV-B1	EL CORAZON NIV-B2	ANGAMARCA ÑIV-A1	01° 00'
				01° 10' S

Una vez que se seleccionaron las posibles microcuencas, estas debían cumplir aspectos operacionales como Área Experimental es decir, que cumpla rasgos particulares en función a las características regionales como semejanza u homogeneidad con el resto de la cuenca, existencia de información hidrometeorológica, superficie no muy grande de tal forma de aplicar la metodología planteada y obtener los resultados esperados en el tiempo previsto.

Las microcuencas de los Ríos Baba, Lulu y San Pablo no tienen estaciones de medición de caudales a la salida de la microcuenca para comparar con los datos simulados, sus áreas son extensas, por tal razón se descartaron; la microcuenca del Río Toachi, dispone de una estación limnigráfica a la salida por tal razón se eligió esta microcuenca como el Área Experimental para realizar el análisis particular como un área representativa modal.

Para este trabajo se denominará al área de experimental como Cuenca del Río Toachi y las unidades hidrológicas se llamarán subcuencas.

### Ubicación Geográfica del Área Experimental

La cuenca del área experimental comprende una superficie aproximada de 500 km<sup>2</sup>, está compuesta principalmente por el Río Toachi y se ubica en la subcuenca del Río Vines perteneciente a la Cuenca del Guayas (ver Figura 24).

<sup>12</sup> <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/cartografia-libre>

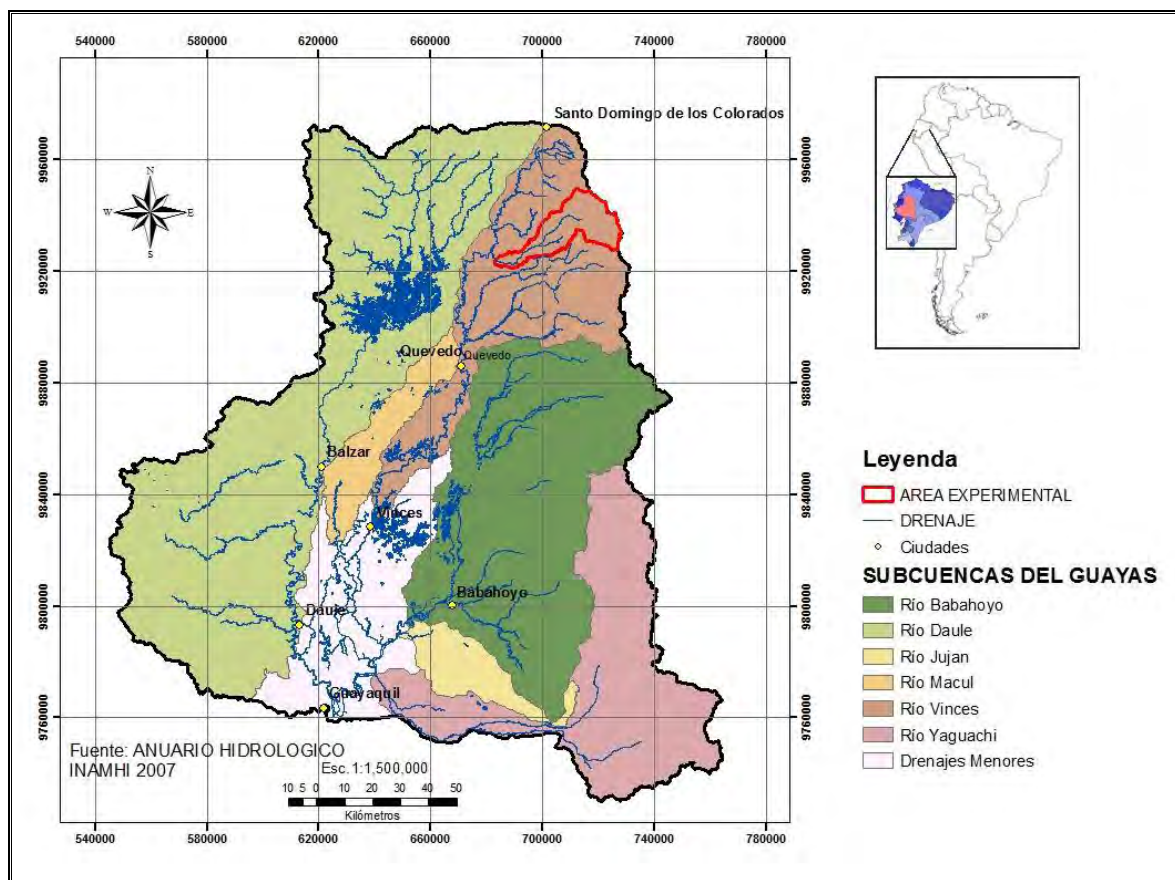


Figura 24. Ubicación geográfica de la microcuenca del Río Toachi

El área se caracteriza por tener suelos de buena calidad por lo cual existen cultivos permanentes como banano, caucho y palma africana, cultivos de ciclo corto como maíz, soya y arroz. Bosques naturales y cultivados y arboricultura tropical. El Río Toachi es el principal río que alimenta a la cuenca contribuyendo con agua todo el año al Río Baba, donde se ubica la estación de aforo H414 Toachi DJ Baba, que luego pasa a llamarse Río Quevedo. Durante los meses de enero a junio se presenta la época “húmeda” y de julio a diciembre la época “seca” o de estiaje. La temperatura varía desde los 8°C en la parte alta hasta los 25°C en la parte baja.

Administrativamente, el área de estudio, está situada entre las provincias de Los Ríos, Santo Domingo y Cotopaxi. Perteneciente a las cantones Valencia, Santo Domingo, La Mana y Sigchos, como se muestra en la Figura 25. Geográficamente el centroide de la cuenca se ubica en latitud 0° 37' sur y longitud 79° 08' oeste.

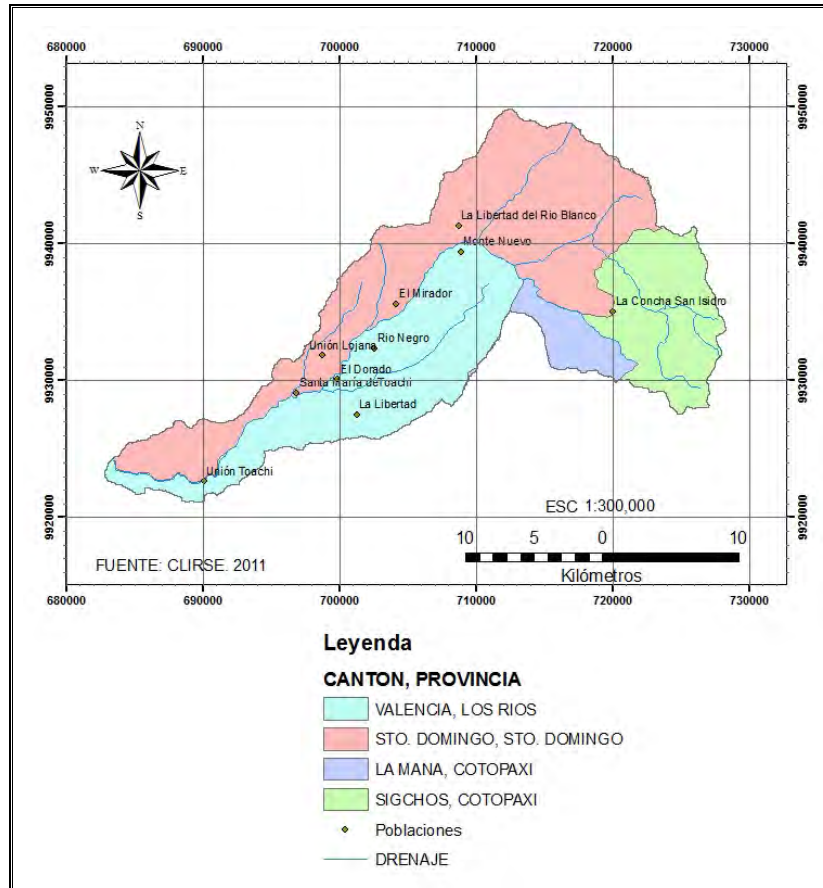


Figura 20. Distribución administrativa-política del área experimental.

## Geología

La ubicación de la Cuenca del Río Toachi se asienta en el área norte de la gran llanura aluvial de la Cuenca del Guayas, en la zona de transición entre la Cordillera Occidental de los Andes, compuesta por depósitos volcánico-clásticos y lavas andesíticas del Cretácico-Paleogénico (Formación Macuchi), y la Zona Costera, constituida por formaciones de la época Terciaria que ocupan una extensa zona a lo largo de la costa (Formación San Tadeo). (Efficacitas, 2009)

A partir del Mioceno, en el área de estudio, se desarrolló un intenso volcanismo calco-alcalino el cual, prácticamente, continúa hasta los actuales días por cuanto en las cuencas aledañas existen volcanes que son considerados activos como son el Ninahuilca y Quilotoa, responsables de la presencia de enormes depósitos de flujos piroclásticos. La erosión y transporte de estos volcánicos generaron un gigantesco abanico aluvial que forma parte del piedemonte de la Cordillera Occidental de Los Andes y fue generado por la sedimentación de detritos volcánicos acarreados a lo largo de las Cuencas de los Ríos Toachi y Pilatón y Píllalo. Los depósitos de lahar y otros sedimentos volcánicos asociados que se encuentran en este abanico se agrupan bajo la denominación de Formación San Tadeo. (Caminos y Canales, 2007).

## **Relieve**

La Cuenca del Río Toachi drena una vasta zona que se extiende desde las cabeceras de la Cordillera Occidental de los Andes, pasando por el pie de las estribaciones hasta la Llanura Costera central, formando parte del drenaje septentrional del sistema fluvial Baba-Quevedo-Babahoyo-Guayas que desagua al Océano Pacífico (Caminos y Canales, 2007). Las vertientes más altas se encuentran a 2.800 msnm y el sitio de aforo esta a 162 msnm. Esta diferencia de nivel demuestra la variabilidad morfodinámica caracterizada por la geomorfología donde existen pendientes desde muy escarpadas hasta moderadas, según lo demuestra la Figura 26.

En la cuenca experimental se identifican tres unidades geomorfológicas de diferentes características:

- La primera corresponde a la zona alta, pertenecen a esta las mayores elevaciones (msnm) localizadas hacia el este y sureste sobre la cordillera occidental de los Andes y algunos cerros aislados. Corresponde a la zona de recarga y de aporte hídrico, con quebradas de alta pendiente y fuerte erosión. Está constituida por rocas muy duras de origen volcánico-clásticas, definidas como turbidíticas, con intercalaciones de basaltos almohadillados (pillow lavas) y brechas volcánicas que conforman un amplio frente montañoso en las primeras elevaciones de la cordillera occidental de la Formación Macuchi. (Efficacitas, 2009)
- La segunda, de mayor extensión territorial, se caracteriza por tener una serie de terrazas subhorizontales de elevaciones bajas con pendientes suaves pero constantes que desciende con dirección sur-oeste, con un drenaje intenso de pequeñas y profundas quebradas. Las terrazas están constituidas por antiguos aluviones, lahares y depósitos tobáceos de la Formación San Tadeo. En esta unidad se encuentra el mayor potencial de desarrollo agrícola el cual es favorecido por los materiales limo-arcillosos y espesores de suelo residual del orden de 3 a 5 metros. Además favorecen el clima para la densa cobertura vegetal y ausencia de afloramientos de roca en el área. (Efficacitas, 2009)
- Desde la parte media hacia abajo del área de estudio se observan escarpados en forma de herradura donde se evidencia la existencia de antiguos deslizamientos superficiales que afectaron a la capa de suelo orgánico y vegetal. Los terrenos tienen un relieve ondulado formado por colinas redondeadas y drenajes poco desarrollados. Por el grado de conservación morfológica, se infiere que estos procesos de inestabilidad son antiguos y no experimentaron reacciones posteriores. (Caminos y Canales, 2007).

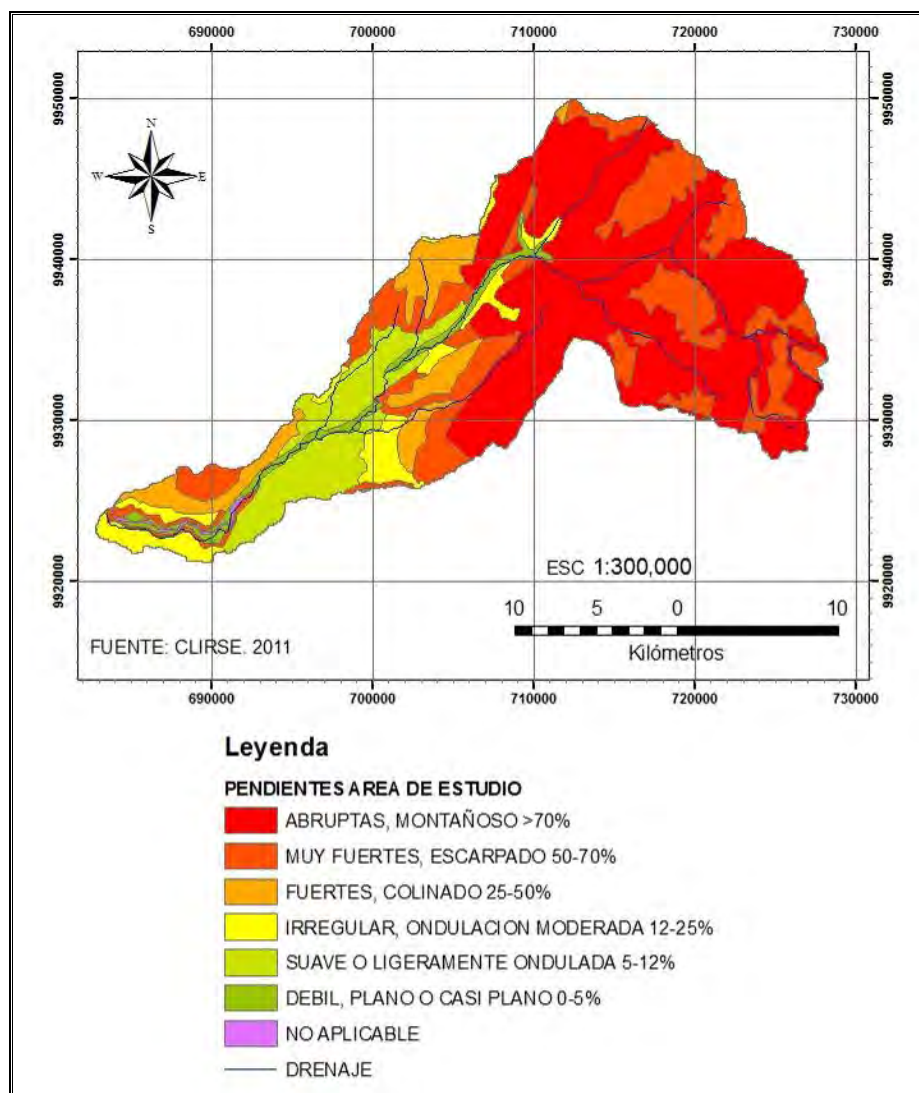


Figura 26. Relieve del área de estudio

Otros autores clasifican la zona de estudio según las unidades morfológicas de la costa, así, la zona al pie de las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes se denomina “Piedemonte Andino”, se extiende desde Santo Domingo al norte hasta Machala al Sur, y está formada por una serie continua de conos de deyección y de esparcimiento. El ancho promedio es de 10 a 20 km y la altura varía según la posición geográfica desde 1000 m a 20 m donde se une con la llanura aluvial. (Granja, 2010)

En la Figura 27 se observa la ubicación del área de estudio con respecto a la formación del Piedemonte Andino, las alturas van desde los 160 metros hasta los 1100 m en la parte más alta. El modelado es intensamente homogéneo debido a la presencia de una fuerte cobertura de origen piroclástico.

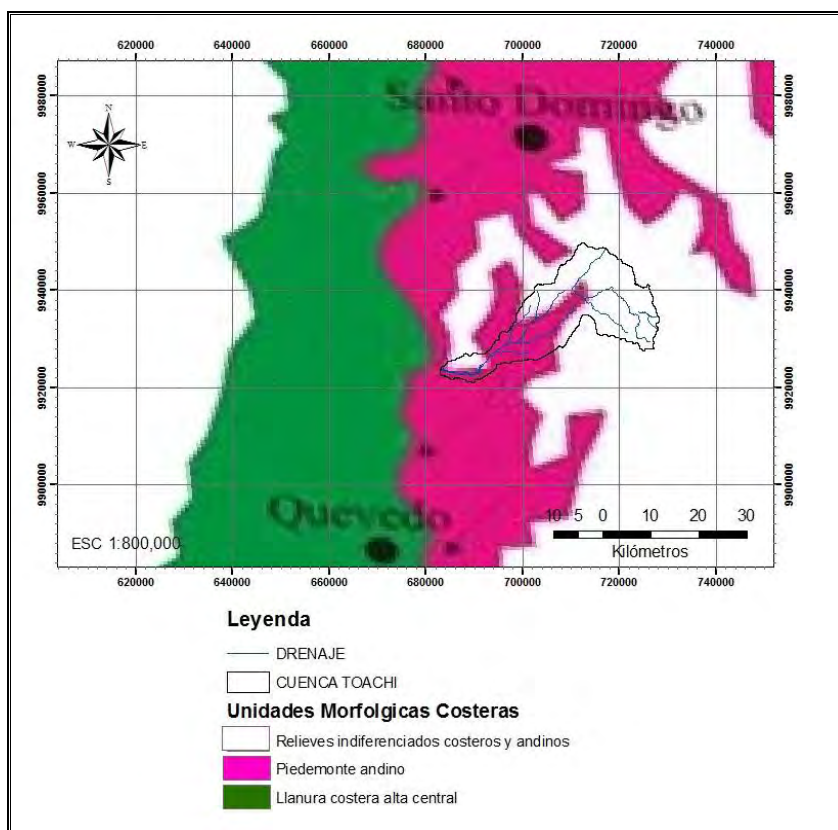


Figura 27 Unidades Morfológicas Costeras. Fuente: Granja. 2010

### Reserva Ecológica Los Ilinizas

La Reserva Ecológica Los Ilinizas (RELI) pertenece al Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador<sup>13</sup> (SNAP), se ubica en la Cordillera Occidental de los Andes, entre las provincias de Cotopaxi y Pichincha. Fue creada el 11 de diciembre de 1996 mediante Registro Oficial No. 092 del 19 de diciembre del mismo año.

La característica más importantes que tiene esta reserva es la barrera geológica que forman los nevados Los Ilinizas y El Corazón impidiendo el paso del vapor de agua desde la región de la Costa hacia el callejón interandino, favoreciendo la formación de microcuencas, donde nacen los principales afluentes de los Ríos Esmeraldas, Toachi y Pilatón.

Entre los rasgos geomorfológicos más importantes se encuentran la Cordillera Leila, los volcanes Los Ilinizas (Fotografía 2) y El Corazón, los Cerros, Jaligua Alto, Tenufuerte, Zarapullo, Azul y la laguna del Volcán Quilotoa. En el área de amortiguamiento se distinguen principalmente dos cuencas, la más grande del Río Toachi, y la del Río Pilatón. Los ríos que nacen en esta reservan aumentan su caudal a medida que avanzan

<sup>13</sup> Es un instrumento de administración territorial compartida pero diferenciada. Se integra por los subsistemas, estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, (Asamblea Nacional Constituyente, 2008: Art.405). Fuente: [http://www.fan.org.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=4&lang=es](http://www.fan.org.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=4&lang=es)

entre los restos de los pocos bosques primarios que quedan a lo largo de la cordillera occidental. (MAE, 2010)



Foto 2. Nevados Los Ilinizas (RELI). Fuente: Internet

La superficie total de la reserva es de 150.000 ha (1.500 km<sup>2</sup>) aproximadamente, de los cuales 16.600 ha (160 km<sup>2</sup>) aproximadamente se encuentran en el interior del área de estudio (Figura 28). Su altura fluctúa desde los 887 m a los 3150 m msnm. La mayor parte su superficie está situada en la zona climática Ecuatorial Mesotérmico Muy Húmedo y el resto se comparte entre la zona Subtropical Mesotérmico Lluvioso (zona baja) y la zona Ecuatorial Frio Húmedo (zona alta). La temperatura oscila entre 8°C - 12°C y la precipitación desde 2600 mm a 3100 mm de lluvia.

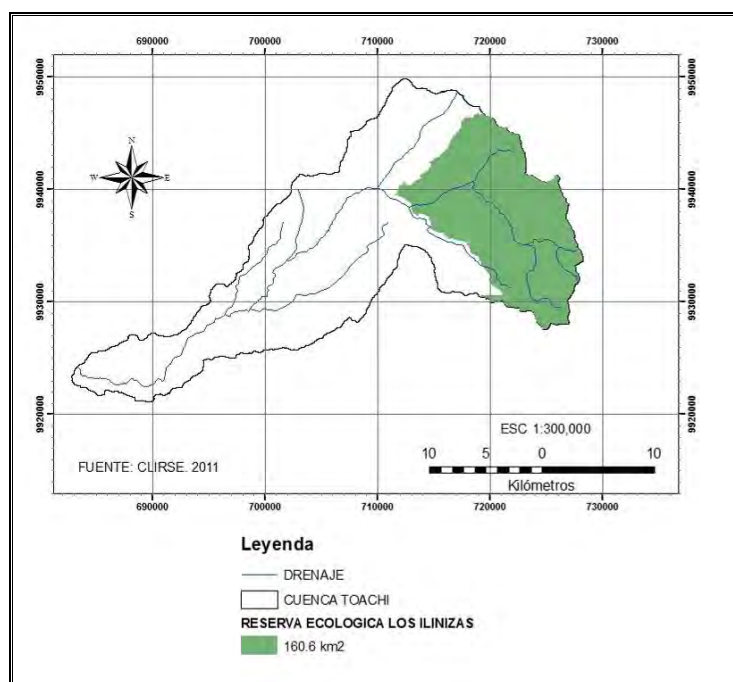


Figura 28. Ubicación geográfica de la Reserva Ecológica Los Ilinizas (RELI)



La mayor parte de la reserva presenta rocas volcánicas antiguas que pertenecen a la Formación Macuchi. Se diferencia claramente dos tipos de suelo: los franco-arenosos húmedos, de mayor ocupación en el área de estudio, localizados en las estribaciones de la Cordillera Occidental y se caracterizan por su coloración muy negra (zonas frías) a negro (zonas templadas); y los suelos arenosos ubicados dentro del valle interandino producto de los materiales piroclásticos con baja retención de humedad (MAE, 2010).

### Proyecto Hidroeléctrico Baba.

El Proyecto Multipropósito Baba está ubicado en la microcuenca del Río Baba que forma parte de la cuenca alta del Río Guayas (Figura 29). Tiene como objetivos: la generación de energía hidroeléctrica aprovechando el transvase de 2.773 hm<sup>3</sup> desde el Río Baba al embalse Daule-Peripa; reducir las inundaciones que afectan a las poblaciones aguas abajo como son Quevedo, Vines, Babahoyo, entre otras; y mantener el riego de las 8.600 has situadas aguas abajo del embalse.

Geográficamente el proyecto se ubica aguas debajo de la confluencia de los Ríos Baba y Toachi, políticamente se ubica en los cantones Buena Fe y Valencia de la Provincia de Los Ríos (Efficacitas, 2006).

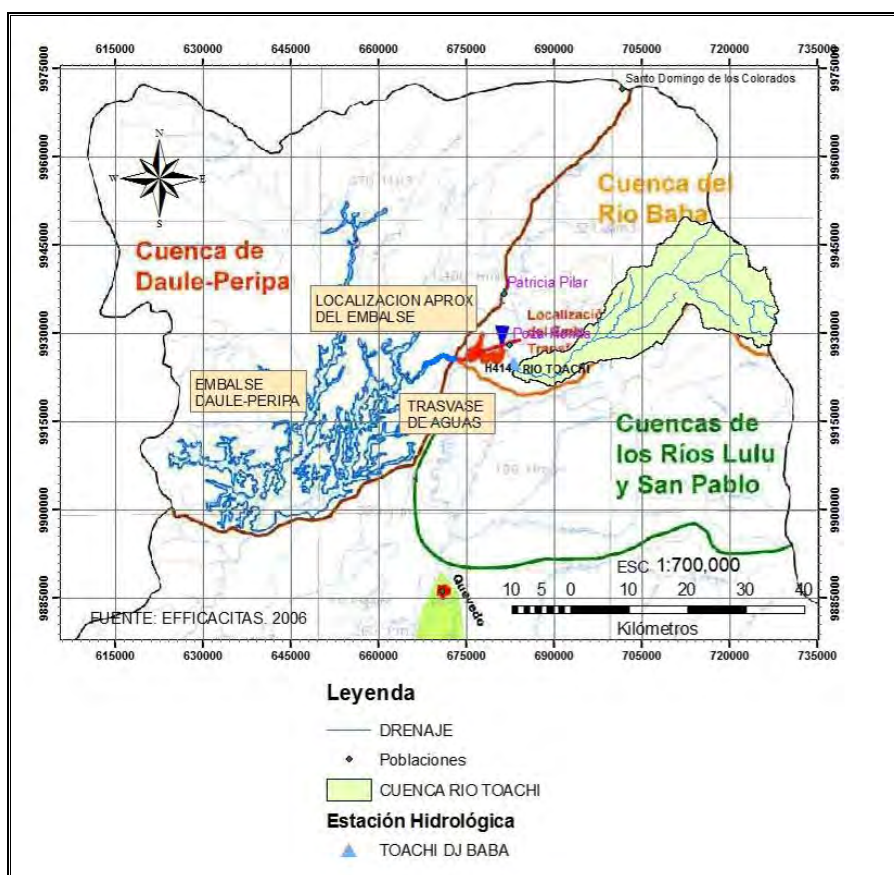


Figura 29. Ubicación del Proyecto Hidroeléctrico Baba.

## 5.2.- Morfometría de la cuenca

En los tres primeros ítems se hace un análisis de los parámetros morfométricos a nivel cuenca utilizando las fórmulas correspondientes en el programa Excel®, y en el ítem 5.2.4 se presenta la caracterización morfométrica que realiza la extensión HECGeo-HMS de la cuenca de estudio a nivel subcuenca.

### 5.2.1 Parámetros de Relieve

La influencia del relieve sobre la Cuenca del Río Toachi es evidente, a mayor pendiente corresponde una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal.

A continuación se presentan los resultados de los parámetros utilizados para este estudio a nivel cuenca, los cuales se resumen en la Tabla 30.

#### a.- Área (A)

La superficie total de la cuenca de estudio es de 503,71 km<sup>2</sup>, la cual fue delimitada por la divisoria de aguas que encierran al Río Toachi y sus afluentes desde su nacimiento. Es considerada como el parámetro físico básico que define a una cuenca, siendo determinante en la escala de varios fenómenos hidrológicos como, el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales, entre otros.

#### b.- Perímetro (P)

La Cuenca del Río Toachi posee un perímetro total de 181,92 km.

#### c.- Longitud Axial (La)

La longitud axial en la cuenca de estudio es de 58.235,41 m.

#### d.- Ancho promedio (Ap)

El ancho promedio de la cuenca de estudio es de 8.649,68 m.

#### e.- Altura media (h)

La altura media de la Cuenca del Río Toachi es de 1.500 m.

#### f.- Pendiente Media de la cuenca (PM) o Factor Topográfico

Para calcular la pendiente media de la cuenca de estudio o factor topográfico, se utilizó el modelo de elevación digital para determinar que la cota máxima es de 3.160 m y la mínima es de 160 m, obteniendo un desnivel altimétrico de 3.000 metros.

Se obtuvo el valor de 5,15% de pendiente media que, según la Tabla 14, corresponde a un relieve suave para la Cuenca del Río Toachi. Este valor indica que la cuenca tiene un relieve regular por lo que los procesos erosivos son medianos

Tabla 30. Resumen de los parámetros de relieve a nivel cuenca de estudio.

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud Axial (m)	Ancho Promedio (m)	Altura Media (m)	Pendiente Media Cuenca (%)
Río Toachi	503,71	181,92	58.235,41	8.649,68	1.500,00	5,15

### 5.2.2. Parámetros de Forma

La forma de la cuenca influye sobre los escurrimientos y sobre recorrido del hidrograma de una lluvia, así en una cuenca de forma alargada, el agua discurre en general por un solo cauce principal, mientras que en otra de forma ovalada los escurrimientos recorren cauces secundarios hasta llegar a uno principal, por lo que la duración del escurrimiento es mayor.

A continuación se presentan los resultados de los índices utilizados para este estudio a nivel cuenca, los cuales se resumen en la Tabla 31.

#### a.- Coeficiente de Gravelius (Cg) o Índice de compacidad (Kc)

El coeficiente de compacidad obtenido para la cuenca de estudio es considerado alto de 2,27, que indica que la cuenca presenta una forma rectangular oblonga y al relacionarlo con su tiempo de concentración se puede decir que el agua dentro de la cuenca escurre a través del canal principal donde su tiempo de concentración aumenta, considerando además una menor circularidad disminuyendo su torrencialidad y menor poder erosivo.

#### b.- Factor de forma (IF)

El factor de forma de la Cuenca del Río Toachi, presenta un valor bajo de 0,15 con lo cual se confirma el coeficiente de Gravelius indicando que la cuenca presenta forma alargada. Este valor nos indica que al presentar la cuenca, un largo canal colector principal con tributarios cortos y poco ramificados, se tiene un hidrograma de crecidas (tiempo vs descarga) achatado, ya que el agua que proviene de los afluentes debe recorrer una larga circulación por el cauce principal atenuando de esta manera el caudal de salida y aumentando el tiempo de concentración, con probabilidad de crecidas de menor magnitud, menor grado de torrencialidad y por tanto menor poder erosivo. Esto se debe a que el área de drenaje se asemeja a la forma de un rectángulo, lo que implica una pequeña área en una longitud larga.

Tabla 31. Resumen de los parámetros de forma a nivel cuenca de estudio.

Cuenca	Coeficiente de Gravelius (Cg)	Factor de Forma (IF)
Río Toachi	2,27	0,15

### 5.2.3 Parámetros relativos de la red hidrográfica

Se llama red hidrográfica al drenaje natural, permanente o temporal por el que fluyen las aguas de las escorrentías superficiales. La forma y densidad de la red de drenaje corresponde a la distribución de los afluentes que lo conforman. A continuación se presentan los resultados de los parámetros relativos de la red hidrográfica a nivel cuenca, los cuales se resumen en la Tabla 32:

#### a.- Densidad de drenaje (D)

La densidad de drenaje para el caso de la Cuenca del Río Toachi es considera baja, del orden del 0,02%, que significa que la respuesta de la cuenca ante una lluvia evacuará el agua en un mayor tiempo, propio de una cuenca alargada.

#### b.- Pendiente media del cauce (J)

La pendiente media del cauce de la Cuenca del Río Toachi es del 3,48%, que expresa el desnivel topográfico del cauce principal y la longitud del mismo. La cota máxima del cauce es de 2.186 m y la mínima de 162 m, con una longitud de 58.235,41 metros.

#### c. Tiempo de concentración (Tc)

El tiempo de concentración de la Cuenca del Río Toachi es de 6,8 horas, que significa que la cuenca de estudio necesita de ese tiempo para que toda su superficie contribuya con escorrentía superficial en el punto de aforo. Su tiempo de concentración se considera largo, por lo que su caudal pico es mas atenuado y su recesión es mucho más sostenida en el tiempo (retorno al nivel base es más lento).

Tabla 32. Resumen de los parámetros relativos a la red hidrográfica a nivel cuenca de estudio.

Cuenca	Densidad de drenaje (%)	Pendiente media del cauce (%)	Tiempo de concentración (h)
Río Toachi	0,02	3,48	6,8

En resumen, la morfometría de la Cuenca del Río Toachi presenta forma rectangular oblonga o alargada, con una pendiente media de tipo suave, desarrolla crecientes de menor magnitud, en donde predomina la infiltración ante el escurrimiento, debiendo recorrer el agua una longitud de ladera larga sobre el cauce donde la velocidad de escurrimiento es baja. El tiempo de concentración es largo debido a la atenuación del caudal de salida. Por tanto la cuenca tendrá un menor grado de torrencialidad y menor poder erosivo.

### 5.2.4 Parámetros automáticos con HEC-GeoHMS

Las unidades generadas por la herramienta HEC-GeoHMS, se presentan en el mapa de la Figura 30, donde se observa con diferentes colores las siete subcuencas del área de estudio, ubicándose en la zona de la cabecera las subcuencas 1, 2, 3 y 4; en la área media la 5 y 6, y en la zona de la desembocadura la subcuenca 7.

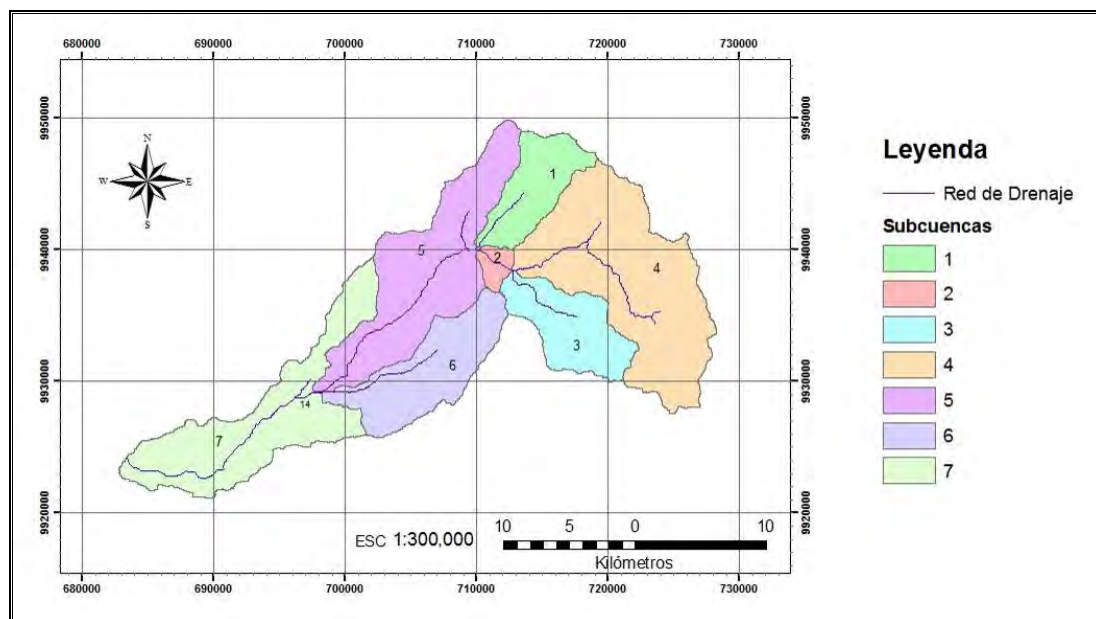


Figura 30. Esquema de las subcuencas generadas con HEC-GeoHMS

Los resultados obtenidos del análisis morfométrico del relieve de la Cuenca del Río Toachi con esta herramienta, se presentan en la Tabla 33.

Tabla 33. Caracterización de las subcuencas según HEC-GeoHMS.

SUB CUENCAS	PERIMETRO (m)	PENDIENTE MEDIA CUENCA (%)	AREA (km <sup>2</sup> )
1	40860,0	41,38	38,96
2	15540,0	53,45	7,07
3	41280,0	50,46	46,11
4	79740,0	40,38	142,27
5	82680,0	26,37	107,05
6	56220,0	26,80	62,03
7	94920,0	9,05	100,22
Total			503,71

Se observa que la subcuenca 4 es la más grande con 142,27 km<sup>2</sup> de superficie y la de menor área es la subcuenca 2 con 7,07 km<sup>2</sup>, además esta subcuenca presenta un relieve muy accidentado con una pendiente media de 53,4% al igual que la subcuenca 3 con 50,4%. Las subcuencas 1 y 4 presentan un factor topográfico promedio del 40%, todas estas ubicadas en la zona de cabecera. Las subcuencas 5 y 6 presentan una pendiente media del 26% y la subcuenca 7 una pendiente del 9%, ubicada las dos primeras en la zona media y la última en la zona de desembocadura. Este factor tiene una gran importancia porque, indirectamente, a través de la velocidad del flujo de agua, indica el tiempo de respuesta de la cuenca. A partir de estos resultados, se establece que las subcuencas ubicadas en la zona de cabecera están sometidas a procesos erosivos más drásticos debidos, entre otros factores, a lo muy fuertes que son las pendientes. En la zona media se caracteriza por presentar pendientes accidentadas y la zona baja presenta pendientes suaves, según la clasificación de la Tabla 14.

De igual manera, se generó el archivo de parámetros morfométricos relativos a la red hidrográfica de la Cuenca del Río Toachi, cuyo mapa se presenta en la Figura 31, en el cual se muestran los 15 tramos de ríos generados por el HEC-GeoHMS en diferentes colores, y la respectiva subcuenca a que pertenecen.

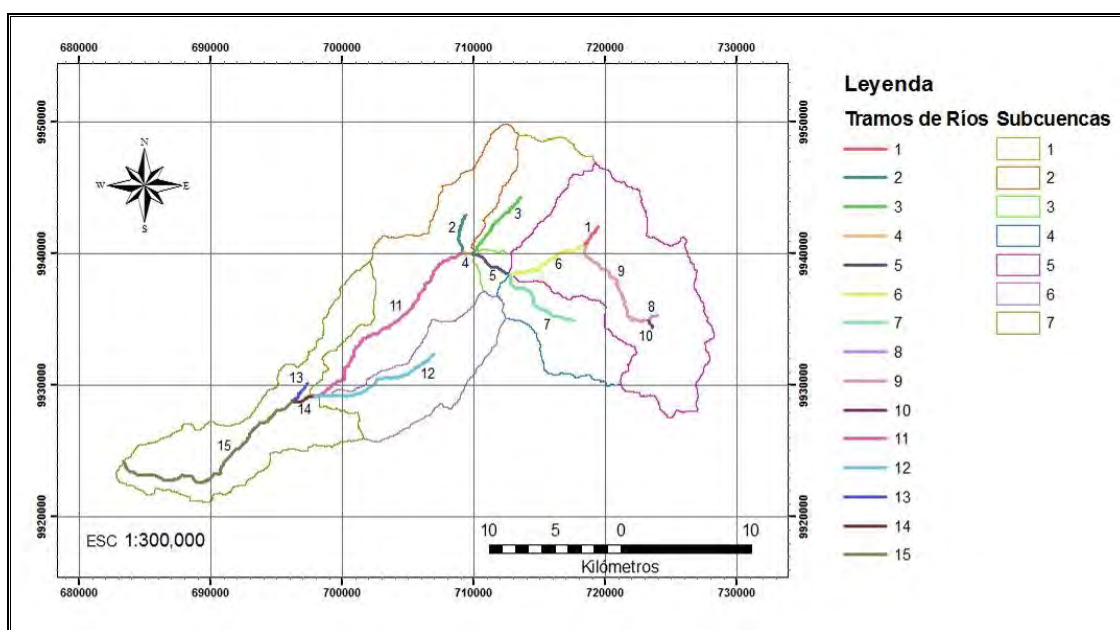


Figura 31. Red Hidrográfica generada con HEC-GeoHMS

Los resultados obtenidos del análisis morfométrico a la red hidrográfica de la Cuenca del Río Toachi, se muestran en la Tabla 34, la cual está ordenada de acuerdo a la subcuenca que pertenecen los tramos de ríos desde la cabecera hasta la desembocadura. Los números que no tienen paréntesis son los ríos principales, y los que tienen (a) son afluentes que alimentan al principal.

Se observa que la red de drenaje tiene su nacimiento en la cota (m) 2.186 con el tramo 10, que además es el más corto con 679,2 m, y finaliza en la cota (m) 162 con el tramo 15 que es el más largo con 17.431,4 m.

La longitud total de la red de drenaje de la Cuenca del Toachi es de 91.161,47 m, con un desnivel de 2.024 metros. La mayor pendiente la presenta el tramo 1 con el 15% y la menor la tiene el tramo 14 con 0,1%, pertenecientes a las subcuencas 4 (zona de cabecera) y 7 (zona de desembocadura), respectivamente.

Tabla 34. Caracterización de la red hidrográfica según HEC-GeoHMS

TRAMOS DE RIOS	LONGITUD (m)	PENDIENTE MEDIA CAUCE (m/m)	COTAS (m)		SUBCUENCA PERTENECIENTE
			MAX	MIN	
1	1990,22	0,150	1587	1288	4 (a)
8	1052,76	0,045	2171	2124	4 (a)
10	679,26	0,091	2186	2124	4
9	9237,20	0,091	2124	1288	4
6	6974,41	0,063	1288	846	4
7	7469,41	0,122	1761	846	3
5	3478,60	0,053	846	661	2
3	6085,69	0,103	1285	661	1
4	836,98	0,033	661	633	5
2	3383,71	0,050	803	633	5 (a)
11	17906,01	0,017	633	322	5
12	10917,82	0,022	564	322	6
14	1691,54	0,001	322	320	7
13	2026,43	0,016	352	320	7 (a)
15	17431,42	0,009	320	162	7
∑ Total	91.161,47				

Con el objetivo de identificar los principales ríos que atraviesan las subcuencas de estudio, se elaboró la Tabla 35. Se observa que el tramo de río con mayor longitud es el que atraviesa la subcuenca 7 con 19.123 metros, y el más corto es el tramo 5 que atraviesa la subcuenca 2 con una longitud de 3.478,6 m.

La longitud total de los principales ríos es de 82.708,35 metros. La mayor pendiente la presenta el tramo 7 que drena la subcuenca 3 con 12,2% seguida del tramo 3 que drena la subcuenca 1 con 10,3% ambas ubicadas en la zona de cabecera, y el tramo con la menor pendiente corresponde al 15 con 0,9% el cual drena la subcuenca 7, ubicado en la zona de desembocadura.

Tabla 35. Caracterización de los ríos principales.

TRAMOS DE RÍOS	LONGITUD (m)	PENDIENTE MEDIA CAUCE (m/m)	COTAS (m)		SUBCUENCA PERTENECIENTE
			MAX	MIN	
10	16890,87	0,0880	2186	846	4
9					
6					
7	7469,41	0,122	1761	846	3
5	3478,60	0,053	846	661	2
3	6085,69	0,103	1285	661	1
4	18743,00	0,017	661	322	5
11					
12	10917,82	0,022	564	322	6
14	19122,96	0,009	322	162	7
15					
Total	82.708,35				

La longitud del río principal desde su nacimiento hasta el punto de aforo tiene una longitud de 58.235,43 metros y atraviesa las subcuencas 4, 2, 5 y 7, desde el origen hasta su desembocadura (Tabla 36).

Tabla 36. Caracterización del río principal.

TRAMOS DE RÍOS	LONGITUD (m)	PENDIENTE (m/m)	COTAS (m)		SUBCUENCA PERTENECIENTE
			MAX	MIN	
10	16890,87	0,0880	2186	2124	4
9			2124	1288	
6			1288	846	
5	3478,60	0,053	846	661	2
4	18743,00	0,017	661	633	5
11			633	322	
14	19122,96	0,009	322	320	7
15			320	162	
Total	58.235,43				

Se realizaron los gráficos de los perfiles longitudinales pertenecientes a los 15 tramos de ríos que conforman la red hidrográfica para caracterizar su relieve (ver Figura 32), para el



desarrollo del análisis se tomo como referencia la columna “tramos de ríos” de la Tabla 34 ordenados desde la cabecera a la desembocadura:

El tramo 1 corresponde a un río afluente, nace en la estribación de la Cordillera Occidental, en la cota 1587 recorriendo 1990,2 metros para desembocar en la cota 1288 al río principal de nombre Rayo, presenta una ladera con fuertes pendientes del 15% que en general se presenta estable y regular.

El tramo 8 corresponde a un río secundario, tributario del río principal, nace en la cota 2.171 en las estribaciones de la Cordillera Occidental, recorre 1.052,7 metros de ladera para desembocar en el Río Rayo en la cota 2.124 con una pendiente muy irregular del 4,5%, que presenta tramos de rectas con caídas abruptas, es especial en el tramo final con una caída de 40 m en 250 m.

El tramo 10 corresponde a la naciente del Río Toachi en las estribaciones de la Cordillera Occidental con el nombre Rayo en la cota 2186. El río recorre 679,2 m de ladera con pendiente regular muy empinada del 9,1%. Este corresponde al tramo de río más corto de la red de drenaje general.

El tramo 9 corresponde a la continuación del tramo 10, río principal Rayo, inicia en la cota 2.124 recorre 9.237,2 m hasta la cota 1.288, donde recibe las aguas del tramo 1, presenta una pendiente regular muy empinada del 9,1%.

El tramo 6 corresponde a la continuación del tramo 9, río principal Rayo, desde la cota 1.288 recorriendo 6974,4 m de laderas hasta la cota 846 donde se une con el tramo 7, durante su recorrido presenta una pendiente moderadamente accidentada del 6,3%. Hasta aquí los tramos descritos pertenecen al sistema hídrico de la subcuenca 4 en la zona de cabecera.

El tramo 7 es un tributario del río principal Rayo que nace en la cota 1.761 y se une al tramo 6 en la cota 846, en su recorrido de 7.469,4 m de ladera drena la subcuenca 3 con tiene una pendiente muy accidentada del 12,2% debido a las profundas quebradas existentes en el relieve.

El tramo 5 está formado por la unión de los tramos 6 y 7 en la cota 846, continuando por el cauce del río principal Rayo, recorriendo 3.478,6 m drena la subcuenca 2 hasta la cota 661 donde se junta con el tramo 3, presenta una ladera con pendiente moderadamente accidentada del 5,3%.

El tramo 3 es un río secundario llamado Victoria que nace en las estribaciones de la Cordillera Occidental en la cota 1.285, recorre 6.085,7 m drenando la subcuenca 1 hasta juntarse con el tramo 5 en la cota 661. Presenta una ladera con pendiente regular muy empinada del 10,3%. Hasta aquí corresponden los tramos ubicados en la zona de cabecera.

El tramo 4 está formado por la unión de los tramos 3 y 5 en la cota 661, a partir de aquí el río principal cambia de nombre a Toachi Grande. Recorre 837 m de ladera drenando la subcuenca 5 hasta la cota 633 donde recibe las aguas del tramo 2, presenta una pendiente irregular de 3,3% alternada con caídas bruscas y tramos de rectas propio de una zona de transición. Este es el segundo tramo de río más corto de la red de drenaje general.

El tramo 2 corresponde al río secundario Blanco, es un tributario del río principal Toachi Grande, nace en la cota 803 recorriendo 3.383,7 m de ladera drenando la subcuenca 5 para desembocar en el tramo 4, río principal, en la cota 633. Presenta una pendiente poco regular del 5% con tramos de caída y rectas de acuerdo a la zona de garganta o media.

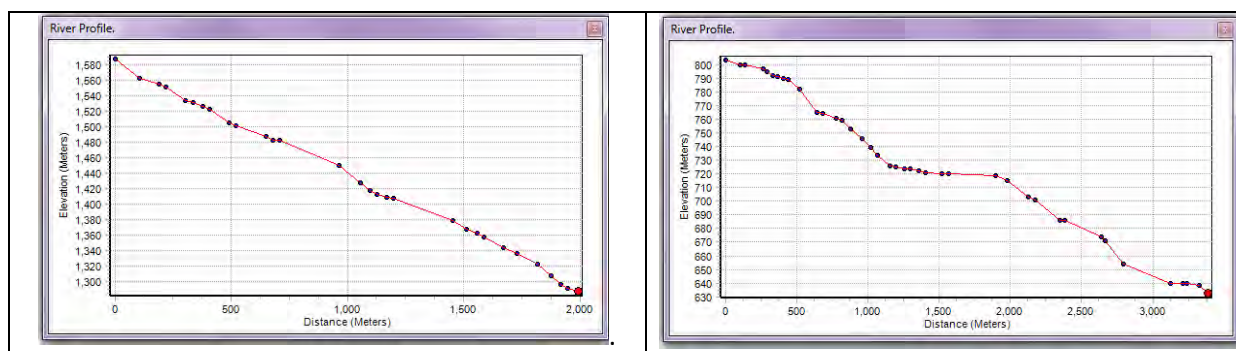
El tramo 11 está formado por la unión de los tramos 2 y 4 en la cota 633, continuación del río principal Toachi Grande. Recorre 17906 m de ladera drenando la mayor superficie de la subcuenca 5, hasta la cota 322 donde recibe el caudal del tramo 12. Presenta una pendiente bastante regular de 1,7% debido a la extensa longitud del tramo propia de la zona media de la cuenca de estudio. Este es el segundo tramo de río más largo de la red de drenaje.

El tramo 12 corresponde al Río Toachi Chico, afluente del Río Toachi Grande, nace en la cota 564 recorriendo 10.917,8 m de ladera drenando la subcuenca 6 hasta descargar su caudal al río principal (tramo 11) en la cota 322. Presenta una pendiente regular de 2,2% con tramos de caídas y rectas alternadas durante su recorrido conforme a la zona media. Este es el tercer tramo más largo de río de toda la red de drenaje. Hasta aquí los tramos descritos pertenecen al sistema hídrico de las subcuencas de la zona media.

El tramo 14 está formado por la unión de los tramos 11 y 12 en la cota 322, es la continuación del río principal Toachi Grande, pero a partir de aquí se lo conoce como Toachi. Recorre 1.691,5 m por la ladera de llanura en la subcuenca 7 hasta recibir el caudal del tramo 13 en la cota 320. Presenta una pendiente plana muy regular del 0,1%, es decir de 10 cm de desnivel por cada 100 m de distancia. Este es el inicio de la zona de desembocadura o zona baja.

El tramo 13 es un tributario del río principal, nace en la cota 352 recorriendo 2.026,4 m de ladera drenando la parte alta de la subcuenca 7 para desembocar su caudal en el tramo 14, Río Toachi, en la cota 320. Presenta una pendiente plana poco regular del 1,6% con tramos de caída y rectas largas pero suaves, que a pesar de estar en la zona de desembocadura tiene características de zona media.

El tramo 15 está formado por la unión de los tramos 13 y 14 en la cota 320, es la continuación del Río Toachi, recorre 17.431,4 m por la ladera de llanura drenando la mayor superficie de la subcuenca 7 hasta el punto el punto de aforo en la estación hidrológica Toachi en la cota 162. Presenta una pendiente bastante regular de 0,9% (90 cm de desnivel por cada 100 m de distancia) propia de la zona de desembocadura debido a la extensa longitud del tramo, siendo este el tramo más largo de la red hidrográfica de la cuenca de estudio.



Modelización Hidrológica de un área experimental en la Cuenca del Río Guayas

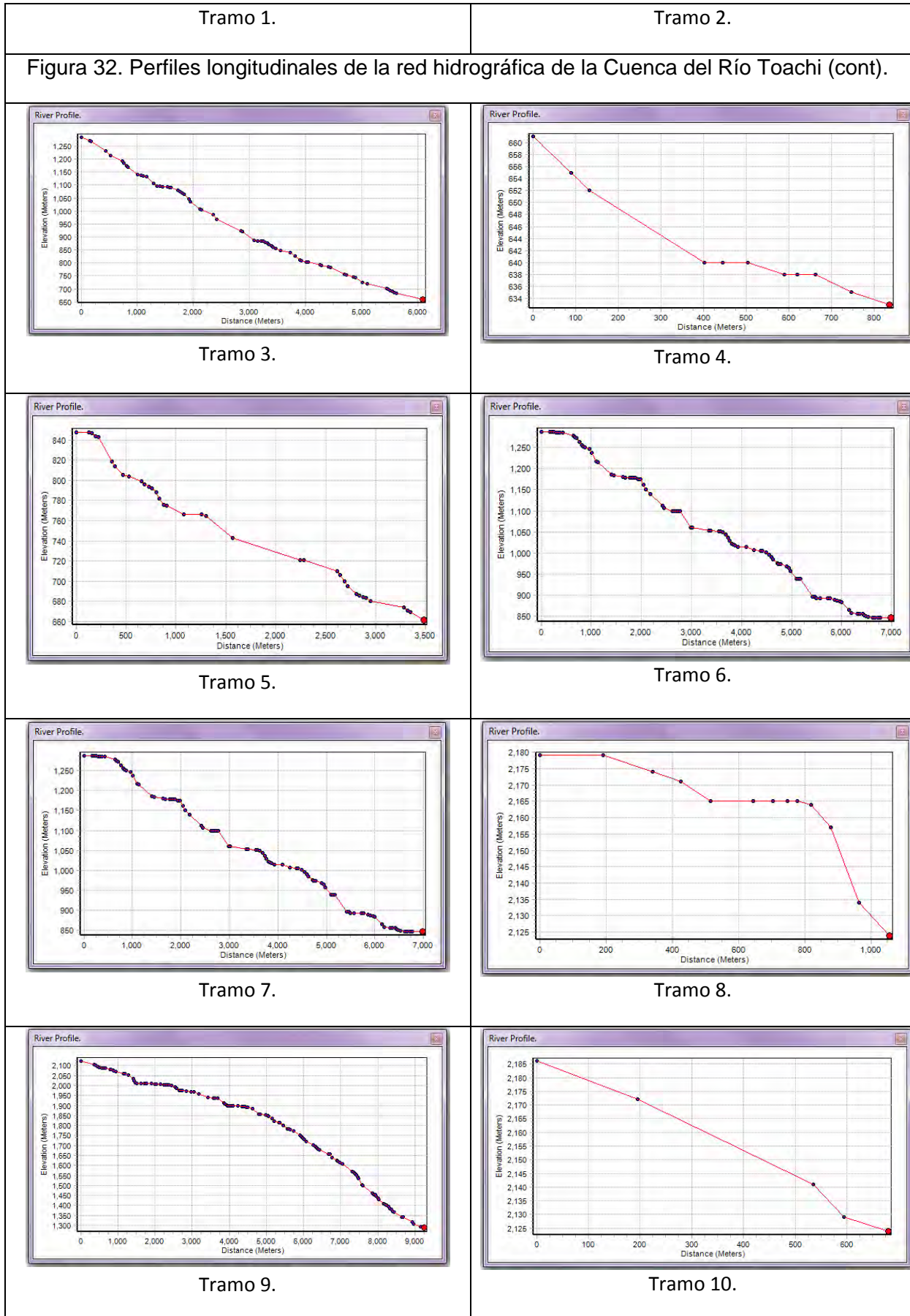


Figura 32. Perfiles longitudinales de la red hidrográfica de la Cuenca del Río Toachi (cont)

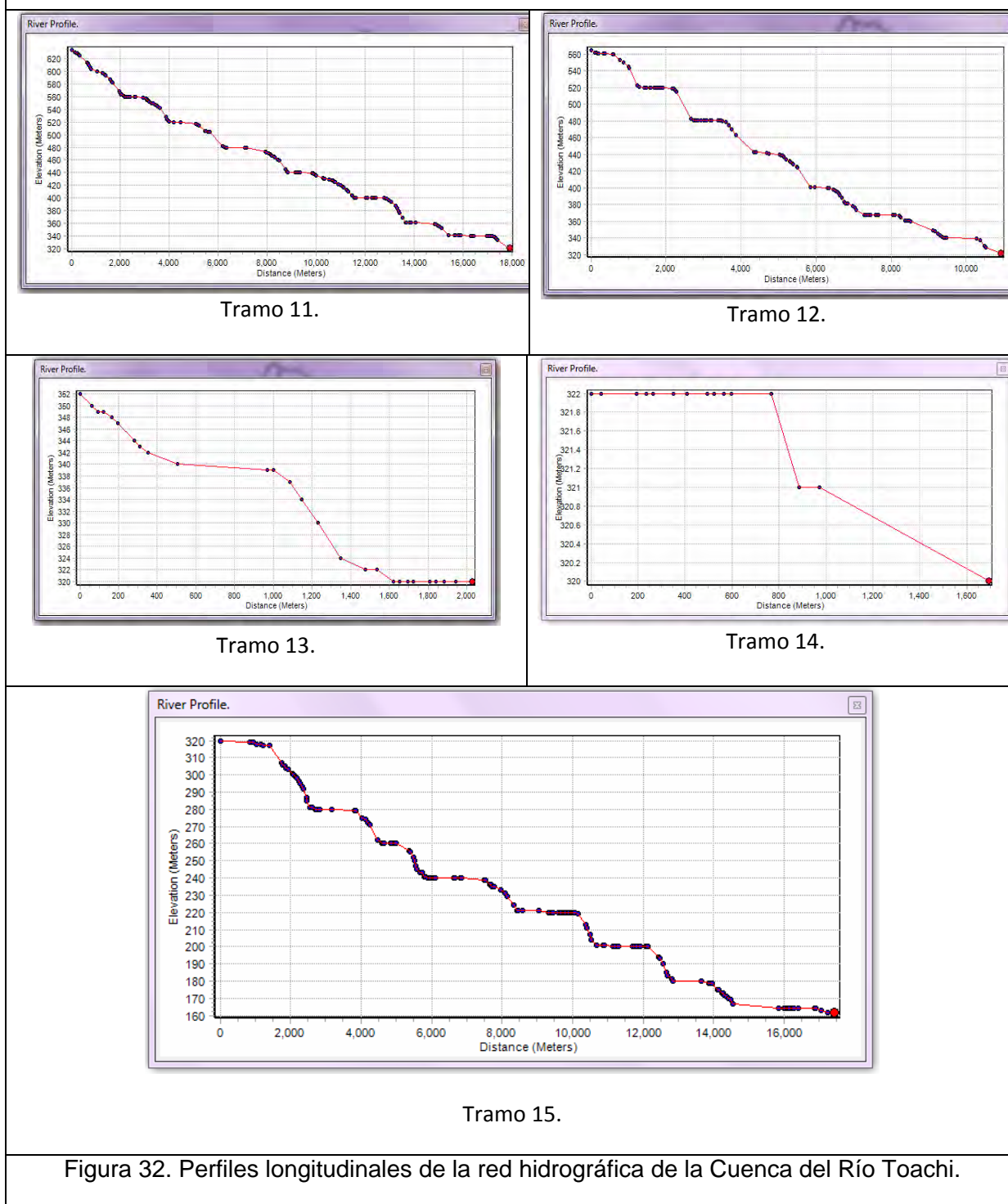


Figura 32. Perfiles longitudinales de la red hidrográfica de la Cuenca del Río Toachi.

A continuación se presenta el resultado del análisis de los índices morfométricos del relieve, que no fueron generados por la herramienta HEC-GeoHMS, y que fueron realizados en forma manual usando el programa Excel ®:

En la Tabla 37, se presenta el resultado de los parámetros morfométricos del relieve de las subcuencas del área de estudio, donde se observa que la subcuenca 7 presenta la mayor

longitud axial con 19.123 m, y la subcuenca 2 la menor longitud con 3.478,6 m que además posee el menor ancho promedio con 2.033,6 m y la subcuenca 4 el mayor ancho con 8.422,8 m. La subcuenca 5 presenta la mayor altura media con 1.248 m y la subcuenca 7 la menor altura con 483,5 m.

Tabla 37. Resumen de los parámetros de relieve a nivel subcuenca.

Subcuencas	Longitud Axial (m)	Ancho Promedio (m)	Altura Media (m)
1	6085,69	6401,48	798,0
2	3478,60	2033,58	657,5
3	7469,41	6181,09	1055,5
4	16890,87	8422,85	1158,0
5	18743,00	5711,64	1248,0
6	10917,82	4022,26	908,5
7	19122,96	5240,79	483,5

En la Tabla 38, se presenta el resultado de los parámetros morfométricos de forma de las subcuencas del área de estudio, donde se observa que las subcuencas 2 y 3 presentan índices de compacidad (Cg) entre los valores de 1,50 – 1,75 con lo cual su forma es oblonga y los índices de las subcuencas 1, 4, 5, 6 y 7 tienen valores mayores a 1,75 correspondiendo a la forma rectangular oblonga. Esto significa que las subcuencas 2 y 3 tienen mayor circularidad que el resto de las subcuencas lo que incrementa su torrencialidad.

Tabla 38. Resumen de los parámetros de forma a nivel subcuenca.

Subcuencas	Coficiente Gravelius (Cg)	Factor de Forma (IF)
1	1,83	1,05
2	1,64	0,58
3	1,70	0,83
4	1,87	0,50
5	2,24	0,30
6	2,00	0,26
7	2,65	0,27

Se observa que las subcuencas 1 y 3 tienen índices cercanos a 1, caracterizadas por poseer formas redondeadas, mientras que las demás subcuencas 2, 4, 5, 6 y 7 muestran factores

de forma menores a 1 representado formas alargadas, lo que confirma los valores del índice de compacidad. Esto quiere decir que las subcuencas 1 y 3 presentan crecidas más significativas, mayor torrencialidad y por tanto mayor poder erosivo, por el contrario el resto de subcuencas presentan crecidas de menor magnitud, menor torrencialidad y por tanto menor poder erosivo.

En la Tabla 39, se presentan los resultados de los cálculos realizados a los parámetros relativos a la red hidrográfica a nivel subcuenca, donde se observa que la subcuenca 6, cuya superficie es de 62 km<sup>2</sup>, presenta un densidad de drenaje de 0,14, superior al resto de subcuencas, lo que significa que existe predominio del escurrimiento ante la infiltración, aumentando el poder erosivo y los eventos torrenciales. En cambio, el resto de subcuencas un total 441,77 km<sup>2</sup> de superficie, tienen valores de densidad de drenaje bajo, predominando la infiltración ante el escurrimiento, disminuyendo el poder erosivo y por tanto los eventos torrenciales. La columna "Pendiente media del cauce" (en la Tabla 39) es la misma que generó el HEC-GeoHMS presentada en porcentaje (%).

Tabla 39. Resumen de los parámetros relativos a la red de drenaje a nivel subcuenca.

<b>Subcuencas</b>	<b>Densidad de drenaje (%)</b>	<b>Pendiente media del cauce (%)</b>	<b>Tiempo de concentración (h)</b>
1	0,02	10,3	0,8
2	0,05	5,3	0,6
3	0,02	12,2	0,9
4	0,01	8,8	1,7
5	0,02	1,7	2,5
6	0,14	2,2	1,6
7	0,02	0,9	2,9

En la misma Tabla se observa que los tiempos de concentración, tienen relación directa con las longitudes de los ríos que atraviesan las subcuencas respectivas, donde en relación con las longitudes axiales de la Tabla 37, se visualiza que la subcuenca 7 tiene el mayor tiempo de concentración, luego la subcuenca 5, 4, 6, 3, 1 y el menor tiempo la subcuenca 2.

A partir de estos resultados, se determina que las subcuencas del área de estudio tienen forma alargada, presentan valores de densidad de drenaje bajos con crecientes de menor magnitud y menor probabilidad de ocurrencia de eventos torrenciales, lo que significa un bajo poder erosivo. Los tiempos de concentración son relativamente largos debido a la atenuación del caudal de salida, por lo que predomina la infiltración ante el escurrimiento, debiendo recorrer el agua longitudes de laderas más largas sobre el cauce, siendo la velocidad de escurrimiento baja.

### 5.3.- Análisis y Procesamiento de Datos Meteorológicos

#### 5.3.1 Precipitaciones

El área de estudio se caracteriza por ubicarse entre las zonas muy húmedo (2000-3000 mm anuales) a lluvioso (superior a 3000 mm anuales) (CLIRSEN, 2009)<sup>14</sup>. La zona de mayor altura anual de precipitaciones se presenta en la zona media alta, en las estribaciones de la Cordillera Occidental. La cantidad de lluvia decrece a medida que la altura aumenta y disminuye. En la Figura 33 se muestra la distribución de la precipitación media anual de la Cuenca del Río Toachi, obtenida por el método de las Isoyetas.

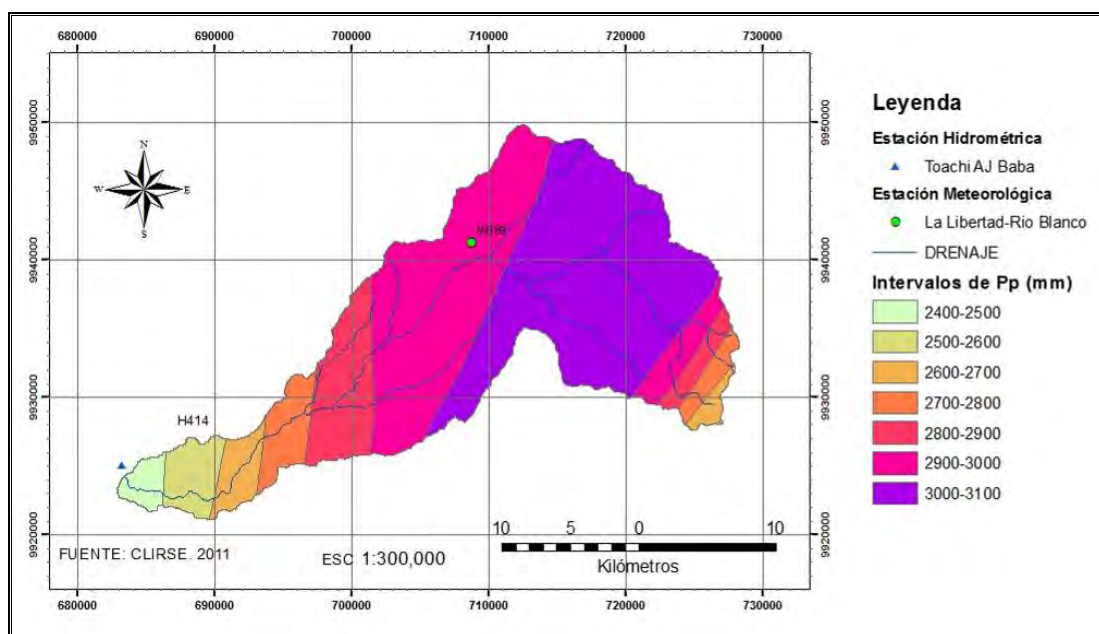


Figura 33. Distribución de la precipitación media anual. Fuente: CLIRSEN, 2009.

En la Tabla 40 se presenta el cálculo realizado para obtener la precipitación media anual de la Cuenca del Río Toachi, siendo de 2.929,1 mm, en la cual se observa que el 72,8% de la superficie se encuentra en los intervalos de 2900 a 3100 mm.

Tabla 40. Cálculo de la precipitación media anual.

No	Intervalo de Isoyetas	Área (km <sup>2</sup> )	Pp media (mm)	Área (%)	Área*Ppmedia (km <sup>2</sup> *mm)
1	2400-2500	9,80	2450	1,95	2929,1
2	2500-2600	20,26	2550	4,03	
3	2600-2700	21,04	2650	4,18	
4	2700-2800	29,95	2750	5,96	
5	2800-2900	55,70	2850	11,07	
6	2900-3000	162,29	2950	32,27	
7	3000-3100	203,92	3050	40,54	

<sup>14</sup> Clasificación propuesta por Pierre Pourrut

### Precipitaciones Anuales<sup>15</sup>

La variación de la precipitación media anual (línea roja) registrada en la estación meteorológica **Las Pampas** durante los años 1990-2010 (veinte años), muestra una leve tendencia a disminuir las lluvias en el tiempo. El rango en el que se observa la precipitación media anual varía entre 1351,6 mm a 3081,9 mm, siendo la media de 2100 mm (línea amarilla) (ver Figura 34).

Como puede verse en la misma Figura, los años en los cuales no se alcanzó los 2100 mm fueron en los períodos de 1990 a 1992, de 1995 a 1996, del 2001 al 2005, el 2007 y 2010, siendo la mínima precipitación anual el año de 1990 con 1351,6 mm. Los años que sobrepasaron los 200 mm fueron de 1993 a 1994, de 1997 al 2000, el 2006 y del 2008 al 2009, siendo el año de 1997 el que registro la máxima precipitación anual con 301,9 mm.

Si bien la Figura 34 muestran una variación de las lluvias estas son sólo tendencias, con grandes variaciones interanuales, típico de las lluvias anuales de estas regiones. La diferencia entre el valor máximo de 3081,9 ocurrido en el año 1997 y el valor mínimo de 1351,6 ocurrido en el año de 1990, muestra un amplio intervalo de variación en la precipitación total anual produciendo períodos de humedad y sequía.

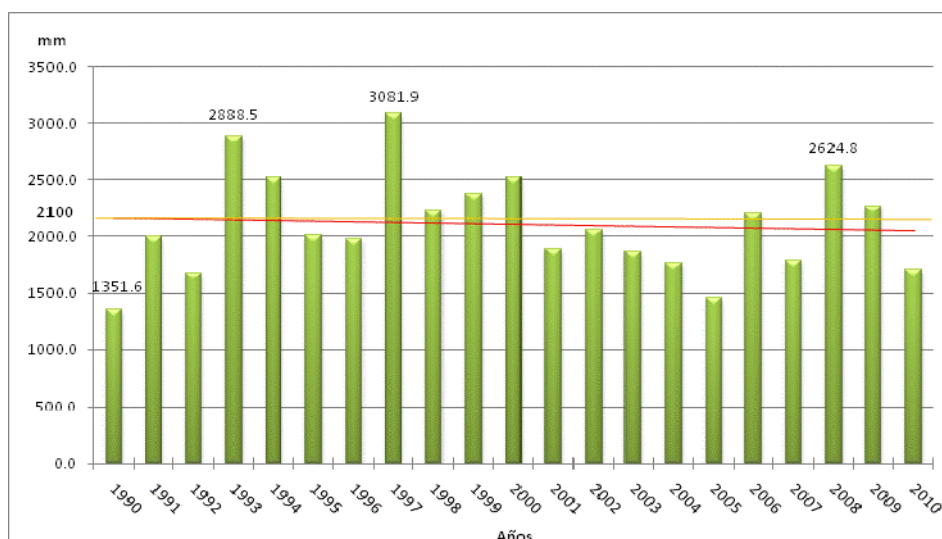


Figura 34. Precipitación Total Anual (mm). Estación Las Pampas.

El análisis del período de registro de la precipitación media anual en la estación meteorológica de **La Libertad** (5 años), es muy susceptible a interpretaciones debido a que ésta representa la cuarta parte del análisis de las otras estaciones (20 años). Sin embargo con el fin de aplicar la metodología planteada, en forma general, podemos indicar que la variación en el tiempo de la precipitación media anual (línea negra) tiene una fuerte tendencia a aumentar las lluvias (ver Figura 35), El rango de la precipitación media varia de 1031,9 mm a 3594,1 mm. El valor medio de la precipitación anual es de 2750 mm de lluvia (línea amarilla).

<sup>15</sup> Fuente: INAMHI



Si se analiza la precipitación total anual en el período 2005-2010 se puede observar que la diferencia entre el valor mínimo de 1031,9 mm ocurrido en el año 2005 con el valor máximo de 3594,1 mm de lluvia registrado en el año 2008, muestra un gran intervalo de variación.

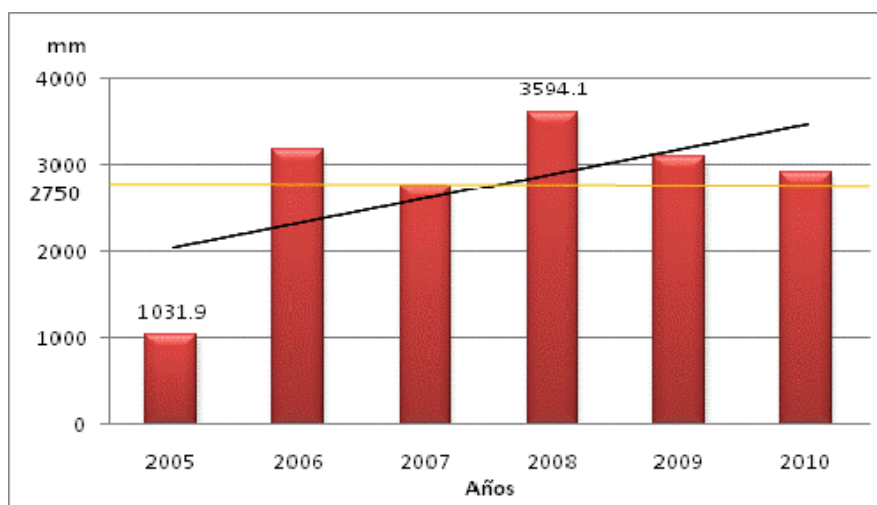


Figura 35. Estación La Libertad. Precipitación Total Anual (mm)

La variación de la precipitación media anual (línea roja) registrada en la estación meteorológica **Puerto Ila** (ver Figura 36) durante el período 1990-2010, muestra una fuerte tendencia a disminuir las lluvias en el tiempo, el rango de variación en el que se presenta está entre 1144,4 mm a 6061,4 mm. La media de la precipitación es 2700 mm (línea amarilla).

Como puede verse en la Figura 36, los años en los cuales no alcanzó los 2700 mm fueron en los períodos de 1990 a 1991, de 1995 a 1996, el 2001, del 2003 al 2005, el 2007 y del 2009 al 2010, ocurriendo la mínima precipitación anual el año de 2009 con 1144,4 mm. Los años que sobrepasaron los 2700 mm fueron los períodos de 1992 a 1994, de 1997 al 2000, los años 2002, 2006 y 2008, registrándose la máxima acumulación de lluvia el año 1997 con 6061,4 mm.

Si se analiza la precipitación total anual se puede observa que en los últimos 20 años la tendencia de la precipitación disminuye fuertemente a lo largo del tiempo. La diferencia entre el valor máximo de 6061,4 ocurrido en el año 1997 y el valor mínimo de 1144,4 ocurrido en el año 2009, muestran una variación muy amplia de 5917,0 mm lo cual marca períodos extremos muy húmedos (exceso de lluvias) y muy seco (déficit de lluvias).

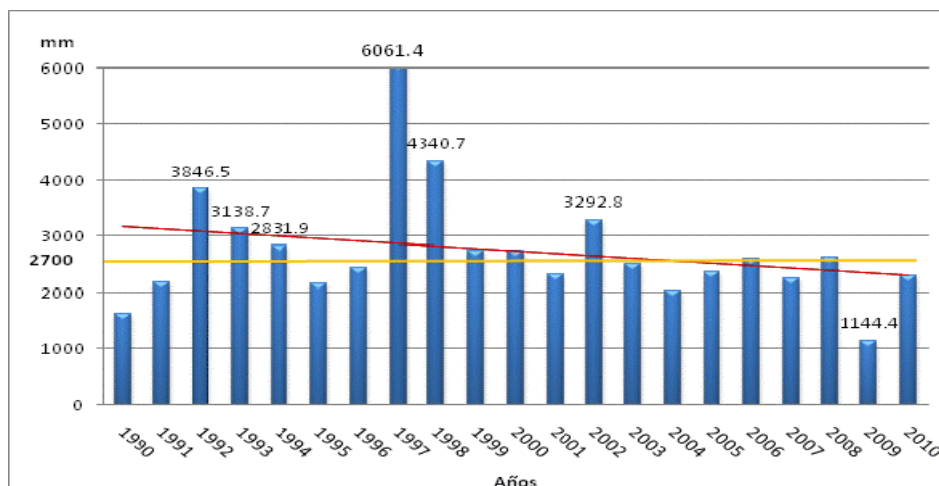


Figura 36. Estación Puerto Ila. Precipitación Total Anual (mm)

Como resumen del análisis de las precipitaciones medias anuales, ver Figura 37, en el año 1997 ocurrió un evento extraordinario de aumento de lluvias en las estaciones Las Pampas y Puerto Ila coincidente con el fenómeno del Niño, según CLIRSEN (2009).

En las estaciones analizadas, existen iguales tendencias en los períodos lluviosos durante los años de 1992 a 1993, de 1997 al 2000, 2006 y 2008; mientras que durante el período seco la tendencia se mantiene durante los años de 1990 a 1991, de 1995 a 1996, del 2001 al 2005, el 2007 y 2010.

En el año 1992 y 2002, en la estación Puerto Ila, se registra un aumento considerable de las precipitaciones a diferencia que la estación Las Pampas registra para el año 1992 una disminución y para 2002 se mantiene casi constante en el tiempo desde 2001 al 2005.

En general, las tendencias de la precipitación media anual en las tres estaciones tienen coincidencia en los períodos de aumento de precipitaciones y déficit de lluvias.

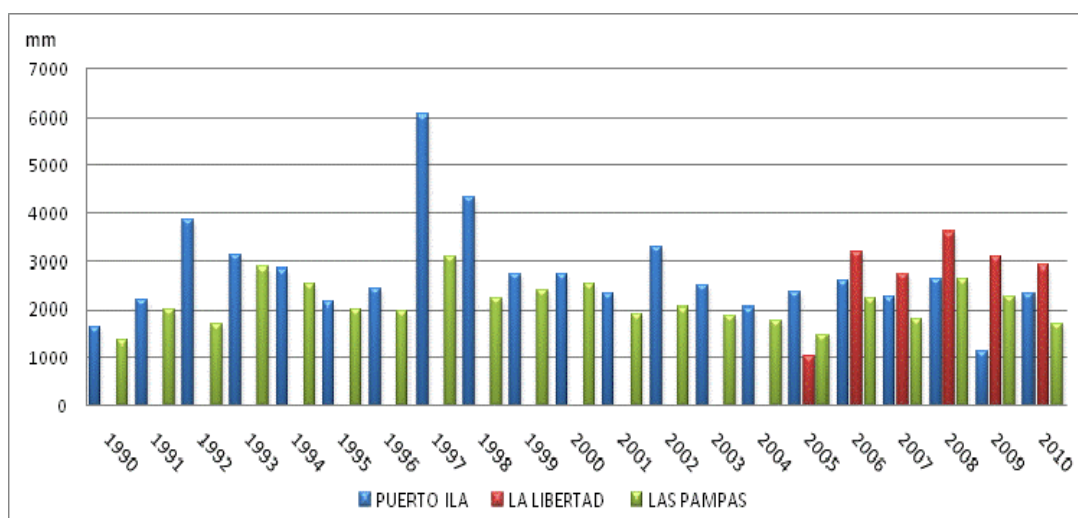


Figura 37. Precipitación total anual de las tres estaciones (mm)

## Precipitaciones Medias Mensuales

### Estación Puerto Ila

Las mayores precipitaciones medias mensuales en la estación meteorológica Puerto Ila durante el período de análisis 1990-2010, se presentaron entre los meses de diciembre a mayo considerado como época o estación lluviosa, y las menores precipitaciones ocurrieron durante el período de junio a noviembre llamada época seca o de estiaje, ver Figura 38. Los meses de diciembre y mayo se consideran de “transición” entre la época seca a lluviosa y de la estación lluviosa a seca respectivamente.

El mes con mayor cantidad de precipitación media registrada fue marzo con 521,1 mm, mientras que el mes con menor cantidad de lluvias fue agosto con 38,3 mm. El intervalo de variación pluviográfica del período de registro es de 483 mm.



Figura 38. Estación Puerto Ila. Precipitación Media Mensual (mm)

### Estación La Libertad

En la estación meteorológica La Libertad durante el período de observación 2005-2010, se registró la mayor cantidad de precipitación media caída entre los meses de diciembre a mayo que se denomina estación lluviosa, y durante los meses de junio a noviembre ocurrieron las menores precipitaciones llamada época seca, ver Figura 39. Los meses de diciembre y mayo se consideran de transición o cambio de la estación seca a la estación lluviosa y de la época lluviosa a la seca respectivamente.

El mes con mayor registro de precipitación media caída es marzo con 460,2 mm seguido de febrero con 453,1 mm y el mes con menor registro de precipitación fue agosto con 65,9 mm. El intervalo de variación entre el mes más lluvioso y el más seco es de 394 mm.

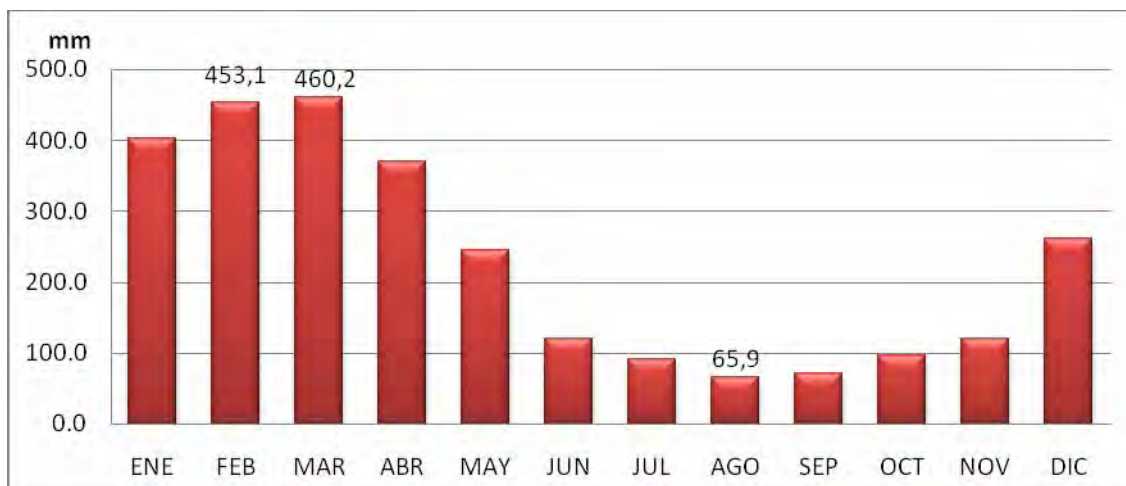


Figura 39. Estación La Libertad. Precipitación Media Mensual (mm)

### Estación Las Pampas

Si se analiza el comportamiento de las precipitaciones medias a lo largo del año de la estación Las Pampas teniendo en cuenta los datos registrados del período 1990-2010, se puede observar que durante los meses de diciembre a mayo ocurrieron los mayores registros de precipitación media denominada época húmeda o lluviosa, y entre los meses de junio a noviembre se produjeron las menores precipitaciones, llamada estación seca o de estiaje, ver Figura 40. Los meses de diciembre y mayo se consideran de “transición o cambio” de la estación seca a la estación lluviosa y de la época lluviosa a la seca respectivamente.

El mes con mayor registro de cantidad de precipitación media mensual fue febrero con 346,3mm de lluvia, mientras que el mes con menor cantidad de precipitación fue julio con 45,9mm, demarcando un intervalo de variación de 300mm entre el mes más lluvioso y el mes con menos cantidad de lluvia.

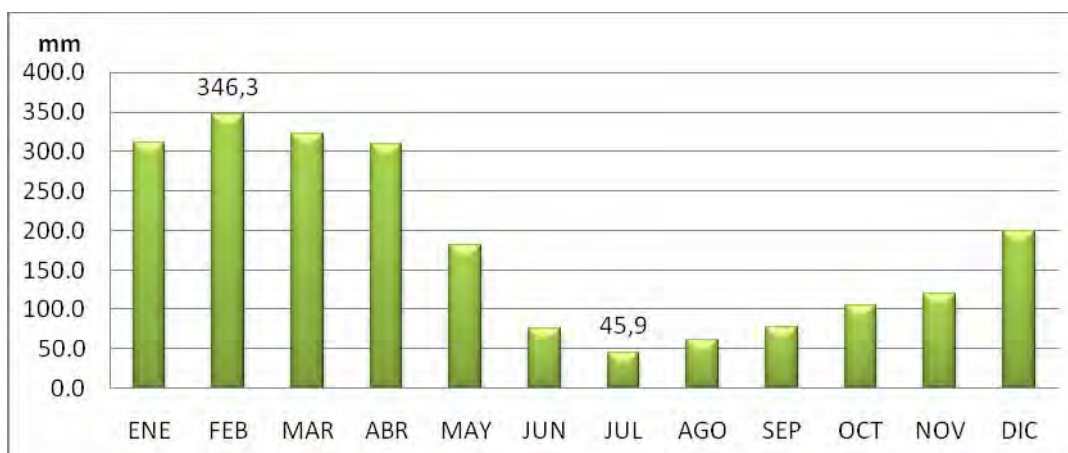


Figura 40. Estación Las Pampas. Precipitación Media Mensual (mm)

Un análisis general del comportamiento de la precipitación media mensual de las tres estaciones en estudio, permite definir que existe una tendencia similar de las lluvias a lo largo del año en los tres pluviómetros que representan las tres zonas de la cuenca, y por similitud a toda la cuenca ver Figura 41.

El período de mayor cantidad de precipitación registrada es de diciembre a mayo y de menor cantidad de lluvias es de junio a noviembre, el primer período se denomina húmedo o lluvioso por el aumento de lluvia registrada (intensidad y frecuencia) y el segundo período se lo conoce como seco o estiaje debido a la disminución de las lluvias. El mes más lluvioso es marzo y el menos es agosto.

Como se puede observar en el Figura 41, durante el período lluvioso la estación con mayor cantidad de precipitación caída registrada fue Puerto Ila (zona baja), seguido de La Libertad (zona media) y luego Las Pampas (zona alta). Mientras que en período seco la estación La Libertad registra la mayor cantidad de precipitación caída.

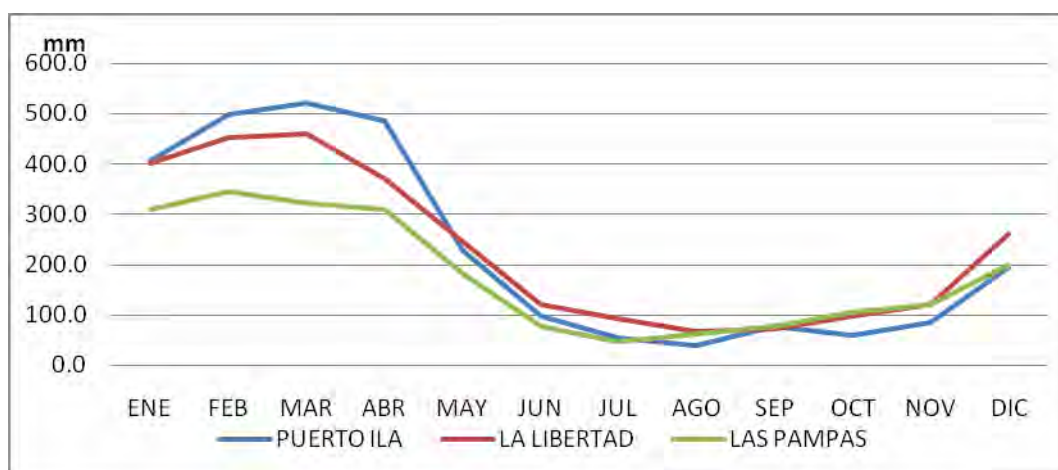


Figura 41. Precipitaciones Medias Mensuales 1990-2010 (La Libertad de 2005 a 2010)

## Precipitaciones Totales Mensuales

### Estación Las Pampas período de 1990-2010

Si se analiza más detalladamente la Figura 42, lo que ocurre en cada mes a lo largo de los años del período de análisis, puede verse que los meses de enero y diciembre muestran una tendencia en aumento de las precipitaciones, los meses de mayo y junio mantienen un comportamiento constante y el resto de los meses presenta tendencia de disminución de las lluvias. A continuación se presenta una descripción del análisis realizado en forma mensual:

- Enero presenta una tendencia muy marcada de aumento de las lluvias, que oscila en el rango de 200mm a 400mm, sin tener en cuenta los años de 1994 y 2009 con valores extremos de lluvia con 500mm y 533mm respectivamente, y los años 2002 y 2005 con valores de déficit de lluvias con 150mm y 162, respectivamente.

- Febrero tiene un comportamiento de disminución de las lluvias durante el período de análisis, oscila entre los 200mm y 500mm con excepción de los registros de 1993 y 2006 que registraron un exceso de lluvias con valores de 544mm y 551mm respectivamente, siendo los más altos durante el período de observación; y 2010 que registró déficit de precipitaciones con valor de 136mm.
- Marzo tiene un comportamiento constante a lo largo de los años en el cual se mantiene en un rango de 300mm a 500mm, con excepción de los años de 1994 y 2003 que registraron un aumento y déficit de lluvias de 514mm y 192mm respectivamente.
- Abril se caracteriza por tener una tendencia muy marcada de disminución de las precipitaciones a lo largo del período de estudio. Tiene un rango de 200mm a 400mm, sin tener en cuenta los años 1993 y 1994 que llegaron a valores cercanos a 500mm.
- Mayo tiene una tendencia a mantenerse constante durante el período de análisis en un rango de 100mm a 300mm, presenta un valor de excedente de lluvia en el año 2000 con un valor de 450mm; y dos valores de déficit de lluvias en 1992 y 2005 con valores de 47,8mm y 64,4mm respectivamente.
- Junio se manifiesta con una ligera tendencia a disminuir las lluvias con valores que oscilan entre 20mm y 150mm, a excepción del año 1997 que presenta un valor extremo de 219,3mm, anormal para esta época del año (seco). A partir de 1998 los valores anuales han fluctuado sobre y bajo la línea de tendencia con un intervalo de variación de 110mm, los últimos cuatro años ha mantenido la tendencia
- Julio se presenta con una leve tendencia a disminuir las precipitaciones con intervalos de variaciones muy pronunciadas entre un año y el siguiente. El rango de lluvias varía entre 10mm y 80mm, con excepción de los años 1994 y 2005 que registraron valores de 5,7mm y 7,2mm respectivamente.
- Agosto al igual que julio se manifiesta con una ligera tendencia a disminuir las lluvias, con valores de 10mm a 100mm. Las variaciones anuales son pronunciadas observando una tendencia muy irregular para el período estacional. En los años 92-93 se mantuvo constante 120mm, en 1995 y 2008 fueron años con valores que llegaron a 120mm y 138,2mm respectivamente.
- El mes de septiembre presenta una ligera tendencia a disminuir las precipitaciones, oscilando entre 25mm y 150mm, excepto el año de 1997 que llegó a 274mm, siendo un valor anormal de exceso de lluvias para esta época del año.
- Octubre mantiene una ligera tendencia a disminuir las lluvias al igual que el mes de septiembre, con valores que oscilan entre 20mm y 150mm, excepto el año de 1997 que llegó a 345,8mm, coincidiendo como un registro anormal de excesos de lluvia para esta época del año.
- El mes de Noviembre se caracteriza por tener una tendencia a disminuir la cantidad de lluvias en un intervalo de variación de 50mm a 250mm. Su máximo registro en el año de 1997 con un total de 450mm, el más alto de todo el período de observación.
- Diciembre presenta una ligera tendencia a aumentar la precipitación, con un comportamiento irregular que varía de 100mm a 300mm. Se observan varios años que

superaron este límite, siendo el año de 1993 que acumulo lluvias hasta 362,2mm y 1992 bajo a 32mm.

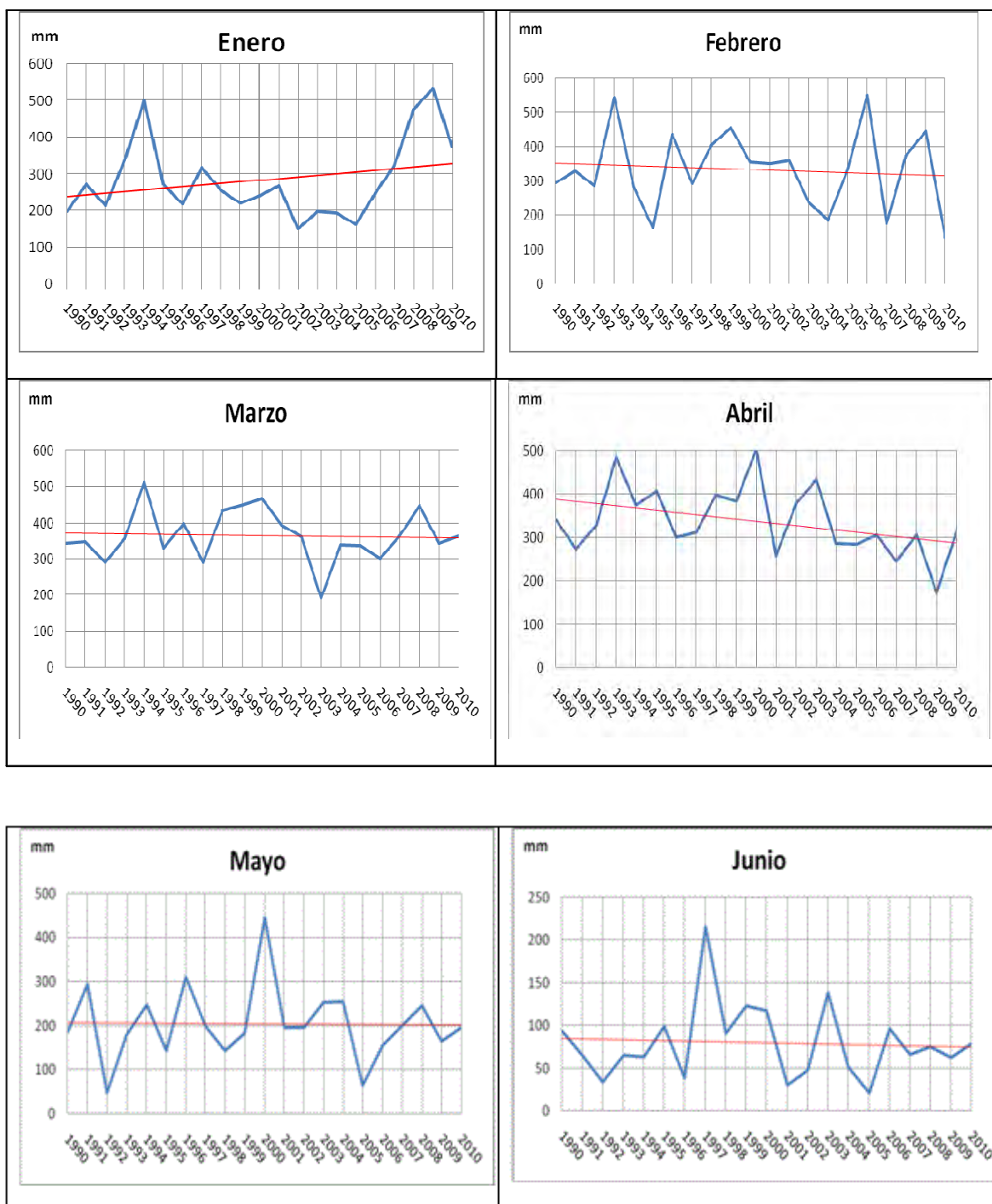


Figura 42. Precipitaciones Totales Mensuales Las Palmas, período 1990-2010 (cont.)

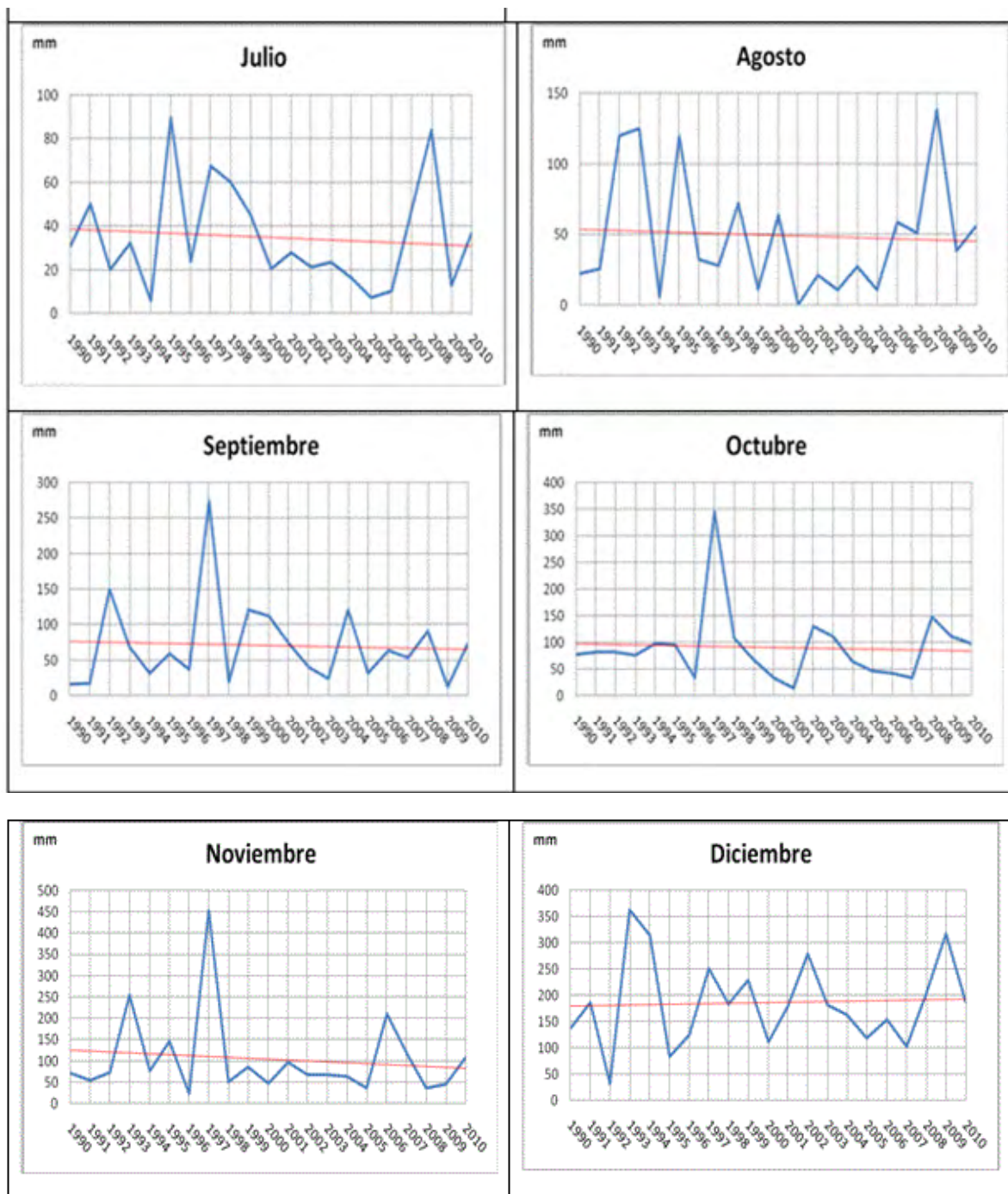


Figura 42. Precipitaciones Totales Mensuales Las Palmas, período 1990-2010.

En resumen, durante los últimos meses en la estación Las Pampas se presentó una tendencia a disminuir la altura de la precipitación debido a la presencia de un evento extraordinario que se dio en el año 1997, el cual acumuló gran cantidad de lluvia en los meses de septiembre, octubre y noviembre.



Estación La Libertad período de 2005-2010

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 43, del análisis realizado mes a mes a lo largo del período de registro, puede observarse que los meses de diciembre a mayo se produce un aumento en los valores de acumulación de lluvia anual, los meses de junio a noviembre presentan disminución de las lluvias anuales, el mes de agosto se mantiene un comportamiento casi constante durante el período. A continuación se presenta una descripción del análisis realizado en forma mensual:

- El mes de Enero presenta un marcado patrón de aumento de lluvias durante el período de observación, los valores oscilan entre 300 mm a 800 mm, presenta dos años extremadamente opuestos, en el 2005 un valor de lluvia registrada de 34 mm y en el 2008 un valor de 810 mm, siendo la máxima registrada durante el período de análisis.
- En Febrero también se muestra una marcada tendencia en aumento de la precipitación, con valores que oscilan entre 300 mm a 700 mm en el año 2008, excepto el año 2005 que presenta un valor de 19,8 mm. Se observa que la variación entre los valores anuales presenta un amplio intervalo.
- Marzo mantiene un patrón de aumento de precipitaciones con valores que oscilan entre 400 mm y 790 mm, excepto el año 2005 que presenta un valor atípico de 19,8 mm.
- Abril se caracteriza por mantener un patrón de precipitaciones en aumento, entre valores de 200 mm a 570 mm, el año 2005 registra 52 mm, el período del 2006 al 2008 mantiene una tendencia casi constante de 500 mm, en el 2009 desciende a 170 mm y en el 2010 llega a 570 mm. Se observa una variación muy amplia de valores anuales.
- El mes de mayo mantiene la tendencia de aumento, en un rango de 100 mm a 400 mm, excepto el año 2007 donde se presenta un valor máximo de 450 mm y el 2005 registra 87,2 mm.
- Junio tiene una tendencia a disminuir la precipitación a lo largo de los años de observación, aunque puede observarse que durante el primer año su tendencia fue aumentar, luego se mantuvo constante en el 2006 y a partir de 2007 descendió hasta los 100 mm.
- Julio presenta una patrón a disminuir las precipitaciones manteniéndose entre 50 mm y 150 mm, a excepto del año 2005 que llegó a 180 mm y 2006 que bajo a 20 mm.
- El mes de agosto muestra una tendencia casi constante que se mantiene durante el período de observación, oscilando entre los valores de 40 mm a 100 mm, es un período muy regular.
- Septiembre se caracteriza por mostrar una tendencia a disminuir las precipitaciones a lo largo del período. Su rango oscila entre 20 mm y 100 mm, no presenta picos de máximas y de mínimas. Tiene una amplitud pluvial de 80 mm.
- El mes de octubre al igual que septiembre, tiene una tendencia a disminuir la cantidad de lluvias, oscila en un rango que va de 50 mm a 200 mm, aunque inicia con un aumento en la cantidad de lluvias hasta 200 mm en el año 2006, luego desciende progresivamente hasta los 50 mm en el año 2010. Tiene una amplitud pluvial de 150 mm.

- El mes de noviembre tiene una leve tendencia a disminuir la precipitación a lo largo del período de observación, a pesar que inicia el período con un aumento hasta 250 mm en el 2006, luego disminuye progresivamente hasta 40,5 mm en el 2009. Tiene un intervalo de variación pluvial de 100 mm.
- Diciembre presenta una tendencia marcada al aumento de las precipitaciones mensuales, su rango varía de 150 mm a 490 mm, con una amplitud pluvial de 340mm.

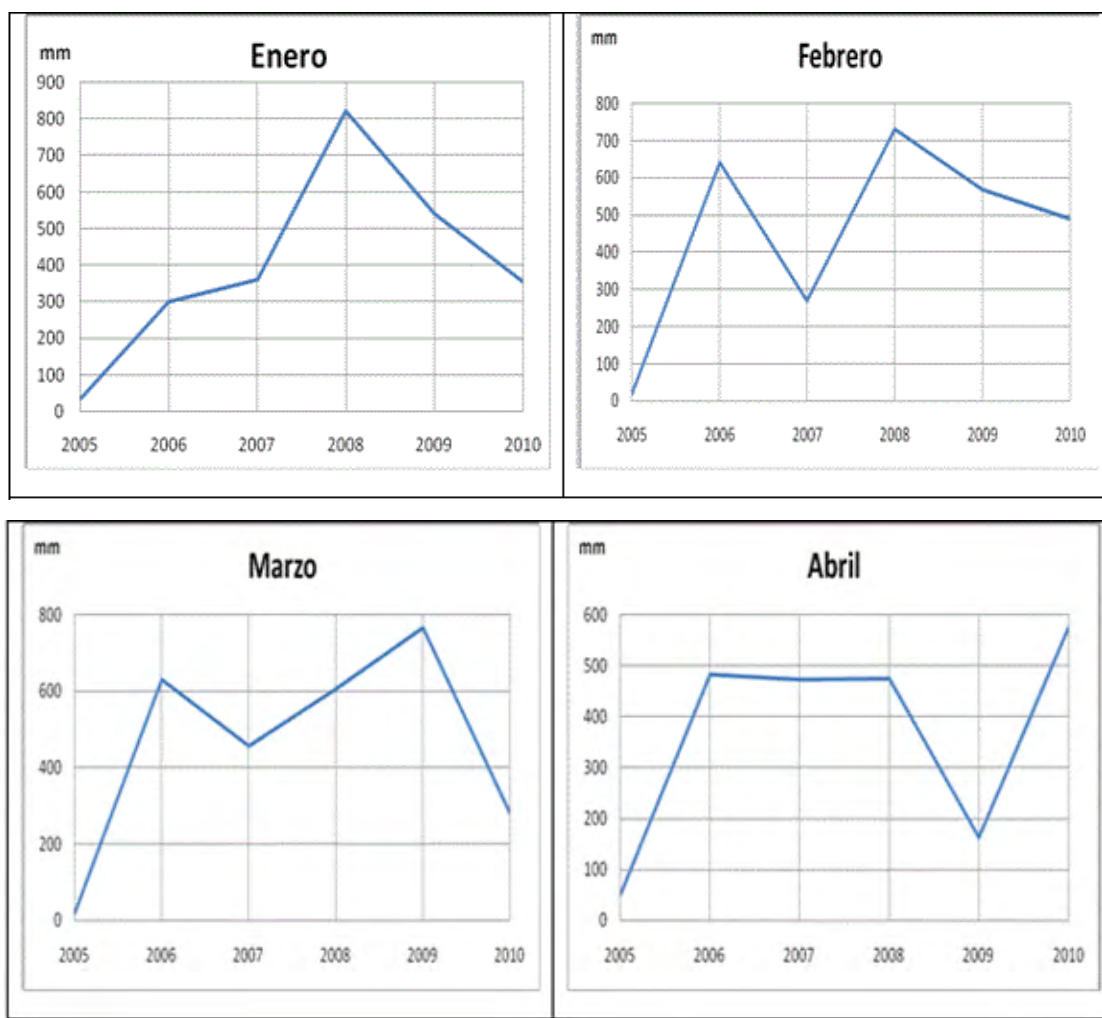


Figura 43. Precipitaciones Totales Mensuales La Libertad, período 2005-2010 (cont).

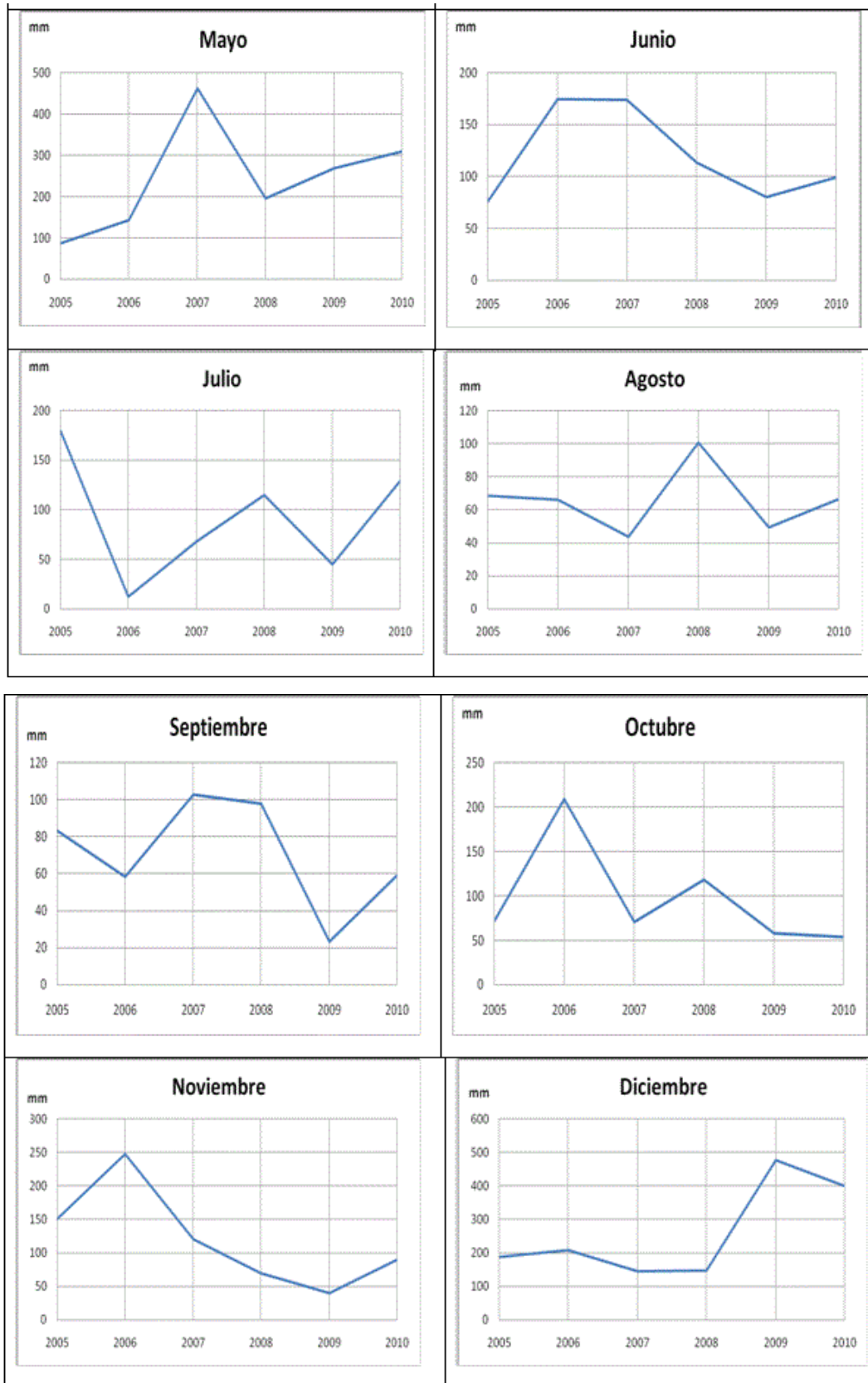


Figura 43. Precipitaciones Totales Mensuales La Libertad, período 2005-2010.

### Estación Puerto Ila de 1990-2010

Del análisis más detallado de cada mes a lo largo de los años, durante el período de observaciones, puede verse en la Figura 44, que los meses de febrero y abril presentan una tendencia muy marcada a disminuir las lluvias, los meses de mayo a julio presentan una leve tendencia de disminuir las precipitaciones y los meses de agosto a diciembre muy ligera tendencia a disminuir las lluvias, el mes de marzo muestra una tendencia de aumento de lluvias.

- El mes de enero se mantiene a lo largo de los años con una ligera tendencia de disminución de la lluvia en el rango de 200mm a 600mm, sin tener en cuenta el año de 1998 que alcanzo el máximo valor registrado en el período de observación de 894mm. La amplitud pluvial entre 1998 y 1999 es de 700mm. Del 2001 a 2006 la cantidad de lluvia decreció hasta los 200mm, luego en el 2008 llego a los 646mm para terminar el 2010 en 360mm.
- El mes de febrero se caracteriza por tener una tendencia a disminuir las precipitaciones, aunque inicia con aumento de las lluvias llegando en 1992 al máximo valor de 858mm. El rango de variación pluvial general va desde 200mm a 700mm. Entre los años de 1996 a 2000 el intervalo pluvial es de 500mm a 600mm, en el 2001 desciende a 242mm y luego de 2002 a 2006 aumenta la cantidad entre 400mm y 700mm, a partir del 2007 comienza a ascender hasta estabilizarse alrededor de los 500mm.
- Marzo tiene una marcada tendencia de aumentar las lluvias, el rango varía desde 300mm a 750mm, a excepción de los años de 1998 cuando la precipitación llego a 826mm, y en el período 2003-2004 descendió a la media de 245mm. La amplitud pluvial es de 697mm. Se observa períodos con intervalos de variación pluvial muy amplios, así entre 2002 y 2003 existe 534mm, y entre 2009 y 2010 hay 613mm.
- Abril se caracteriza por tener una marcada tendencia a disminuir la cantidad de precipitación durante el ciclo de estudio. Este mes tiene un rango de 300mm a 700mm sin tener en cuenta los años 1992 y 1998 en los cuales se registro precipitaciones de 791mm y 772mm respectivamente. Por el contrario, el año más seco fue 2009 con 158mm de lluvia. Si consideramos el intervalo de variación es de 633mm.
- El mes de mayo, al igual que el mes anterior, presenta una fuerte tendencia a disminuir las precipitaciones, el período de registro tiene un rango de 100mm a 400mm. Presenta dos picos de máxima, el primero en el año 1992 llegando a 541mm, y el segundo el año 1998 con 463mm. El año de precipitación más baja fue 2005 con 33,4mm.
- El mes de junio manifiesta una moderada tendencia a disminuir la cantidad de precipitación caída durante el período de estudio. Su máximo registro se dio en el año 1997 con un total de 367mm de lluvia, en los años restantes se mantiene en un rango que va de 15mm a 200mm. El intervalo de variación pluvial es de 352mm.
- El mes de julio continúa la tendencia a disminuir la cantidad de precipitación, la cantidad de lluvia acumulada mensual no sobrepasa los 70mm, excepto los años de

1992 que llegó a 159mm y durante el período 97-98 que alcanzó los 230mm. A partir de 1999 hasta el 2010 los valores registrados se encuentran bajo los 70mm.

- Agosto tiene un comportamiento que se mantiene a lo largo de los años con una leve tendencia de incremento de la cantidad de lluvia mensual, no superando los 80mm, con excepción de los años 1997 y 2008, en los cuales alcanzó valores de 138mm y 125mm, respectivamente.
- El mes de septiembre muestra una ligera tendencia a disminuir las lluvias durante el período de observación, en un rango que apenas sobrepasa los 100mm, sin embargo, muestra un gran pico de lluvia en el año de 1997 que llegó a los 704mm, produciendo una amplitud pluvial de 695mm.
- Durante el mes de octubre el comportamiento se mantiene igual que el mes de septiembre, con una leve tendencia a disminuir las precipitaciones. El rango de lluvias normales va de 15mm a 100mm, y presenta un gran pico en el año de 1997 que llegó a los 466mm, produciendo un intervalo de variación de 451mm.
- En el mes de noviembre el comportamiento pluvial se mantiene, una leve tendencia a disminuir las precipitaciones entre valores normales de 20mm a 100mm y se observa un gran pico de máxima en el año 1997 que llega a los 801mm de lluvia.
- Diciembre tiene la misma tendencia a disminuir las precipitaciones, las lluvias oscilan entre los 50mm a 400mm, se observa un gran pico de 960mm en el año de 1997 que llegó a la máxima precipitación anual del período 1990-2010.

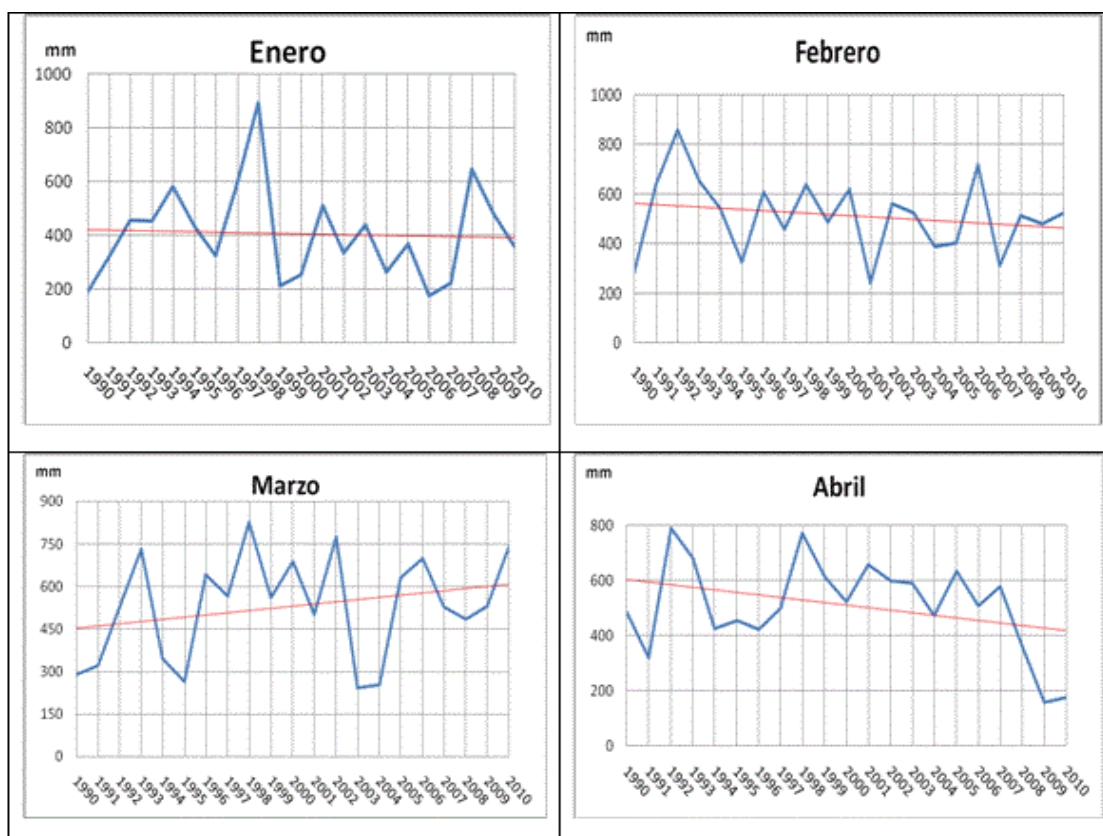


Figura 44. Precipitaciones Totales Mensuales Puerto Ila, período 1990-2010 (cont.)

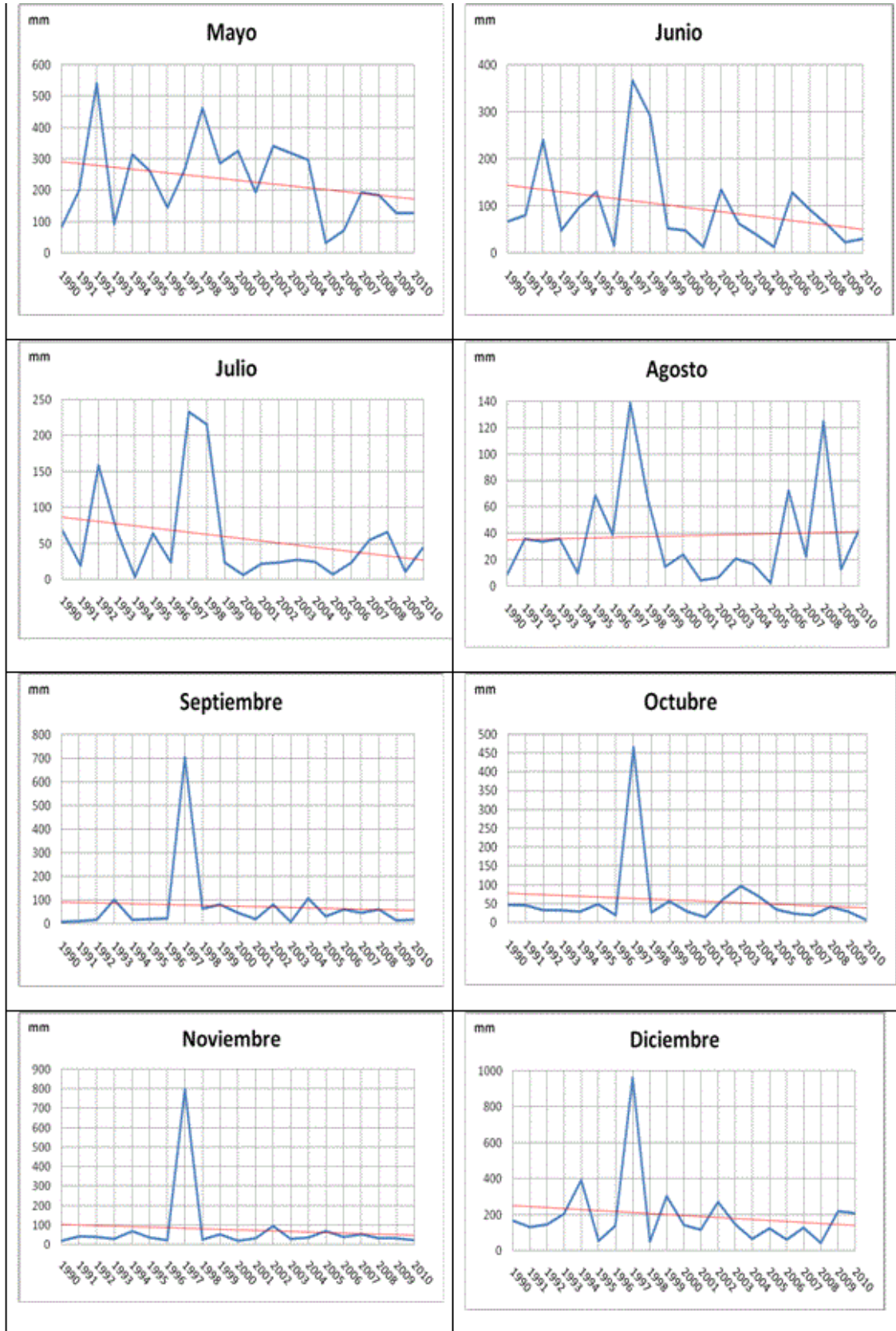


Figura 44. Precipitaciones Totales Mensuales Puerto Ila, período 1990-2010.

## Precipitaciones Diarias

Para el análisis de la precipitación total diaria se tomaron como referencia cuatro series anuales con diferentes condiciones, que representen casos particulares dentro del período de observación 1990-2010, se incluye en este análisis a la estación La Libertad en una serie a pesar que su período de observación es diferente.

La primera serie de análisis corresponde al período de enero a diciembre del año 1997, considerado un año extremadamente lluvioso (muy húmedo) debido a la presencia del fenómeno climatológico, en la cual se consideraron las estaciones meteorológicas Puerto Ila y Las Pampas.

Como se observa en la Figura 45, para el caso de la estación Puerto Ila, los registros de las mayores alturas de lluvia caída se ubican entre los meses de enero a abril con valores que oscilan entre 50 mm a 140 mm, luego de mayo a agosto la altura de la precipitación descende variando entre 10 mm a 50 mm, para luego de septiembre a diciembre aumentar su altura y frecuencia variando entre 50 mm a 150 mm. Siendo los meses de diciembre, noviembre y septiembre los más intensos.

Para el caso de la estación Las Pampas, los meses en que se registraron las mayores alturas de lluvia caída son de enero a junio con valores que llegan entre 40 mm y 60 mm, luego en julio y agosto decrecen a un promedio de 10mm, aunque en julio ocurrió una lluvia que sobrepasa los 30 mm; y de septiembre a diciembre aumentan su altura y frecuencia llegando a valores de 40 mm y 60 mm, siendo los meses de noviembre y octubre los más intensos.

En forma general podemos decir que la tendencia de las series registradas en los pluviómetros se mantiene en las dos estaciones (zonas geográficas) siendo la altura de la lluvia en la estación Puerto Ila, que cubre la zona media baja, mucho mayor que la estación Las Pampas que cubre la zona media alta. La mayor parte de la lluvia sobrepasa los 20 mm de altura.

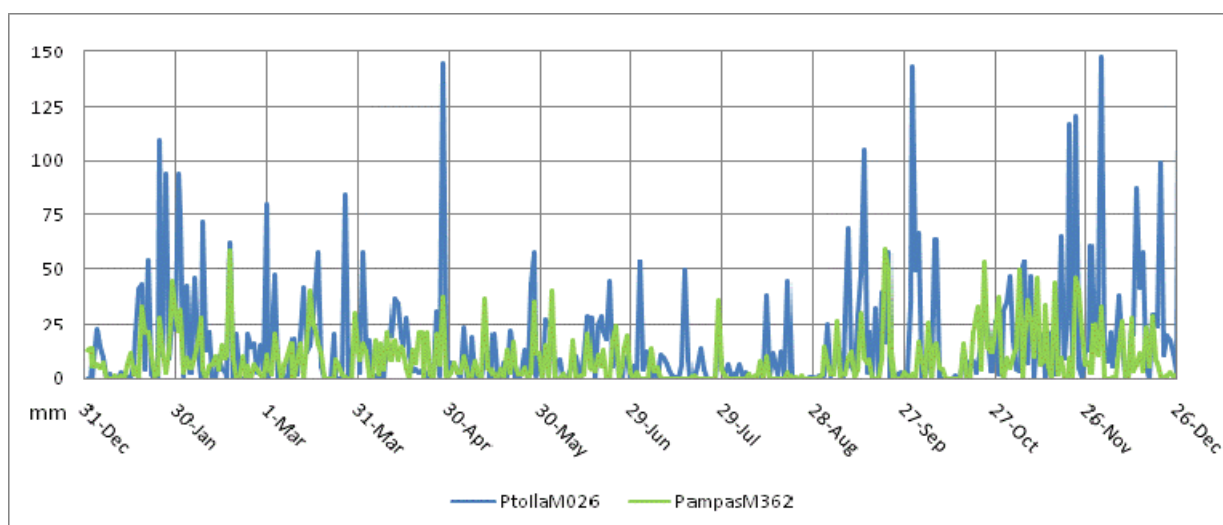


Figura 45. Precipitaciones diarias período 1997.

La segunda serie de análisis corresponde al período de enero a diciembre del año 2000, considerado un año regular, en el que se consideraron las estaciones meteorológicas Puerto Ila y Las Pampas.

Como se observa en la Figura 46, para el caso de la estación Puerto Ila, los registros de las mayores alturas de lluvia caída se ubican entre los meses de diciembre a mayo con valores que oscilan entre los 40 mm a 110 mm, considerado como el período húmedo (mayor frecuencia e intensidad de lluvias). Mientras que entre los meses de junio a noviembre la altura baja considerablemente a valores que no sobrepasan los 20 mm, considerado como el período seco. Siendo los meses de marzo, febrero y abril los más intensos.

Para el caso de la estación Las Pampas, el período en el que se registraron las mayores alturas de lluvia caída fue entre los meses de diciembre a junio con valores que van entre 25 mm y 70 mm. Mientras que entre los meses de julio a noviembre la altura desciende a valores que no sobrepasan los 25mm. Siendo los meses de abril, marzo y mayo considerados los más intensos.

En forma general podemos decir que la tendencia de las observaciones durante esta serie considerada normal, se mantiene en lo largo del período de análisis en las dos estaciones, siendo la altura de la lluvia caída en la estación Puerto Ila mayor que en la estación Las Pampas. Coincidiendo los períodos de lluvia y estiaje con los períodos normales, mayor cantidad de lluvias en un caso y menor cantidad en el otro. La mayor concentración de la lluvia está entre los 20 mm a 50 mm.

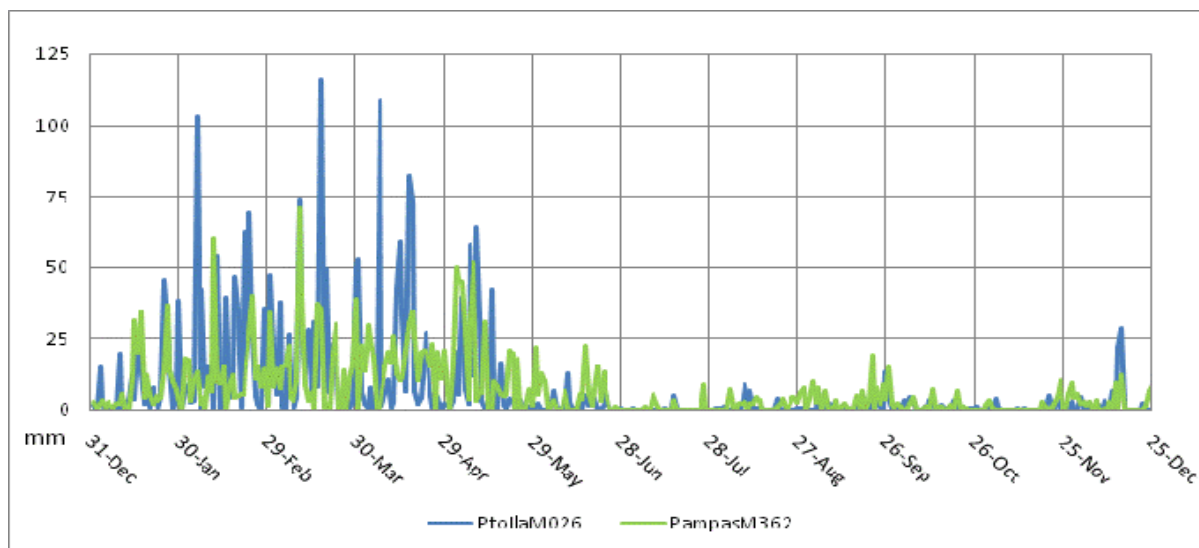


Figura 46. Precipitaciones diarias período 2000.



La tercera serie de análisis corresponde al período de enero a diciembre del año 2004, considerado un año de déficit de lluvias (seco).

Como se observa en la Figura 47, para la estación Puerto Ila, los registros de las lluvias caídas con mayor altura se encuentran entre los meses de enero a mayo con valores que van desde los 20 mm a 100 mm; mientras que el período entre junio a diciembre la altura de la lluvia bajo a valores menores de 15 mm, con un caso excepcional en el mes de septiembre. Los meses con mayor intensidad fueron abril, febrero y mayo.

Del análisis a la estación Las Pampas, se observa que el período en el que se registraron las mayores alturas de lluvias caídas fue entre diciembre a mayo con valores que van fluctúan de 20 mm a 50 mm. Mientras que entre los meses de junio a noviembre la altura descende considerablemente a valores que no sobrepasan los 20mm. Siendo los meses más intensos marzo, abril y mayo.

En general, la tendencia de las observaciones registradas durante este período considerado seco, se mantiene a lo largo de la serie de análisis en las dos estaciones. La altura de la lluvia caída en la estación Puerto Ila tiene es parcialmente mayor que la estación Las Pampas. La mayor concentración de la lluvia esta bajo los 50 mm

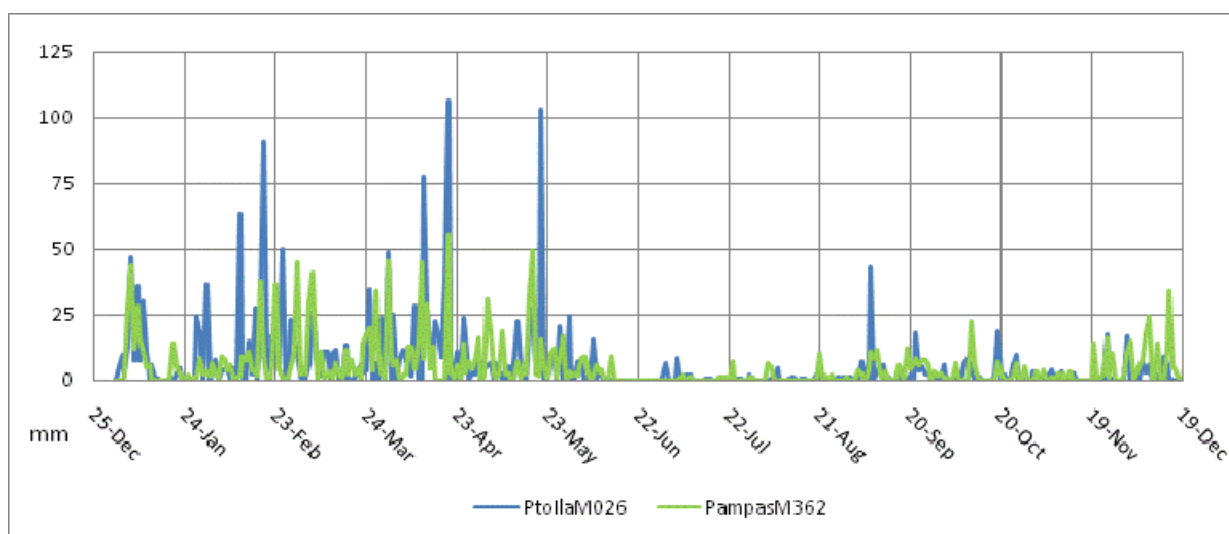


Figura 47. Precipitaciones diarias período 2004.

La cuarta serie de análisis corresponde al período de enero a diciembre del año 2007, considerado un año regular en el cual se consideraron las tres estaciones meteorológicas de estudio, Puerto Ila, La Libertad y Las Pampas.

Como se observa en la Figura 48, en la estación Puerto Ila se registran las mayores altura de precipitación caída entre los meses de diciembre a mayo con valores que oscilan de 20mm a 50mm, existiendo tres datos puntuales fuera del rango que son 107,9mm el 19 de febrero, 96,3mm el 23 de marzo y 97,5mm el 30 de abril. Mientras que durante los meses de junio a noviembre se registraron los menores valores de lluvia que no sobrepason los 20mm. Siendo los meses de abril, marzo y febrero los mas intensos.

En el caso de la estación La Libertad, se registraron las mayores alturas de lluvia durante los meses de noviembre a junio, con valores que fluctúan entre 15mm a 50mm; mientras que entre los meses de julio a octubre la altura de la precipitación decreció a valores por debajo de los 15mm. Siendo los meses de marzo, abril y mayo los más intensos en lluvias.

Durante el período de análisis en la estación Las Pampas, los meses con mayor altura de lluvia fueron de noviembre a mayo con observaciones entre 15mm a 45mm, mientras que de junio a octubre la precipitación descendió a valores menores a 15mm, excepto el día 29 de junio que registra un valor de 66mm. Los meses de mayor intensidad son marzo, enero y abril.

En forma general podemos concluir que la tendencia de los patrones de observación de las tres estaciones, en esta serie, se mantienen iguales durante el período de observación, manteniendo las mayores alturas de lluvia caída en la estación Puerto Ila sobre los valores de las otras estaciones. Coinciden los períodos lluvioso y secos en las tres estaciones.

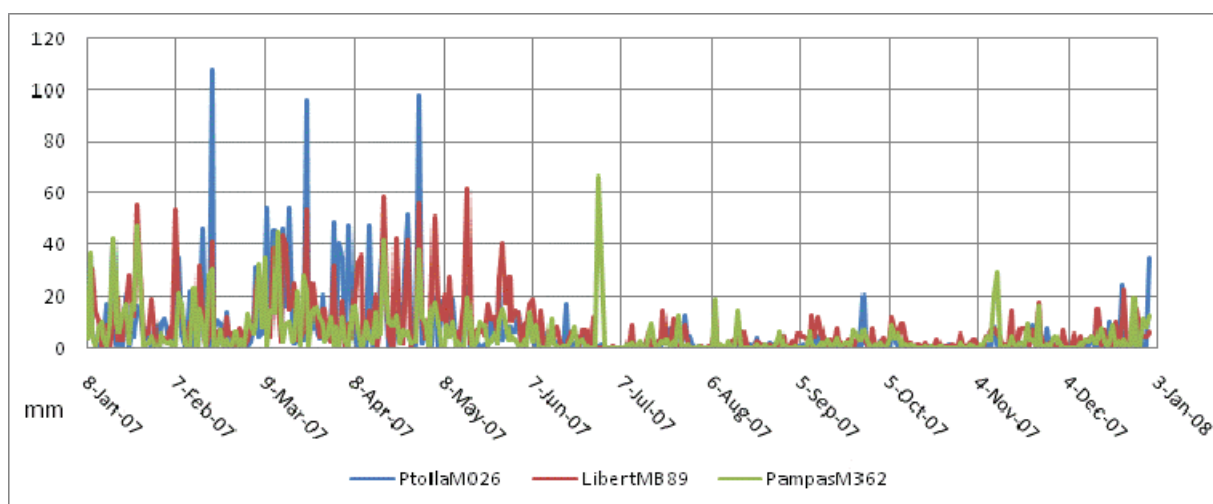


Figura 48. Precipitaciones diarias período 2007.

### 5.3.2 Temperaturas

Para la descripción de los resultados, primero se presentará a la estación Puerto Ila y luego a la estación Las Pampas, dentro de cada una de estas se realizarán las descripciones de los análisis de las temperaturas mensuales y anuales.

#### Estación Puerto Ila

La distribución de las temperaturas medias mensuales durante los años 1990-2010 se presenta en la Figura 49, en el que se muestran las tres variables de la temperatura mensual, máxima, media y mínima. A continuación se describe cada una de ellas:

- Las temperaturas máximas mensuales oscilan entre los 25°C - 27°C. Durante el período de septiembre a abril se produce un aumento de la temperatura alcanzando

el máximo valor en el mes de abril con 26,8°C, y desde mayo a agosto desciende la temperatura alcanzando el mínimo registro en el mes de agosto con un valor de 25,3°C, la amplitud térmica es de 1,5°C.

- Las temperaturas medias mensuales varían en un rango de 23°C - 25,5°C. Durante los meses de septiembre a marzo se produce un aumento de la temperatura alcanzando el máximo valor en el mes de marzo con 25,5°C manteniéndose constante durante abril, y desde mayo a julio desciende la temperatura alcanzando el mínimo valor en el mes de julio con 23,4°C manteniéndose constante hasta agosto, la amplitud térmica es de 2,1°C.
- Las temperaturas mínimas mensuales se presentan en un rango de 22,5°C – 25° C. Durante los meses de septiembre a abril se produce un incremento en la temperatura alcanzando el máximo registro en el mes de abril con 24,9°C, luego disminuye la temperatura desde mayo a agosto siendo 22,6°C el menor registro ocurrido durante los meses de julio a agosto. La amplitud térmica es de 2,3°C.

Como conclusión podemos decir que la variación de la amplitud térmica en cada una de las temperaturas es pequeña, siendo la más grande en la temperatura media mínima mensual con 2,3°C, el mes más frío fue agosto y el mes más caliente abril.

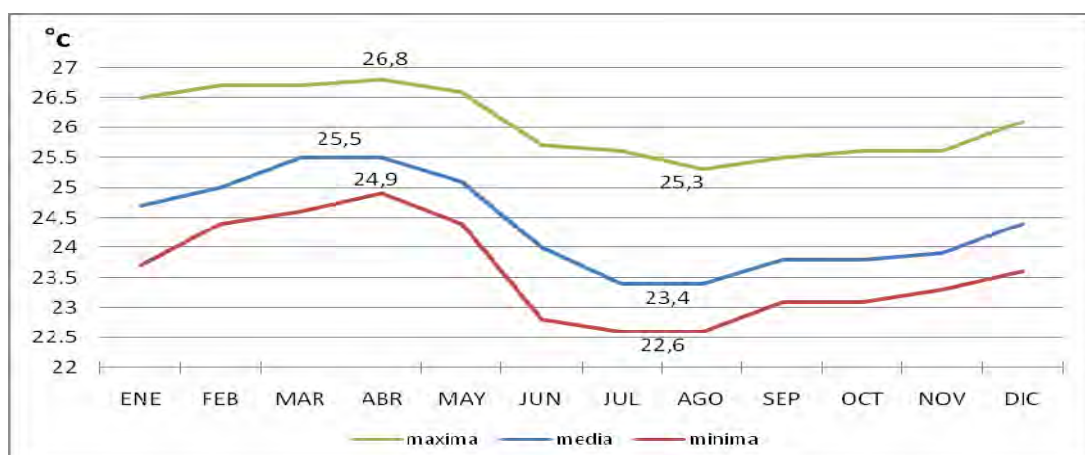


Figura 49. Distribución de las Temperaturas Medias Mensuales de la estación Puerto Ila para el período 1990-2010

La distribución de las temperaturas anuales durante el período 1990 a 2010 se muestra en la Figura 50, en el que se presentan las tres variables de la temperatura anual, máxima, media y mínima las cuales describen sendas tendencias a aumentar la temperatura conforme pasan los años. A continuación se describe cada una de ellas:

- La temperatura máxima anual del período 1990-2010 se registró en el mes de abril de 1998 con un valor de 26,8°C, mientras que la mínima se registró en abril de 1994 con un valor de 24,9°C. El rango de los valores en que oscilan el resto de años está entre 25°C y 26°C. La amplitud térmica es de 1,9°C.

- En el año 1997 se registró el valor máximo de las temperaturas medias anuales, con un valor de 25,5°C, mientras que entre los años 1999 y 2000 se registró el menor valor de 23,9°C, con una amplitud térmica de 1,6°C.
- La temperatura mínima anual del período 1990-2010 se registro durante los meses de julio y agosto de 1994 con un valor de 22,6°C, mientras que la máxima se registró en enero de 1997 con un valor de 24,2°C. El rango de valores en que fluctúan el resto de años está entre 22,5°C y 24°C con una amplitud térmica de 1,3°C.

Para resumir, la temperatura anual en la estación Puerto Ila tiene una tendencia a aumentar los valores a través de los años, lo que muestra un incremento en la amplitud térmica. El período en el que ocurrieron los mayores registros de temperatura fueron los años de 1997 y 1998, que coincide con el período que se registraron los valores más altos de altura de precipitación anual (sección 5.3.1).

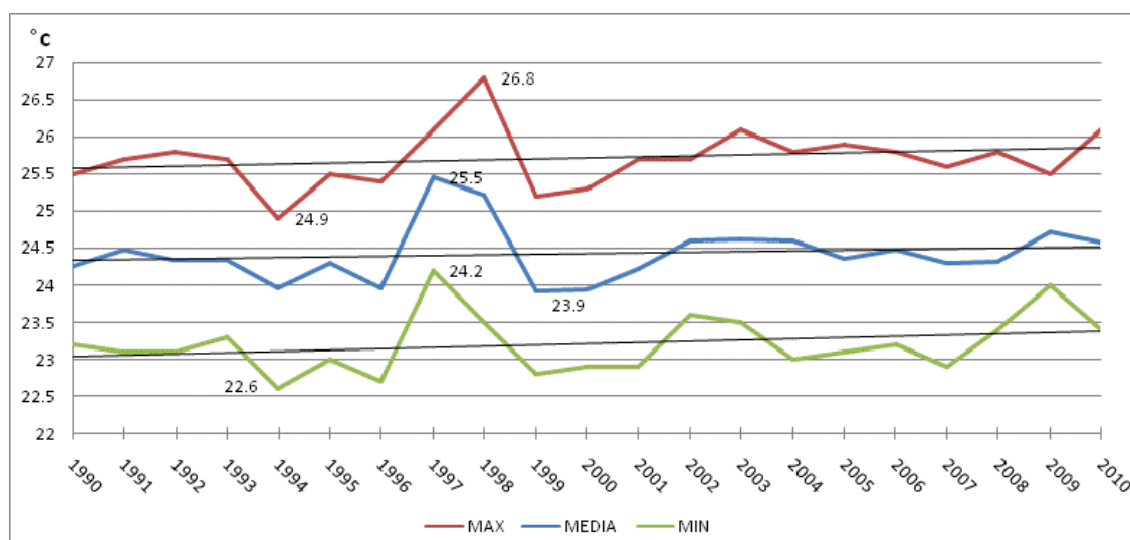


Figura 50. Distribución de las Temperaturas Anuales de la estación Puerto Ila para el período 1990-2010

### Estación Las Pampas

La distribución de las temperaturas mensuales durante los años 2005-2010 se presenta en la Figura 51, en el que se observa las tres variables de la temperatura mensual, máxima, media y mínima. A continuación se describe un resumen de ellas:

- Las temperaturas medias máximas mensuales oscilan entre los 18°C - 19°C. Durante los meses de enero, marzo, abril, julio, agosto, septiembre y octubre se presentó un aumento de la temperatura alcanzando el máximo valor en el mes de abril con 18,8°C, y los meses de febrero, mayo, junio, noviembre y diciembre descendió la temperatura alcanzando el mínimo registro en el mes de diciembre con un valor de 17,9°C, la amplitud térmica fue de 0,9°C.

- Las temperaturas medias mensuales varían en un rango de 17,5°C – 18,5°C. Durante los meses de enero a mayo se produce un aumento de la temperatura alcanzando el máximo valor en el mes de mayo con 18,4°C, luego la temperatura desciende entre los meses de junio a agosto y diciembre alcanzando el mínimo valor en diciembre con 17,5°C, se observa que durante el período de septiembre a noviembre la temperatura es constante en 18°C, la amplitud térmica es de 0,9°C.
- Las temperaturas medias mínimas mensuales se presentan en un rango de 17°C – 18°C. Durante los meses de febrero a mayo se incrementa gradualmente la temperatura alcanzando el máximo registro en el mes de mayo con 18,1°C, en los meses de junio, julio, octubre, diciembre y enero disminuyó la temperatura siendo 17,1°C el menor registro ocurrido durante el mes de enero, entre julio y septiembre se mantuvo constante en 17,6°C. La amplitud térmica es de 1,0°C.

A partir de estos resultados, la amplitud térmica en cada una de las temperaturas es mínima, siendo 0,93°C el promedio de las tres, el mes más frío fue enero y el mes más caliente abril con una variación térmica de 1,7°C.

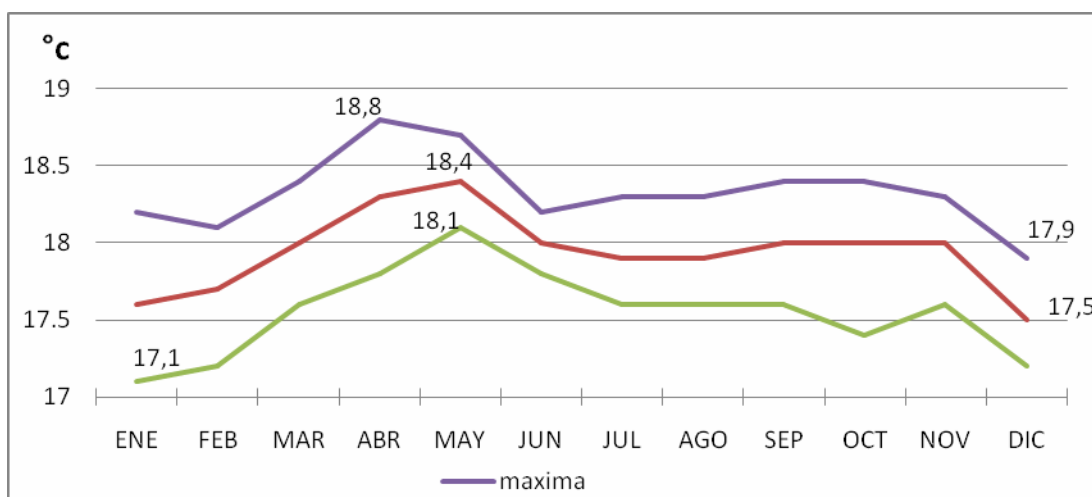


Figura 51. Distribución de las Temperatura Medias Mensuales de la estación Las Pampas para el período 2005-2010

La distribución de las temperaturas anuales durante el período 2005 a 2010 se muestra en la Figura 52, en el que se presentan las tres variables de la temperatura anual, máxima, media y mínima las cuales describen tendencias diferentes durante el período de observación. A continuación se detalla cada una de ellas:

- La temperatura máxima anual del período 2005-2010 se registró en el mes de abril del año 2005 con un valor de 18,8°C, mientras que la mínima de la máxima se registró en mayo del 2008 con un valor de 18,19°C. El rango de los valores en que oscilan el resto de años está entre 18°C y 19,6°C. La amplitud térmica es de 0,7°C.
- En los años 2005 a 2006 y 2009 a 2010 se registró el valor máximo de las temperaturas medias anuales, con un valor de 18,1°C, mientras que en el año 2008 se registró el menor valor de 17,1°C, con una amplitud térmica de 0,4°C.

- La temperatura mínima anual del período 2005-2010 se registro en el mes de enero del 2008 con un valor de 17,1°C, mientras que la máxima de la mínima se registró durante los meses de enero y febrero del 2008 con un valor de 17,8°C. El rango de valores en que fluctúan el resto de años está entre 17°C y 18°C con una amplitud térmica de 0,7°C.

En resumen, dada la poca información disponible de la temperatura en la estación Las Pampas, no se pudo realizar un análisis más profundo sobre el comportamiento de las temperaturas, sin embargo, durante el período 2005-2010 la temperatura máxima anual tiene una tendencia a disminuir los valores a través de los años y la temperatura mínima anual tiene la tendencia a aumentar, lo que produce una tendencia constante de la temperatura media anual y disminución de la amplitud térmica, como se pudo observar en los análisis realizados.

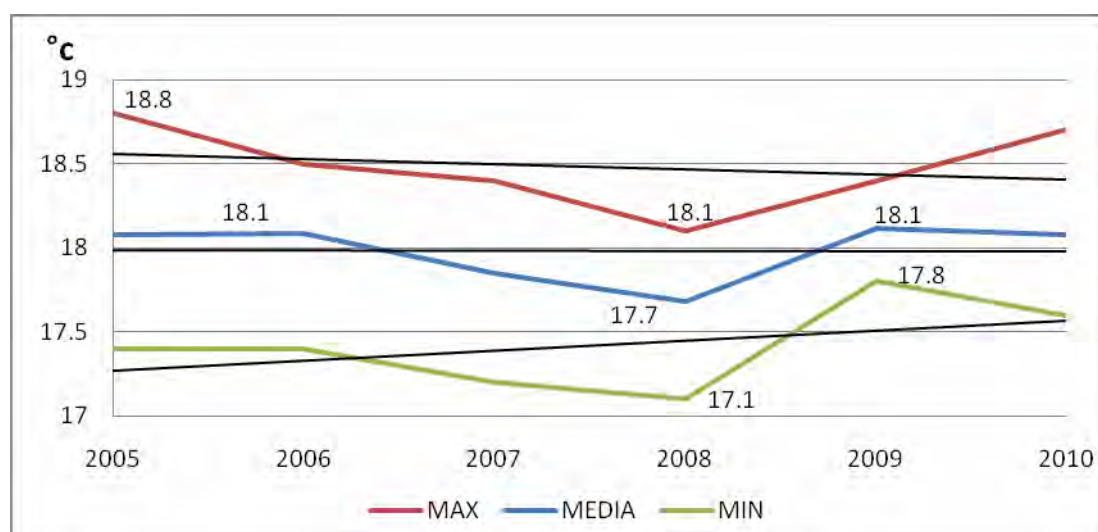


Figura 52. Distribución de las Temperaturas Anuales de la estación Las Pampas para el período 2005-2010

## 5.4.- Análisis y Procesamiento de Datos Hidrológicos

### 5.4.1 Caudales

Los datos utilizados para el desarrollo de este estudio proceden de los Anuarios Hidrológicos del INAMHI y de información proporcionada por ese Instituto, correspondiente a los Caudales Medios Mensuales (QMM) y a los Caudales Medios Diarios (QMD) desde enero del 2003 a junio del 2010 de la estación H414 Toachi AJ Baba. A continuación se presenta su análisis y procesamiento.

#### Distribución de los Caudales Medios Mensuales

En la cuenca del Toachi la distribución de los caudales tiene una tendencia uniforme a lo largo del tiempo considerado para el estudio, tal como se observa en la Figura 53, los caudales presentan dos períodos bien marcados en los cuales se agrupan los valores máximos y los valores mínimos respectivamente.

En forma general al analizar la curva de la media mensual del período (línea punteada color amarillo), los caudales máximos aparecen siempre en el período comprendido entre los meses de enero a junio y los caudales mínimos se presentan durante los meses de julio a diciembre. El caudal promedio de los caudales medios mensuales es de  $35\text{m}^3/\text{s}$ .

El rango de los caudales medios durante enero a junio oscila entre  $20\text{m}^3/\text{s}$  y  $120\text{m}^3/\text{s}$ , registrándose los máximos caudales en el año 2003 en los meses de febrero  $151,9\text{m}^3/\text{s}$ , marzo  $161,5\text{m}^3/\text{s}$  y abril  $164,6\text{m}^3/\text{s}$ . Mientras que durante los meses de julio a diciembre el caudal no sobrepasa los  $20\text{m}^3/\text{s}$ , excepto en agosto del 2007 que se registró  $33,5\text{m}^3/\text{s}$  y en el año 2008 en los meses de julio, agosto y septiembre con valores de  $23,3\text{m}^3/\text{s}$ ,  $24\text{m}^3/\text{s}$  y  $22\text{m}^3/\text{s}$  respectivamente.

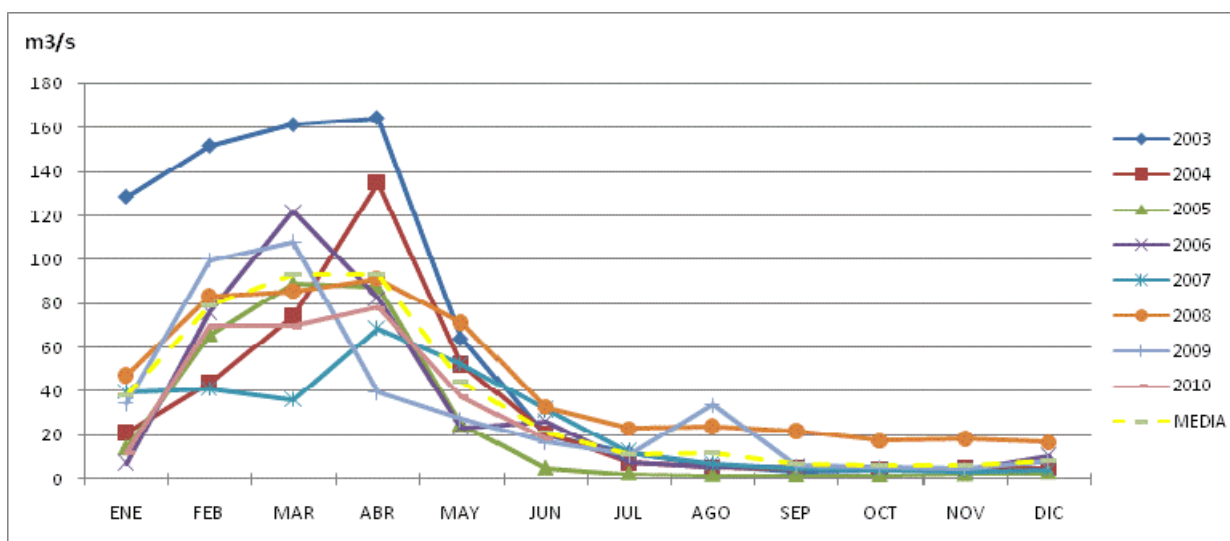


Figura 53. Distribución de los Caudales Medios Mensual desde enero 2003 a junio 2010.

### Variación mensual de los Caudales Medios Mensuales

Haciendo un análisis más detallado de los caudales medios mensuales, se presenta la Figura 54 de la variación mensual del caudal medio, en el cual se puede observar que la variación durante el período enero 2003 a junio 2010, describe dos comportamientos diferentes entre los meses de enero a junio y de julio a diciembre.

Entre los meses de enero a junio se caracteriza por presentar los niveles más altos de caudal, variando desde  $20\text{m}^3/\text{s}$  hasta  $90\text{m}^3/\text{s}$ , siendo los meses de marzo a abril el período de mas aporte de caudal con  $93,4\text{m}^3/\text{s}$ , y el mes de junio se registró el nivel más bajo con  $21,4\text{m}^3/\text{s}$ , produciendo una variación de  $72\text{m}^3/\text{s}$ . A este período se lo denomina húmedo.

Por el contrario durante los meses de julio a diciembre se caracterizó por mostrar los niveles más bajos de caudal, cuyos valores no superaron los  $15\text{m}^3/\text{s}$ , siendo el mes de agosto el que mayor aporte presento de caudal con  $12,1\text{m}^3/\text{s}$  y los mese de octubre a noviembre los más bajos con  $6,1\text{m}^3/\text{s}$ , produciendo una variación de  $6\text{m}^3/\text{s}$ . A este período se lo denomina seco o de estiaje.

En resumen el comportamiento del Río Toachi, durante el período de observación 2003-2010, presento dos períodos bien diferenciados en cuanto al volumen de agua registrado en el punto de aforo (caudal), de enero a junio y de julio a diciembre que coinciden con las épocas de mayor y menor precipitación respectivamente que fue analizada en la sección 5.3.1, registrándose una variación del caudal medio entre los dos períodos de  $83,7\text{m}^3/\text{s}$ .

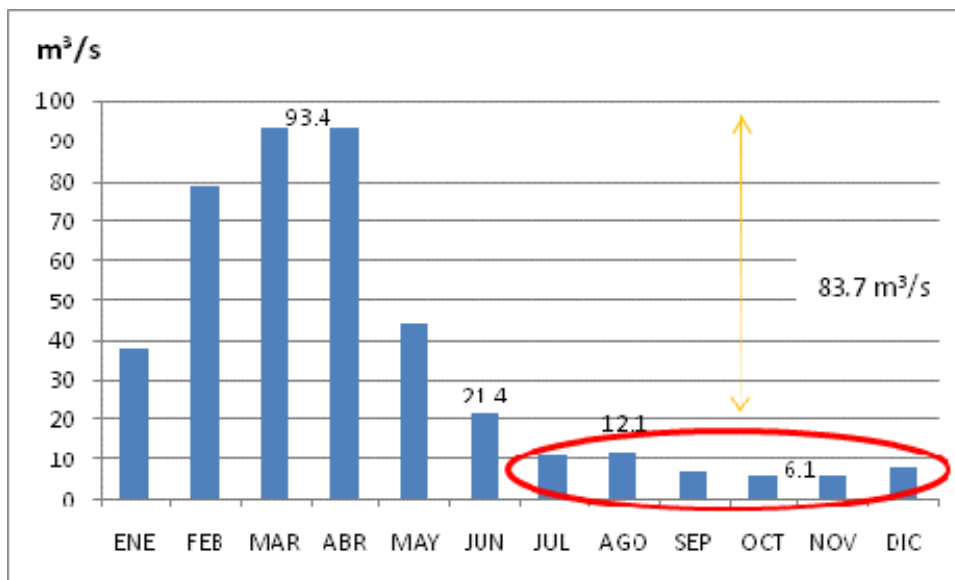


Figura 54. Variación mensual de los Caudales Medios Mensuales en el período 2003-2010

#### Distribución de los caudales mensuales durante el período 2003-2010

En la cuenca de estudio la distribución de los caudales mensuales durante el período enero 2003 a junio 2010 presenta una tendencia uniforme con respecto al tiempo de análisis, así observamos, en la Figura 55, que entre los meses de marzo a abril se producen los máximos caudales y entre los meses de septiembre a noviembre se presentan los caudales más bajos.

El caudal mensual más alto registrado fue en abril del 2003 con un valor de  $4938,5\text{m}^3/\text{s}$  y el más bajo fue en septiembre del 2005 con un valor de  $51,2\text{m}^3/\text{s}$ .



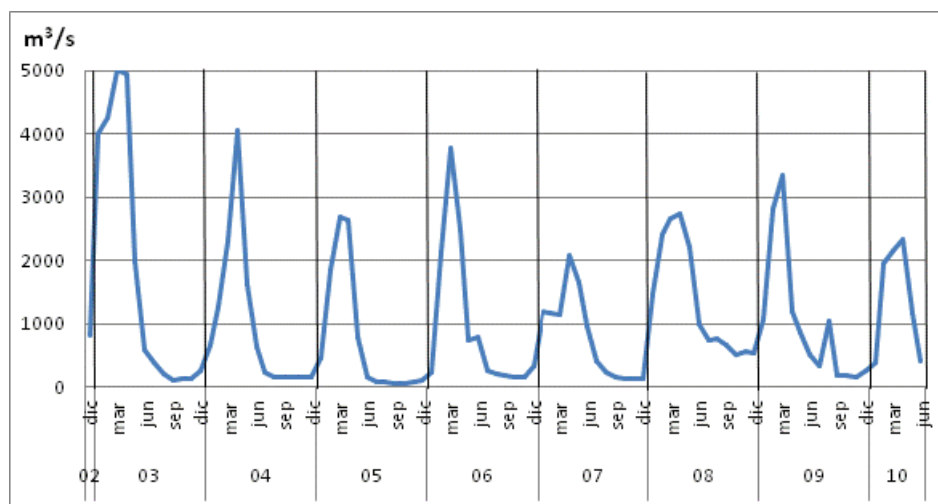


Figura 55. Caudales Mensuales durante el período 2003-2010

### Relación Caudal-Precipitación

Para efectuar el análisis de esta relación se utilizaron las estaciones Toachi AJ Baba con la variable caudal medio mensual durante el período 2003-2010 y la estación La Libertad con la variable precipitación media mensual durante el período 2005-2010.

De la Figura 56 representando la relación indicada podemos inferir que la distribución de los escurrimientos mensuales está marcada por la existencia de un caudal base constante a lo largo de todo el año que varía según el período, así de enero a junio fluctúa entre 20m<sup>3</sup>/s a 30m<sup>3</sup>/s, y de julio a diciembre entre 5m<sup>3</sup>/a 15m<sup>3</sup>/s.

Se observa además que existe relación directa entre la tendencia de la altura pluviográfica con el caudal correspondiente mensual, como lo demuestra la sección final del hidrograma que los caudales tienden a incrementar conforme se incrementa la lluvia.

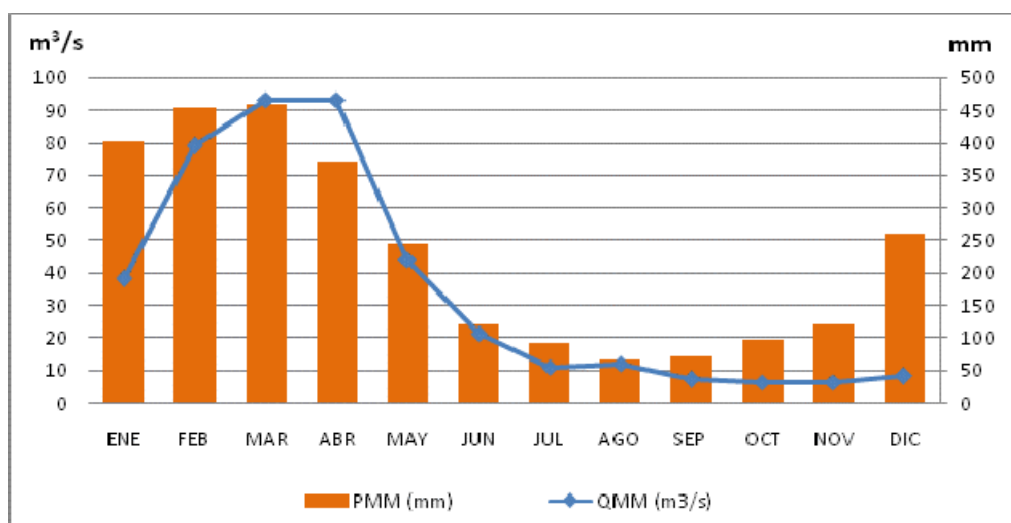


Figura 56. Relación del Caudal Medio Mensual con la Precipitación Media Mensual

## **5.5.- Análisis del Balance Hídrico**

Con la metodología explicada y con la ayuda del programa Excel® se realizaron los análisis hidro-climáticos, para la obtención de los balances mes a mes del agua en el suelo de las tres zonas de la cuenca del Río Toachi.

Como información general para el cálculo del balance hídrico de las tres áreas de la cuenca de estudio, se utilizó el dato de 300 mm como capacidad máxima de retención de agua en el suelo (reserva máxima) para la estación de Puerto Ila y de 200 mm para las estaciones Las Pampas y La Libertad; y de 12 horas como el número de horas de luz por día.

### **5.5.1 Cálculo del Balance Hídrico**

#### Estación Puerto Ila

El análisis hidro-climático utilizando la información de la estación Puerto Ila corresponde a la zona baja de la cuenca de estudio durante el período 1990-2010. En la Tabla 41 se presenta los datos usados y los resultados obtenidos de la aplicación del programa para el cálculo del balance hídrico a nivel mensual. Se observa las temperaturas y precipitaciones medias mensuales y los resultados de los cálculos de la evapotranspiración potencia corregida (ETP corr), la evapotranspiración real (ETR), el déficit, la reserva y el excedente del agua en el suelo.

En la Figura 57 se muestra el comportamiento del balance hídrico a nivel mensual, observando que en los meses de septiembre a noviembre existe un déficit de agua, en los meses de diciembre a mayo se produjo almacenamiento del agua en reserva y excedentes, y de junio a agosto se usó el agua de la reserva del suelo.

Este comportamiento coincide con las estaciones climáticas de la zona, de diciembre a mayo en la época lluviosa se produjo almacenamiento de agua en reserva y excedentes, y de junio a noviembre en la época seca o estiaje se presentó primero el uso del agua de la reserva en el suelo hasta agotarse y luego el déficit, para nuevamente comenzar el ciclo con la época lluviosa y las primeras lluvias que alimentan la reserva y excedentes.

En la Tabla 41 se observa que, en el mes de diciembre con las primeras lluvias de la época húmeda se termina el déficit de agua y comienza a llenarse las reservas en el suelo hasta el mes de enero que se presenta la máxima capacidad de humedad y el exceso de agua se escurre por los excedentes. Luego en junio, una vez que las lluvias disminuyen propio de la época, el agua deja de ser excedente y el suelo utiliza las reservas hasta agotarse en agosto; posteriormente comienza el período deficitario de agua desde septiembre hasta noviembre debido a la falta de lluvias y a la demanda del líquido vital; iniciando nuevamente el ciclo en diciembre con el llenado de las reserva propio de las lluvias de la época.

En el mes de diciembre se presenta la transición de la época seca a la lluviosa y en el mes de mayo de la estación lluviosa a la seca.

Tabla 41. Resumen del Balance Hídrico de la estación Puerto Ila

Mes	Temp Media Mens (°C)	ETP corr (mm)	Precip Media Mens (mm)	ETR (mm)	Déficit (mm)	Reserva (mm)	Excedentes (mm)
Sep	23,8	97,5	75,8	75,8	21,7	0,0	0,0
Oct	23,8	100,8	57,7	57,7	43,1	0,0	0,0
Nov	23,9	98,8	83,1	83,1	15,7	0,0	0,0
Dic	24,4	108,8	194,8	108,8	0,0	86,0	0,0
Ene	24,7	112,	402,3	112,9	0,0	300,0	75,4
Feb	25,0	106,8	514,2	106,8	0,0	300,0	407,4
Mar	25,5	124,5	504,2	124,5	0,0	300,0	379,7
Abr	25,5	120,5	491,9	120,5	0,0	300,0	371,4
May	25,1	118,6	232,3	118,6	0,0	300,0	113,7
Jun	24,0	100,1	97,1	100,1	0,0	297,1	0,0
Jul	23,4	95,7	53,8	95,7	0,0	255,2	0,0
Ago	23,4	95,7	38,3	95,7	0,0	197,9	0,0
Sep	23,8	97,5	75,8	75,8	21,7	0,0	0,0

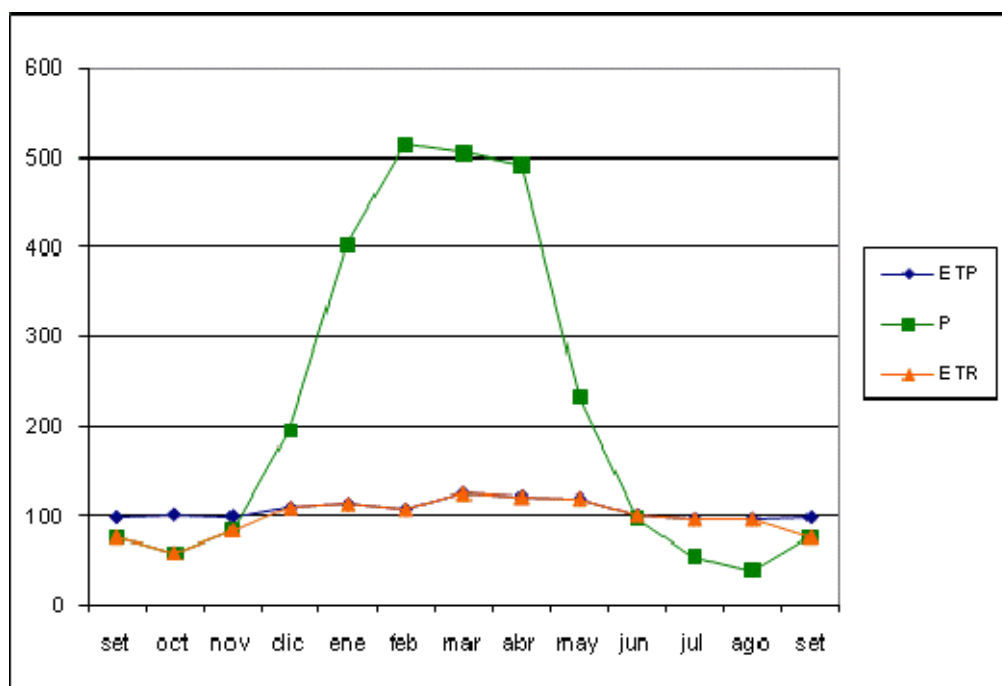


Figura 57. Balance Hídrico de Puerto Ila durante el período 1990-2010

### Estación La Libertad

Se sigue el procedimiento detallado en la sección 4.5.1 para el cálculo de la temperatura media mensual en la estación La Libertad, en la Figura 38 se ilustra la ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis climático, en la cual se verificó que la estación La Libertad se encuentra en la zona climática Subtropical Mesotérmico Muy Húmedo ( $18^{\circ}\text{C}$ - $22^{\circ}\text{C}$ ), en el intervalo de temperatura de  $21^{\circ}\text{C}$  a  $22^{\circ}\text{C}$ .

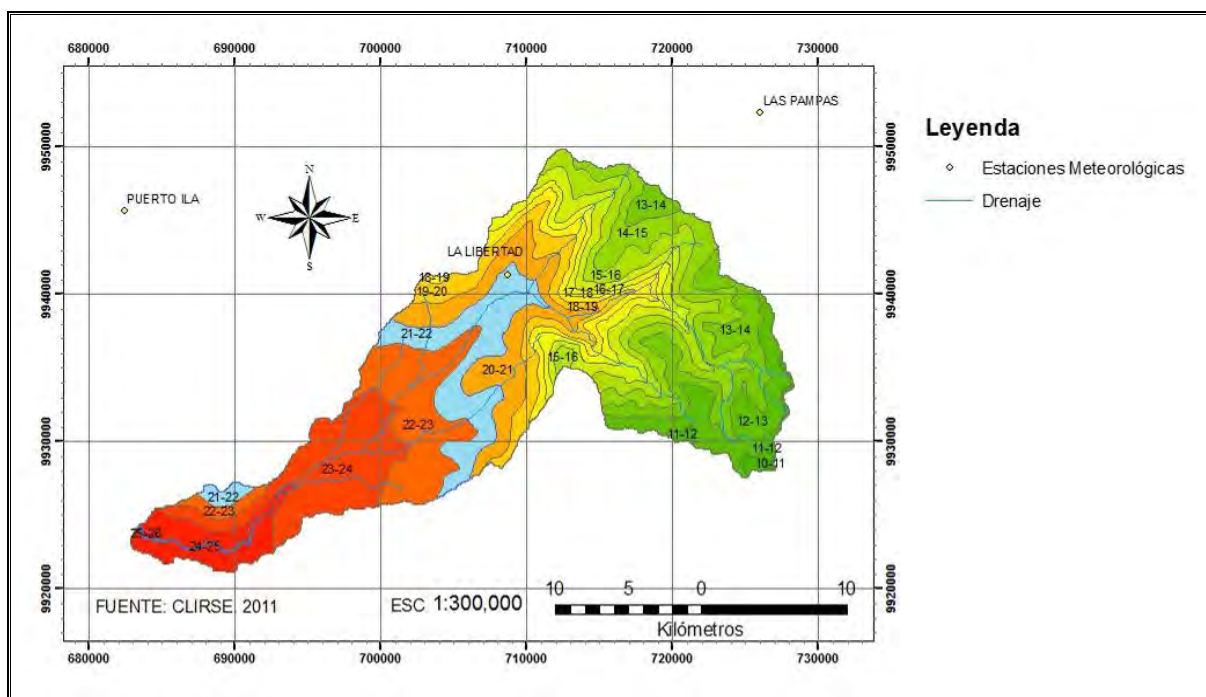


Figura 58. Ubicación de las estaciones meteorológicas.

Si se compara con los rangos de temperatura media mensual de las estaciones Puerto Ila,  $24^{\circ}\text{C}$  -  $26^{\circ}\text{C}$  y Las Pampas,  $17^{\circ}\text{C}$  -  $19^{\circ}\text{C}$ , utilizadas en la sección 5.3.2, se comprobó que el rango de temperatura de La Libertad,  $21^{\circ}\text{C}$  -  $22^{\circ}\text{C}$ , se ubica entre estos valores definiendo que existe variabilidad climática entre las tres estaciones, por lo tanto, mediante el cálculo de la media aritmética entre los valores mensuales de las estaciones Las Pampas y Puerto Ila se obtuvieron los valores medios mensuales de temperatura para la estación La Libertad, los cuales se presentan en la Tabla 42 y el gráfico en la Figura 59.

Tabla 42. Temperatura media mensual de la estación La Libertad.

	PUERTO ILA (°C)	LAS PAMPAS (°C)	LA LIBERTAD (°C)
ENE	24,8	17,6	21,2
FEB	25,1	17,7	21,4
MAR	25,6	18,2	21,9
ABR	25,8	18,4	22,1
MAY	25,1	18,4	21,7
JUN	24,0	18,0	21,0
JUL	23,6	18,0	20,8
AGO	23,6	17,9	20,7
SEP	23,9	18,0	21,0
OCT	23,7	18,0	20,9
NOV	24,0	18,0	21,0
DIC	24,4	17,6	21,0

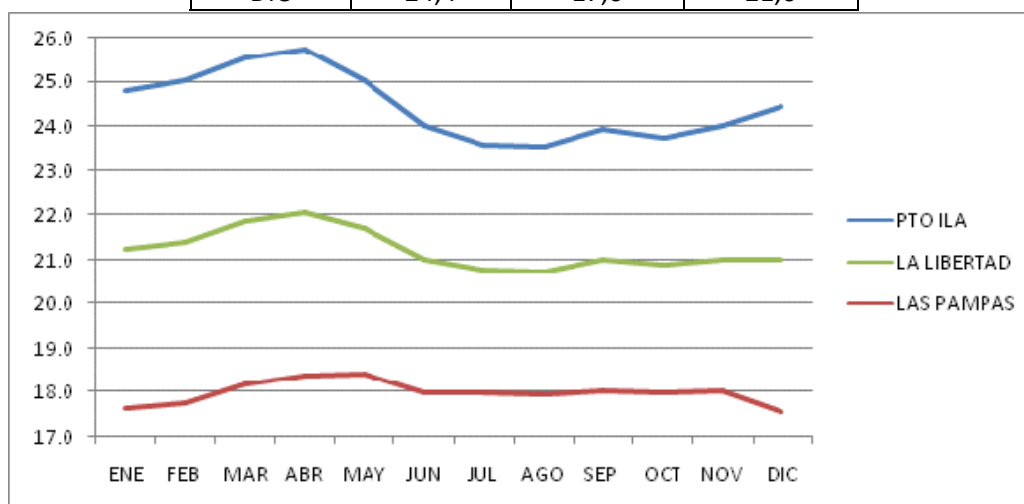


Figura 59. Gráfico de las temperaturas media mensual.

Una vez determinada la temperatura media mensual y con los valores de la precipitación mensual se realizó el análisis hidro-climático de la zona media de la cuenca de estudio durante el período 2005-2010 que le corresponde a la estación La Libertad. En la Tabla 43 se presenta los datos usados y los resultados obtenidos de la aplicación del programa para el cálculo del balance hídrico a nivel mensual. Se observa 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.

En la Figura 60, se muestra el comportamiento del balance hídrico a nivel mensual, observando que en el mes de septiembre se presentó un pequeño déficit de agua en el

suelo, luego de octubre a julio se produce almacenamiento del agua en reserva y excedentes, y finalmente en agosto el suelo utilizó el agua de la reserva.

Este comportamiento es propio de las estaciones climáticas de la zona, caracterizada por mantener un rígen de lluvias durante casi todo el año alimentando constantemente las reservas y excedentes con un ligero déficit en el mes de septiembre, sin embargo debemos considerar para este análisis la época húmeda desde noviembre a junio debido al aumento de las lluvias produciendo almacenamiento de agua en reserva y excedentes, y de julio a octubre se considera la época seca por la disminución de las lluvias provocando que el suelo utilice el agua de la reserva en agosto y en septiembre se produzca déficit, comenzando así el nuevo ciclo con el llenado de la reserva producto de las primeras lluvias de la época húmeda.

Si se observa la Figura 60, durante casi todo el año se produce el llenado de la reserva producto a las continuas lluvias en la zona, excepto en el mes de septiembre que se presenta un ligero déficit de agua en el suelo debido a la disminución de las precipitaciones y a la constante demanda de agua; en enero el suelo llega a su capacidad máxima de humedad provocando que el exceso de agua escurra por los excedentes, luego en agosto, una vez que las lluvias disminuyen propio de la época de estiaje, el agua deja de ser excedente y el suelo consume las reservas hasta llegar a septiembre con un pequeño déficit, luego en octubre con las primeras lluvias de la época húmeda se inicia nuevamente el llenado de la reserva continuando el ciclo climático. Sin embargo se considera los meses de diciembre y mayo como de transición de la época seca a lluviosa y de la estación lluviosa a la seca respectivamente.

Tabla 43. Resumen del Balance Hídrico de la estación La Libertad.

Mes	Temp Media Mens (°C)	ETP corr (mm)	Precip Media Mens (mm)	ETR (mm)	Déficit (mm)	Reserva (mm)	Excedentes (mm)
Sep	21,0	78,1	70,7	70,7	7,4	0,0	0,0
Oct	20,9	79,6	96,9	79,6	0,0	17,3	0,0
Nov	21,0	78,4	120,0	78,4	0,0	58,8	0,0
Dic	21,0	80,7	261,2	80,7	0,0	200,0	39,3
Ene	21,2	82,8	402,2	82,8	0,0	200,0	319,4
Feb	21,4	76,9	453,1	76,9	0,0	200,0	376,2
Mar	21,9	88,9	460,2	88,9	0,0	200,0	371,3
Abr	22,1	87,9	370,5	87,9	0,0	200,0	282,6
May	21,7	87,5	244,6	87,5	0,0	200,0	157,1
Jun	21,0	78,3	119,7	78,3	0,0	200,0	41,4
Jul	20,8	78,8	91,5	78,8	0,0	200,0	12,7
Ago	20,7	78,5	65,9	78,5	0,0	187,4	0,0
Sep	21,0	78,1	70,7	70,7	7,4	0,0	0,0

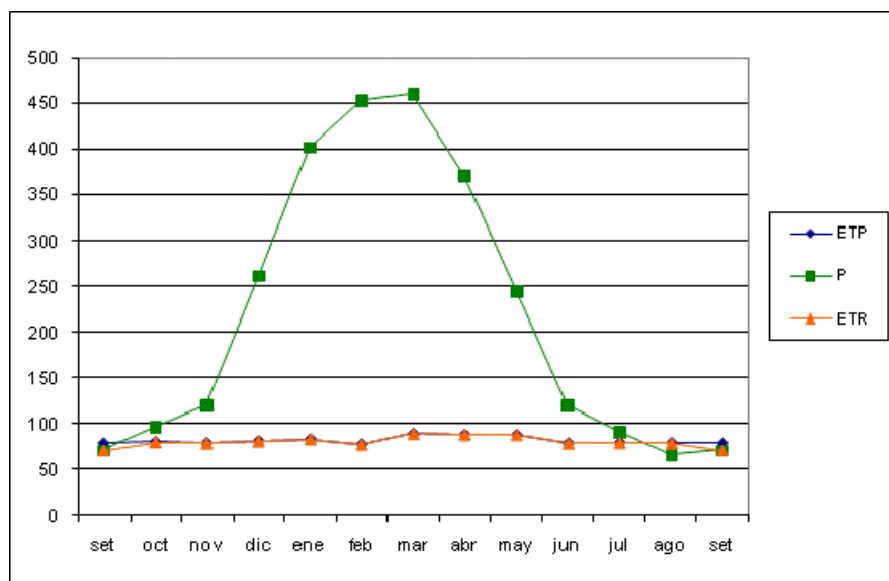


Figura 60. Balance Hídrico de La Libertad durante el período 2005-2010

### Estación Las Pampas

El análisis hidro-climático utilizando la información de la estación Las Pampas corresponde a la zona alta de la cuenca de estudio durante el período 2005-2010. En la Tabla 44 se presenta los datos usados y los resultados obtenidos de la aplicación del programa para el cálculo del balance hídrico a nivel mensual. Se observa las temperaturas y precipitaciones medias mensuales y los resultados de los cálculos de la evapotranspiración potencia corregida (ETP corr), la evapotranspiración real (ETR), el déficit, la reserva y el excedente del agua en el suelo.

En la Figura 61 se muestra un comportamiento particular en el balance hídrico a nivel mensual, se observa que no existe déficit durante el año, de septiembre a junio se produce almacenamiento del agua en reserva y excedentes, y en julio y agosto el suelo utiliza el agua de las reservas.

Este comportamiento particular es característico de la zona debido a las estaciones climáticas, prácticamente durante todo el año se producen precipitaciones por lo que no hay déficit y toda el agua se va a llenar las reservas y a los excedente, sin embargo debemos considerar para este análisis la época húmeda de noviembre a mayo debido al aumento en las lluvias produciendo almacenamiento de agua en reserva y excedentes, y de junio a octubre se considera la época seca por la disminución de las lluvias provocando que el suelo utilice el agua de la reserva sin llegar al déficit, para nuevamente comenzar el llenado de la reserva con las lluvias de la época húmeda.

Si se observa la Tabla 44, durante todo el año se mantiene el llenado de la reserva debido a las permanentes lluvias en la zona, en enero el suelo llega a su capacidad máxima de humedad provocando que el exceso de agua escurra por los excedentes, entre julio y agosto una vez que disminuye la cantidad de lluvias propio de la época seca, el agua deja de ser excedente y el suelo consume las reservas, luego a partir de septiembre se inicia

nuevamente el llenado del almacenamiento con las primeras lluvias de la época húmeda. Sin embargo se considera los meses de diciembre y mayo como de transición de la época seca a lluviosa y de la estación lluviosa a la seca respectivamente.

Tabla 44. Resumen del Balance Hídrico de la estación Las Pampas.

Mes	Temp Media Mens (°C)	ETP corr (mm)	Precip Media Mens (mm)	ETR (mm)	Déficit (mm)	Reserva (mm)	Excedentes (mm)
Sep	18,0	66,2	76,6	66,2	0,0	10,3	0,0
Oct	18,0	68,4	99,6	68,4	0,0	41,6	0,0
Nov	18,0	66,2	119,5	66,2	0,0	94,9	0,0
Dic	17,5	64,9	198,8	64,9	0,0	200,0	28,7
Ene	17,6	65,6	310,6	65,6	0,0	200,0	24,9
Feb	17,7	60,4	346,3	60,4	0,0	200,0	285,9
Mar	18,0	68,4	342,3	68,4	0,0	200,0	273,9
Abr	18,3	68,2	320,3	68,2	0,0	200,0	252,1
May	18,4	71,2	186,7	71,2	0,0	200,0	115,5
Jun	18,0	66,2	76,6	66,2	0,0	200,0	10,4
Jul	17,9	67,7	44,7	67,7	0,0	177,0	0,0
Ago	17,9	67,7	56,9	67,7	0,0	166,3	0,0
Sep	18,0	66,2	76,6	66,2	0,0	10,3	0,0

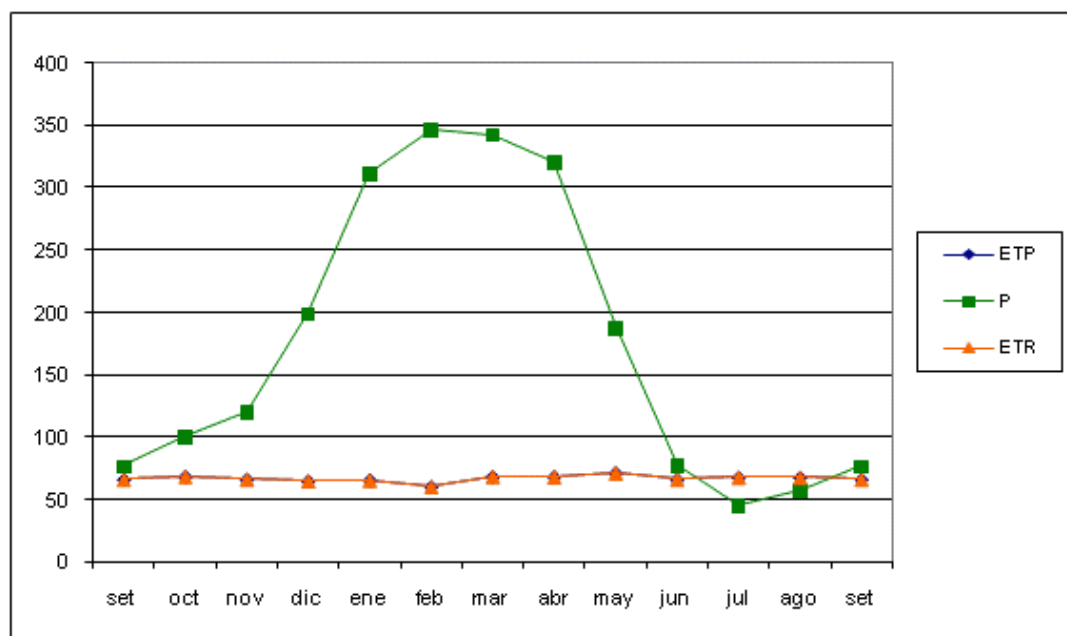


Figura 61. Balance Hídrico de Las Pampas durante el período 2005-2010



## 5.6.- Integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

### 5.6.1 Generación del Modelo Cartográfico

El modelo cartográfico diseñado para la elaboración de los mapas temáticos del área de la cuenca de estudio, que se muestra en la Figura 62, expresa la secuencia del proceso de análisis cartográfico desarrollado en este trabajo. A partir de la información temática disponible en internet y recopilada de los organismos rectores se obtuvo información básica del área de estudio, reflejada en la cartografía elaborada.

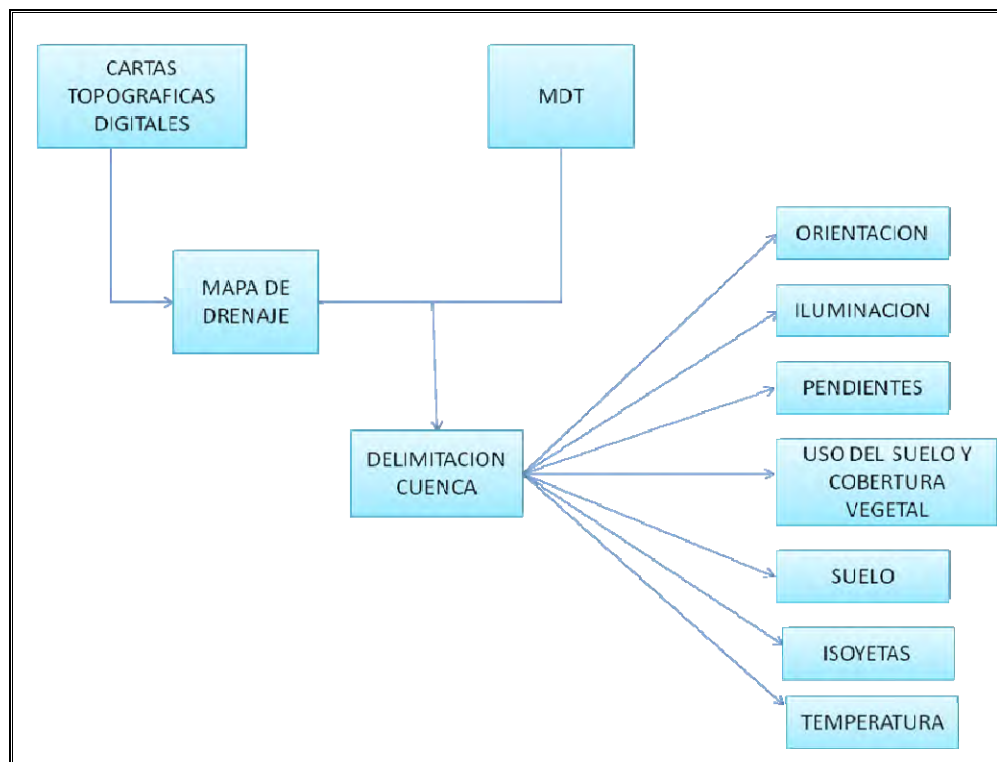


Figura 62. Esquema del Modelo Cartográfico para la elaboración de mapas temáticos.

### Mapa Topográfico y Modelo de Elevación Digital (MED)

El mapa topográfico proporciona la distribución de las curvas de nivel que describen el relieve de la cuenca del Río Toachi. La cota máxima que presenta la cuenca es de 3.160 metros sobre el nivel del mar, y la mínima de 160 metros. En la Figura 63 se ven representado por color verde las cotas mínimas y en color rojo las cotas máximas. Cabe mencionar que en el mapa se presenta también el límite de la cuenca

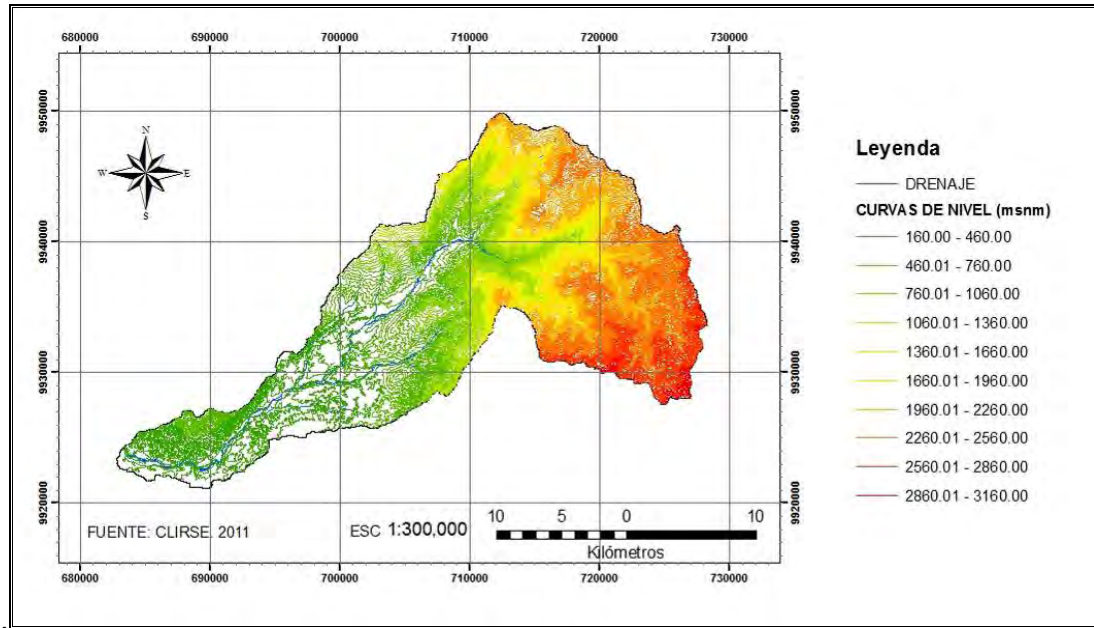


Figura 63. Mapa Topográfico de la Cuenca del Río Toachi

La interpretación altimétrica del Modelo de Elevación Digital (MED), que se presenta en la Figura 64, se realizó a través de la paleta de colores de la leyenda del mapa, correspondiendo el color rojo a las cotas más altas de la cuenca, del orden de los 3150 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y la de menor cota de color verde correspondiendo a niveles de 160 metros sobre el nivel del mar. En este mapa también puede observarse el sistema de drenaje de la cuenca de estudio en color celeste.

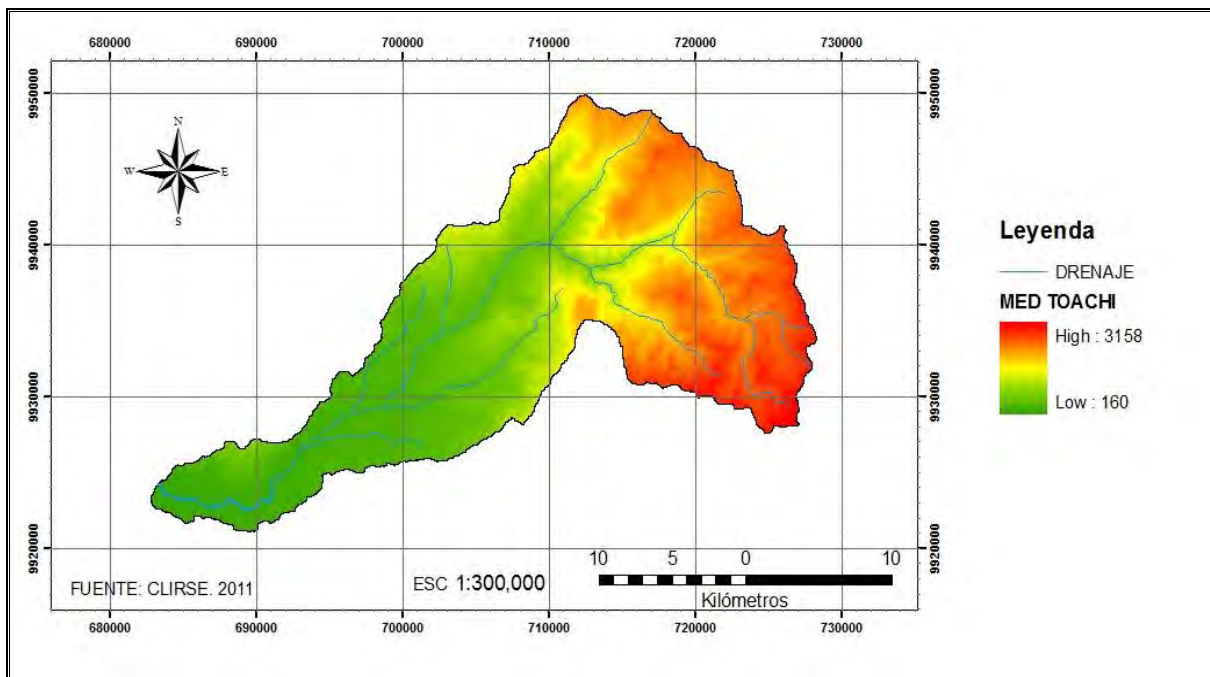


Figura 64. Modelo de Elevación Digital (MED) de la Cuenca del Río Toachi

5.6.1.1 Red de Drenaje

El Río Toachi tiene su origen en las estribaciones de la Cordillera Occidental, nace de la conjunción de los Ríos Rayo y Cochapamba, siguiendo una trayectoria Noroeste por donde recoge las aguas de varios cauces permanentes y semipermanentes, luego gira hacia el Oeste para recibir las aguas del Río Victoria, Río Blanco y otros afluentes donde pasa a llamarse Río Toachi Grande. Luego cambia su trayectoria hacia el Suroeste descendiendo por la ladera de la cordillera recibiendo el caudal del Río Toachi Chico y más adelante las aguas del Río Damas donde se denomina Río Toachi hasta descargar su caudal en el Río Baba 4 km aguas abajo de la estación de aforo H414 Toachi DJ Baba, posteriormente pasa a llamarse Río Quevedo. Desde su nacimiento hasta el sitio donde se ubica la estación de aforo, el río tiene una longitud aproximada de 70 km. (ver Figura 65).

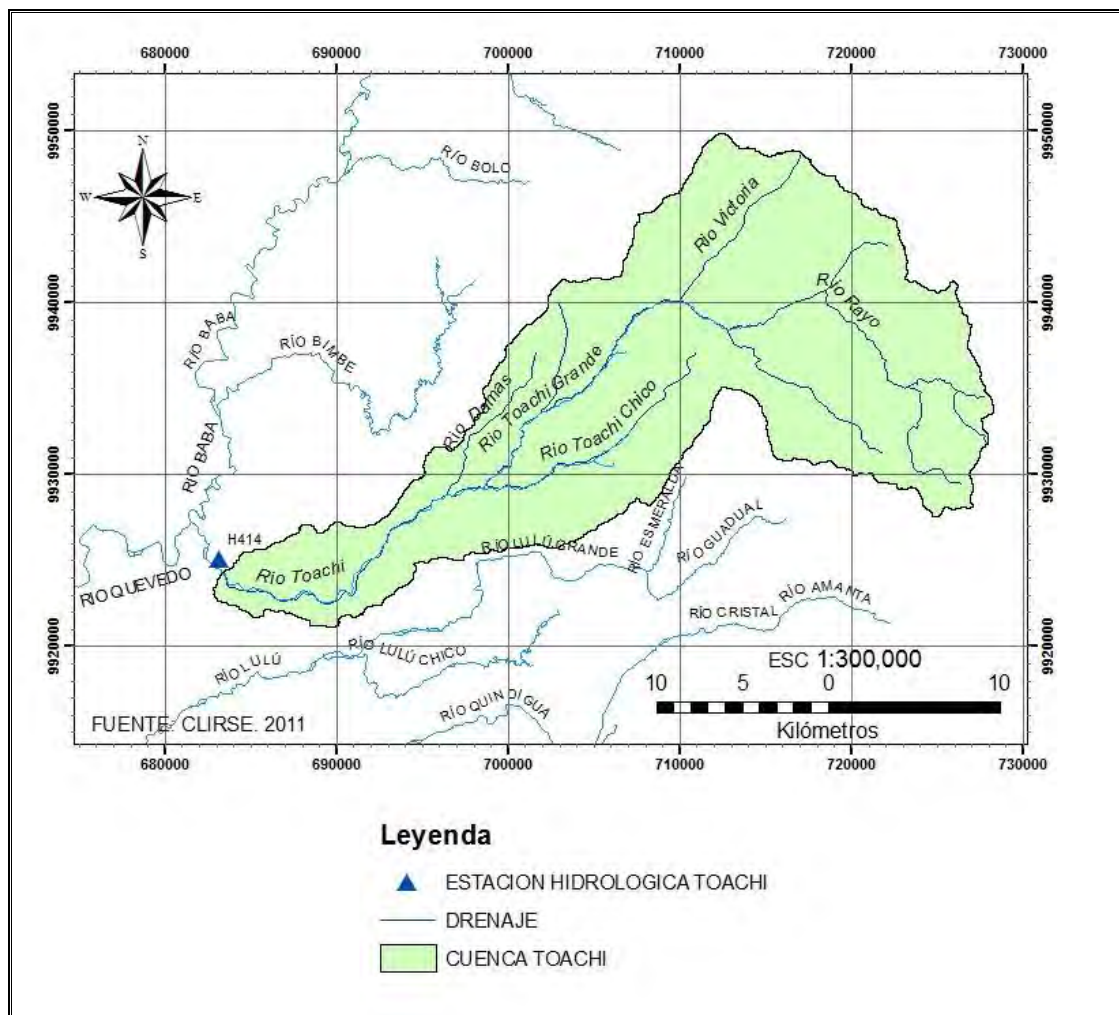


Figura 65. Mapa de la Red de Drenaje del área de estudio

### 5.6.1.2 Delimitación de cuenca y subcuencas

Para obtener un mayor nivel de detalle y uniformidad de los parámetros característicos de la cuenca, y siendo los grupos hidrológicos del suelo el factor predominante para la determinación de la producción de caudales y sedimentos, se procedió a la división de la cuenca del Río Toachi a nivel de subcuenca.

Se identificaron 7 subcuencas, en la zona alta se establecieron las subcuencas 1, 2, 3 y 4, en la zona media las subcuencas 5 y 6, y en la zona baja la subcuenca 7, asignando a cada una un color diferente que se detalla en la leyenda correspondiente del mapa de la Figura 66. En las Tablas de la sección 5.2.4 se presentan las características morfométricas de las subcuencas.

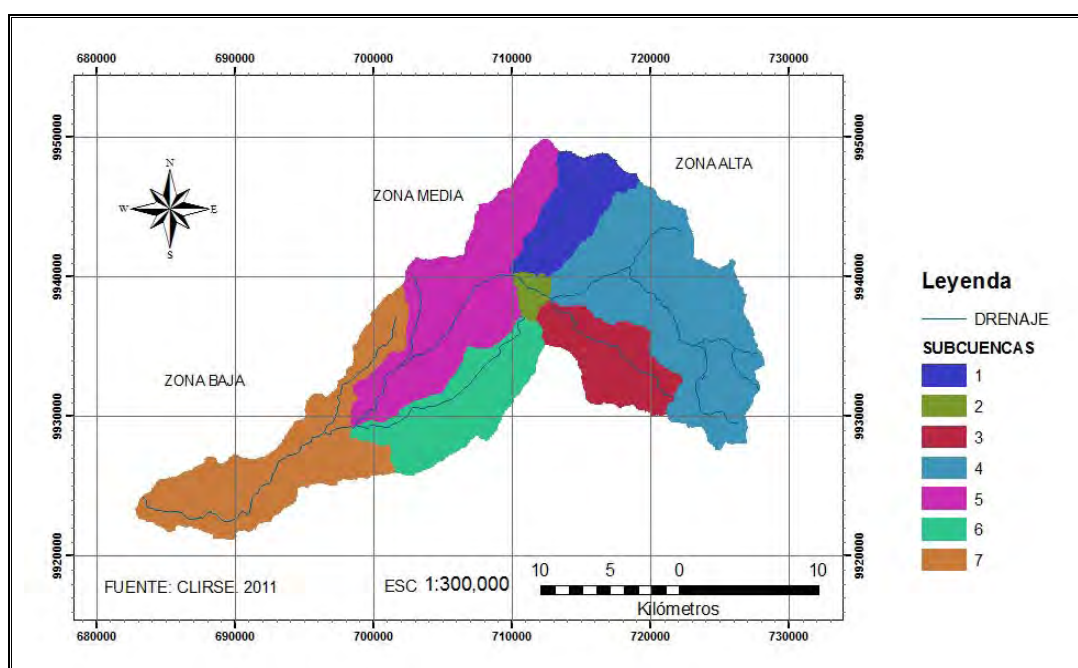


Figura 66. Mapa del Límite de la Cuenca con sus subcuencas del Río Toachi.

### 5.6.1.3 Mapa de Orientación de laderas

La clasificación de la cuenca de estudio, según su orientación o exposición, se efectuó mediante el comando Surface Analysis de la extensión Spatial Analysis del programa ArcGIS 9.3®, obteniendo el mapa representado en la Figura 67 con la orientación de las laderas en grados (°) respecto al norte de la cuadrícula.

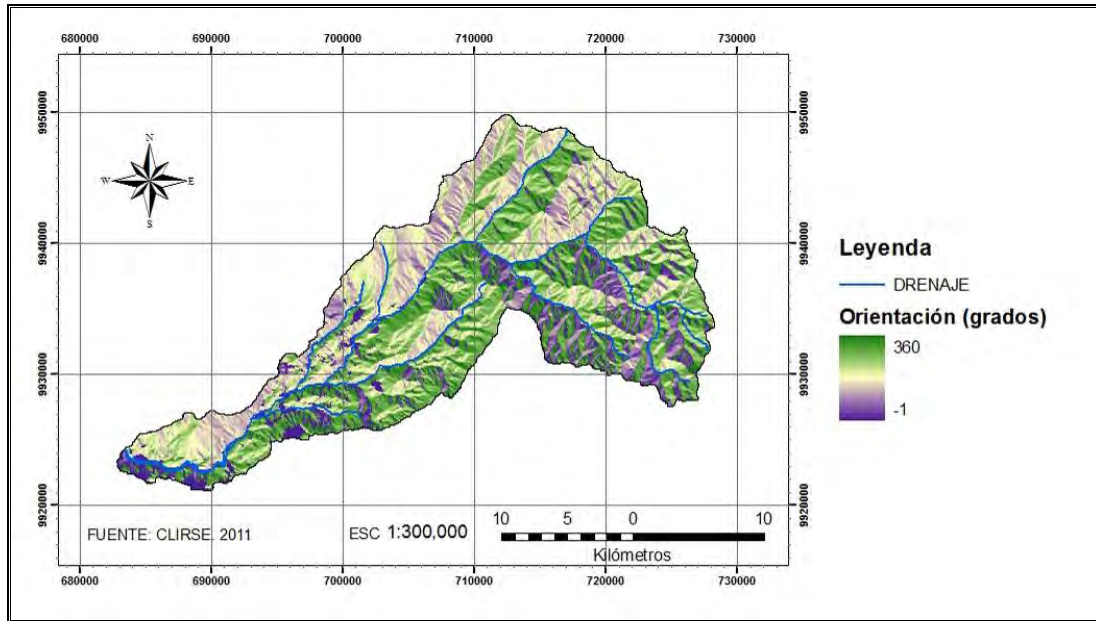


Figura 67. Mapa de Orientación de las laderas en grados de la Cuenca del Río Toachi.

Agrupando el mapa anterior en rangos de  $45^\circ$ , se obtuvieron nueve clases, las cuales se presentan en la Tabla 45, que refleja la clasificación en rangos de orientación con respecto al norte de la cuadrícula, una corresponde a las zonas llanas o sin pendientes y las otras con relación a los puntos cardinales, quedando representado el mapa de orientaciones en la Figura 68.

Tabla 45. Rangos de orientación de las laderas de la Cuenca del Río Toachi.

<b>Clases</b>	<b>Rangos de orientación con respecto al Norte cuadrícula (grados)</b>	<b>Exposición de laderas</b>
1	-1	Llano
2	0° - 22,5° y 337,5° - 360°	Norte
3	22,5° - 67,5 °	Noreste
4	67,5° - 112,5°	Este
5	112,5° - 157,5°	Sureste
6	157,5° - 202,5°	Sur
7	202,5° - 247,5°	Suroeste
8	247,5° - 292,5°	Oeste
9	292,5° - 337,5°	Noroeste

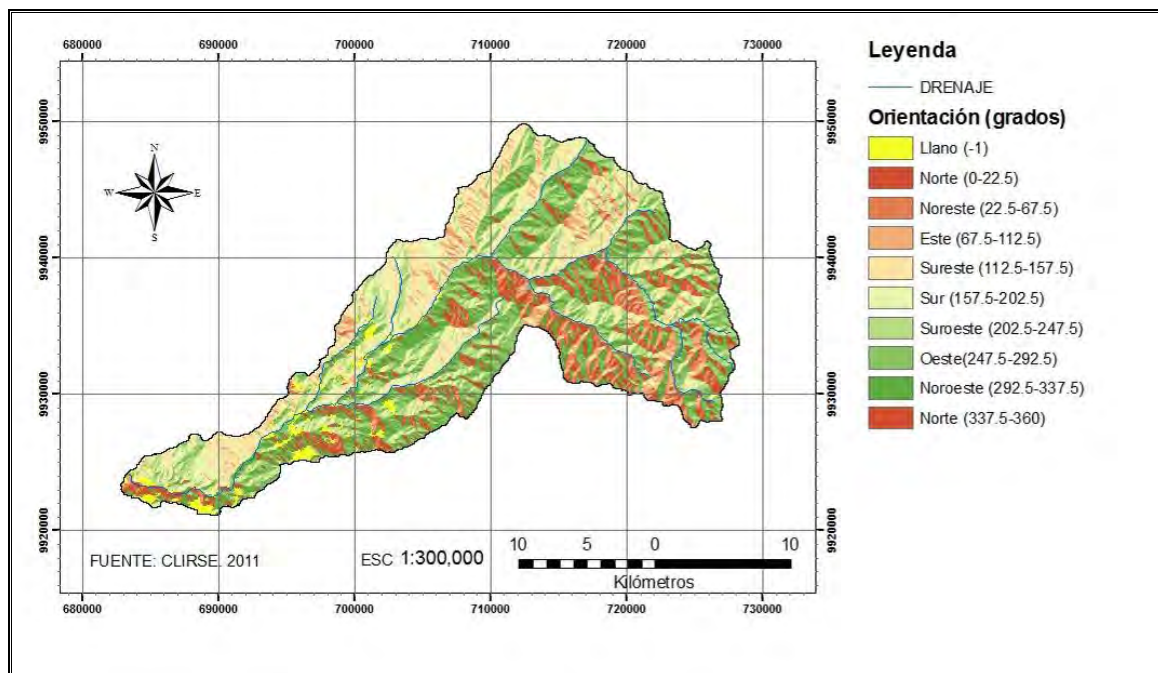


Figura 68. Mapa de Orientación de las laderas en rangos de exposición.

Dentro de las múltiples aplicaciones que podemos hacer con el mapa de orientaciones, Moreno *et al.*, (2008) destaca que se pueden comparar las diferencias de radiación solar, en función de la orientación de las vertientes, con el objeto de evaluar su influencia sobre diversos aspectos como la variedad de vegetación, los procesos morfológicos, riesgo de aludes, etc.

#### 5.6.1.4 Mapa de Iluminación

A partir del modelo de elevación digital (MED) y mediante el uso de la extensión Spatial Analysis con el comando Surface Analysis del programa ArcGIS 9.3®, se obtuvo el mapa de sombreado del relieve que se presenta en la Figura 69.

Este mapa de iluminación de laderas se corrobora con el mapa de orientaciones, en el cual los valores expresan la rugosidad del relieve a través de la incidencia de los rayos solares sobre el terreno. El sombreado más oscuro representa las zonas de sombra de en las laderas y las áreas claras la incidencia del sol sobre el terreno. Se observa el color claro en la zona media baja y los colores oscuros en la zona alta.

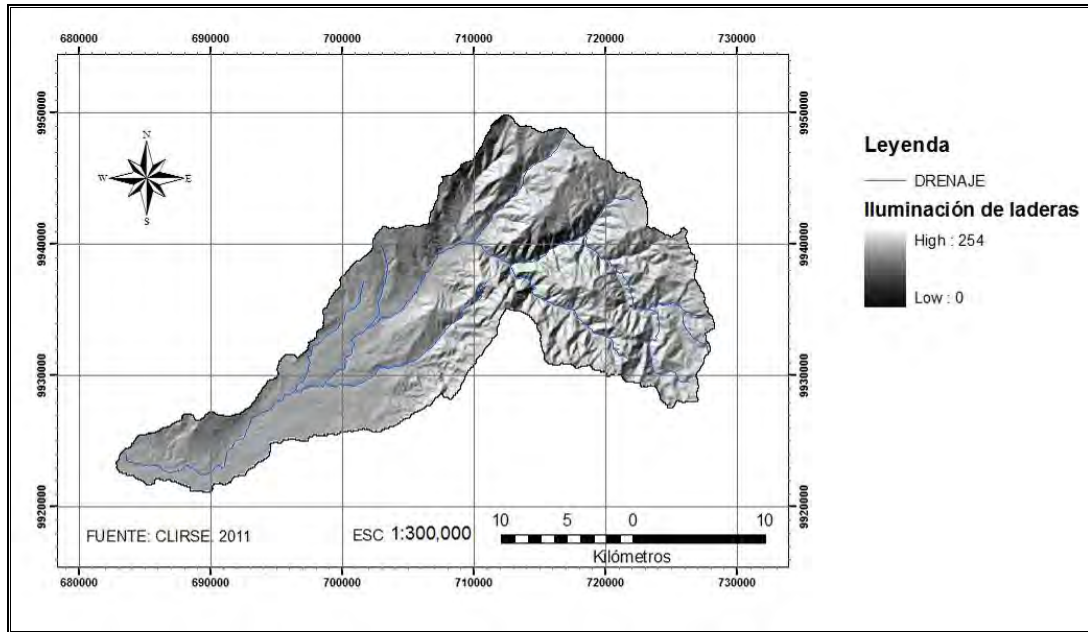


Figura 69. Mapa de Iluminación del terreno de la Cuenca del Río Toachi.

#### 5.6.1.5 Mapa de Pendientes

Con las herramientas para el Análisis Espacial del programa ArcGIS 9.3 ®, se zonificó el área en estudio según los intervalos de clases de pendiente de acuerdo a la clasificación propuesta por Mintegui Aguirre (1988) a partir del modelo de elevación digital (MDE), de esta manera se obtuvo el mapa de rango de pendiente de la Cuenca del Río Toachi (ver Figura 70)

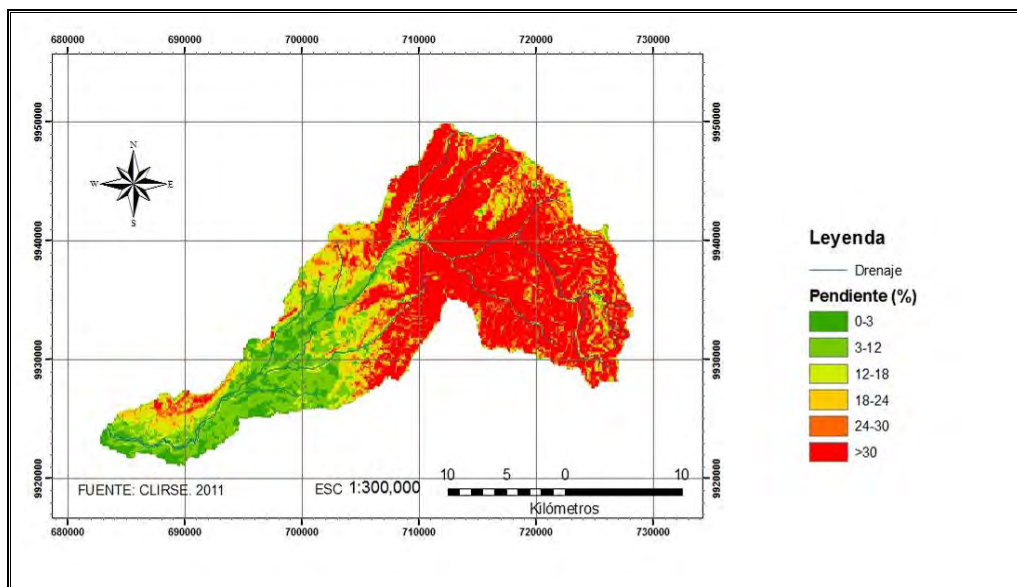


Figura 70. Mapa de Pendiente de la Cuenca del Río Toachi según su rango porcentual.



A partir de la interpretación de la Figura 70 y según el tipo de relieve expresado en la Tabla 14 se realizó el cálculo de la superficie ocupada por cada rango de pendiente en la cuenca del Río Toachi, la cual se presenta en la Tabla 46.

Tabla 46. Superficie ocupada según rango de pendiente.

<b>Pendientes (%)</b>	<b>Tipo de relieve</b>	<b>Superficie ocupada (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie ocupada (%)</b>
0 -3	Plano	39,9	7,9
3 – 12	Suave	85,6	17,0
12 – 18	Mediano	51,4	10,2
18 – 24	Levemente Accidentado	54,9	10,9
24 – 30	Accidentado	47,5	9,4
>30	Fuerte	224,5	44,6

De acuerdo a los autores Mintegui Aguirre y López Unzú (1990), la iniciación de la erosión laminar por arrastre de los elementos más finos aparece para pendientes entre 2 % y 3 % para un suelo con laboreo, con lo cual el área de la cuenca estudio posee un 7,9 % de la superficie con susceptible riesgo de sufrir erosión hídrica superficial ante el laboreo.

El 17% de la cuenca se caracteriza por tener un relieve suave que presenta pendientes con potencial uso agropecuario, con una recomendada implementación de medidas conservacionistas sobre el rango de pendiente de 3 % -12 %.

El rango de pendiente de los 12 % - 30 %, ocupa una superficie de 30,5 % del total de la cuenca, implicando además zonas de alto riesgo de erosión hídrica. En estas pendientes no son aptas para cultivos, si para pastura o bosques.

En el caso de pendientes mayores a 30 % se encuentra representando el 44,6 % de la cuenca, en donde es alto el riesgo de erosión hídrica, no debería destinarse a explotación productiva alguna, ni agrícola ni forestal. Se debe mantener la vegetación forestal para la protección contra la erosión hídrica.

#### 5.6.1.6 Mapa de Suelos

El mapa de suelos de la cuenca del Río Toachi, se presenta en la Figura 71. La identificación y clasificación de los suelos está de acuerdo al Sistema de Clasificación de Suelos de los Estados Unidos "Soil Taxonomy, USDA, 2006"<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> PRONAREG-ORSTOM, 1980

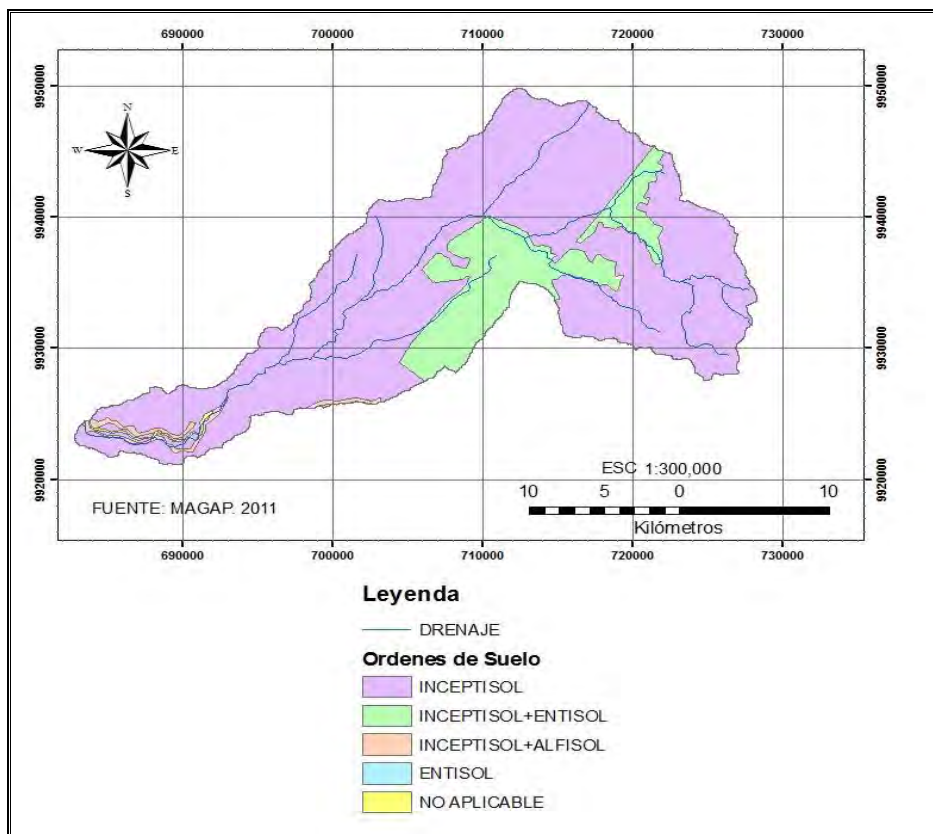


Figura 71. Clasificación del suelo de la Cuenca del Río Toachi

De manera general, los suelos en la cuenca del Río Toachi se clasifican bajo el Orden de los Inceptisoles, principalmente del tipo arcilloso, caracterizado por tener un buen drenaje y una profundidad entre 50 y 100 cm.

El grupo Entisol es despreciable debido a la pequeña cantidad encontrada, así lo refleja la Figura 72. La descripción del grupo Entisol, se realizó en la sección 3.7

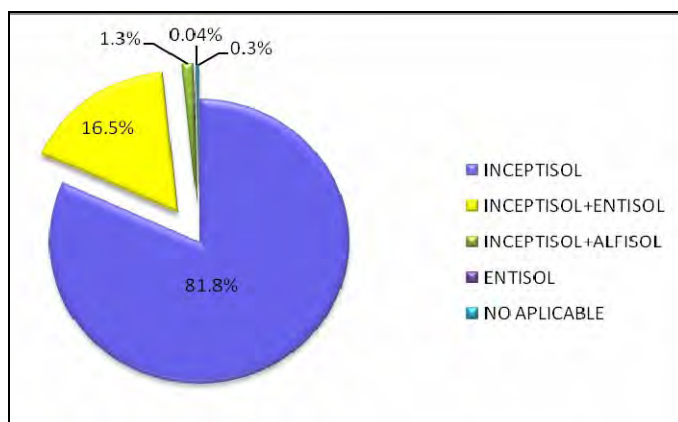


Figura 72. Porcentajes de tipos de suelos en la Cuenca del Guayas.

### 5.6.1.7 Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo

EL mapa correspondiente a la cobertura vegetal y uso de suelo de la cuenca del Río Toachi se presenta en la Figura 73, cuya identificación y clasificación de usos se realizó en base a la información proporcionada por CLIRSEN.

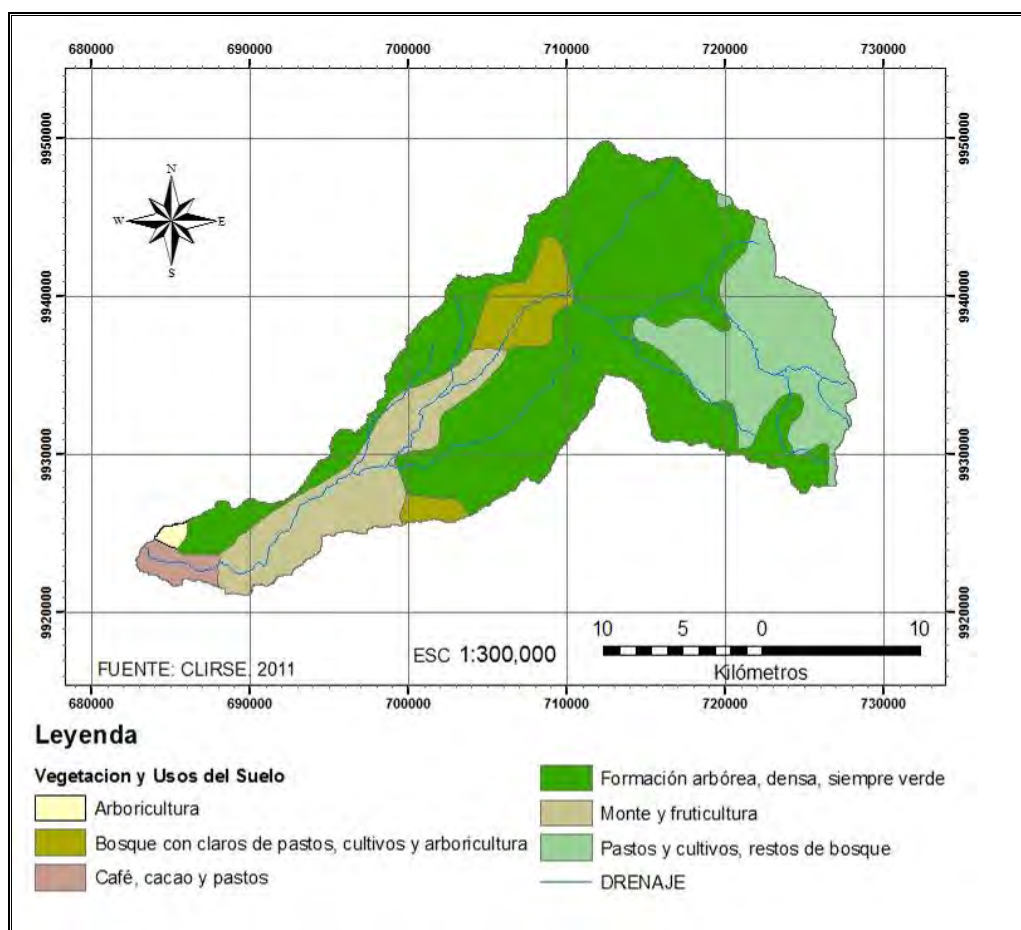


Figura 73. Mapa de la cobertura vegetal y uso del suelo de la cuenca del Río Toachi

En la Tabla 47, se presentan las clasificaciones de cobertura vegetal, las cuales se describen a continuación:

### Café, cacao y pastos

Las principales plantaciones están representadas por aquellas que tiene un manejo especial debido a su elevada inversión y alto rendimiento económico como son los cultivos permanentes de café y cacao. Además se asocian a este grupo los cultivos permanentes de ciclo corto como el maíz, arroz y soya, los cuales han sido representados en esta clasificación por estar agrupados en su mayor parte con esta clase de vegetación. Esta clasificación ocupa una superficie de 9,76 km<sup>2</sup> equivalente al 2,0% del área total de la cuenca.

### Monte y fruticultura

Está constituido por cultivos de banano, plátano y palma africana que tienen un elevado rendimiento en los mercados internacionales. Las plantaciones son permanentes durante todo el año y ocupan varias zonas de la cuenca de estudio. Pertenecen a este grupo el abacá y la caña de azúcar, que es utilizada para la producción artesanal de alcohol y azúcar, además los cultivos permanentes de ciclo corto de yuca, cebada, habas y papas. Ocupan una superficie de 73 km<sup>2</sup> que representa el 14,53 % del área total.

### Bosques con claros de pasto

Vegetación natural compuesta principalmente por comunidades de plantas consideradas como remanentes de la vegetación primaria, comprende arboles que alcanzan los 30 metros de alto, con especies comerciales importantes económicamente que contribuyen a la regeneración natural, también llamado Bosque natural. Dominan un área de 31,55 km<sup>2</sup> que representa el 6,0% de la superficie total.

### Arboricultura

Comprende cultivos permanentes de árboles frutales como guaba, cítricos, guanábana, zapote, papaya, maracuyá, banano, caña de azúcar, entre otros que se asocian junto con plantaciones dominantes de cacao y café. Ocupan una pequeña área de 2,30 km<sup>2</sup> representando una superficie menor al 1,0% de la superficie total.

### Pastos y cultivos, restos de bosques

Los pastos han permitido que se desarrolle una ganadería con pastoreo intensivo los cuales se encuentran por toda la cuenca formando áreas de pasto puro y en otras se encuentran en asociación con cultivos de ciclo corto como el maíz, soya, con plantaciones de árboles frutales y en otras zonas con vegetación del bosque secundario en crecimiento. Este grupo ocupa una superficie de 95 km<sup>2</sup> representando el 19,0% del área total de la cuenca de estudio.

### Formación arbórea, densa, variante de las vertientes exteriores de Los Andes

Vegetación natural compuesta por la regeneración del bosque natural con presencia de especies de rápido crecimiento como la balsa y moral fino, se la conoce como bosque secundario. Se encuentra en extensas área de plantaciones distribuidas en toda la cuenca de estudio, en grupos de plantaciones puras de bosque secundario y además en asociación con pastos y árboles frutales. Esta clasificación de uso es dominante, está en forma

progresiva y se halla distribuida en toda la cuenca de estudio ocupando la mayor superficie con 290,8 km<sup>2</sup> que representa una superficie del 57,8% del área total.

Tabla 47. Clasificación de la cobertura vegetal y uso del suelo.

VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO	AREA (km <sup>2</sup> )	PORC (%)
<b>Café, cacao y pastos</b>		
Cultivos permanentes de cacao, café y pastos.	9,76	1,94
Cultivos permanentes de ciclo corto de maíz, arroz y soya		
<b>Monte y fruticultura</b>		
Cultivos permanentes de banano, plátano, palma africana, caña de azúcar, abacá	73,83	14,53
Cultivos permanentes de ciclo corto maíz, yuca, cebada, habas, papas		
<b>Bosques con claros de pasto</b>		
Vegetación natural. Bosque natural	31,55	6,27
<b>Arboricultura</b>		
Cultivos permanentes de arboricultura con cacao y café dominante	2,30	0,46
<b>Pastos y cultivos, restos de bosque</b>		
Pastos	95,39	18,97
Cultivos de ciclo corto, arboricultura y bosques		
<b>Formación arbórea, densa, variante de las vertientes exteriores de Los Andes</b>		
Vegetación natural, bosque secundario	290,88	57,84
Pastos y arboricultura		
TOTAL	503,71	100,00

### 5.6.1.8 Mapa de Isoyetas

El mapa de la distribución espacial de la precipitación en la cuenca del Río Toachi, se presenta en la Figura 74, como una red de Isoyetas medias anuales con intervalos de 100 mm. La variación de las precipitaciones en la cuenca va desde 2400 mm en la zona baja en el extremo suroeste, hasta 3100 mm en la zona alta hacia el norte y este. En la cordillera los niveles de precipitación descienden hasta los 2500 mm con dirección sureste.

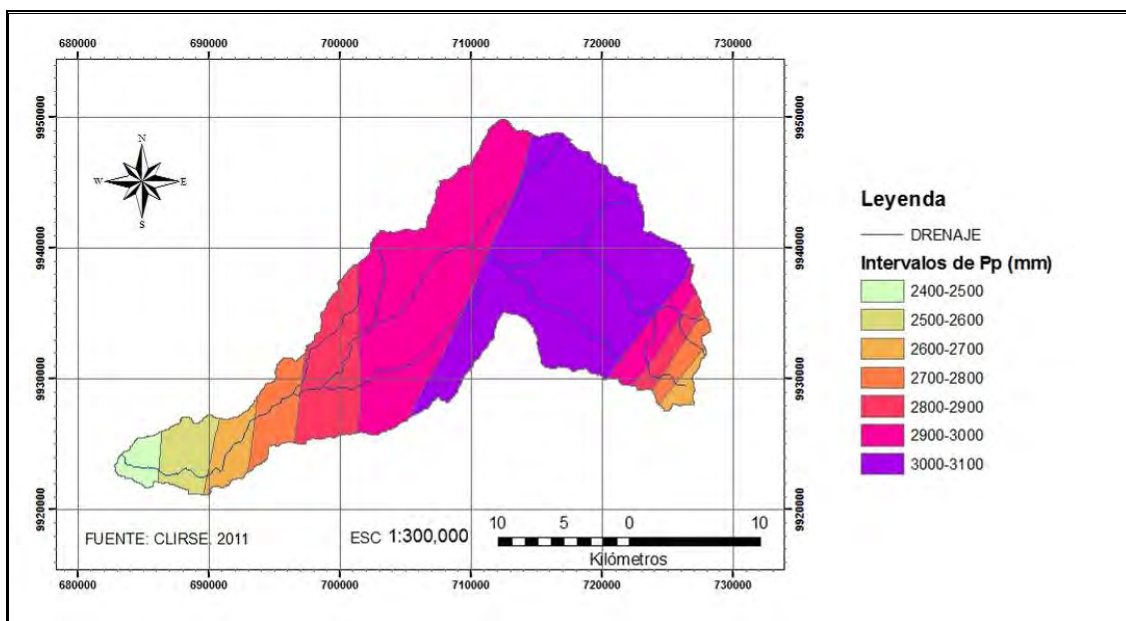


Figura 74. Mapa de Isoyetas de la Cuenca del Río Toachi.

### 5.6.1.9 Mapa de Isotermas

El mapa de la distribución espacial de la temperatura atmosférica en la cuenca del Río Toachi se presenta en la Figura 75 como Isolíneas con intervalos de 1°C. La variación de la temperatura del aire en la cuenca del Río Toachi varía desde temperaturas de 10°C en la zona alta hasta los 25°C en la zona baja.

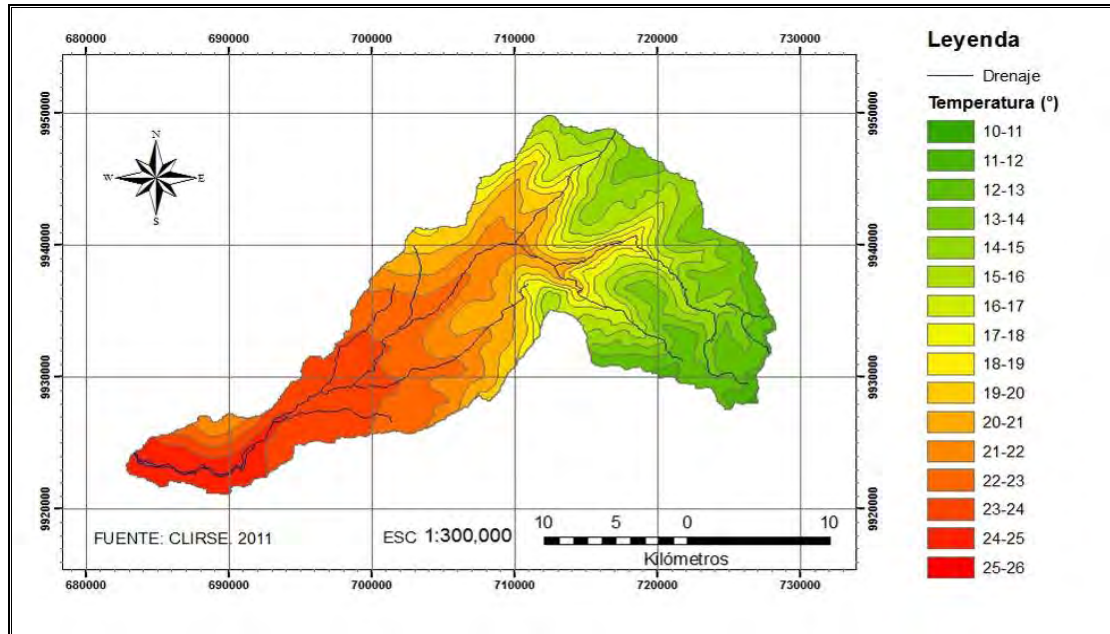


Figura 75. Mapa de Isotermas de la Cuenca del Río Toachi.

#### 5.6.1.10 Mapa de Zonas Climáticas

Según la metodología descrita para la elaboración de las zonas climáticas en la cuenca del Río Toachi, en la Figura 76 se presenta el mapa de la interacción de la precipitación total anual y la temperatura media mensual que según la clasificación de Porrut determina las zonas climáticas del área de estudio. Como se puede observar en el mapa, las zonas climáticas varían desde Tropical Megatérmico muy Húmedo en la zona baja hasta Ecuatorial Frio Húmedo en la zona alta.

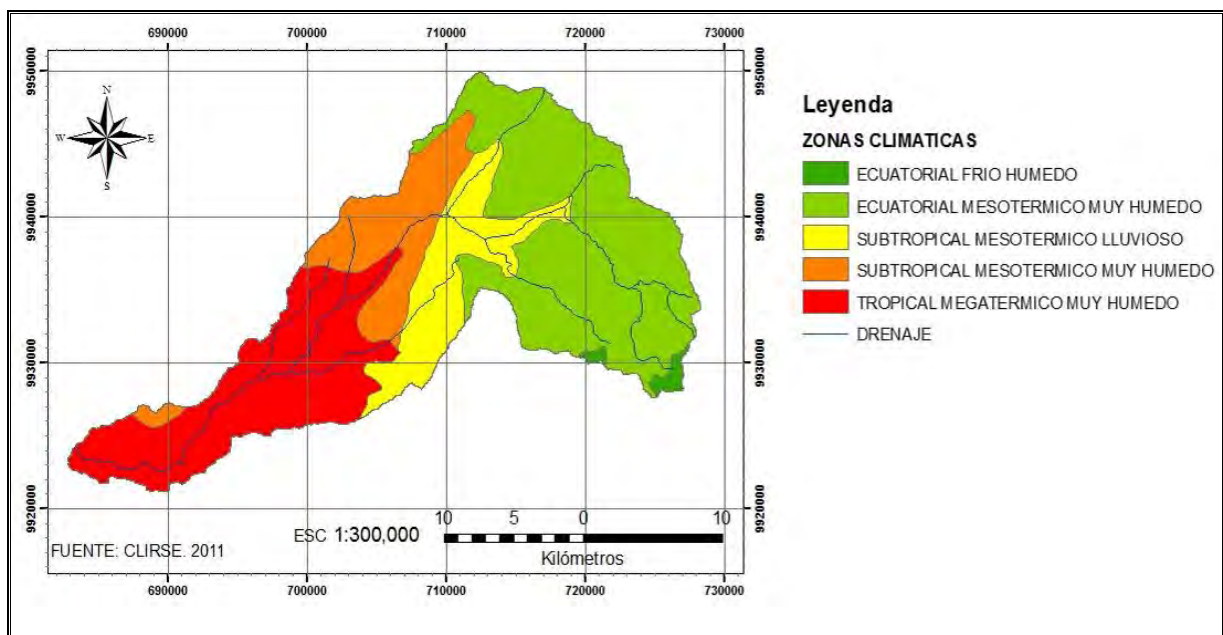


Figura 76. Mapa de Zonas Climáticas de la Cuenca del Río Toachi.

Los tipos de clima Ecuatorial con sus variaciones de acuerdo a la temperatura y precipitación, se encuentran en las estibaciones de la Cordillera Occidental, los climas subtropicales en la zona central y el tropical en la zona baja de la cuenca.

En la Tabla 48 se detallan los rangos de temperatura media anual (°C) y los rangos de precipitación total anual (mm) para el área de la cuenca experimental.

Tabla 48. Tipos de Zonas Climáticas en la Cuenca del Río Toachi

<b>Tipo de Clima</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Rango Temp (°C)</b>	<b>Rango Precip (mm)</b>
ECUATORIAL FRIO HUMEDO	Ew	08-12	1000-2000
ECUATORIAL MESOTERMICO MUY HUMEDO	Cm	12-22	2000-3000
SUBTROPICAL MESOTERMICO LLUVIOSO	Sf	12-22	>3000
SUBTROPICAL MESOTERMICO MUY HUMEDO	Sm	12-22	2000-3000
TROPICAL MEGATERMICO MUY HUMEDO	Am	>22	2000-3000



## 5.7.- Cálculo del Caudal Líquido

### 5.7.1 Método del S.C.S. para las abstracciones

#### 5.7.1.1 Obtención del Número de Curva (NC)

El método aplicado para la zonificación del escurrimiento superficial se basó en que las combinaciones del suelo-vegetación de características semejantes bajo un mismo grupo hidrológico, responderán de manera análoga bajo el efecto de una lluvia. A cada combinación suelo-vegetación, según el grupo hidrológico, se le asignó un Número de Curva (NC) que define las condiciones hidrológicas, es decir, su comportamiento frente al escurrimiento superficial. Para la obtención del Número de Curva se aplicó el esquema del modelo cartográfico presentado en la Figura 77.

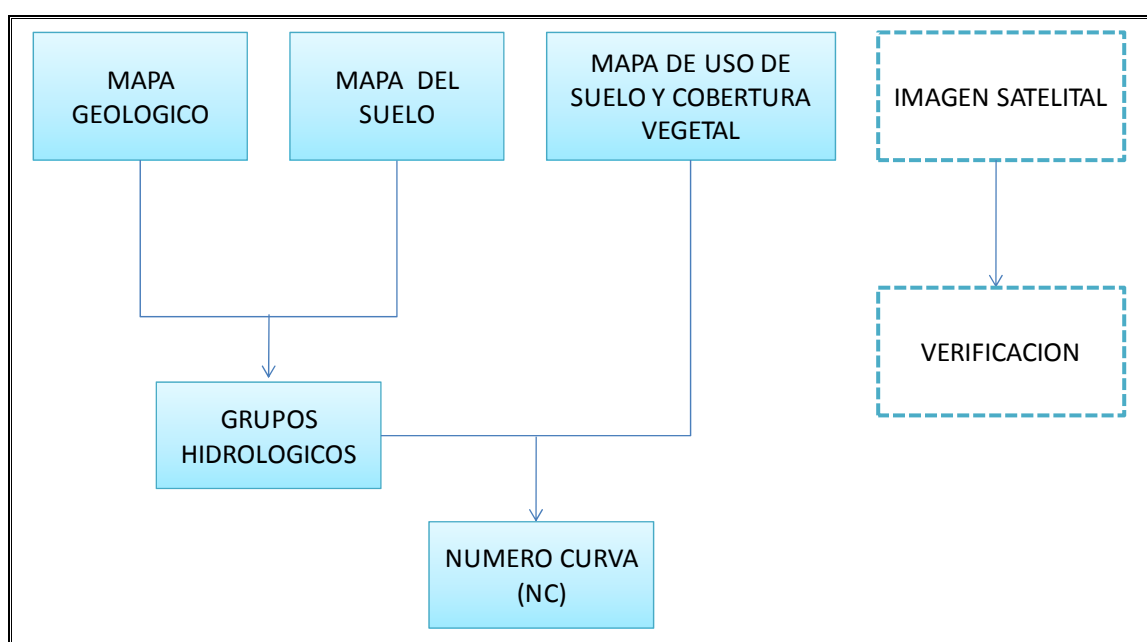


Figura 77. Modelo Cartográfico para generar el mapa del Número de Curva.

En base a los mapas geológico y de suelo, obtenido de CLIRSEN-SIGAGRO a escala 1:250.000 en formato shape (.shp). Se realizó la clasificación de los suelos utilizando la Tabla 22 (sección 4.7.1.1) en función de sus características litológicas, potencial de escorrentía, tasa de infiltración, porcentaje de humedad, capacidad de transmisión de agua, porcentaje de arcilla y arena, obteniendo los grupos hidrológicos del suelo para la cuenca de estudio.

Luego, según la cobertura del suelo y el grupo hidrológico determinado, se escogieron los valores de número de curva particulares. Cuanto más denso es el cultivo mejor es su condición hidrológica, siendo menor su número de curva y consecuentemente mayor la infiltración.

La Tabla 49 muestra el grupo hidrológico y el número de curva que mas predominan en las siete subcuencas, obtenidas del entrecruzamiento de las clases de tipo de cobertura y uso de suelo con el tipo de suelo.

Tabla 49. Caracterización de número de curva según grupo hidrológico y tipo de cobertura y uso del suelo.

SUB CUENCAS	TIPO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO	GH	NC	AREA km <sup>2</sup>
1	Bosque, pastos, cultivos y arboricultura	C	72	0,33
	Formación arbórea, densa, siempre verde		63	38,61
2	Bosque, pastos, cultivos y arboricultura	C	72	0,23
	Formación arbórea, densa, siempre verde		63	6,75
3	Pastos y cultivos, restos de bosque	C	82	13,78
	Pastos y cultivos, restos de bosque	A	57	0,06
	Formación arbórea, densa, siempre verde	C	63	26,98
	Formación arbórea, densa, siempre verde	A	26	5,27
4	Pastos y cultivos, restos de bosque	C	81	73,87
	Pastos y cultivos, restos de bosque	A	57	7,70
	Formación arbórea, densa, siempre verde	C	63	59,85
	Formación arbórea, densa, siempre verde	A	26	0,16
5	Monte y fruticultura	C	76	20,77
	Bosque, pastos, cultivos y arboricultura		72	25,22
	Formación arbórea, densa, siempre verde		63	60,42
6	Monte y fruticultura	C	76	1,10
	Bosque con claros de pastos, cultivos y arboricultura		76	2,91
	Formación arbórea, densa, siempre verde		63	57,95
7	Café, cacao y pastos	C	88	9,08
	Monte y fruticultura		76	50,42
	Monte y fruticultura		76	1,54
	Bosque con claros de pastos, cultivos y arboricultura		76	2,86
	Arboricultura		73	2,31
	Café, cacao y pastos		88	0,68
	Formación arbórea, densa, siempre verde		63	34,87
Área Total				<b>503,71</b>

Para la elaboración del mapa de número de curva de la cuenca del Río Toachi, se utilizó el programa ArcGIS 9.3 ® con el cual se realizó el entrecruzamiento de las coberturas temáticas de los mapas de uso de suelo y grupo hidrológico (GH). La representación cartográfica de la distribución del número de curva expresa la dinámica posible del agua a nivel superficial. En la Figura 78 se presenta el mapa de número de curva para la cuenca del Río Toachi.

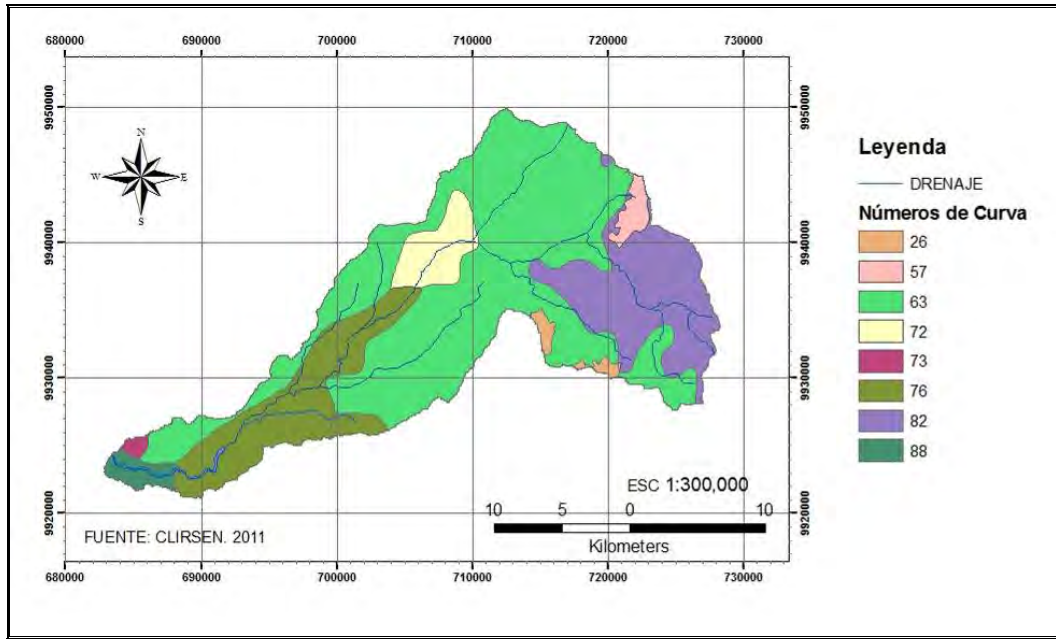


Figura 78. Mapa del Número de Curva para la Cuenca del Río Toachi.

### 5.7.2 Modelización Matemática con HEC-HMS ®

Para realizar la modelización del proyecto, primeramente se subdividió a la cuenca de estudio en tres áreas de características fisiográficas y climáticas homogéneas. Se agruparon las subcuencas 1, 2, 3 y 4 en la denominada zona alta; las subcuencas 5 y 6 en la zona media; y la subcuenca 7 en la zona baja. En la Figura 79 se presenta la zonificación de la cuenca de estudio, una vez que se unieron las subcuencas definidas en la delimitación.

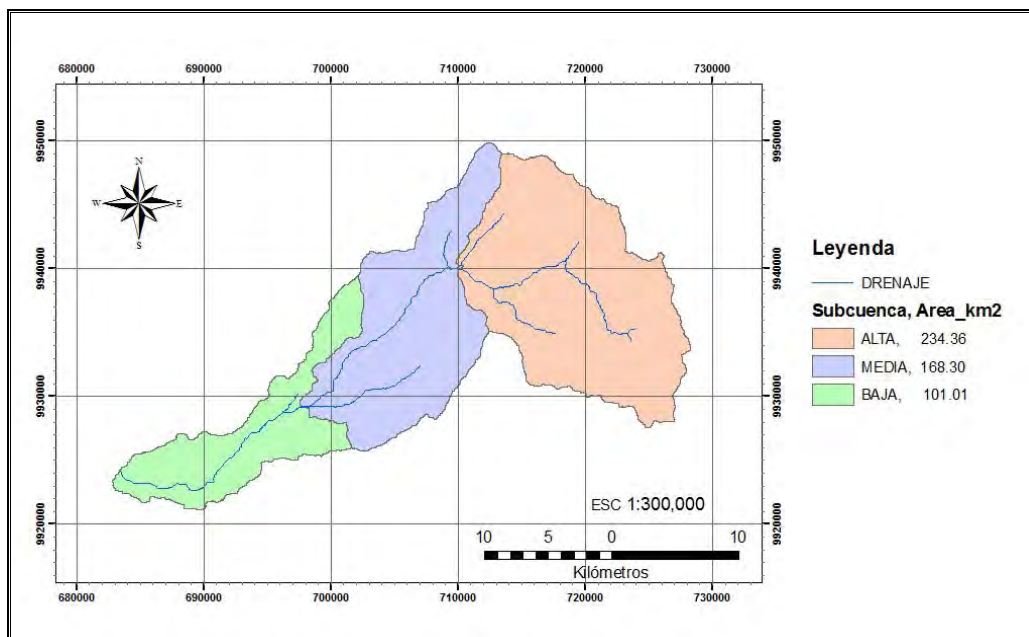


Figura 79. Zonificación de la Cuenca del Río Toachi

Para calcular el número de curva ponderado de cada zona alta, media y baja, se determinó el número de curva ponderado para cada subcuenca (de la 1 a la 7) por medio de un breve análisis estadístico, obtenida con una planilla de cálculo, según la metodología explicada de unir las subcuencas por características de homogeneidad fisiográfica y climática.

En la Tabla 50 se presenta el cuadro final de la zonificación ponderada del número de curva para la cuenca de estudio que permitió realizar la modelización hidrológica en el programa HEC-HMS®.

Tabla 50. Números de Curva para cada zona de la Cuenca del Río Toachi

SUB CUENCAS	NC	AREA (km <sup>2</sup> )	AREA X SUBCC (km <sup>2</sup> )	NC PONDERADO X SUBCC	NC PONDERADO X ZONA	AREA (km <sup>2</sup> )	ZONA																																																																											
1	72	0,33	38,94	63,08	68,7	234,36	ALTA																																																																											
	63	38,61						2	72	0,23	6,98	63,30	63	6,75	3	82	13,78	46,10	64,44	57	0,06	63	26,98	26	5,27	4	81	73,87	141,57	72,02	57	7,70	63	59,85	26	0,16	5	76	20,77	106,41	67,67	66,2	168,3	MEDIA	72	25,22	63	60,42	6	76	1,10	61,96	63,84	76	2,91	63	57,95	7	88	9,08	101,01	72,60	72,6	101,0	BAJA	76	50,42	76	0,79	76	2,86	73	2,31	88	0,68	63	34,87					
2	72	0,23	6,98	63,30																																																																														
	63	6,75						3	82	13,78	46,10	64,44	57	0,06		63	26,98			26	5,27	4	81	73,87	141,57		72,02	57			7,70	63	59,85	26	0,16	5		76	20,77						106,41	67,67	66,2	168,3		MEDIA	72			25,22	63	60,42	6		76	1,10						61,96	63,84	76	2,91	63	57,95	7	88	9,08	101,01	72,60	72,6	101,0	BAJA	76	50,42	76
3	82	13,78	46,10	64,44																																																																														
	57	0,06																																																																																
	63	26,98																																																																																
	26	5,27																																																																																
4	81	73,87	141,57	72,02																																																																														
	57	7,70																																																																																
	63	59,85																																																																																
	26	0,16																																																																																
5	76	20,77	106,41	67,67				66,2	168,3	MEDIA																																																																								
	72	25,22																																																																																
	63	60,42																																																																																
6	76	1,10	61,96	63,84																																																																														
	76	2,91																																																																																
	63	57,95																																																																																
7	88	9,08	101,01	72,60	72,6	101,0	BAJA																																																																											
	76	50,42																																																																																
	76	0,79																																																																																
	76	2,86																																																																																
	73	2,31																																																																																
	88	0,68																																																																																
	63	34,87																																																																																

5.7.2.1 Selección de los Métodos de Cálculo en el programa HEC-HMS ®

A continuación, se indica la información ingresada en cada zona, para determinar el Volumen de Esguerrimiento, la Transformación en Esguerréntía Directa, el Caudal Base y el Tránsito de Caudales para el modelo HEC-HMS ®:

Los valores utilizados para el cálculo del volumen de esguerrimiento mediante el método de “pérdidas iniciales y tasa constante de pérdidas” están directamente relacionados con la característica de tipo de suelo en la cuenca. Para realizar el análisis de este parámetro no se disponía de suficiente información respecto a la textura, contenido de materia orgánica, estructura del suelo, por lo cual se identificaron los suelos según sus tasas de infiltración. En general, se caracterizaron con tasas de moderadas a lenta, con bajo contenido orgánico y usualmente altos en arcilla, considerados como suelo del grupo hidrológico C, aplicado en el cálculo de la tasa de infiltración constante.

Los valores de pérdida inicial (Ia) se calcularon del 20% de la capacidad máxima de retención del suelo en base de los números de curva ponderados para cada parte, así, se obtiene la Tabla 51.

Tabla 51. Valores de pérdida inicial para cada zona.

ZONA	NC POND	CAPACIDAD DE RETENCION MAXIMA (S)	PÉRDIDA INICAL (Ia)
ALTA	68,7	115,3	23,0
MEDIA	66,2	129,3	25,8
BAJA	72,6	95,8	19,1

Se ha cuantificado el área impermeable por zona, a partir del mapa de pendientes, considerando, que las áreas con pendientes mayores, con alta probabilidad de tener poca profundidad de suelo y alto esguerrimiento. También se analizó a partir de la interpretación de las imágenes satelital Landsat 19870326 TM y 19991114 y con la ayuda del Google Earth®, donde se observaron áreas con afloramiento de rocas en superficie, especialmente en la parte alta, coincidentes con zonas con la escasa información de textura del suelo, poca profundidad de perfil de suelo, y/o presencia de cuerpos de agua y pequeñas zonas urbanas. Los valores obtenidos para este método se presentan en la Tabla 52.

Tabla 52. Parámetros para el cálculo del volumen de escurrimiento.

<b>METODO DE PERDIDA INICIAL Y TASA CONSTANTE</b>			
<b>PARÁMETROS</b>	<b>ZONA ALTA</b>	<b>ZONA MEDIA</b>	<b>ZONA BAJA</b>
<b>Tasa de infiltración constante (mm/h)</b>	1,8	1,8	1,8
<b>Pérdidas iniciales (mm)</b>	23	26	19
<b>Área impermeable (%)</b>	15	10	10

Los valores del tiempo de retardo ( $T_{lag}$ ) usados para el cálculo de la transformación del excedente de lluvia en escurrimiento directo (cálculo del hidrograma de salida), mediante el método “hidrograma unitario del SCS”, se obtuvieron mediante la Fórmula 35, cuyos resultados se presentan en la Tabla 53.

Tabla 53. Parámetros para el cálculo del hidrograma de salida (escurrimiento directo)

<b>MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DEL SCS</b>				
<b>PARÁMETRO</b>	<b>ZONA ALTA</b>	<b>ZONA MEDIA</b>	<b>ZONA BAJA</b>	<b>FUENTE</b>
<b>Tiempo de retardo, <math>T_{lag}</math>, (min)</b>	2838	3142	3500	Tiempo de concentración Pendiente del río (%) y Longitud del río (km)

Los valores utilizados para alimentar al caudal base del modelo, de acuerdo al método “constantes mensuales”, se aplicó a la subcuenca baja tomando como referencia los valores del caudal mensual de la estación hidrológica Toachi DJ Baba (H414) durante el período del 01 de julio de 2006 al 01 de Julio de 2007, los cuales se presentan en la Tabla 54.

Tabla 54. Caudales constantes mensuales para la subcuenca baja.

<b>METODO DE CONSTANTE MENSUAL</b>												
	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>ZONA BAJA (m<sup>3</sup>/s)</b>	15	30	28	32	20	12	10	5	5	5	2	3

Los valores proporcionados al programa HEC-HMS ® para el cálculo del tránsito de los caudales a través de canales por el método Muskingum-Cunge se presentan en la Tabla 55.

Tabla 55. Valores de los parámetros para el cálculo de caudales.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>TRAMO 1</b>	<b>TRAMO 2</b>
Longitud del cauce (m)	18740	19120
Pendiente del cauce (%)	0,0195	0,0090
Coeficiente de rugosidad de Manning del lecho del cauce	0,04	0,035
Forma de sección transversal	Rectángulo	Ocho puntos
Ancho (m)	60	
Manning del lado izquierdo		0,04
Manning del lado derecho		0,03

Los datos de la sección transversal de la estación de aforo H414 Toachi DJ Baba, tomado a 162 msnm, según la forma del canal de ocho puntos se presentan en la Tabla 56 y la Figura 80.

Tabla 56. Datos de la sección transversal del cauce del Río Toachi.

<b>Distancia (m)</b>	0,0	13,6	24,9	48,9	68,9	84,4	101,4	106,9
<b>Profundidad (msnm)</b>	107,5	101,0	99,1	99,0	99,4	100,4	104,5	107,6

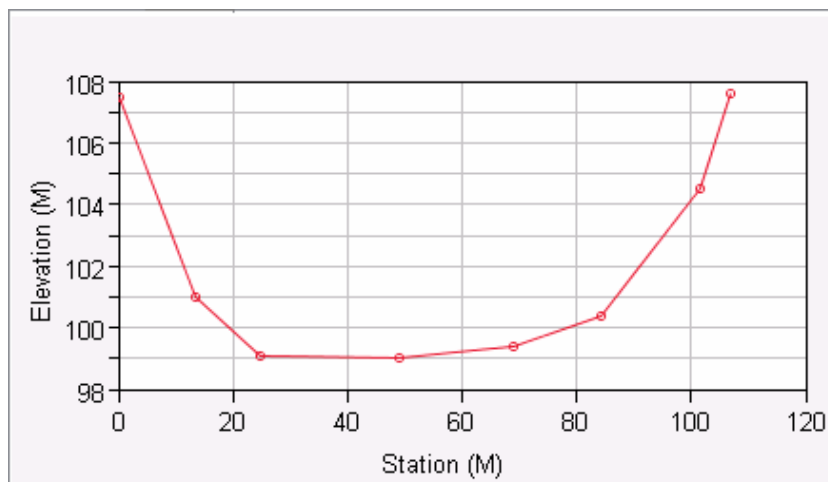


Figura 80. Gráfico de la sección transversal del Río Toachi

### 5.7.2.2 Selección de datos de lluvia

Se armaron dos modelos meteorológicos con las estaciones seleccionadas, en función de la ubicación geográfica. El primer modelo meteorológico se estableció a partir del resultado del método de Polígonos de Thiessen; y el segundo modelo se asignó a partir de los pluviógrafos más representativos a la correspondiente subcuenca. En la Tabla 57 se presentan los períodos de precipitación que se utilizaron para las diferentes simulaciones.

Tabla 57. Períodos de precipitación usados para la calibración y validación

<b>CALIBRACION</b>	<b>VALIDACION</b>
01 junio 2005 - 30 junio 2007	01 julio 2007 - 30 junio 2009

### 5.7.2.3 Selección de datos de caudal observado

Los datos de caudal observado que se usaron para ingresar al modelo fueron los de la estación hidrológica H414 Toachi DJ Baba en los períodos que se indican en la Tabla 58.

Tabla 58. Períodos de caudales usados para la calibración y validación

<b>CALIBRACIÓN</b>	<b>VALIDACION</b>
01 junio 2005 - 30 junio 2007	01 julio 2007 - 30 junio 2009



## 5.8 Pruebas de Calibración del Modelo HEC-HMS ®

La identificación de los valores óptimos de los parámetros que utilizan los métodos seleccionados para la modelización, se realizó de forma manual y luego se comprobó de forma automática usando el método de ajuste ponderado por mínimos cuadrados de la Función Objetivo que incluye en la herramienta de Optimización del programa HEC-HMS ®.

A continuación se explica los criterios utilizados para la calibración, indicando los parámetros ingresados y los resultados obtenidos de las dos series de precipitación utilizadas en las pruebas de calibración.

### 5.8.1 Primera Prueba

Para la primera prueba de calibración, se trabajo con las tres subcuencas, alta, media y baja, utilizando el período comprendido entre el 01 de julio del 2006 al 30 de junio del 2007 con la información de la estación meteorológica La Libertad (M252) a nivel diario (24 horas en mm) y los datos de caudal diario ( $m^3/s$ ) medido de la estación hidrológica Toachi DJ Baba (H414).

Fueron ingresados al modelo HEC-HMS ® los parámetros iniciales que se presentaron en la sección 5.7.2.

La influencia de las estaciones meteorológicas para el área de estudio se realizó con el método Polígonos de Thiessen, procesado con la herramienta SIG, arrojando los resultados que se presentan en la Tabla 59.

Tabla 59. Área de cobertura de las estaciones meteorológicas

Zona	Estación Pluviográfica	Área Influencia ( $km^2$ )	Área Zona ( $km^2$ )
Alta	La Libertad	158,85	234,46
	Las Pampas	35,81	
	Sigchos	39,79	
Media	La Libertad	169,08	169,08
Baja	La Libertad	53,36	100,22
	Puerto Ila	16,55	
	San Antonio	30,19	

La interpretación de la Tabla 59 indica que hay una muy alta incidencia geoespacial de la estación pluviografica La Libertad (MB89) para el área de estudio, que representa un 76% del área de influencia ( ver Figura 81).

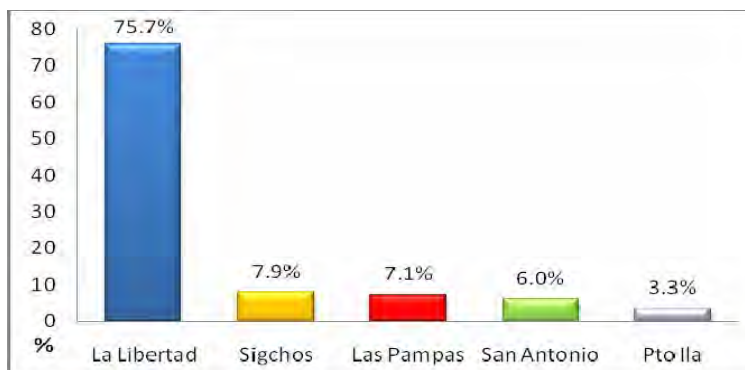


Figura 81. Representación del área de cobertura de las estaciones meteorológicas

Por esta razón, se consideró como pluviógrafo del modelo meteorológico (Met1) a la estación La Libertad (MB89), como única estación meteorológica para toda la cuenca. Con estos parámetros ingresados al modelo HEC-HMS ® se procedió a realizar la simulación. Se obtuvieron los parámetros estadísticos de coeficiente de Nash= 0,68 y  $R^2=0,76$ .

Este procesamiento, determinó el cálculo de optimización del parámetro “tasa de infiltración constante” para las tres subcuencas, obteniendo los valores expresados en la Tabla 60.

Tabla 60. Valores del parámetro “tasa de infiltración constante” optimizada primera prueba

PARÁMETRO	ZONA ALTA	ZONA MEDIA	ZONA BAJA
<b>Tasa de infiltración constante (mm/h)</b>	1,36	0,61	2,64

Obtenidos estos valores, se volvió a cargar el programa y se realizó la simulación obteniendo el hidrograma presentado en la Figura 82.

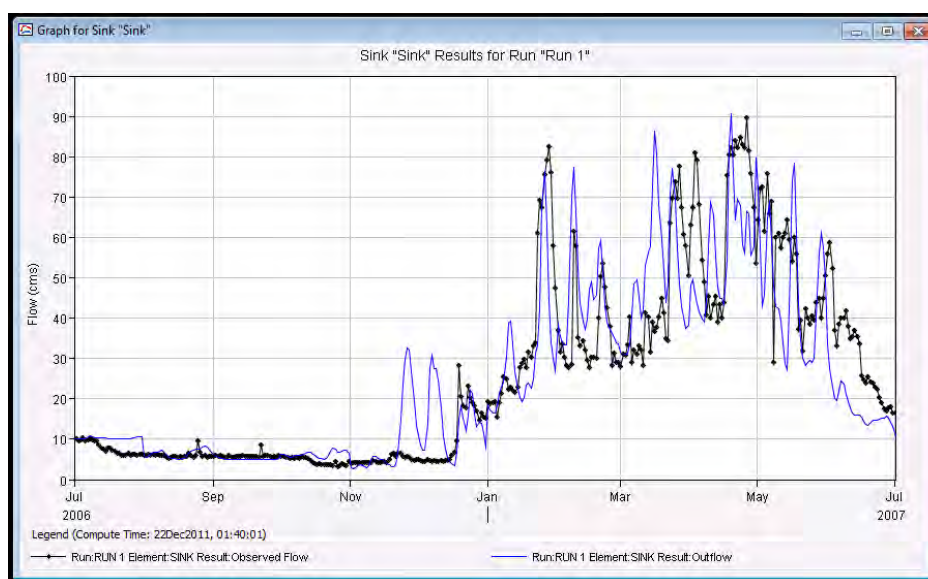


Figura 82. Hidrograma final de la primera prueba de calibración.

En la Figura 83, se presenta el resultado de eficiencia de los datos simulados versus los datos observados realizados en el programa WHAT, los cuales dieron un coeficiente de Nash= 0,71% y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,72$ . Finalmente, se presenta la Figura 84 con el resumen de los resultados obtenidos en la primera calibración.

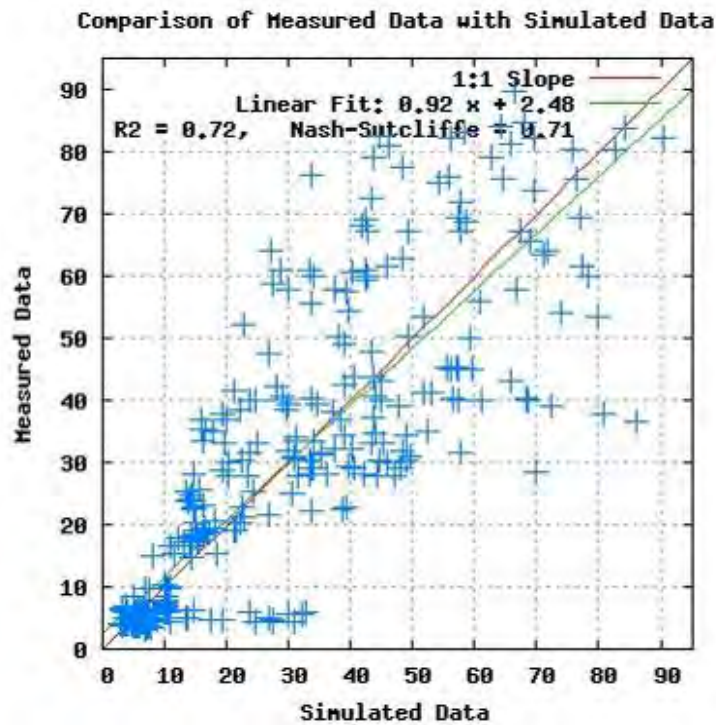


Figura 83. Gráfico de Eficiencia de los valores simulados

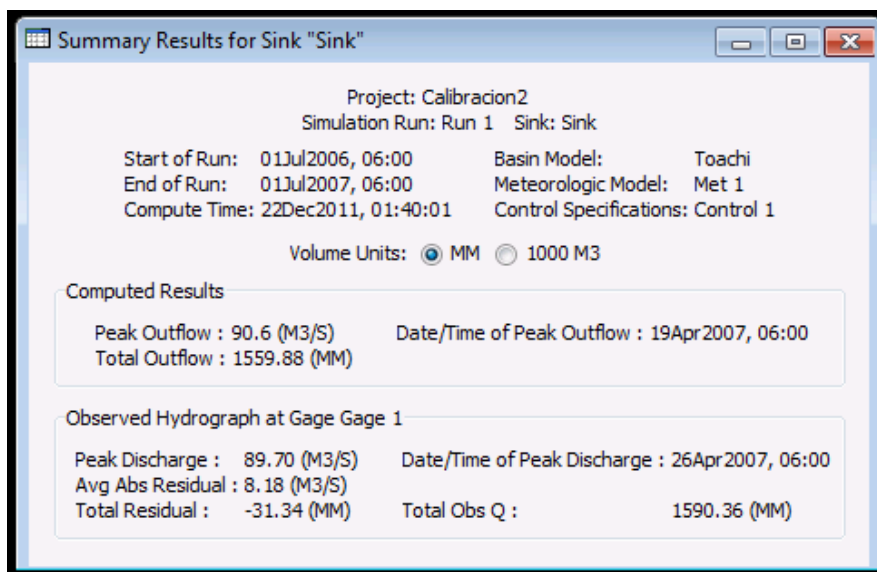


Figura 84. Resumen de los resultados de la primera calibración

### 5.8.2 Segunda Prueba

Para la segunda prueba de calibración, se trabajó con las tres subcuencas en el período comprendido entre el 01 de julio del 2006 al 30 de junio del 2007 con la información de las estaciones meteorológicas Las Pampas (M362), La Libertad (MB89) y Puerto Ila (M026) a nivel diario (24 horas en mm) y los datos de caudal diario ( $m^3/s$ ) medido de la estación hidrológica Toachi DJ Baba.

Fueron ingresados al programa HEC-HMS ® los parámetros iniciales que se presentaron en la sección 5.7.2.

De acuerdo a la Tabla 59, se eligieron los tres pluviógrafos que alimentaron al modelo meteorológico (Met2) del programa para cada una de las subcuencas, quedando distribuidas de la siguiente manera: para la zona alta la estación Las Pampas por tener información más confiable de precipitación en 24 horas; para la zona media la estación La Libertad; y para la zona baja la estación Puerto Ila por ser una estación meteorológica completa que tiene mayor cantidad de información histórica.

Con estos parámetros ingresados al modelo HEC-HMS ® se procedió a realizar la simulación obteniendo un coeficiente de Nash= 0,68 y  $R^2=0,74$ . Se realizó el cálculo de optimización del parámetro “tasa de infiltración constante” para las tres zonas, obteniendo los valores que se muestran en la Tabla 61:

Tabla 61. Valores del parámetro “tasa de infiltración constante” optimizada segunda prueba

PARÁMETRO	ZONA ALTA	ZONA MEDIA	ZONA BAJA
Tasa de infiltración constante (mm/h)	0,93	1,35	1,79

Con estos valores se volvió a cargar al modelo y se realizó la simulación obteniendo el hidrograma presentado en la Figura 85.

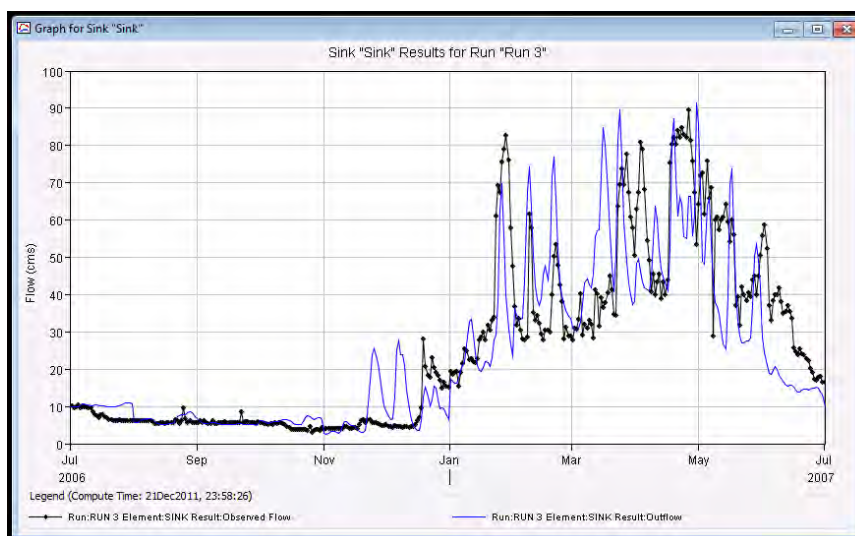


Figura 85. Hidrograma final de la segunda prueba de calibración

En la Figura 86 se presenta el resultado de eficiencia de los datos simulados versus los datos observados realizados en el programa WHAT para esta prueba, que dieron un coeficiente de Nash= 0,70% y un coeficiente de determinación  $R^2= 0,71$ . Finalmente se presenta la Figura 87 con el resumen de los resultados obtenidos en la segunda calibración.

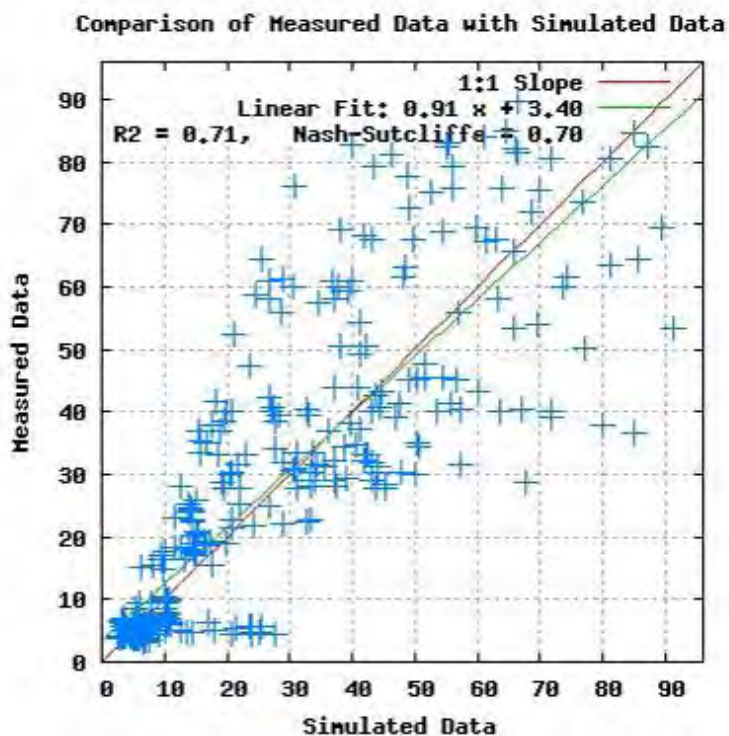


Figura 86. Gráfico de Eficiencia de los valores simulados

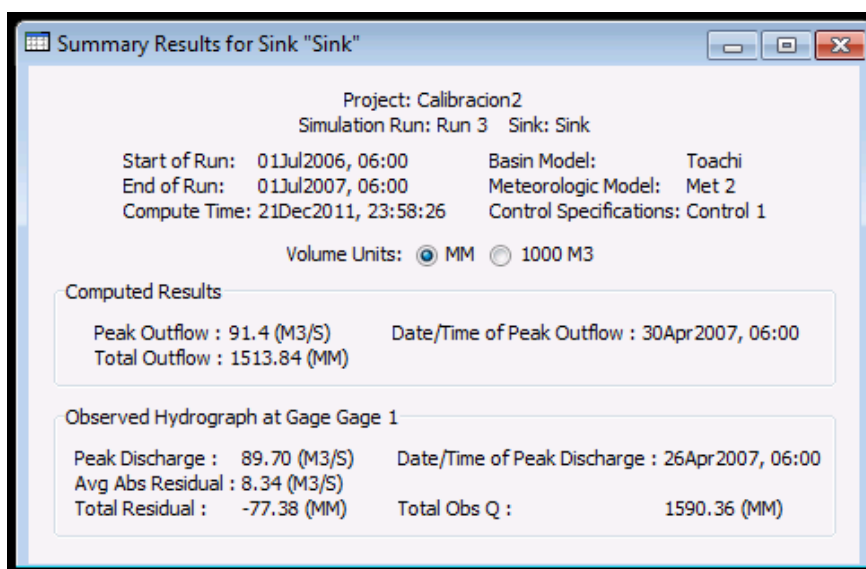


Figura 87. Resumen de los resultados de la primera calibración

## 5.9 Sensibilidad de los parámetros del modelo HEC-HMS ®

El análisis de sensibilidad se realizó durante la segunda prueba de calibración en el período comprendido entre julio 2006 a junio 2007, observando que los parámetros variaron en las diferentes pruebas. Como fue indicado en la sección 4.9, el parámetro a ser sensibilizado se modifica mientras que los otros se mantienen fijos.

El parámetro más sensible es el “área impermeable”, está directamente relacionado con el tipo de suelo, uso de suelo y tipo de vegetación. La variación del 10% de este valor produce una variación del caudal pico simulado de 9m<sup>3</sup>/s aproximadamente, representando un cambio en los caudales totales de salida de 21,2% promedio, como se presenta en la Tabla 62.

Tabla 62. Resultados obtenidos del parámetro “área impermeable”

PARÁMETROS:	AREA IMPERMEABLE (%)			CAUDAL OBSERVADO
	0	10	20	
CAUDAL PICO (m <sup>3</sup> /s)	59,1	68,5	77,8	89,7
FECHA	30-ABR-07	30-ABR-07	30-ABR-07	26-ABR-07
CAUDAL TOTAL DE SALIDA (mm)	984,40	1241,17	1498,01	1590,36
PROMEDIO RESIDUAL (m <sup>3</sup> /s)	10,49	8,34	7,97	
TOTAL DE RESIDUAL (mm)	-606,82	-350,05	-93,21	

El parámetro “tasa de pérdida constante” también representa un alto porcentaje de sensibilidad que se interpreta como la capacidad última de infiltración del suelo y está directamente relacionado con la característica del tipo de suelo. Para el análisis se consideró el límite de transición de los grupos de suelo B y C. La variación que produce esta variable es de aproximadamente 40m<sup>3</sup>/s en el caudal pico (80,88%) lo cual representa el 20,3% del caudal total de salida, expresado en la Tabla 63.

Tabla 63. Resultados obtenidos del parámetro “tasa de pérdida constante”

PARÁMETROS:	GRUPO SUELO		CAUDAL OBSERVADO
	B	C	
LIMITE INFERIOR PERDIDA CONSTANTE (mm/h)	3,81	1,27	
CAUDAL PICO (m <sup>3</sup> /s)	49,7	89,9	89,7
FECHA	19-ABR-07	30-ABR-07	26-ABR-07
CAUDAL TOTAL DE SALIDA (mm)	1202,69	1472,20	1590,36
PROMEDIO RESIDUAL (m <sup>3</sup> /s)	9,0	8,29	
TOTAL DE RESIDUAL (mm)	-388,53	-119,02	

El parámetro “tiempo de retraso” está relacionado con las características del hidrograma, se lo estima a partir del tiempo de concentración que está basado en la longitud del cauce y la pendiente. Es una medida del tiempo de respuesta de una cuenca para que la lluvia neta se transforme en escurrimiento. Para esta prueba se duplicó el tiempo de retraso en las tres áreas sin obtener cambios significativos en el caudal total de salida, cuyos valores se presentan en la Tabla 64.

Tabla 64. Resultados obtenidos del parámetro “tiempo de retraso”

PARÁMETROS:	TIEMPO DE RETRASO (min)		CAUDAL OBSERVADO
	NORMALES: (2838,3142,3500)	DUPLICADOS: (5676, 6284, 7000)	
CAUDAL PICO (m <sup>3</sup> /s)	70,8	56,5	89,7
FECHA	30-ABR-07	26-ABR-07	26-ABR-07
CAUDAL TOTAL DE SALIDA (mm)	1303,87	1302,52	1590,36
PROMEDIO RESIDUAL (m <sup>3</sup> /s)	8,12	8,10	
TOTAL DE RESIDUAL (mm)	-287,35	-288,70	

El parámetro de “pérdida inicial” tiene directa relación con el tipo de suelo y las condiciones de humedad antecedente del suelo, es decir, si el suelo de la cuenca está saturado, la pérdida inicial será aproximadamente cero, por el contrario si está seco, la pérdida se incrementara y será igual la precipitación máxima que puede caer dentro del la cuenca sin producir escurrimiento. La variación de este parámetro no presento cambios considerables en los caudales de salida.

## 5.10 Prueba de Validación del modelo HEC-HMS ®

La prueba de validación consistió en utilizar los parámetros de la mejor prueba de calibración, para aplicarle un período diferente de precipitación y comparar con el hidrograma de salida medido para ese mismo año.

En este caso, las dos pruebas tienen un buen coeficiente de Nash, sin embargo se escogió la primera prueba ya que presenta un mejor coeficiente de determinación,  $R^2 = 0,72$ .

Empleando la estación pluviográfica MB89 La Libertad que cubre el 76% de la cuenca de estudio, con registros diarios en mm (24 horas) durante el período de 01 julio de 2007 al 30 junio de 2008, se obtuvo como resultado un coeficiente de Nash de 0,64 y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,68$ , como se observa en la Figura 88.

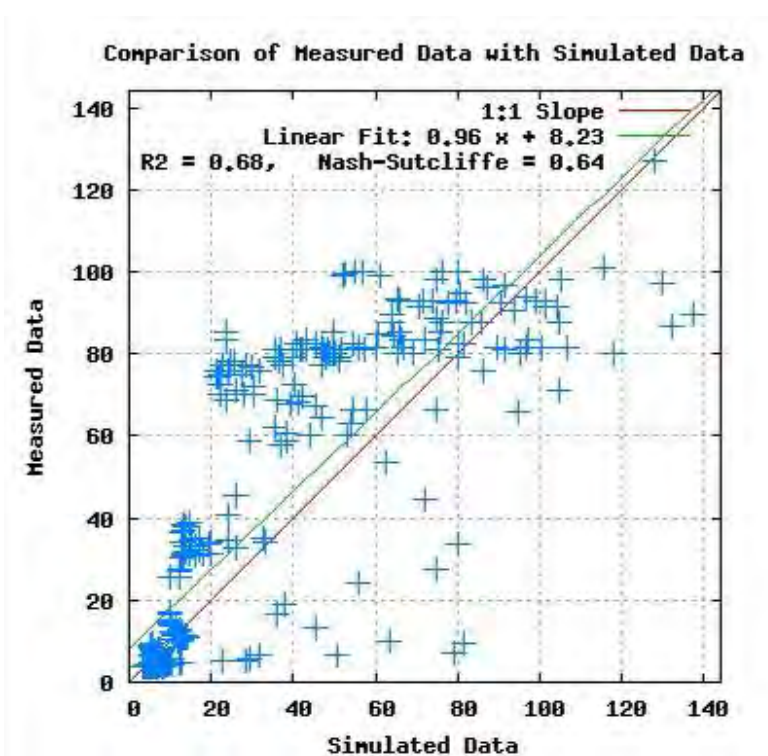


Figura 88. Gráfico de Eficiencia de la prueba de validación.

Los resultados de la validación son aceptables donde la distribución de la crecida se representa en forma muy aproximada a la realidad (ver Figura 89). Los picos y los caudales mínimos están bien representados, indicando que la etapa de calibración cumplió con los parámetros definidos para la cuenca del Río Toachi (ver Figura 90).



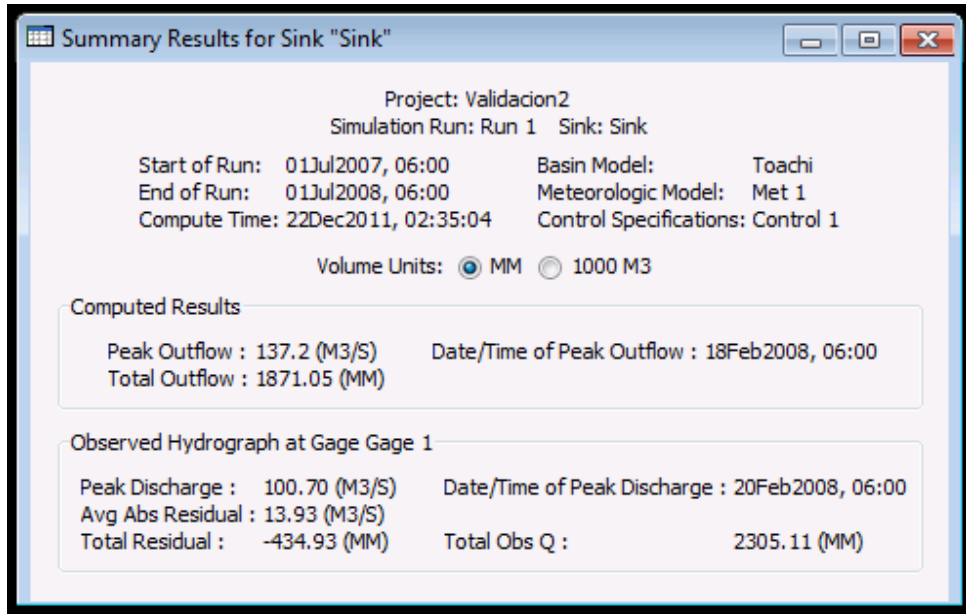


Figura 89. Resumen de los resultados de la validación.

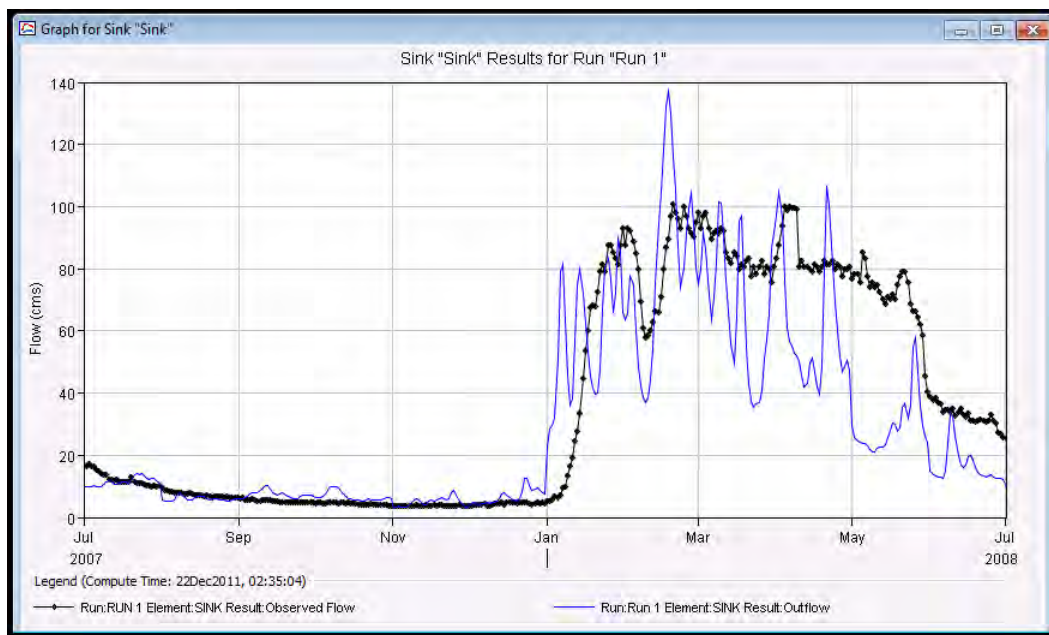


Figura 90. Hidrograma final de la prueba de validación.

## 5.11.- Determinación de la Pérdida de Suelo

### 5.11.1 Método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.)

El modelo U.S.L.E., Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, es una herramienta para estimar la erosión de los suelos agrícolas, elemento central determinante de la sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuarios, ya que a nivel de unidades productivas (predios), la erosión reduce el potencial productivo por la propia pérdida de masa de suelo y porque se asocia siempre a degradación de las propiedades del suelo que permanece in situ. La posibilidad de evaluar cuantitativamente alternativas de uso y manejo (gerenciamiento) de suelos en términos de la erosión que generan, constituye una guía a la toma de decisiones.

En la Figura 91, se presenta el modelo cartográfico diseñado para la determinación de los factores que conforman la ecuación de la U.S.L.E. y para la elaboración de los mapas temáticos respectivos utilizando los sistemas de información geográfica (SIG). El modelo cartográfico permitió representar los procesos que se realizaron empleando el software de ArcGIS 9.3 © de ESRI para el manejo de los datos.

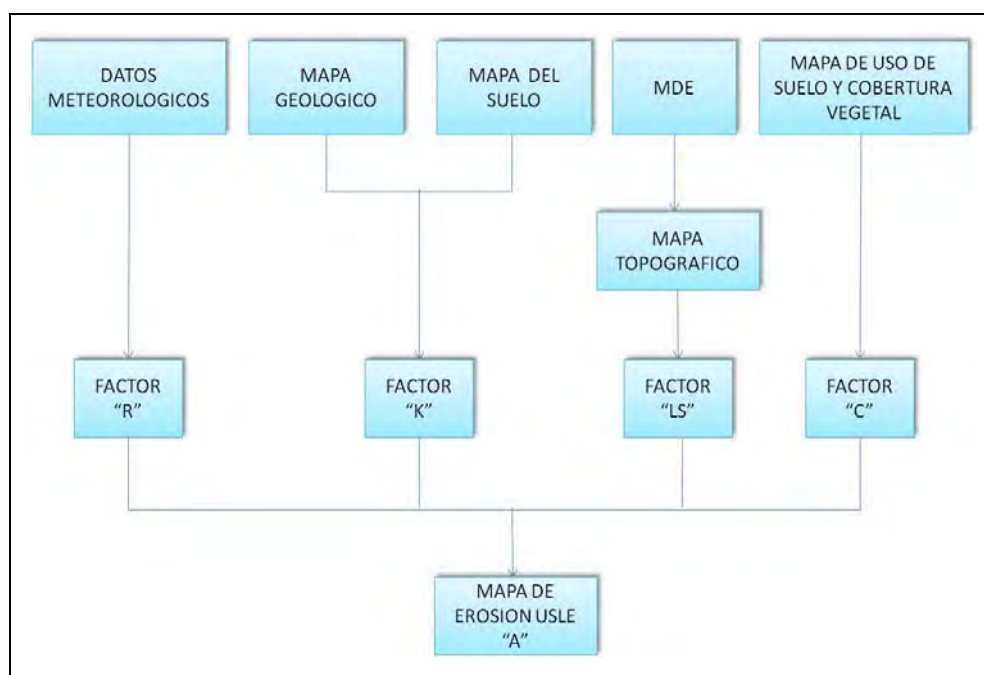


Figura 91. Modelo Cartográfico para la obtención de los factores de la U.S.L.E. y generación de los mapas temáticos correspondientes.

La estimación de los factores R, K, LS y C sirvió para hacer un diagnóstico general sobre el riesgo de erosión hídrica a nivel cuenca de estudio, donde cada uno de las variables constituyó una capa de información, que al ser analizadas con los sistemas de información geográfica (SIG), dio como resultado final un mapa con la tasa de pérdida de suelo en Mg.ha/año en la cuenca del Río Toachi.

A continuación se presentan los resultados del cálculo de los factores del modelo U.S.L.E. a nivel cuenca de estudio:

5.11.1.1 Factor de Erosividad por la Lluvia “R”

En la Tabla 65, se presentan los resultados de los factores de erosividad de la lluvia “R” para cada estación meteorológica comprendida en este análisis, los cuales fueron usados para representar la variabilidad pluviométrica espacial del área de la cuenca hidrográfica del Río Toachi.

Tabla 65. Factores de Erosividad por Lluvia (R).

ESTACIÓN	FACTOR R (Mj.mm/(ha.hr.año))
Puerto Ila	2838,46
La Pitita	915,43
Salgana	2197,93
Pucayacu	7635,81
Chavica	882,69
Santo Domingo	2980,32
Las Pampas	772,28
Sigchos	165,95

Fuente: Efficacitas. 2006

Mapa de Erosionabilidad de la Lluvia “R”

Una vez obtenidos los valores finales del factor (R) correspondientes a las ocho estaciones meteorológicas incluidas en este análisis, se elaboró, con esta información, una plantilla en Excel ® y utilizando el programa ArcGIS 9.3 ®, se siguió el modelo de proceso cartográfico presentado en la Figura 92 para obtener la variación espacial de la erosividad de la lluvia en la cuenca hidrográfica del Río Toachi.

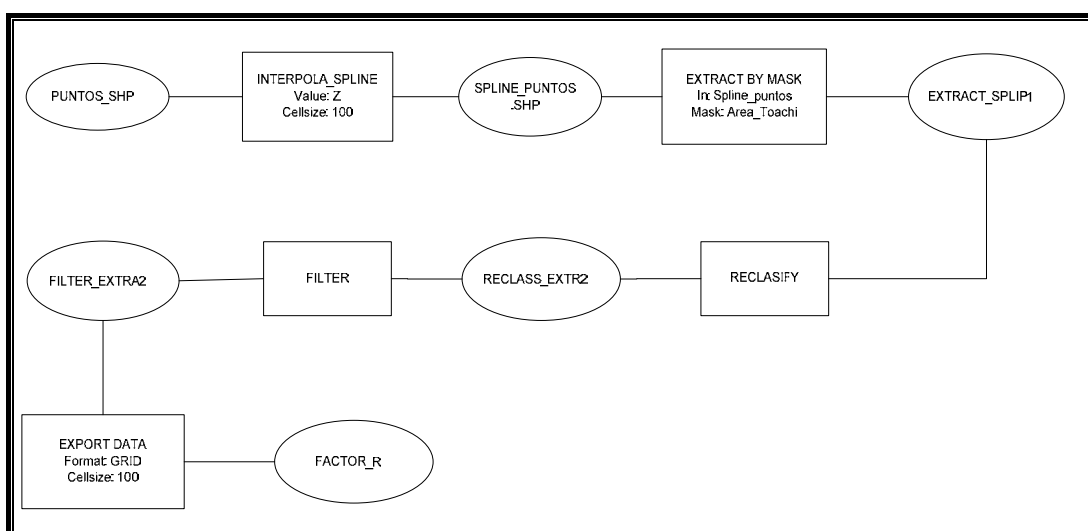


Figura 92. Modelo de Proceso Cartográfico para la obtención del Factor R (Mj.mm/ha.hr.año).

Mediante la herramienta de Interpolación Spline del Análisis Espacial se realizó el cálculo de interpolación de los valores de R, luego se realizó la extracción del polígono correspondiente al área de estudio, y finalmente se efectuó la reclasificación de los valores de la erosividad de la lluvia para la cuenca de estudio, siendo el mínimo 2084,71 Mj.mm/ha.hr.año y el máximo 7162,17 Mj.mm/ha.hr.año, obteniendo de esta manera el mapa de erosividad de la lluvia en la cuenca hidrográfica del Río Toachi (ver Figura 93), donde el color rojo representa el valor más alto, el verde el más bajo y entre estos la variabilidad del factor R.

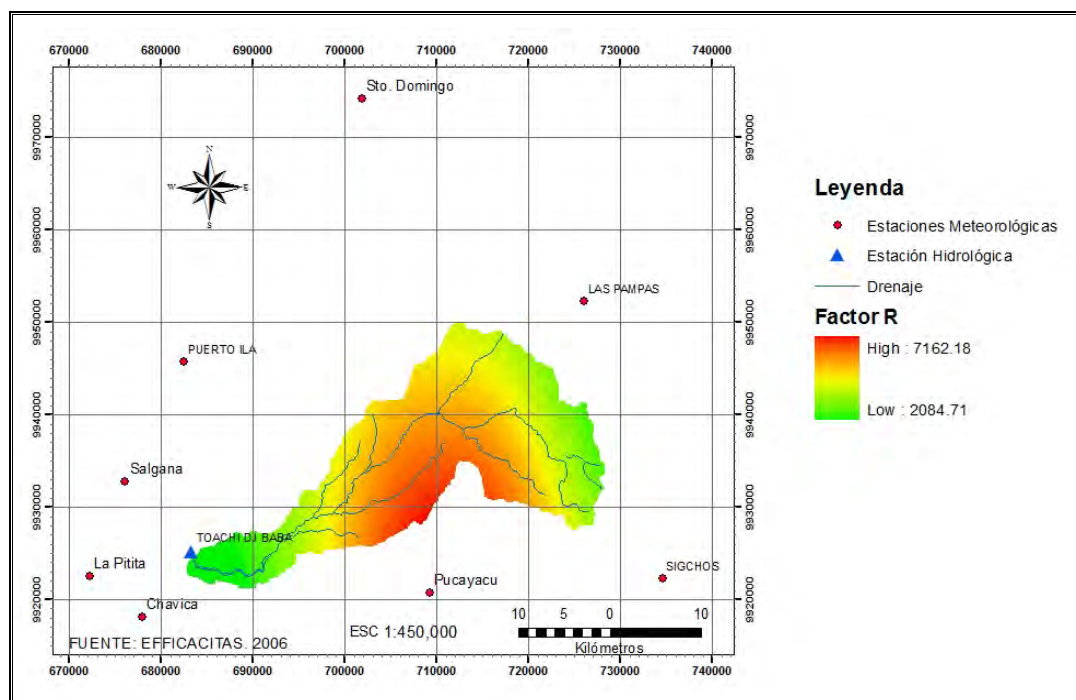


Figura 93. Mapa de Erosividad de la Lluvia "R" (Mj.mm/ha.hr.año) para la Cuenca del Río Toachi.

La estación meteorológica que presenta la mayor cantidad de concentración del factor de erosividad de la lluvia es Pucayacu con 7.635,81 Mj.mm/ha.hr.año, el cual se disipa lentamente en dirección NW hacia la zona de las estaciones de Salgana, Puerto Ila y Santo Domingo con valores promedios de 2.672,23 Mj.mm/ha.hr.año; mientras que hacia el E y NE los valores promedios son de 850 Mj.mm/ha.hr.año y hacia el SE, la estación Sigchos, tiene el valor mínimo de 165,95 Mj.mm/ha.hr.año.

Lo que evidencia que la zona media de la cuenca del Río Toachi está sometida a tormentas con alto poder erosivo y aunque, el área de estudio, tiene las dos estaciones climáticas, la época húmeda es más intensa y de mayor duración, además el nivel de erosividad decrece conforme se aleja hacia la Cordillera Occidental (este) y hacia la Llanura Costera (oeste).

### 5.11.1.2 Factor de Erodabilidad del Suelo “K”

Con los valores de K para la cuenca de estudio de 0,031 y 0,035 Mg.ha.hr/ha.MJ.mm, y usando las herramientas del programa ArcGIS 9.3 ®, se generó el mapa de erodabilidad de la cuenca de estudio (ver Figura 94), el cual guarda concordancia con el tipo de suelo predominante en el área que son del Orden de los Inceptisoles.

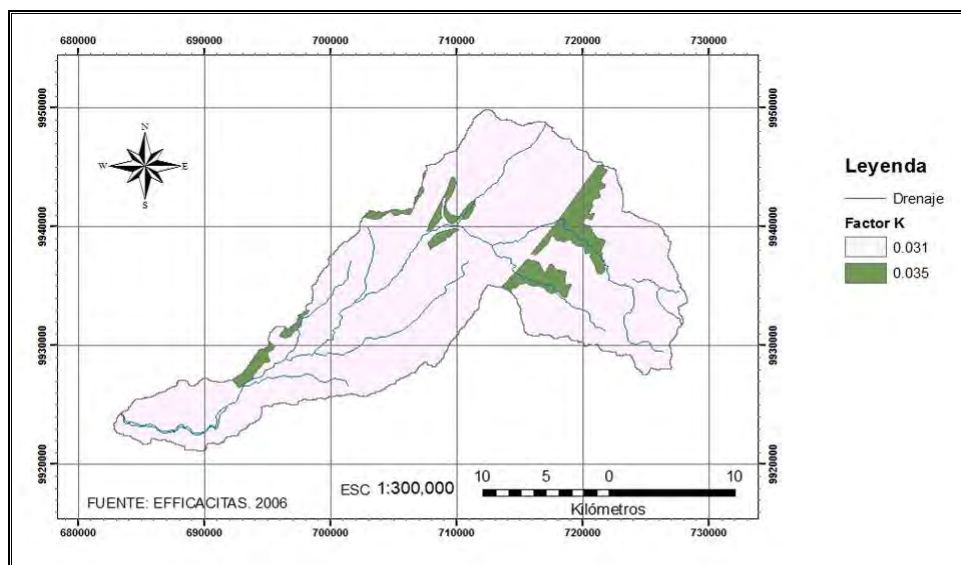


Figura 94. Mapa de Erodabilidad “K” (Mg.ha.hr/ha.MJ.mm) para la Cuenca del Río Toachi.

Como se puede observar en la Figura 94, el valor de  $K=0,031$  (Mg.ha.hr/ha.MJ.mm) ocupa la mayor cantidad de superficie de la cuenca de estudio, se caracteriza por presentar menor susceptibilidad a la erosión con suelos profundos (>100 cm) de buen drenaje y fertilidad media, de textura moderadamente gruesa, predominando los suelos franco limoso y pocos franco arenoso. El valor de  $K=0,035$  (Mg.ha.hr/ha.MJ.mm), se muestra en pequeñas áreas puntuales en la zona de estudio, se caracteriza por presentar mayor susceptibilidad a la erosión del suelo está compuesto por Inceptisoles y Entisoles con moderada profundidad (50-100 cm) de buen drenaje y baja fertilidad, de textura media predominando los suelos francos.

5.11.1.3 Factor Topográfico “LS”

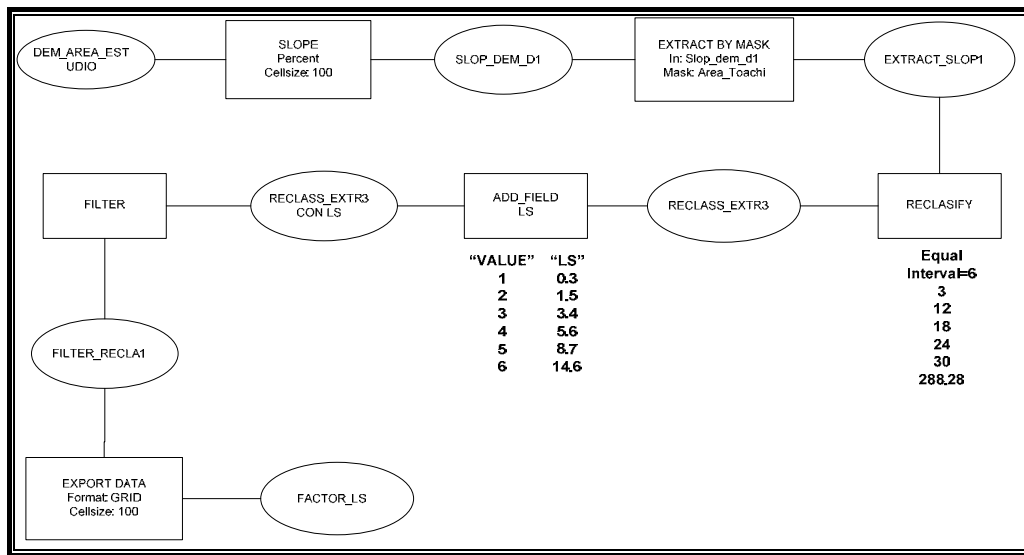


Figura 95. Modelo de Proceso Cartográfico para la obtención del Factor LS

El esquema del proceso cartográfico presentado en la Figura 95 se empleó utilizando el programa ArcGIS 9.3 ®, el mismo que inicia con el modelo de elevación digital (MDE) del área de trabajo (ver Figura 96), al cual se realiza la extracción del área de estudio (ver Figura 97) y finalmente se aplica una de las funciones del análisis de superficies “Slope” (Análisis Espacial de ArcGIS 9.3 ®), obteniendo el mapa de pendientes puras (ver Figura 98).

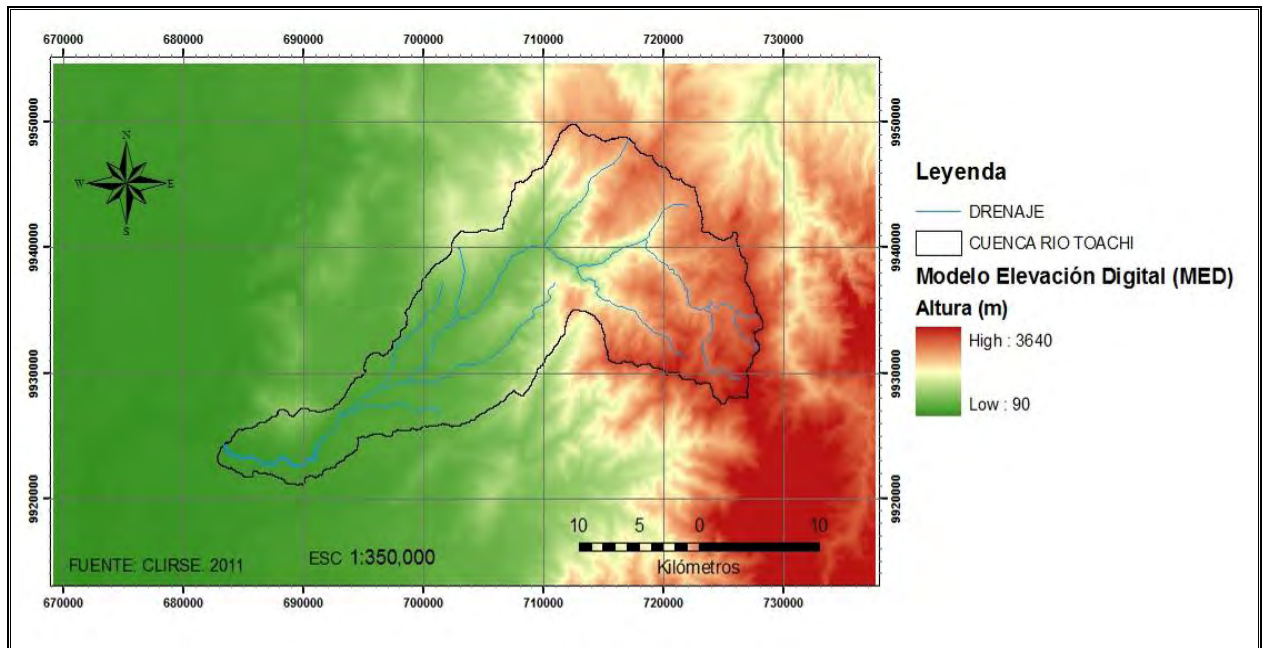


Figura 96. Modelo de Elevación Digital del área de trabajo.

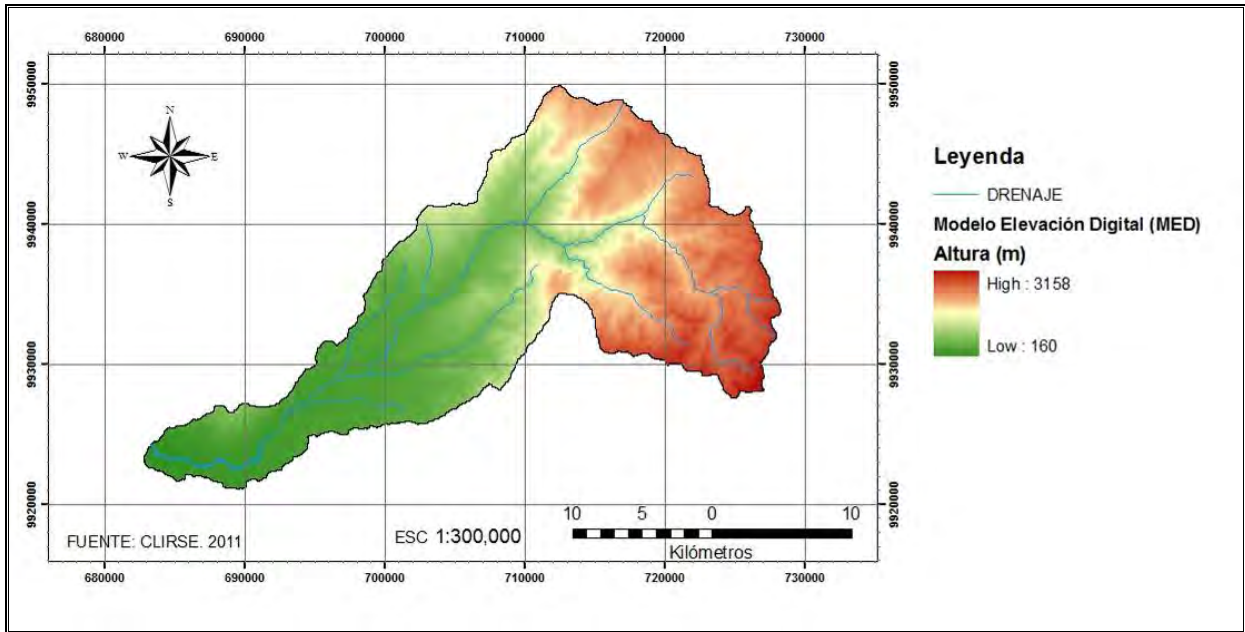


Figura 97. Modelo de Elevación Digital de la Cuenca del Rio Toachi.

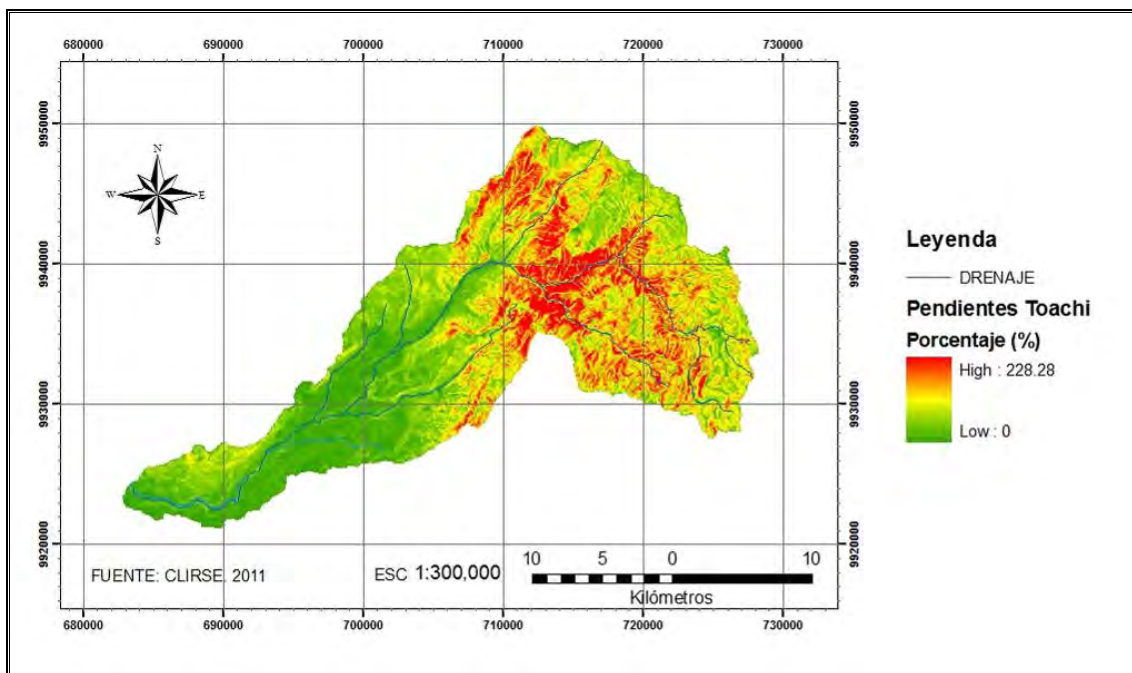


Figura 98. Mapa de Pendientes puras de la Cuenca del Rio Toachi expresado en (%)

De acuerdo a la Tabla 66, propuesta por Mintegui Aguirre (1998) para la determinación del factor LS según rangos porcentuales de pendiente, se utilizaron los seis rangos de pendiente [columna pendiente (%)] establecidos para cada LS ponderado realizando una reclasificación de los valores de pendiente del mapa 98.

Tabla 66. Valores de LS según rangos de pendiente.

PENDIENTE (%)	LS
0-3	0,3
3-12	1,5
12-18	3,4
18-24	5,6
24-30	8,7
>30	14,6

Una vez realizada la reclasificación del mapa de pendiente con los seis rangos de valores, se ingresan los correspondientes valores de "LS" para cada rango de pendiente (columna LS en la Tabla 66). De esta manera se obtuvo el mapa raster de las pendientes de la cuenca del Río Toachi, la cual puede ser presentada en porcentaje (%) de pendiente (ver Figura 99) o en valores de LS (ver Figura 100).

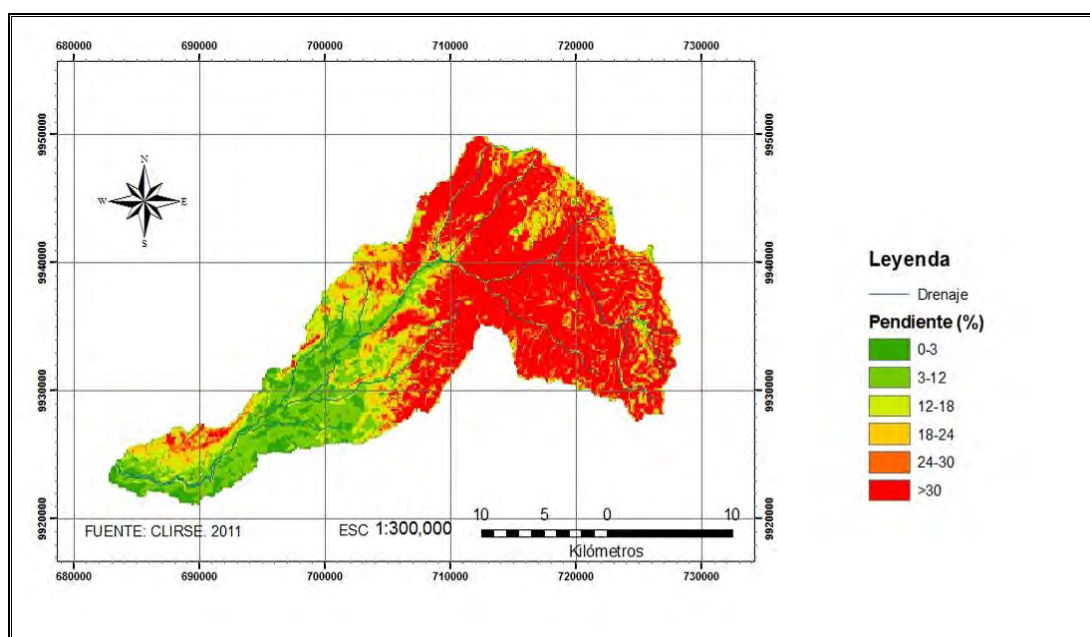


Figura 99. Mapa de Pendientes de la Cuenca hidrográfica del Río Toachi según (%)

En la Figura 99 se muestra el mapa de pendientes en la cuenca del Río Toachi de acuerdo al porcentaje, según la figura, el factor topográfico evidencia que la zona de estudio está sometida a grandes valores de pendientes (>18%), especialmente en la zona media alta, donde se presentan las estribaciones de la Cordillera Occidental formada por pendientes pronunciadas. Mientras que de la zona media hacia abajo, se presentan valores bajos de pendiente (< 18%), observando que sobre el perímetro norte existe pequeñas zonas con altos valores de pendientes.



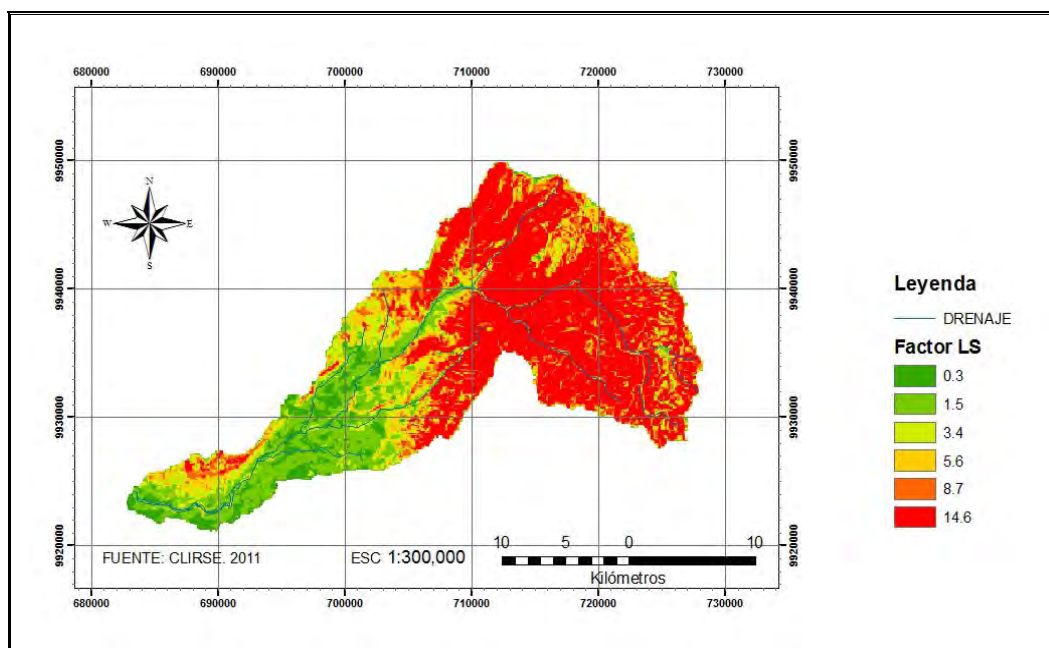


Figura 100. Mapa de Pendientes de la Cuenca del Río Toachi según el factor topográfico (LS).

En la Figura 100 se presenta el mapa de la distribución espacial del factor LS en la cuenca de estudio, se observa que sobresalen los altos valores del factor topográfico en color rojo debido a que las longitudes de las pendientes (L) son considerablemente grandes o extensas. Las áreas donde se producen estas variaciones se deben a las fuertes pendientes existentes en la zona de cabecera. Esto se puede corroborar con la Figura 98 que presenta la imagen de la cuenca de estudio según las pendientes puras (sin tratamiento), en la cual se muestra que la zona de cabecera presenta valores altos debido a las fuertes pendientes que carecen de vegetación natural.

Para el cálculo del índice topográfico y con el fin de mejorar la precisión del factor LS en la U.S.L.E. usando SIG, se siguieron las recomendaciones del concepto de L, es decir, se consideraron los puntos en donde la pendiente decrece hasta que se produce la sedimentación o el escurrimiento entra a una red de drenaje. También para evitar la pérdida de información, durante el procesamiento de las imágenes, se trabajó con un tamaño de pixel de 100 x 100 para tener buena resolución, especialmente en zonas donde existen pendientes cóncavas, pues las depresiones inducen a grandes errores, además del error generado por el cambio de escala y el ajuste del área mínima cartografiable (Flores *et al.*, 2003).

#### 5.11.1.4 Factor de Cobertura del Suelo “C”

Se sigue la metodología de los diferentes autores, se presenta la Tabla 67 con los valores de C, los cuales hacen referencia a condiciones puntuales de uso de suelo, situación que se puede considerar una fuente de error potencial para el cálculo de la pérdida de suelo.

Tabla 67. Factor C para Uso del Suelo.

USO DEL SUELO	FACTOR C
Café y cacao, pastos	0,02
Monte y fruticultura	0,02
Bosque con claros de pastos, cultivos y arboricultura	0,03
Arboricultura	0,02
Pastos y cultivos, restos de bosque	0,03
Formación arbórea, densa, siempre verde; variante de las vertientes exteriores de Los Andes	0,01

Con estos valores y mediante el uso del programa ArcGIS 9.3 ®, se realizó la representación espacial del factor cobertura vegetal en la cuenca del Río Toachi, obteniendo el mapa que se presenta en la Figura 101.

Se observa que en toda la cuenca de estudio está presente el coeficiente más bajo de cobertura de suelo,  $C=0,01$ , lo que significa que se existen campos cultivados o con vegetación, así, en gran parte de la zona baja y zona media, se observan valores del factor cobertura  $C=0,02$ , que corresponden a terrenos en las se realizan prácticas agrícolas, en ambos casos se ubican las haciendas agrícolas y cultivos permanentes, que reducen considerablemente los procesos erosivos. Mientras que en la mayor parte de la zona alta se observan valores elevados del factor cobertura  $C=0,03$ , correspondiente a bosques con claros, restos de bosque y pastos, donde las prácticas agrícolas son casi nulas, y más aún si se considera que se trata de áreas en las que no se realizan prácticas de conservación.

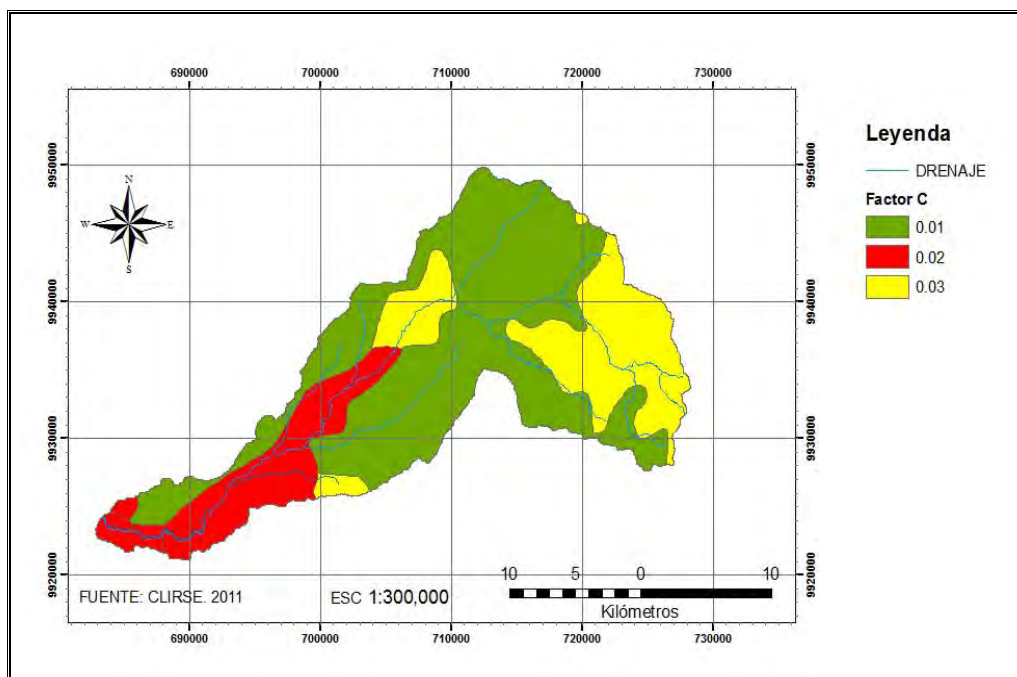


Figura 101. Mapa de Factor de Cobertura Vegetal "C", en la Cuenca del Río Toachi.

Para este análisis se utilizó el mapa de Uso de Suelos y Cobertura Vegetal del CLIRSEN<sup>17</sup> sin embargo, se recomienda un trabajo más detallado para identificar con mayor precisión la distribución espacial de la cobertura y manejo del suelo, (uso de imágenes satelitales, trabajo de campo, etc) puesto que mejora la precisión del cálculo de la erosión hídrica.

#### 5.11.1.5 Estimación de la Pérdida de Suelo "A" (Erosión Actual y Erosión Tolerante del Suelo)

Después de la operación aritmética del producto de los factores de la U.S.L.E. (archivos raster) que fueron tomados en cuenta para este análisis (R.K.LS.C), utilizando el SIG con el programa ArcGIS 9.3 ®, se obtuvo el mapa raster (stretched) de la distribución espacial de la pérdida de suelo en la cuenca del Río Toachi, el cual se muestra en la Figura 102, donde se observa que la pérdida promedio de suelo anual, para toda la cuenca de estudio, oscila entre 0,38 - 93,08 Mg.ha/año. En la Tabla 68, se presenta el grado de erosión, la superficie afectada y el porcentaje correspondiente.

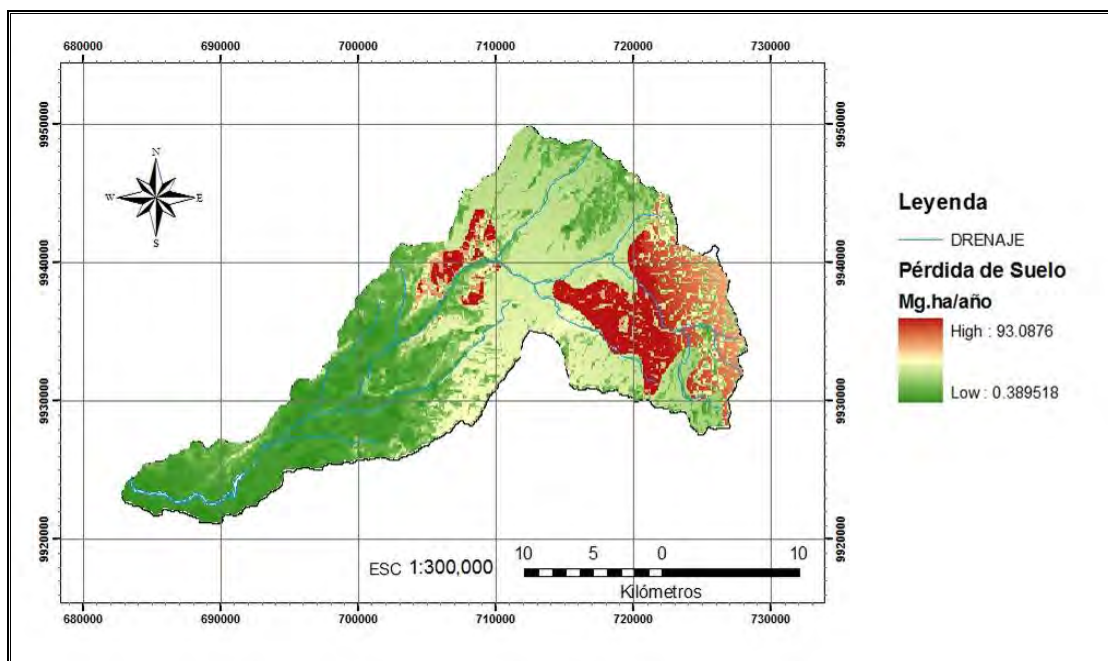


Figura 102 Mapa de Pérdida de Suelo (Mg.ha/año) en la Cuenca del Río Toachi.

<sup>17</sup> CLIRSEN. 2009 (2)

Tabla 68. Superficie y porcentaje de la pérdida de suelo en la Cuenca del Río Toachi.

GRADOS DE EROSIÓN (Mg.ha/año)	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )	PORCENTAJE (%)
<b>Nulo &lt; 10</b>	169,52	33,77%
<b>Moderado 10 - 50</b>	262,98	52,39%
<b>Alto 50 -200</b>	69,47	13,84%

En los terrenos donde la erosión actual del suelo (R.K.LS.C) no supera la erosión tolerable, se considera que no existe deterioro de este recurso. En este análisis, el 33,7% de la superficie no tiene ningún grado de erosión, el 52,4% del área tiene erosión moderada y el 13,8% tiene alta erosión.

En la Figura 103, se presenta el mapa raster de la Figura 102, que fue reclasificado con los tres primeros grados de erosión de la Tabla 28, en el cual se observa que la mayor cobertura geográfica donde se ubica el nivel que tiene una condición libre de erosión (<10 Mg.ha/año) es en la zona baja, caracterizada por grandes planicies; el nivel donde existe erosión moderada (10-50 Mg.ha/año) se ubica en la zona media-alta y el nivel que presenta alta erosión (>50 Mg.ha/año) se halla en la zona alta propiamente dicha, caracterizada por grandes elevaciones y fuertes pendientes.

Este tipo de resultados permite a quienes desarrollan planes para el manejo de recursos naturales, de proyectar los cambios e inclusive modelarlos y evaluar su impacto antes de implementarlos (Flores *et al.*, 2003).

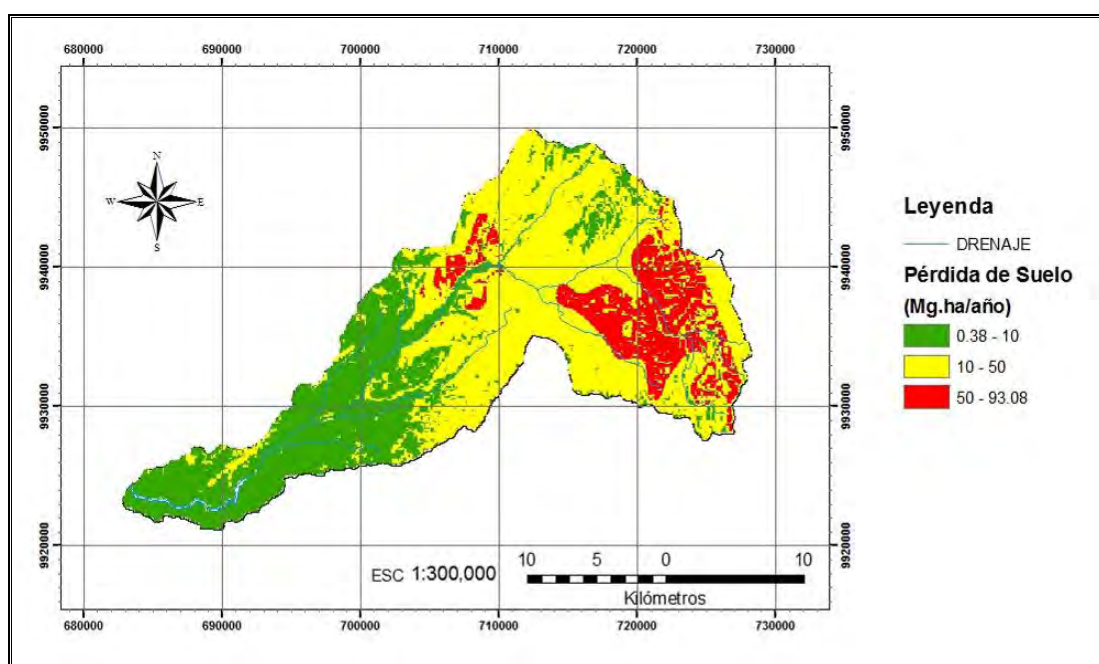


Figura 103. Mapa de Pérdida de Suelo (Mg.ha/año) en la Cuenca del Río Toachi reclasificado.

A continuación se presenta la Tabla 69, con los resultados del estudio particular realizado a nivel unidades hidrológicas, a partir del análisis geoespacial de la cartografía de la zonificación de los factores de la U.S.L.E. (K, LS, C y R), determinando la superficie ponderada (km<sup>2</sup>) por subcuenca.

Tabla 69. Valores ponderados y medios de los Factores de la U.S.L.E.

Subcuencas	1	2	3	4	5	6	7	VALOR MEDIO
<b>Factor R</b> <b>Mj.mm/(ha.hr.año)</b>	5041,5	6086	5884,7	4693,25	5563,3	6128	4052,35	5349,87
<b>Factor K</b> <b>(Mg.hr/Mj.mm)</b>	0,031	0,031	0,032	0,031	0,031	0,031	0,031	0,0317
<b>Factor LS (%)</b>	11,91	13,25	13,02	11,50	7,46	7,81	2,43	9,627
<b>Factor C</b>	0,010	0,011	0,016	0,022	0,017	0,011	0,017	0,015
<b>Pérdida Suelo (A)</b> <b>(Mg,ha/año)</b>	18,93	26,67	39,23	36,00	21,47	16,50	5,15	23,422
<b>Área [km<sup>2</sup>]</b>	38,97	6,95	46,16	142,09	106,45	61,79	101,14	

La cuenca del Río Toachi se caracterizó por presentar un R de 5349,87 [Mj.mm/(ha.hr.año)], lo que indica un alto nivel de erosividad promedio. Como se puede observar en la Figura 104, los valores más fuertes se presentaron en las subcuenca 6 y 2 con valores que sobrepasan los 6000; las subcuencas 3, 5 y 1 presentan valores fuertes entre 6000 y 5000, y las subcuencas 4 y 7 presentan valores moderadamente fuertes entre 4000 y 5000. La variación del factor de erosividad es de 2075,7 [Mj.mm/(ha.hr.año)]. Lo que corrobora que las zonas media y alta tienen un alto nivel de lluvias anuales.

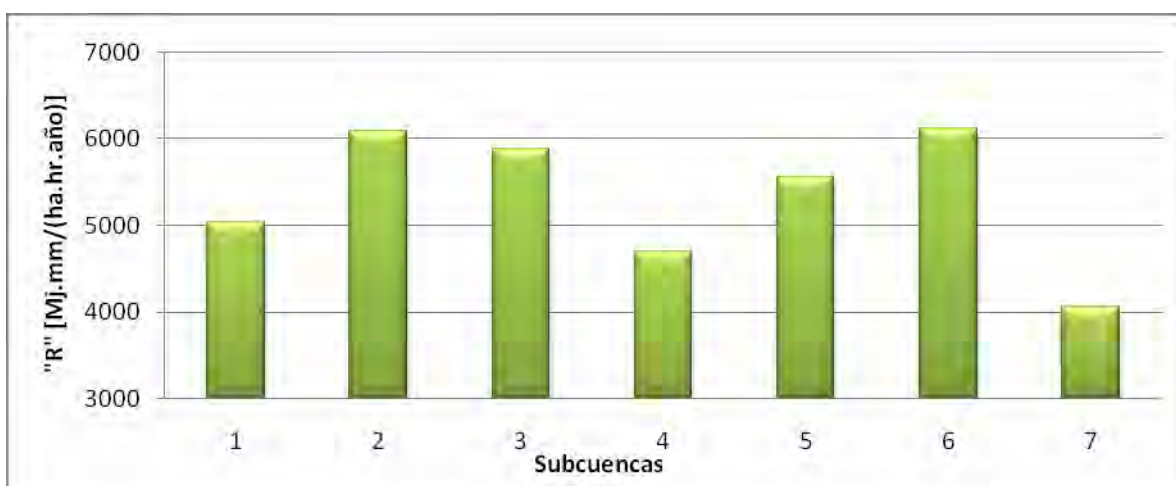


Figura 104. Factor "R" a nivel subcuenca.

El valor ponderado del factor K para la cuenca de estudio está en el promedio de 0,031 (Mg.hr/Mj.mm), lo que indica que la erodabilidad de los suelos es muy baja debido al buen contenido de materia orgánica y que la fracción de limo y arena fina es reducida, confirmando la presencia de arcilla en el suelo (ver Figura 105).

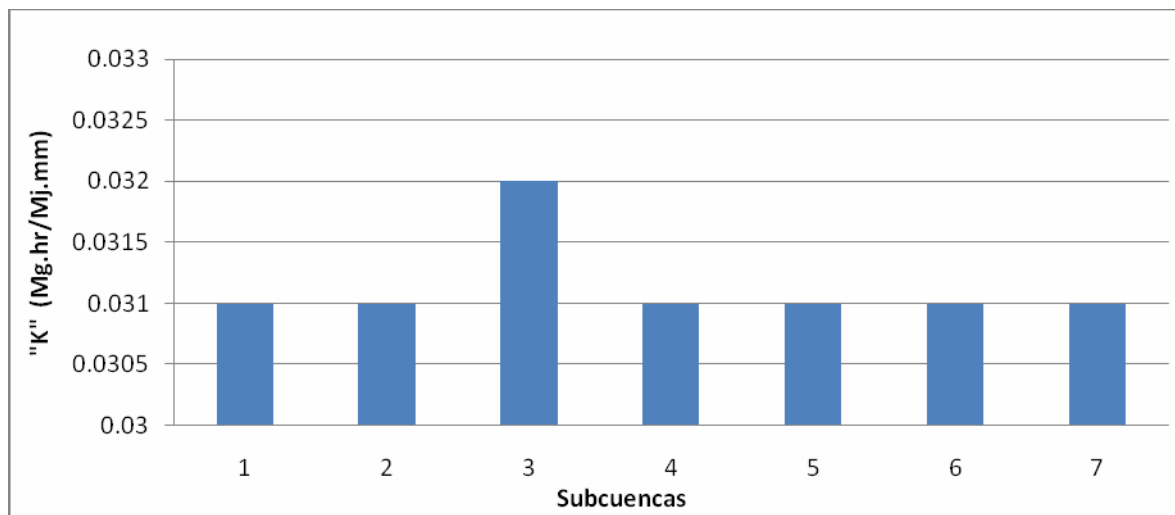


Figura 105. Factor "K" a nivel subcuenca.

El valor ponderado del factor LS para la cuenca de estudio está en el promedio de 9,63 %, lo que indica que la mayor cantidad de superficie de los suelos se encuentra en zonas de fuertes pendientes. Como se puede observar en la Figura 106, las subcuencas 2, 3, 1 y 4 sobrepasan el 10%; las subcuencas 6 y 5 están entre 10 y 3 %; y la subcuenca 7 presenta una pendiente del 2,4%. Esto confirma que en las zonas altas se caracterizan por presentar pendientes fuertes, en la zona media, pendientes moderadas y en la zona baja las pendientes son leves.

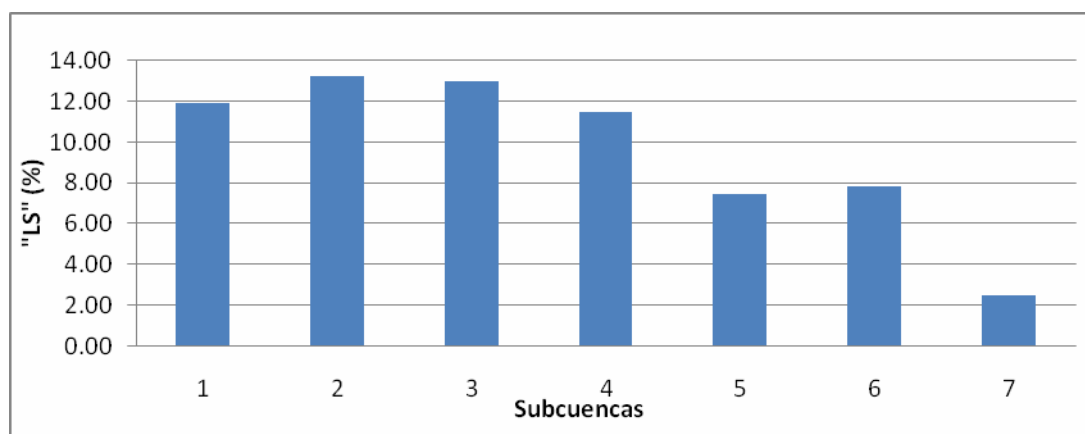


Figura 106. Factor "LS" a nivel subcuenca.

El valor ponderado del factor C para la cuenca de estudio es de 0,015 (Mg.hr/Mj.mm), que indica que el uso de los suelos está entre bueno a regular debido a la proporcionada cobertura de la vegetación. Como se observa en la Figura 107, las subcuencas 1, 2 y 6 presentan buena cobertura del suelo, las subcuencas 3, 5 y 7 muestran una cobertura media

y la subcuenca 4 una cobertura mala, siendo estas zonas donde se encuentra la mayor cantidad de tierras de cultivo cuya producción es durante todo el año (permanentes); y la subcuenca 4 que presenta una pobre cobertura, donde existen áreas descubiertas debido a la deforestación.

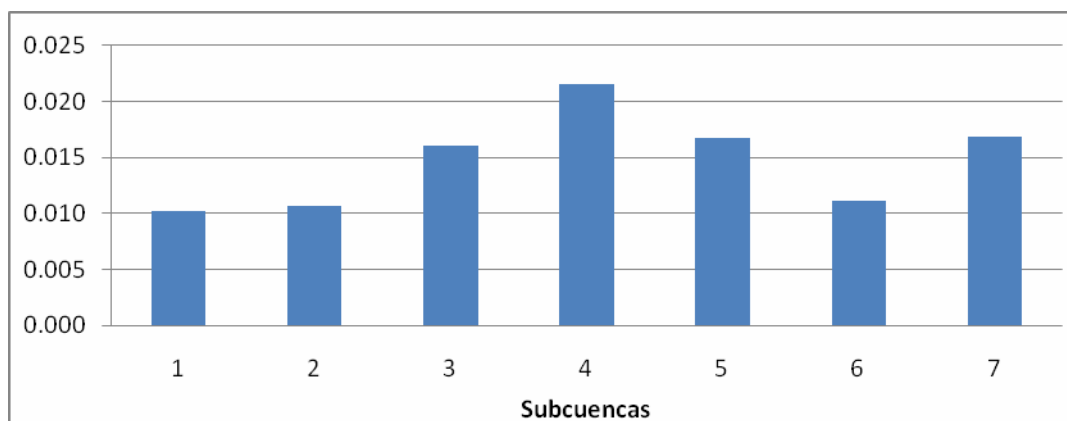


Figura 107. Factor "C" a nivel subcuenca.

Como resultado del producto ponderado de los factores de la U.S.L.E., podemos observar en la Figura 108 que las subcuenca 3 y 4 son las zonas que mayor cantidad de sedimentos aportan dentro de la cuenca de estudio, presentando valores de pérdida de suelo superiores a los 30 Mg.ha/año; a continuación se ubican las subcuenca 2, 5, 1 y 6 con valores entre 30 y 10; y finalmente la subcuenca 7 con la menor cantidad 5,15 Mg.ha/año.

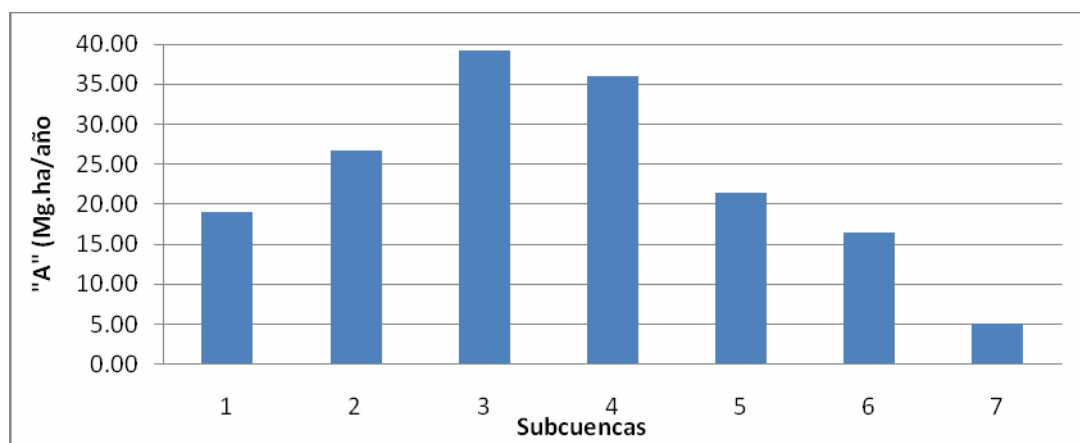


Figura 108. Pérdida de Suelo a nivel subcuenca.

Resumiendo el estudio particular de la estimación de pérdida de suelo que produce a nivel unidades hidrológicas, el área de la cuenca del Río Toachi, se presenta la Tabla 70, la cual muestra la superficie y el porcentaje que corresponden a cada subcuenca por cada rango de clasificación de pérdida de suelo según FAO (1981). Así, la subcuenca 1, produce un 12,6% de pérdida nula o leve, un 87,3% de pérdida moderada y el 0,1% de pérdida alta. De acuerdo a esto, la subcuenca 4 produce el 34,3% de pérdida alta junto con la subcuenca 3 que produce el 27,0%, el resto no supera el 9,0%. Dentro del rango de las pérdidas moderadas, tenemos que la subcuenca 2 produce el 95,1%, la subcuenca 1 el 87,3% y la

subcuenca 7 el 7,4%. Dentro de las pérdidas nulas o leves la subcuenca 7 produce el 92,6%, seguida de las subcuencas 5 y 6 que producen el 33,7% y 33,6% respectivamente, el resto alcanza el 27,3%.

Tabla 70. Porcentaje y superficie de pérdida de suelo a nivel subcuencas

SUB CUENCAS	NULO (< 10 Mg.ha/año)		MODERADO (10 - 50 Mg.ha/año)		ALTO (50 -200 Mg.ha/año)		TOTAL	
	%	km2	%	km2	%	km2	%	km2
1	12,60	4,91	87,30	34,03	0,10	0,04	100,00	38,98
2	4,03	0,28	95,11	6,61	0,86	0,06	100,00	6,95
3	2,32	1,06	70,66	32,27	27,02	12,34	100,00	45,67
4	8,05	11,46	57,65	82,03	34,30	48,81	100,00	142,3
5	36,70	39,07	55,59	59,18	7,70	8,2	100,00	106,45
6	33,65	21,07	66,32	41,52	0,03	0,02	100,00	62,61
7	92,59	91,67	7,41	7,34	0,00	0	100,00	99,01
<b>TOTAL</b>	<b>33,77%</b>	<b>169,52</b>	<b>52,39%</b>	<b>262,98</b>	<b>13,84%</b>	<b>69,47</b>	<b>100,00</b>	<b>501,97</b>

En las Figuras 109 y 110, se representan el porcentaje final de pérdida de suelo de acuerdo a los rangos sugeridos por la FAO (1981) y la superficie en km<sup>2</sup> que ocupan estas clases dentro de la cuenca de estudio, respectivamente. Como se observa en las Figuras indicadas, la cuenca del Río Toachi presenta el 52,4 % de pérdida de suelos dentro de la clase moderada, con una área aproximada de 263 km<sup>2</sup>; el 13,8% dentro de un alto porcentaje de pérdida de suelo con una superficie aproximada de 70 km<sup>2</sup>, y el 33,7% presenta pérdidas de suelo nulas o muy leves con una área aproximada de 170 km<sup>2</sup>.

