

“UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE
HIDALGO”

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Cuerpo Académico de Gestión Integral del Agua

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DE PRESAS DE ALMACENAMIENTO EN LOS MUNICIPIOS DE AGUILILLA,
COALCOMÁN Y TUMBISCATÍO**

“Tesis apoyada por el Consejo Estatal de
Ciencia y Tecnología del Gobierno del Estado de Michoacán”

“TESIS”

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

EDGAR RUBÉN GONZÁLEZ PIÑA

ASESOR DE TESIS:

DR. CONSTANTINO DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ

MORELIA MICHOACÁN. OCTUBRE 2011

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

Rubén González Leal y Olivia Piña Meza
Por apoyarme en los momentos difíciles
y motivarme a seguir adelante con mis estudios

A MIS HERMANAS

Miriam, Lorena y Araceli
Por motivarme a seguirme superando
y por aguantarme en las noches largas de estudio

A MIS PROFESORES

DR. Constantino Domínguez Sánchez
DRa. Sonia Tatiana Sánchez Quispe
Por todo su apoyo tanto académico como personal,
por toda su paciencia
y que gracias a ellos termine esta tesis

A MIS AMIGOS

Por apoyarme y compartir estos años en la universidad
y estar con migo en las buenas y en las malas

A LAS DEPENDENCIAS

Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología
del Gobierno del Estado de Michoacán (COECYT) y a la
Comisión para el Desarrollo Económico y Social de la Tierra
Caliente del Estado de Michoacán
Por el apoyo y confianza que me dieron
para realizar este trabajo

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	7
3. ANTECEDENTES	7
3.1. ZONA EN ESTUDIO, MUNICIPIO DE AGUILILLA	7
3.2. CONDICIONES NATURALES DE LA CUENCA	9
HIDROGRAFÍA	9
FISIOGRAFÍA	11
OROGRAFÍA	11
GEOLOGÍA	12
3.3. IMPORTANCIA DE LAS PRESAS DE ALMACENAMIENTO	12
PRESA	12
4. INFORMACIÓN DISPONIBLE	13
4.1. CLIMATOLOGÍA	13
4.2. BASES DE DATOS CLIMATOLÓGICOS	13
4.3. INFORMACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO	14
HIDROMETRÍA	14
4.4. AGRÍCOLA	15
4.5. TOPOGRÁFICA	15
5. ESTUDIO HIDROLÓGICO	16
OBJETIVO	16
INFORMACIÓN ANALIZADA	16
5.1. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	16
5.1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA CUENCA Y ZONA DE PROYECTO	16
UBICACIÓN DE LA PRESA	16
IDENTIFICACIÓN DE LA CUENCA	17
5.2. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA	19
5.3. NÚMERO DE ESCURRIMIENTO (N)	23
5.3.1. OBTENCIÓN DEL NÚMERO DE ESCURRIMIENTO	24
5.3.2. RESULTADOS	26
5.4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC)	30
5.5. PARÁMETRO K	31
5.6. CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA DEL PROYECTO	34
5.6.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS	34
5.6.2. DATOS DE PRECIPITACIÓN	35
5.6.3. DATOS DE TEMPERATURA	46
5.6.4. DATOS DE EVAPORACIÓN.	47
5.7. TRATAMIENTO DE DATOS (ESTACIÓN BASE AGUILILLA)	48
5.7.1. CONSISTENCIA DE DATOS	48
5.7.2. LLENADO DE DATOS A PARTIR DE OTRA ESTACIÓN	
METEOROLÓGICA	48
5.7.3. RESULTADOS	49
5.8. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS	50
5.9. LLUVIA MEDIA DE LA CUENCA	52
5.9.1. DATOS DE PRECIPITACIÓN DE ESTACIONES ALREDEDOR DE LA	
CUENCA	52
5.9.2. MÉTODOS CALCULO LLUVIA MEDIA	52
5.9.3. RESULTADOS	54
5.10. VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL DE LA CUENCA	56

5.10.1.	CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	57
5.10.2.	RESULTADOS	58
5.11.	GASTOS DE DISEÑO	59
5.11.1.	CALCULO DE AVENIDAS DE DISEÑO A PARTIR DE DATOS DE PRECIPITACIÓN	59
5.11.2.	TORRENTA DE DISEÑO (IDTR)	60
5.11.3.	AJUSTE A DIVERSAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS.	61
5.11.4.	TRASLADO DE DATOS AL CENTRO DE GRAVEDAD	63
5.11.5.	TRANSFORMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN O LLUVIA MÁXIMA 24 HORAS, A HORARIA	64
5.11.6.	CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO (I-D-TR)	67
5.12.	MÉTODOS LLUVIA-ESCURRIMIENTO	68
5.12.1.	MÉTODOS EMPÍRICOS	69
5.12.2.	MÉTODOS HIDROLÓGICOS	70
5.13.	RESUMEN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	75
5.14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
6.	ESTUDIO DE DEMANDAS.	78
6.1.	DEMANDA AGRÍCOLA.	78
6.1.1.	MATERIALES	78
6.1.2.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	78
	METODO DE THORTNWAITE.	85
	METODO DE BLANEY-CRIDDLE.	87
6.2.	DEMANDA ECOLÓGICA O GASTOS PARA ECOSISTEMAS ACUÁTICOS	93
6.2.1.	GENERALIDADES	93
6.2.2.	METODOLOGÍA EMPLEADA PARA OBTENER LA DEMANDA ECOLÓGICA	93
6.2.3.	OBTENCIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS	94
6.2.4.	MÉTODO DE TENNANT O MÉTODO DE MONTANA	101
6.3.	DEMANDA URBANA	107
6.4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	108
7.	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	109
7.1.	GENERALIDADES	109
7.2.	MATERIALES	110
7.3.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	111
7.3.1.	MÉTODO DE DUBOYS (S_B , TRANSPORTE MATERIAL DE FONDO)	112
7.3.2.	MÉTODO DE MEYER, PETER Y MÜLLER (S_B , TRANSPORTE MATERIAL DE FONDO)	113
7.3.3.	ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (EUPS) (S_L , TRANSPORTE DE LAVADO)	114
7.4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	121
7.4.1.	CALCULO DE GASTO SÓLIDO PRODUCIDO POR EL CAUCE (S_b)	121
7.4.2.	CALCULO DE GASTO SÓLIDO PRODUCIDO POR LA CUENCA (S_L)	128
7.4.3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
8.	ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DEL VASO Y TRANSITO DE LA AVENIDA	130
8.1.	CARACTERÍSTICAS DEL VASO	130
8.1.1.	CURVA ELEVACIÓN ÁREA-VOLUMEN DEL VASO	131
8.1.2.	EVAPORACIÓN NETA	134
8.1.3.	DATOS DE DEMANDA A SUMINISTRAR POR EL VASO	138

8.1.4.	VOLÚMENES MEDIOS MENSUALES DEMANDADOS	138
8.1.5.	VOLÚMENES MEDIOS MENSUALES DE LA CUENCA	139
8.2.	SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL VASO	139
8.2.1.	CAPACIDAD INICIAL DE SIMULACIÓN	140
8.2.2.	METODOLOGÍA	140
8.2.3.	RESULTADOS	142
8.3.	TRANSITO DE LA AVENIDA	144
8.4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
	REFERENCIAS	149
	ANEXOS	150
A)	TABLA DEL NUMERO DE ESCURRIMIENTO	150
B)	DATOS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONAS	151
C)	PARÁMETROS Y CÁLCULO DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN QUE SE AJUSTAN A LOS DATOS DE LA ESTACIÓN BASE AGUILILLA.	155
D)	METODO CHOW	165
E)	HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR (HUT)	169
F)	TABLAS PARA THORNTWAITE	173
G)	MÉTODO DE BLANEY-CRIDDLE	174
H)	CÁLCULO DEL ESCURRIMIENTO POR MEDIO DE EL MÉTODO DE LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTO.	177

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de factibilidad técnica para el diseño de presas requiere tomar en cuenta parámetros como el estudio hidrológico, estudio de demandas de agua y el funcionamiento hidráulico.

Una de las principales y más importante es el estudio hidrológico ya que nos determina la disponibilidad de agua y el escurrimiento de la zona.

La determinación de escurrimientos de aguas superficiales tiene una gran importancia desde el punto de vista ingenieril y consecuentemente social y económico. Para poder diseñar apropiadamente estructuras de aprovechamiento y control del recurso agua, es necesario conocer la magnitud y extensión de los escurrimientos.

Existen varias formas de calcular el escurrimiento producido por eventos de precipitación, algunos basados en simples correlaciones y otros más sofisticados que toman en cuenta la interacción de los diferentes componentes del sistema natural.

Un método que ha encontrado bastante aceptación, por su simplicidad y mediano requerimiento de información es el propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (USSCS). Este método se basa en la altura de precipitación y el valor de un parámetro conocido como número de curva (N) que toma en cuenta los rasgos característicos del suelo.

Otro parámetro importante es el estudio de las demandas de agua (agrícola, urbana, ecológica e industrial) dándole prioridad a la agrícola ya que se diseñara en función del área de cultivo que existe en la zona por lo cual se realizara un análisis minucioso de los cultivos predominantes en la zona mediante diferentes métodos.

El resultado de este trabajo es evaluar todos estos parámetros y determinar si la zona es apta para la construcción de una presa.

2. OBJETIVOS

Desarrollar el estudio de factibilidad técnica para el diseño y construcción de almacenamientos en la zona en estudio, orientándose este estudio a la evaluación de los recursos hídricos en dicha zona, evaluación que incluye el estudio hidrológico en una zona que geológicamente y topográficamente es apta (permite conocer la disponibilidad de agua, así como el gasto de diseño), también estudiar las posibles demandas que suministraría dicho almacenamiento, así como un diseño hidráulico preliminar del almacenamiento

Evaluar el potencial de desarrollo hidroagrícola e industrial a partir de la disponibilidad de agua superficial en la cuenca y

- Determinar el volumen de escurrimiento natural medio anual de la cuenca.
- Determinar las demandas agrícola, ecológica, urbana e hidroeléctrica.
- Determinar las características generales del vaso de almacenamiento
- Determinar las características geométricas del vertedor y elevación de la corona de la presa
- Evaluar la capacidad de transporte de sedimentos de la corriente principal
- Estimar la magnitud de la erosión de origen pluvial en la cuenca.

3. ANTECEDENTES

3.1. ZONA EN ESTUDIO, MUNICIPIO DE AGUILILLA

El municipio de Aguililla forma parte de la Región Tepalcatepec que incluye también a los municipios de Apatzingán, Buenavista, Cotija, Parácuaro, Peribán, Los Reyes, Tepalcatepec, Tingüindín y Tocumbo.

La Región Tepalcatepec tiene una extensión de 7,592 kilómetros cuadrados que representa el 13% de la superficie estatal.

El municipio cuenta con 140,960 hectáreas, de éstas son 27,864 de superficie agrícola, 24,039 de bosque y selva, 87,257 de vegetación secundaria, 979 de pastizales y 690 de zonas urbanas

La actividad agrícola en el municipio de Aguililla se centra principalmente en la producción de 12,736 toneladas de Maíz y de 14,094 toneladas de Tomate rojo.

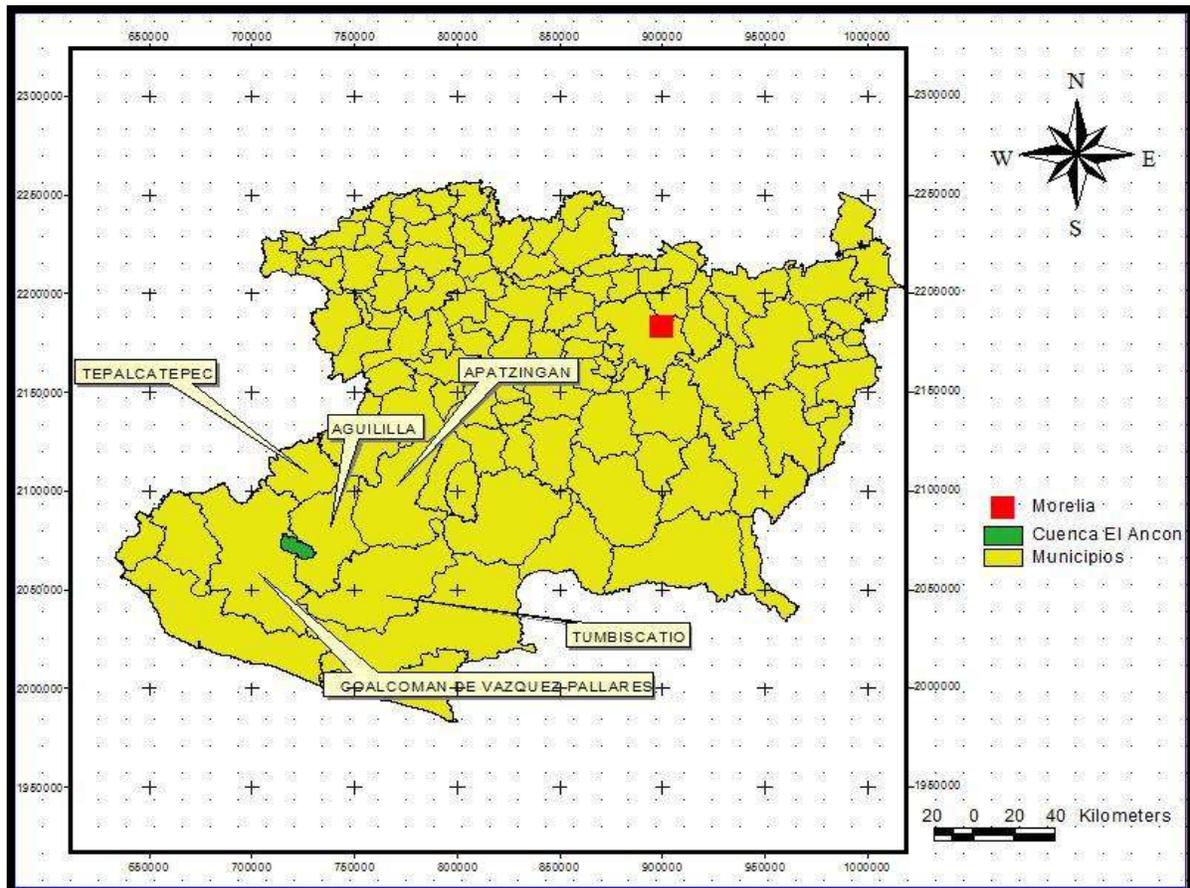
El municipio de Aguililla tiene una producción ganadera de 55,219 cabezas de bovino, 10,172 cabezas de porcino, 2,488 cabezas de caprino, 5,620 cabezas de equinos y 7,897 cabezas de gallináceas.

LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

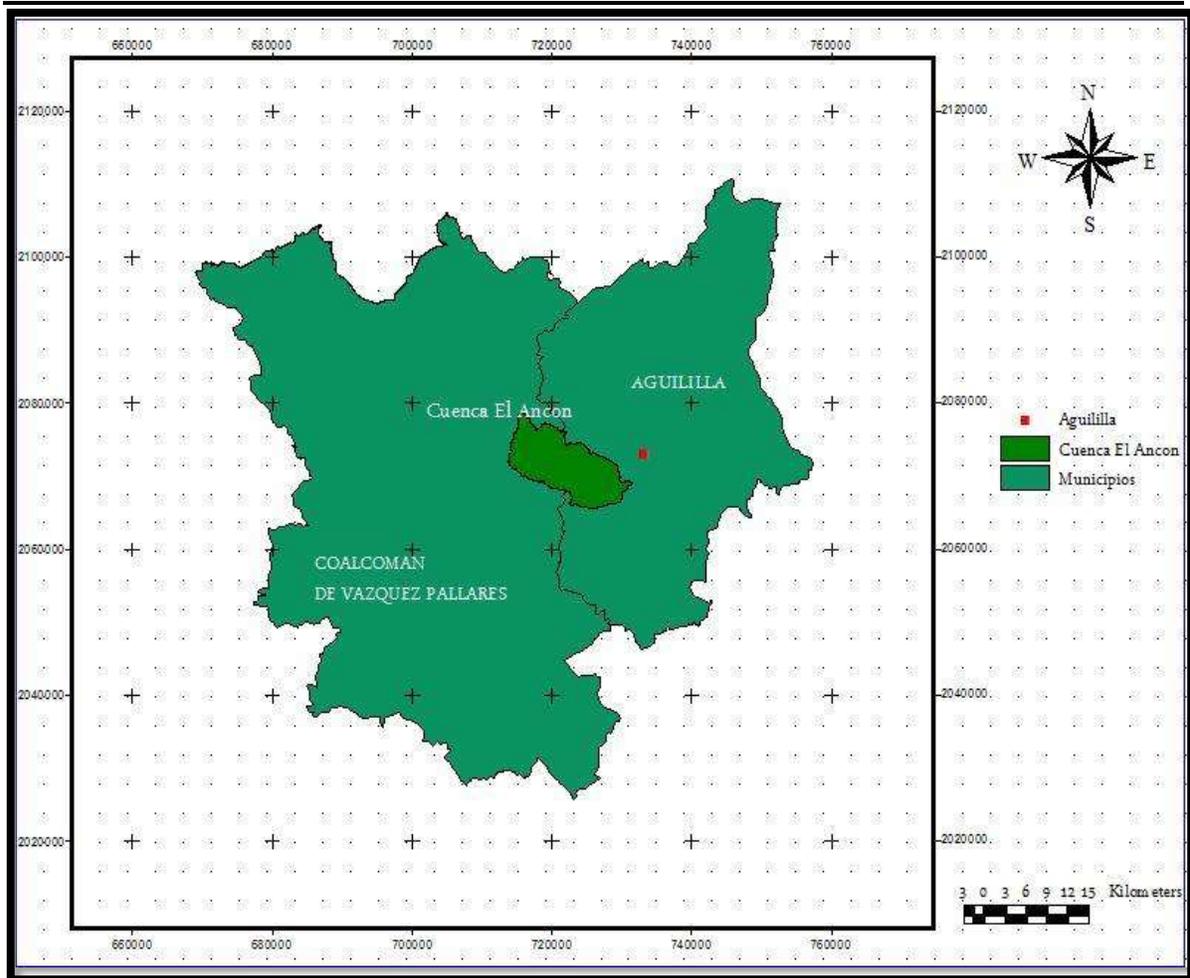
Aguililla es uno de los 113 municipios que integran el estado de Michoacán. Se encuentra localizado al suroeste del estado y aproximadamente 290 kilómetros al suroeste de la ciudad de Morelia. Cuenta con una extensión territorial de 1,406.39 km², lo cual representa el 2.39% del territorio del estado. Según el II Censo de Población y Vivienda de 2005, el municipio tenía 16,159 habitantes.

La cabecera municipal está localizada en las coordenadas 18°44' de latitud norte y en los 102°47' de longitud oeste a una altura de 920 msnm. El municipio limita al norte con Buenavista, al este con Apatzingán y Tumbiscatío, al sur con Arteaga, al noroeste con Tepalcatepec y al oeste y suroeste con Coalcomán.

La zona de estudio (cuenca el Ancon) se localiza al Suroeste del Municipio de Aguililla. Con coordenadas en la boquilla de 18° 42' de latitud norte y 102° 49' de longitud oeste, a una altura de 1040 msnm.



Macro localización de la cuenca Ancón dentro de la región Tepalcatepec del Estado de Michoacán



Micro localización de la cuenca Ancón dentro de la región Tepalcatepec del Estado de Michoacán

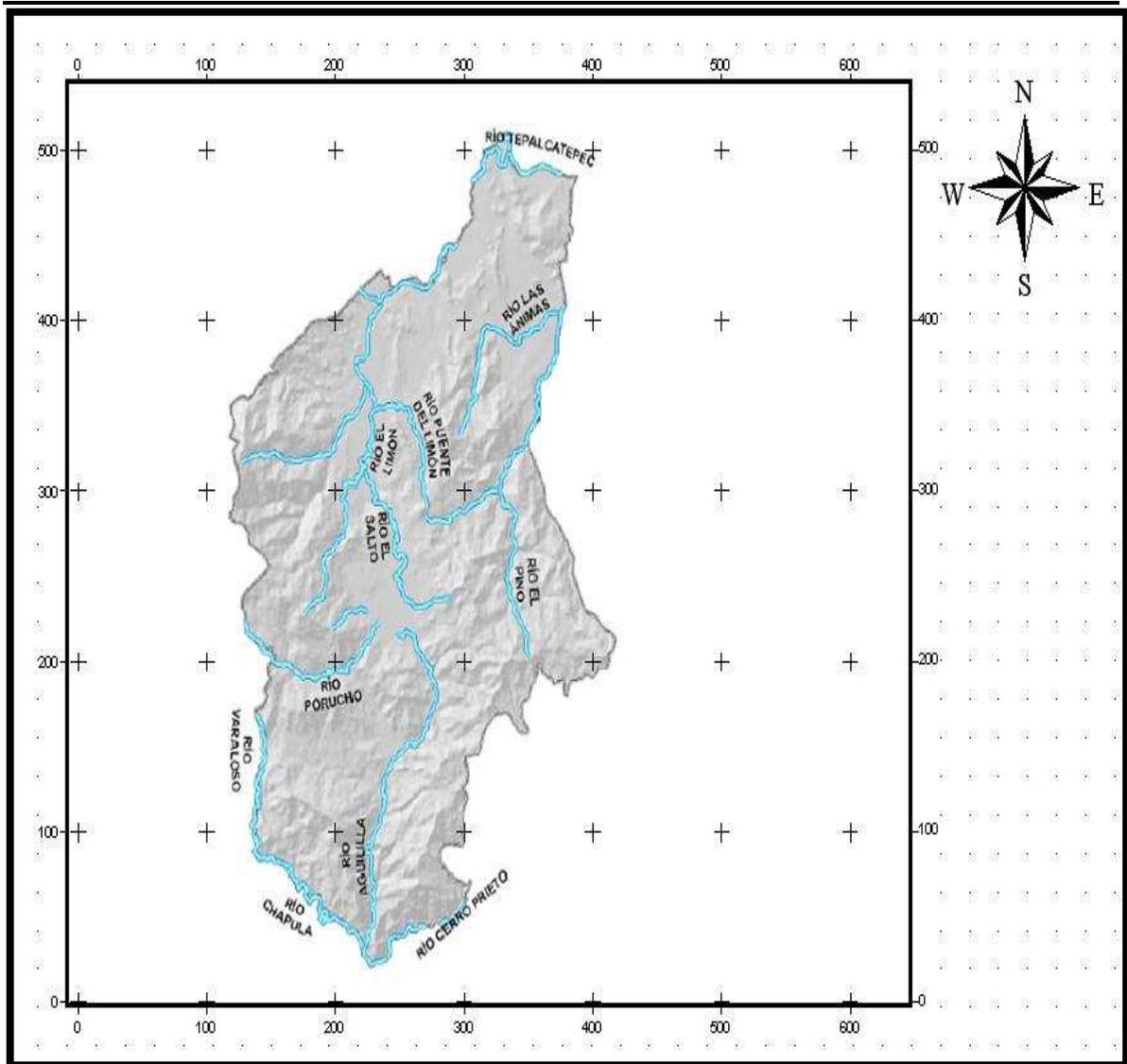
VIVIENDAS

Hay 3,653 viviendas habitadas en el municipio , 16% tienen piso de tierra, 58% de cemento o firme, y 26% de, madera, mosaico u otro material, 90% cuenta con servicio de energía eléctrica, 81% con agua de la red pública y 83% con servicio de drenaje.

3.2. CONDICIONES NATURALES DE LA CUENCA

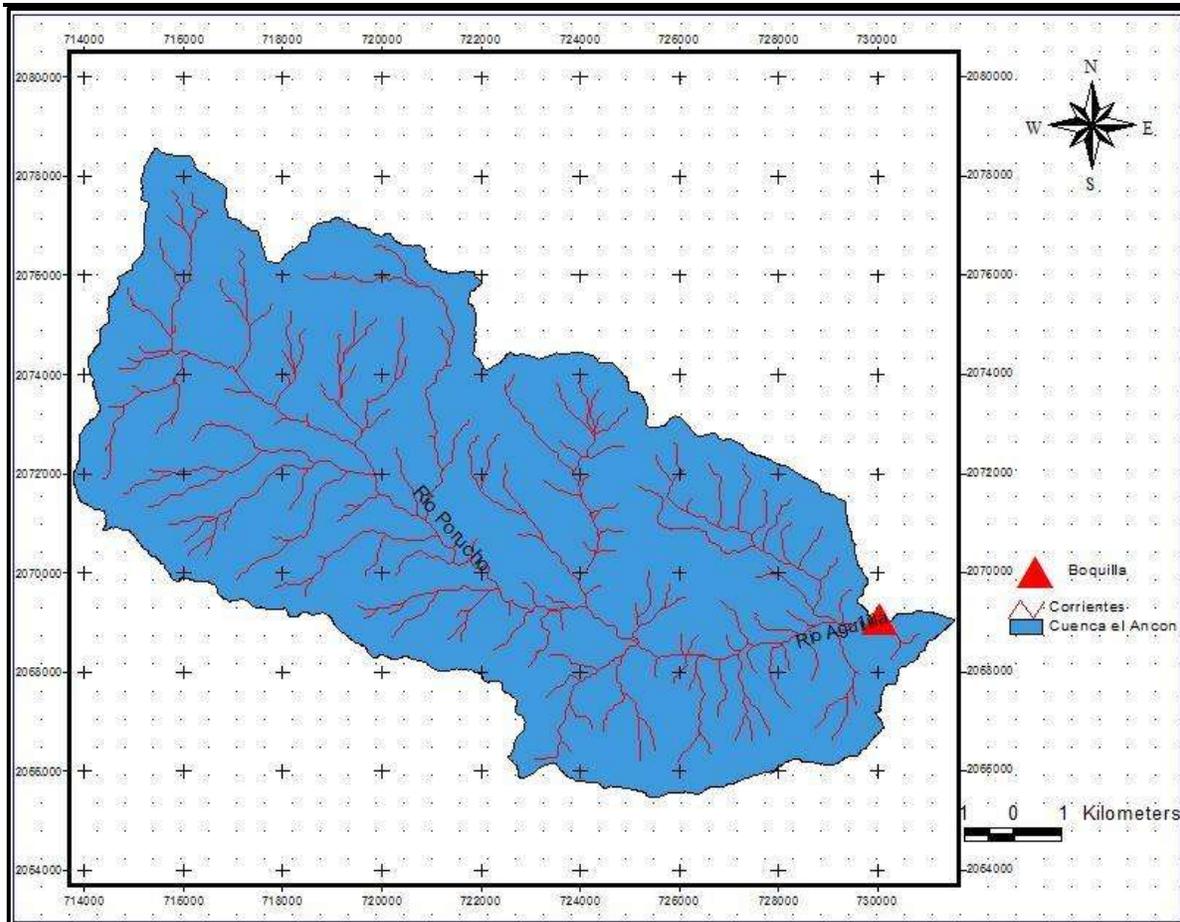
HIDROGRAFÍA

El municipio pertenece a las regiones hidrológicas Balsas y Costa de Michoacán. Sus recursos hidrológicos son proporcionados por los ríos Aguililla y Chapula, los cuales desembocan en el río cerro prieto; así como los ríos Arroyo Seco, El limón y Chila.



Principales ríos del municipio de Aguililla (SEPLADE 02-08)

En la siguiente figura encontramos las principales corrientes dentro de la cuenca del Ancón las cuales son: el rio Panucho y el Rio Aguililla:



Principales corrientes dentro de la cuenca El Ancón

FISIOGRAFÍA

El municipio de Aguililla, presenta una gran diversidad en cuanto a la topografía del suelo, presentándose desde valles, lomeríos y terrenos muy accidentados, estos relieves presentan pendientes que van desde el 2% hasta el 90%, con alturas desde 260 msnm en potrerillos, hasta 2,800 msnm en el cerro de las conchas.

OROGRAFÍA

Su relieve lo constituyen son los cerros que forman la sierra de Dos Aguas y la Sierra Madre del Sur: el Cerro de las Conchas (2900 msnm), el Gallo, Mesquite, Granada, Alberca y Tres Cerritos, Mesa Oscura en el Encino y los Valles de Tierra Caliente, Chila y Limón.

GEOLOGÍA

Los suelos del municipio datan de los períodos mesozoicos y cretácico inferior y superior, corresponde principalmente a los del tipo de café grisáceo, de pradera y castaño. Su uso es principalmente ganadero y en menor proporción forestal y agrícola.

3.3. IMPORTANCIA DE LAS PRESAS DE ALMACENAMIENTO

PRESA

Se denomina presa o represa a una barrera fabricada con piedra, concreto reforzado, materiales graduados o una combinación de concreto reforzado y materiales graduados, que se construye habitualmente sobre un río o arroyo con la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial en una cañada o desfiladero que tenga características geológicas estables.

Estos embalses son aprovechados en abastecimiento o regadío, para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego, o para la producción de energía mecánica al transformar la energía potencial del almacenamiento en energía cinética, y ésta nuevamente en mecánica al accionar la fuerza del agua un elemento móvil. La energía mecánica puede aprovecharse directamente, como en los antiguos molinos, o de forma indirecta para producir energía eléctrica, como se hace en las centrales hidroeléctricas

Independientemente de cuál sea el uso que se le dé a una la presa de almacenamiento su función principal es mantener el depósito lleno para asegurar la disponibilidad del recurso en tiempos de sequia para lo cual es necesario plantear un adecuado diseño hidrológico e hidráulico de una presa de almacenamiento.

Se realizo una visita a las localidades de Aguililla, Coalcomán y Tunbiscatio con el fin de encontrar las mejores condiciones para la construcción de una presa con esto y basándome en la topografía de la zona, las mejores condiciones se encontraron en Aguililla tanto topográficas como de disponibilidad de agua.

La construcción de este tipo de obra hidráulica en Aguililla, es de gran importancia ya que se resuelven los problemas de abastecimiento de agua para uso agrícola, urbano e industrial aumentando así la productividad de las zonas de cultivo favoreciendo el desarrollo de las localidades.

Además de generar empleos directos e indirectos impulsando el desarrollo en las zonas marginadas y ayudando así a obtener una mejor calidad de vida para los habitantes de dicho municipio.

4. INFORMACIÓN DISPONIBLE

4.1. CLIMATOLOGÍA

La climatología es la ciencia que estudia los climas, sus variedades, distribución y efectos sobre el medio ambiente.

El clima abarca los valores estadísticos sobre los elementos del tiempo atmosférico en una región durante un período representativo como : temperatura, humedad, presión, vientos, evaporación y precipitaciones, principalmente. Estos valores se obtienen con la recopilación de forma sistemática y homogénea de la información meteorológica, durante períodos que se consideran suficientemente representativos, 20 años o más.

4.2. BASES DE DATOS CLIMATOLÓGICOS

A finales de los 90's, diversas bases de datos relacionadas con el clima se hicieron disponibles en el país, la mayoría de ellas en disco compacto (ERIC I, ERIC II, Dat322 entre otras). Por su fácil distribución, estos datos fueron utilizados de manera intensiva por la comunidad, como la fuente de información climática, hasta alrededor del año 2002 eran única fuente de datos conocida por algunos investigadores o instituciones usuarias.

En los años 2004 y 2005 el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) con la participación de las Gerencias Estatales de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la colaboración de otras agencias, realizó un esfuerzo importante en materia de rescate de información y digitalización de datos climáticos con la finalidad de recopilar la mayor cantidad de la información en una sola base de datos.

La base de datos del clima con carácter oficial en el país es la operada por el SMN en el sistema CLIma COMputarizado (CLICOM). Esta base de datos contiene la información registrada en la red de estaciones climatológicas convencionales de la Republica Mexicana. La información de CLICOM presenta un retraso en lo que su actualización se refiere. Este retraso puede variar desde algunos meses hasta varios años y está relacionado básicamente con dificultades de acceso a los datos en papel y con retrasos en el proceso de digitalización de la información. El retraso mencionado varía entre las diversas estaciones climatológicas y resulta interesante notar que no sólo se observa en la base de datos mexicana de CLICOM, sino que también se observa en otras bases de datos climáticas del mundo.

4.3. INFORMACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

ESTACIONES METEOROLÓGICAS

En cuanto a la información disponible de climatología se realizó una consulta de estaciones cercanas a la zona en estudio, dentro del mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos ERIC III producida por el IMTA y el CLICOM producido por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) las mas cercanas son:

CLAVE ESTACIÓN	NOMBRE	UBICACIÓN		ELEVACIÓN (msnm)
		Coordenadas UTM		
		X	Y	
16151	Arteaga	787,143	2,031,053	940
16047	El Zapote, La Huacana	826,499	2,098,165	290
16123	Tacámbaro	871,513	2,130,385	1,755
16006	Antúnez	789,555	2,101,208	360
16228	Acahuato	782,242	2,117,710	1,000
14336	El Guayabo	690,190	2,103,491	1,820
16142	Zacapu	837,040	2,194,441	1,980
16188	Tirindaro	840,666	2,188,967	2,500
16154	Coalcoman	695,006	2,076,060	1,100
16038	El Carrizo	712,260	2,107,717	
16090	Piedras Blancas	754,399	2,106,224	344
16003	Aguililla	739,029	2,072,804	970
16208	El Cachan	699,048	2,022,522	45
16008	Aquila	670,775	2,038,854	163
16146	Zirahuen Boquilla.	841,240	2,155,729	1,850
16088	Periban	769,402	2,160,051	1,630
16459	El Cajon Taplc.	750,992	2,093,337	296
14005	Ahuijullo, Tecalitlan, Jal	694,642	2,111,039	725
16012	Cajones	822,535	2,125,798	480
16074	Los Panches	798,506	2,088,499	206

Estaciones meteorológicas de la zona de estudio

HIDROMETRÍA

En cuanto a información hidrométrica se realizó una búsqueda de estaciones dentro del mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos SIAS (Sistema de Información de Aguas Superficiales). Donde el resultado de esta búsqueda es nulo, no se localizaron estaciones hidrométricas cercanas a la zona en estudio.

4.4. AGRÍCOLA

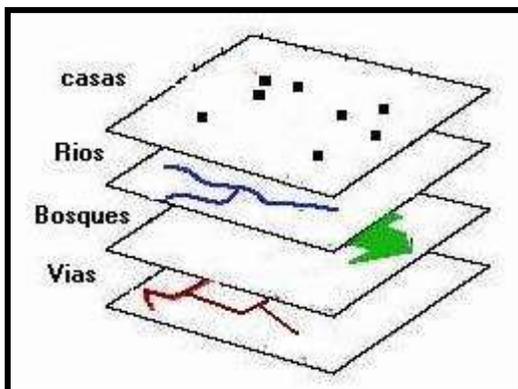
La producción agrícola del municipio de Aguililla es muy variada pero principalmente se produce la sandía, limón, mamey, sorgo, chile, maíz, frijol, pastizal inducido, jitomate, ajonjolí, algodón entre otros. En base a la visita realizada al sitio de estudio y encuestas realizadas a los habitantes de la región se determinó que los tipos de cultivo predominantes son: Limón, Maíz, Jitomate y Sorgo.

4.5. TOPOGRÁFICA

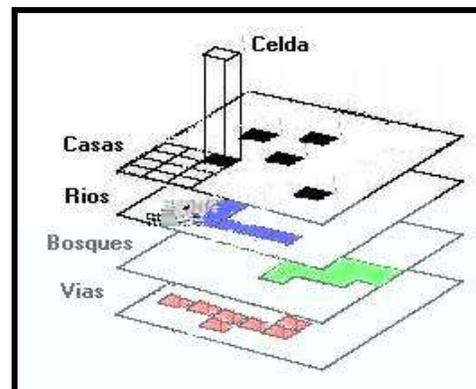
La información topográfica de la cuenca Ancón se obtuvo de las cartas vectoriales producidas por el INEGI: E13B57 y E13B67 a escala 1:50,000. Así como del Modelo Digital de Elevación del terreno editadas por el INEGI: E13B57 y E13B67 a escala 1:50,000, formato raster, proyección UTM en coordenadas geográficas. Además del empleo de los conjuntos vectoriales del uso de suelo y edafología del INEGI: Michoacán E1306 a escala 1:250,000.

Toda la información topográfica se presenta en formato raster y vectorial. El formato raster se fundamenta en la división del área de estudio en una matriz de celdillas, generalmente cuadradas. Cada una de estas celdillas recibe un único valor que se considera representativo para toda la superficie abarcada por la misma. Este formato, por tanto, cubre la totalidad del espacio, este hecho supone una ventaja fundamental ya que pueden obtenerse valores de forma inmediata para cualquier punto del mismo.

En un sistema de información geográfica (SIG), las características geográficas se expresan con frecuencia como vectores, manteniendo las características geométricas de las figuras. En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos como puntos, líneas y polígonos.



Formato vectorial líneas, puntos y polígonos



formato Raster la unidad es la celda

5. ESTUDIO HIDROLÓGICO

OBJETIVO

En este apartado se pretende determinar:

- El volumen medio anual de escurrimiento natural.
- El gasto de diseño asociado a diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 500, 1000 y 10000 años) para la cuenca.
- El hidrograma de entrada para el funcionamiento del vaso y tránsito de la avenida.

INFORMACIÓN ANALIZADA

Para el estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos se precisa de la información cartográfica de la topografía. La información fisiográfica de la cuenca El Ancón se obtuvo de las cartas vectoriales del INEGI: E13B57 y E13B67 a escala 1:50,000. Así como del Modelo Digital de Elevaciones del INEGI, Topografía: E13B57 y E13B67 a escala 1:50,000, formato raster, proyección UTM, en coordenadas geográficas. Además del empleo de los conjuntos vectoriales del uso de suelo y edafología del INEGI: Michoacán E1306 a escala 1:250,000

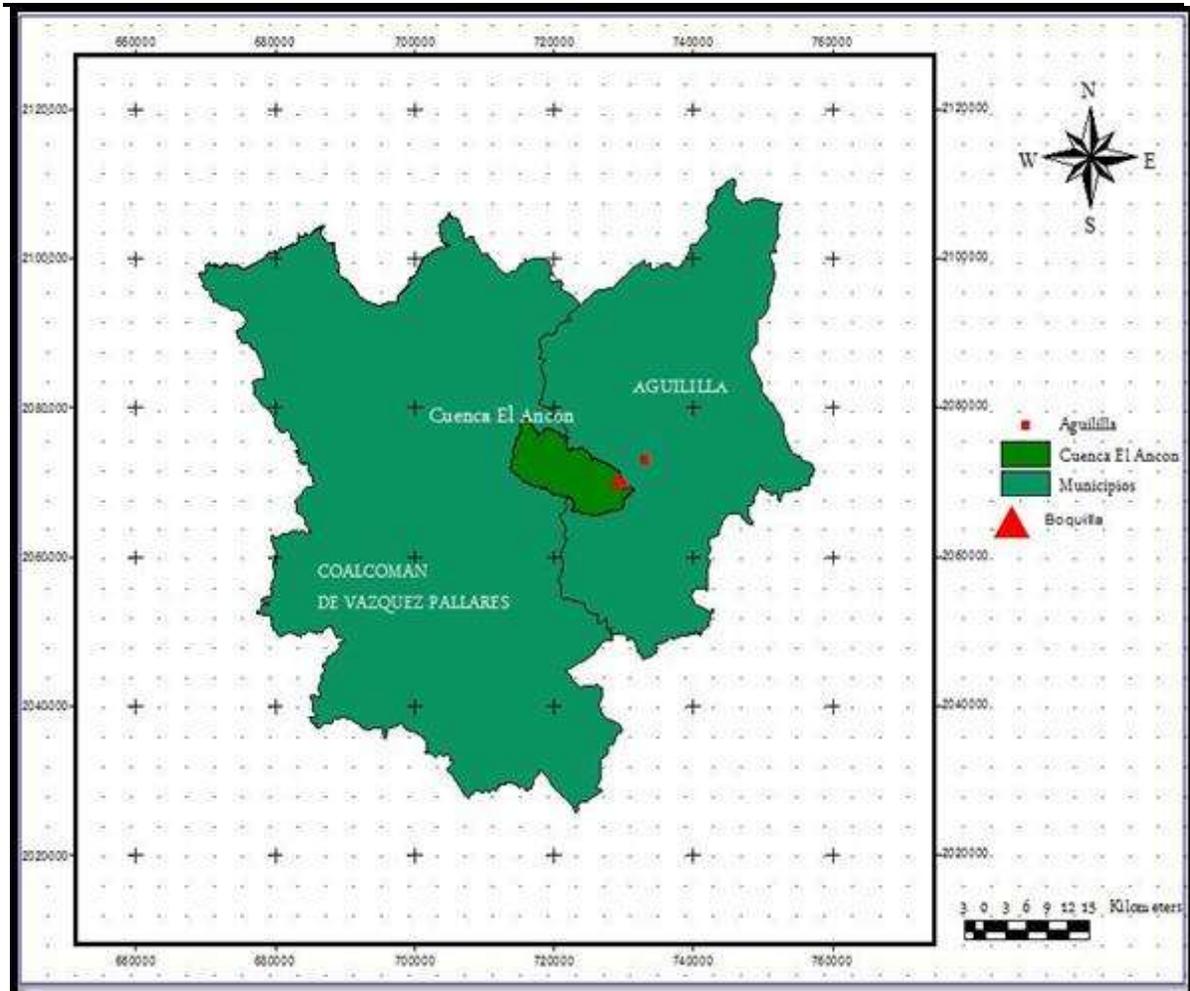
Los programas de cálculo que se utilizaron para el análisis de la información son el Hec-HMS y ArcView 3.2 y las extensiones Determ Hidro, Projection Analysis, Projection Utility, Hec-Geo HMS y Spatial Analyst

5.1. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

5.1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA CUENCA Y ZONA DE PROYECTO

UBICACIÓN DE LA PRESA

La presa propuesta se localiza en el río Aguililla al suroeste de la localidad de Aguililla, Municipio de Aguililla a una distancia aproximada de 4.5826 Km. Siendo las coordenadas de la boquilla 102° 49' 04" longitud oeste y 18° 42' 02" latitud norte, dicha ubicación se puede visualizar en la siguiente figura.



Localización de la boquilla y la cuenca Ancón dentro de la región Tepalcatepec del Estado de Michoacán

IDENTIFICACIÓN DE LA CUENCA

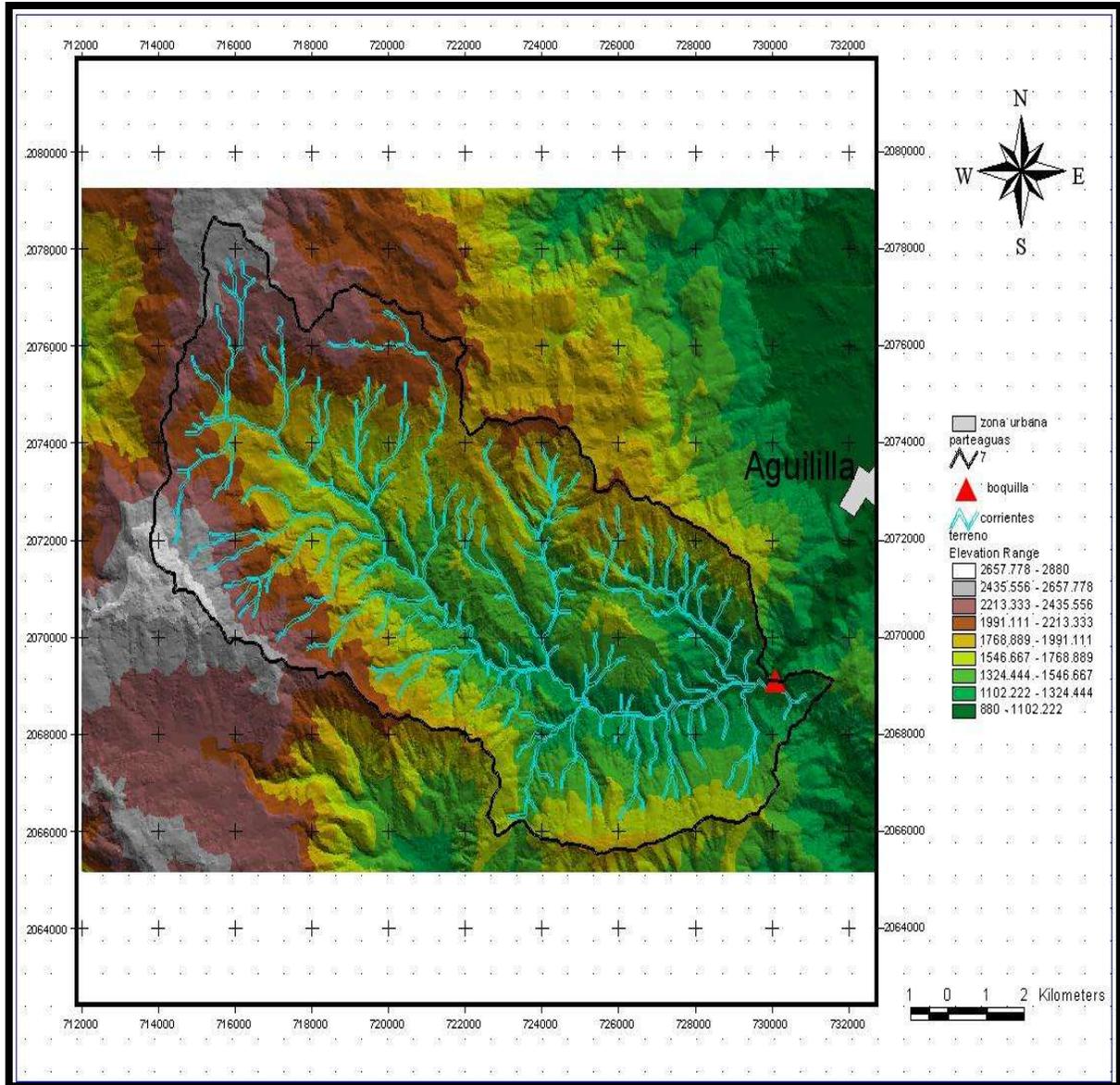
PARTEAGUAS

El parteaguas es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas en la cuenca Ancón se determina con ayuda de las herramientas informáticas denominadas AUTOCAD, CIVILCAD, ARCVIEW y HEC-HMS. Todas ellas precisan de información vectorial y del modelo digital de elevación del terreno.

La delimitación de la cuenca se hizo por dos procedimientos informáticos: AUTOCAD, CIVILCAD (carta vectorial) y ARCVIEW con HEC-HMS (modelo digital de elevación del terreno).

En AUTOCAD el procedimiento para delimitar la cuenca y subcuencas fue el siguiente: para cada cauce considerado se identificó el parteaguas, la corriente principal y corrientes secundarias. En ARCVIEW con HEC-HMS existe una serie de rutinas que permiten obtener de forma inmediata el parteaguas, la corriente principal y corrientes secundarias.

En ambos procedimientos la geometría de la cuenca es semejante, con la ventaja de que el segundo presenta un menor tiempo de proceso.



Delimitación de la cuenca con identificación de la boquilla de la presa

5.2. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA

i) PRINCIPALES

Área de la cuenca

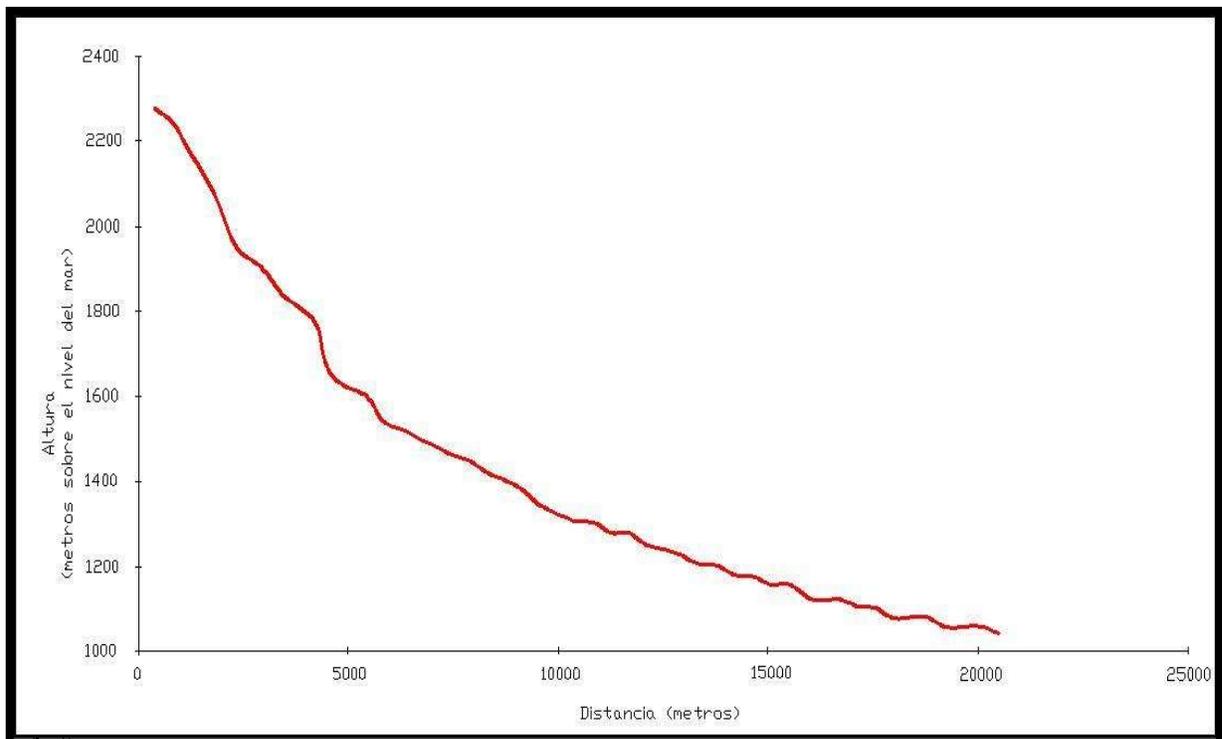
El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas, dicho área se obtuvo con la ayuda de las herramientas AUTOCAD y CIVILCAD.

Longitud del cauce principal

Esta longitud se determina una vez que se ha identificado el parteaguas y las corrientes de la cuenca, su valor incide en la pendiente media del cauce y el tiempo de concentración.

Pendiente media del cauce principal

La pendiente media es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta, la pendiente media del cauce principal de la cuenca, se obtiene con la ayuda de las herramientas AUTOCAD y CIVILCAD; y ARCVIEW. El resultado final es una gráfica que contiene el perfil longitudinal del fondo.



Perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca (río Aguililla)

Este perfil nos indica que el cauce principal corresponde a un río de montaña. Una vez determinado el perfil longitudinal se utiliza el criterio de Taylor-Schwarz para estimar el valor de la pendiente media del cauce, según la fórmula siguiente.

$$S = \left(\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{s_n}}} \right)^2, \quad s_n = \frac{H_n}{l_n} = \frac{\text{Elevación}_n - \text{Elevación}_{n-1}}{l_n}$$

Donde:

- S Pendiente del cauce principal.
n Número de tramos en que se divide la longitud del cauce principal.
s_n Pendiente del tramo 1 a n.
l_n Longitud del tramo 1 a n, en km.
L Longitud total del cauce principal, en km.

RESULTADOS

Con el criterio de Taylor-Schwarz resulta que la pendiente media del cauce principal adopta un valor de 1.91%.

LONGITUD (m)	PENDIENTES (%)	PENDIENTE	$\frac{l}{\sqrt{s}}$
3022.96	0.17	0.00	73906.72
2731.80	0.86	0.01	29454.31
5283.13	5.72	0.06	22098.75
1783.93	7.11	0.07	6690.34
1706.41	13.87	0.14	4581.87
1982.69	11.03	0.11	5969.45
2183.29	15.15	0.15	5609.42
2975.80	12.89	0.13	8287.75
21670.00	Σ =		156598.60
Pendiente media (%) =		1.91	

Pendiente media del cauce

Área , en km ²	116.93
Longitud cauce principal , en km	21.67
Pendiente media Cauce Principal, en %	1.91

Características principales de la cuenca

ii) COMPLEMENTARIAS

Las características complementarias de la cuenca se pueden utilizar como un indicador de respuesta de la cuenca entre ellas se pueden citar el orden de la corriente, la densidad de drenaje, el coeficiente de compacidad, el índice de forma, elevación media de la cuenca, perímetro de la cuenca, entre otras.

Longitud axial la longitud axial es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca.

Pendiente media de la cuenca es uno de los factores que mayor influencia tiene en la duración del escurrimiento, sobre el suelo y los cauces naturales, afectando de manera notable, la magnitud de las descargas; influye así mismo, en la infiltración, la humedad del suelo y la probable aparición de aguas subterránea al escurrimiento superficial.

Orden de corrientes El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida, una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden, etc. Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc.

Índice de forma (if) esta variable intenta evaluar la elongación de una cuenca de drenaje. Fue introducida por Magette en 1976 esta variable relaciona el área de la cuenca con el cuadrado de la longitud de la misma tomando los siguientes parámetros:

if <1 forma alargada
if >1 forma elongada

Coeficiente de compacidad es un indicador de la regularidad geométrica de la forma de la cuenca. Es la relación entre el perímetro de la cuenca, y la circunferencia de un círculo con igual superficie que el la de la cuenca.

Relación de elongación es la relación entre el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima de la cuenca, valores cercanos a 1 de esta relación nos indican que la cuenca es plana y valores entre 0.6 y 0.8 para cuencas con relieve pronunciado.

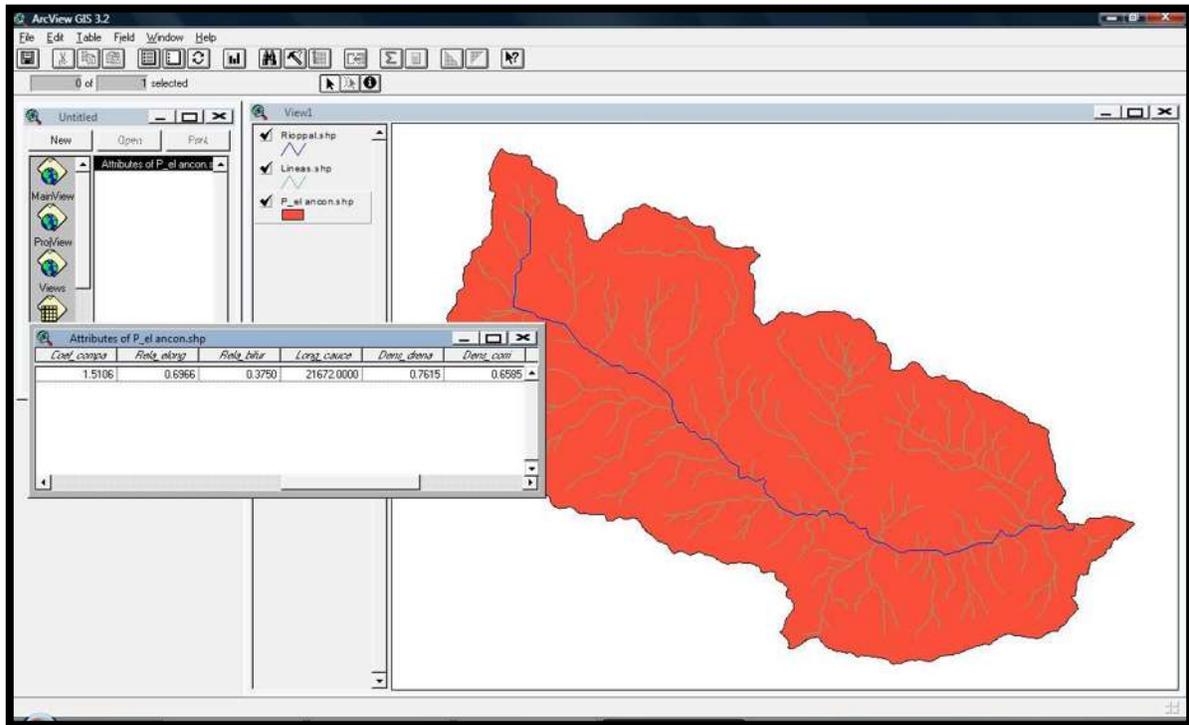
Densidad de drenaje es la relación entre la longitud de los cauces que conforman el sistema fluvial de la cuenca, expresados en Kilómetros y el área total de la cuenca en Kilómetros². La densidad de drenaje expresa las características geoecológicas del territorio de la cuenca. Los factores que controlan la densidad de drenaje son:

- Litología del Sustrato.
- Permeabilidad del Suelo y capacidad de infiltración.
- Cobertura vegetal y tipo de la misma.

Estas características deben evaluarse en forma global ya que alta densidad de drenaje expresa materiales geológicos friables, suelos relativamente impermeables o escasa cobertura vegetal.

RESULTADOS

Las características geomorfológicas fueron determinadas con la ayuda del modelo digital de elevaciones, el software ARCVIEW y la extensión DetermHidro. La figura siguiente muestra el resultado del proceso de la extensión antes mencionada:



Ventana de procesamiento de las características complementarias

iii) ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS, PRINCIPALES Y COMPLEMENTARIAS.

Perímetro, en km	57.93
Longitud Axial, en km	17.5107
Pendiente media de la cuenca, en %	33.64
Orden de corrientes	4
Índice de forma	0.381
Coefficiente de Compacidad	1.51
Relación de elongación	0.696
Elevación media, en msnm	1,728.26
Densidad de drenaje, en km/km ²	0.76

Características complementarias de la cuenca

5.3. NÚMERO DE ESCURRIMIENTO (N)

El valor del número de escurrimiento (N) es un indicador de la capacidad de retención del agua en la superficie y es útil para conocer la precipitación interceptada.

Los principales factores que intervienen en el cálculo de N son la pendiente, el tipo y uso de suelo de la cuenca para ello se han definido una serie de parámetros para su clasificación. Para la selección del Número de escurrimiento N, se clasifican los suelos con su grado de permeabilidad designándose por letras A, B, C y D de acuerdo al uso y/o vegetación de dicho suelo.

Suelo tipo A. Potencial de escurrimiento bajo. Suelos que tienen altas capacidades de infiltración cuando están completamente húmedos: principalmente arenas y gravas muy bien ordenadas. Estos suelos tienen alta velocidad de transmisión de agua.

Suelo tipo B. Suelos que tienen capacidades de infiltración moderadas cuando están completamente húmedas: principalmente suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando entre moderada y muy fina. Están caracterizadas porque tienen velocidades medias de transmisión de agua.

Suelo tipo C. Suelos que tienen capacidades de infiltración bajas cuando están completamente húmedas principalmente de suelos que contienen una capa que impide el movimiento hacia abajo del agua o suelos con textura fina o moderadamente fina, estos suelos tienen baja transmisión de agua.

Suelo tipo D. Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Estos suelos tienen una velocidad de transmisión de del agua muy baja.

5.3.1. OBTENCIÓN DEL NÚMERO DE ESCURRIMIENTO

Para cuantificar el uso y tipo de suelo así como su pendiente, se generan los mapas respectivos mediante las extensiones Projection Analysis, Projection Utility, HEC-Geo HMS, Spatial Analyst e Hydrologic Modeling v11, en entorno de ARCVIEW utilizando información vectorial editada por INEGI y tomando en consideración la siguiente tabla.

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno %	Tipo de suelo				
			A	B	C	D	
Sin cultivo	Surcos rectos	**	77	86	91	94	
Cultivos en surco	surcos rectos	>1	72	81	88	91	
	surcos rectos	<1	67	78	85	89	
	Contorneo	>1	70	79	84	88	
	Contorneo	<1	65	75	82	86	
	Terrazas	>1	66	74	80	82	
	Terrazas	<1	62	71	78	81	
	Cereales	surcos rectos	>1	65	76	84	88
surcos rectos		<1	63	75	83	87	
Contorneo		>1	63	74	82	85	
Contorneo		<1	61	73	81	84	
Terrazas		>1	61	72	79	82	
Terrazas		<1	59	70	78	81	
Leguminosas ó praderas en rotación		surcos rectos	>1	66	77	85	89
	surcos rectos	<1	58	72	81	85	
	Contorneo	>1	64	75	83	85	
	Contorneo	<1	55	69	78	83	
	Terrazas	>1	63	73	80	83	
	Terrazas	<1	51	67	76	80	
	Pastizales	*****	>1	68	79	86	89
*****		<1	39	61	74	80	
Contorneo		>1	47	67	81	88	
Contorneo		<1	6	35	70	79	
Pradera permanente		*****	<1	30	58	71	78
Bosques naturales	Muy ralo	*****	56	75	86	91	
	Ralo	*****	46	68	78	84	
	Normal	*****	36	60	70	77	
	Espeso	*****	26	52	62	69	
	Muy espeso	*****	15	44	54	61	
	Caminos	De terracería	*****	72	82	87	89
		De superficie muy dura	*****	74	84	90	92

Los mapas de uso y tipo de suelo (edafológico) se compraron en INEGI estos mapas serán cortados superponiendo la cuenca en estudio mediante una serie de rutinas con el software ARCVIEW y las extensiones antes mencionadas, con el fin de cuantificar las áreas de los distintos tipos de suelo.

Una vez que se cuantifican y se zonifica el uso de suelo, tipo de suelo y pendiente en la cuenca, el valor del coeficiente de escurrimiento se obtiene a partir de la superposición del mapa de uso de suelo, el mapa de tipo de suelo y el mapa de pendientes.

Con los diferentes mapas N se obtiene como un promedio pesado según la fórmula siguiente:

$$N = \frac{N_1 A_1 + N_2 A_2 + \dots + N_3 A_3}{A}$$

Donde:

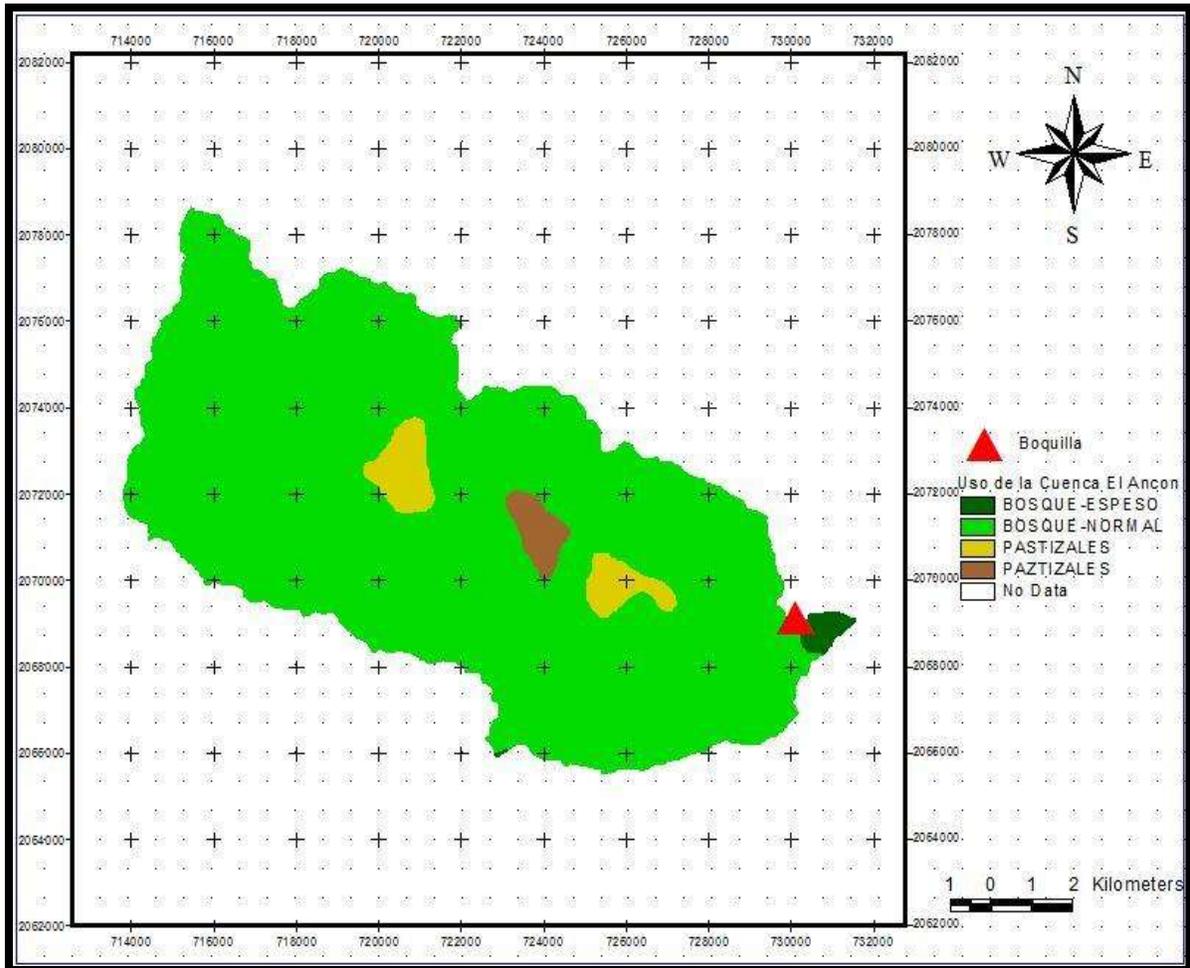
A_i Área de grupo tipo suelo – uso suelo – pendiente suelo

N_i Número de escurrimiento correspondiente al área A_i

A Área total

5.3.2. RESULTADOS

La cuantificación del Tipo de suelo de la cuenca El Alcon se presenta en el mapa y tabla siguiente:

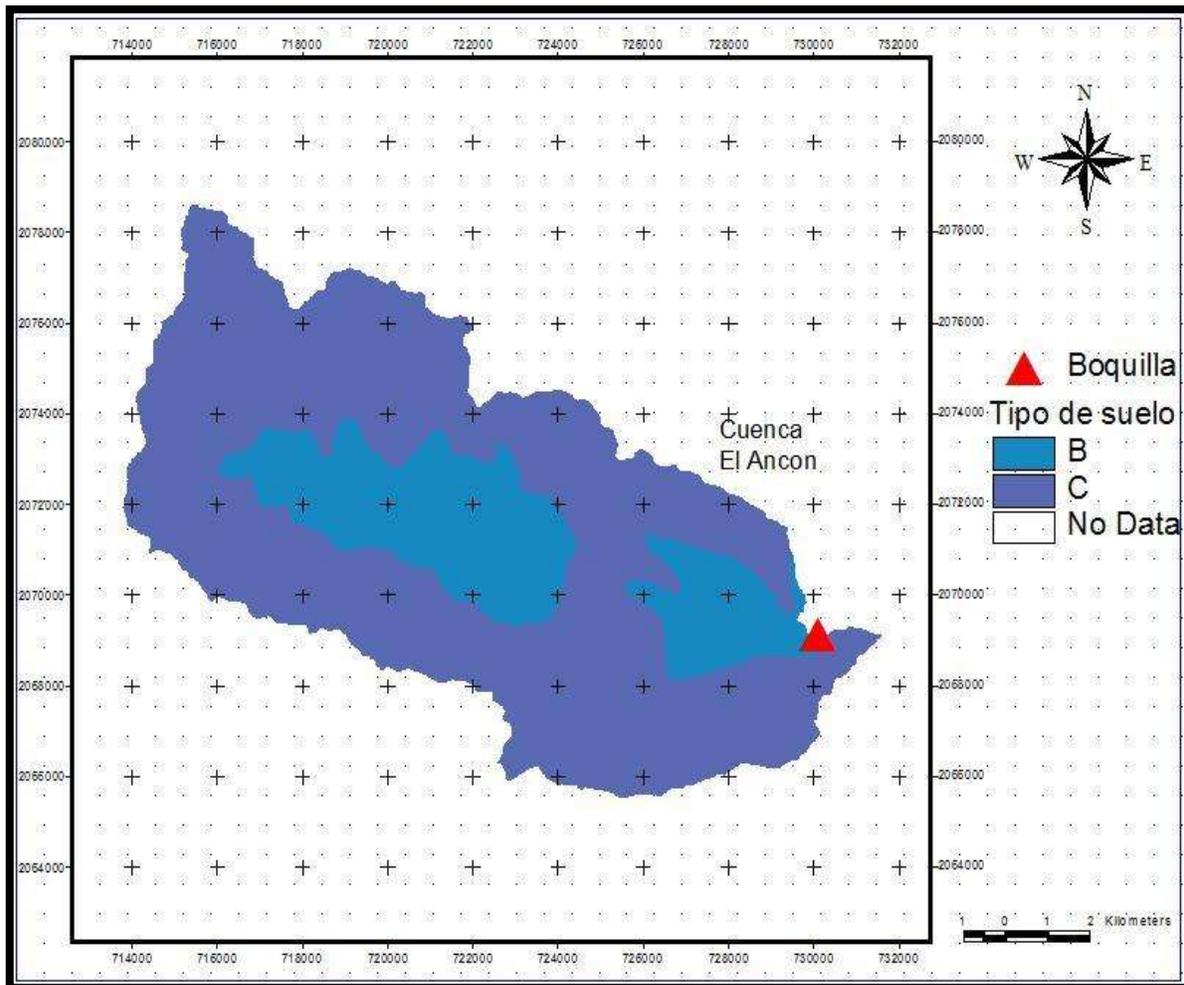


Mapa de Uso de Suelo de la cuenca El Ancón

Uso de suelo	Área (km ²)	% Área
BOSQUE-ESPESO	0.96	0.83
BOSQUE-NORMAL	110.05	94.11
PASTIZAL	5.92	5.06
Suma	116.93	100

Zonificación y Cuantificación de uso de suelo en la cuenca El Ancón

La cuantificación del Tipo de Suelo en la cuenca El Ancón se presentan en el mapa y tabla siguiente:

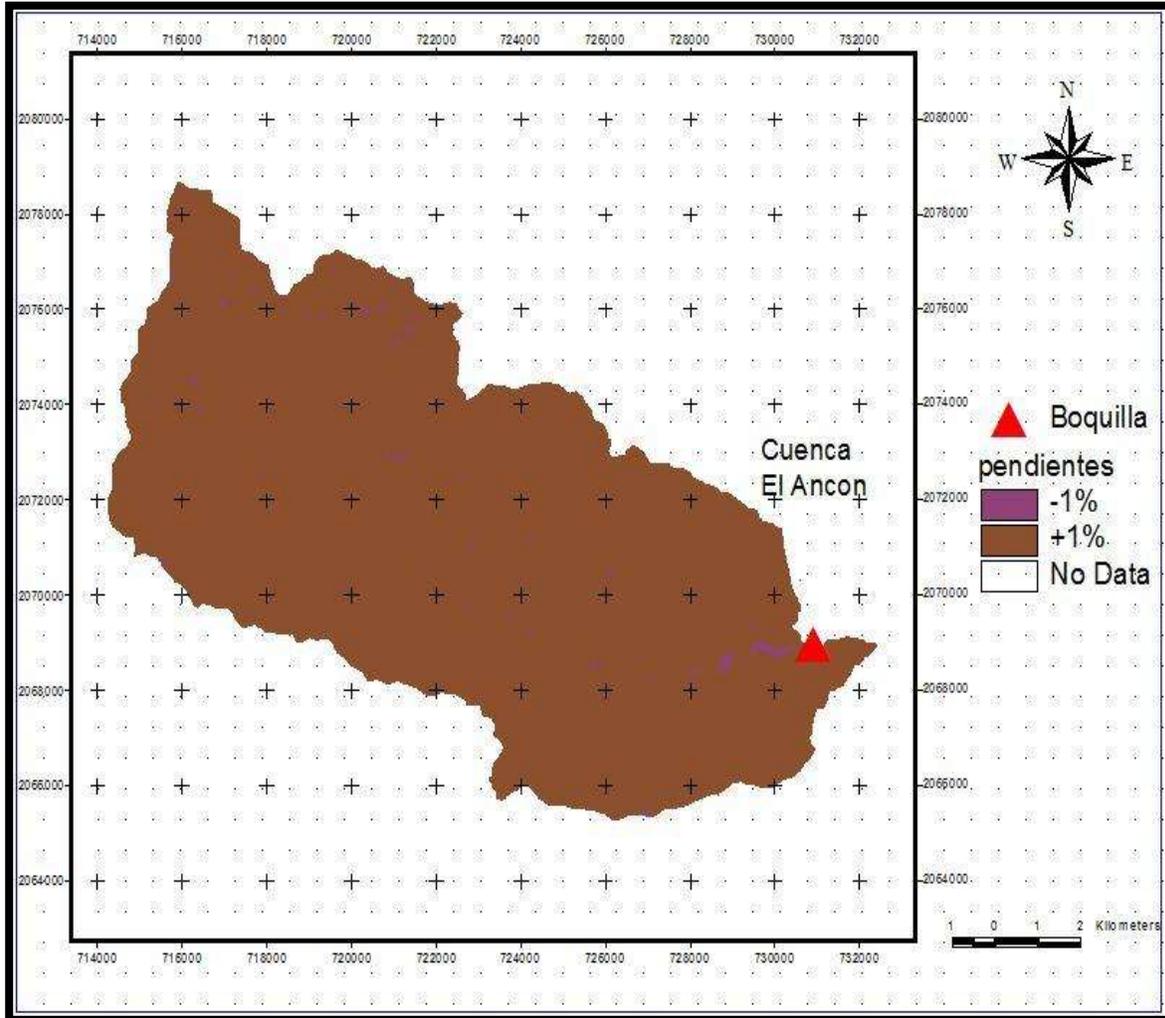


Mapa de Tipo de Suelo de la cuenca El Ancón

Tipo de suelo	Área (km ²)	Área (%)
B	27.27	23.32
C	89.66	76.68
suma	116.93	100.00

Zonificación y Cuantificación de Tipo de suelo en la cuenca El Ancón

La zonificación de las pendientes menores a 1% de la cuenca se presenta en el mapa y tabla siguiente:

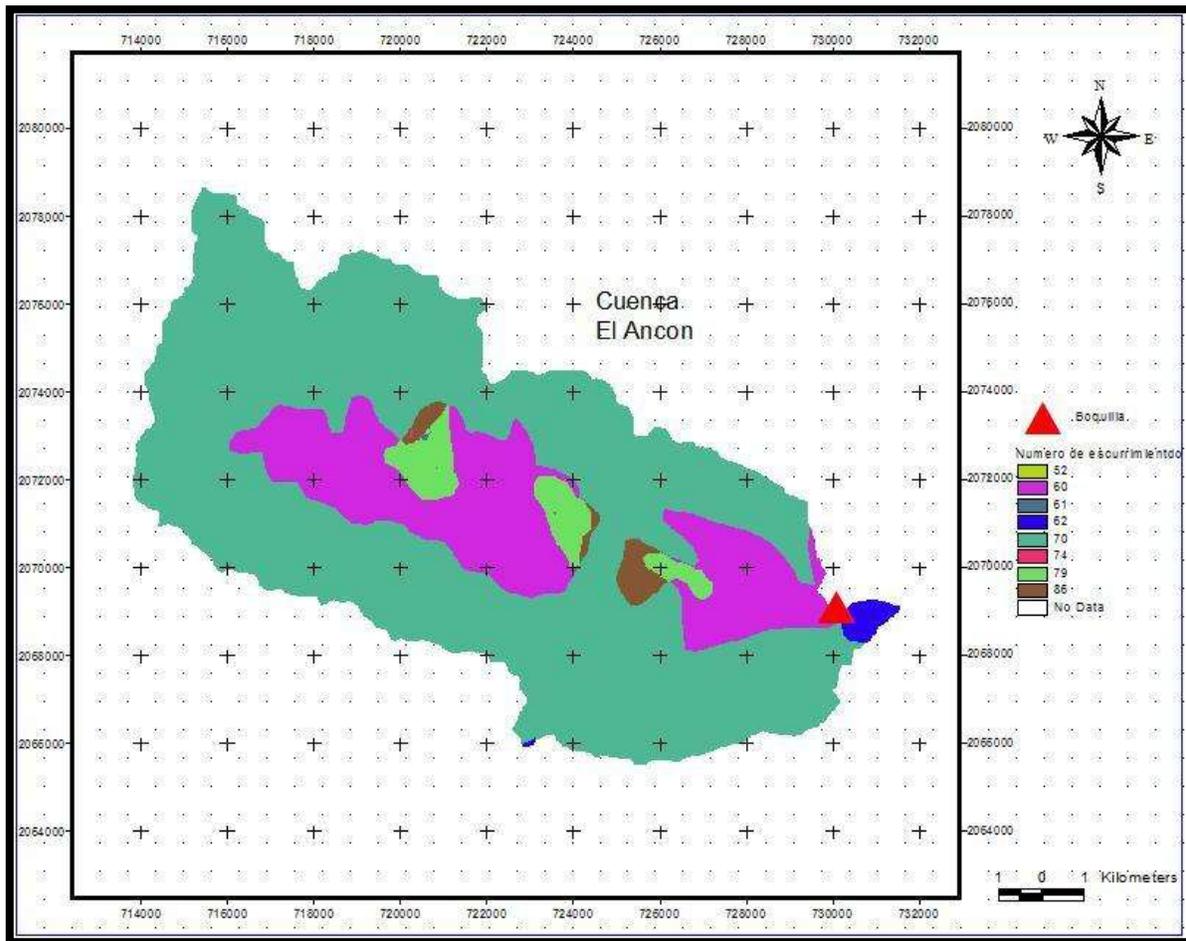


Mapa de pendientes de la cuenca El Ancón

	% Área	Área (km ²)
Pendiente <1%	0.70%	0.821
Pendiente >1%	99.30%	116.109

Zonificación y Cuantificación de pendientes en la cuenca El ancón

De la intersección de los tres mapas asignado el correspondiente N, para cada área se obtiene la tabla y mapa siguiente:



Mapa del número de escurrimiento N de la cuenca El Ancón

Uso de suelo	Tipo de suelo	Pendientes	Área (km ²)	Área (%)	N	N*Área (%)
BOSQUE-ESPESO	B	-	0.03	0.02	52.00	0.01
BOSQUE-NORMAL	B	-	23.01	19.67	60.00	11.80
PASTIZALES	B	< 1%	0.03	0.03	61.00	0.02
BOSQUE-ESPESO	C	-	0.93	0.79	62.00	0.49
BOSQUE-NORMAL	C	-	87.06	74.45	70.00	52.12
PASTIZALES	C	< 1%	0.02	0.02	74.00	0.01
PASTIZALES	B	> 1%	4.21	3.60	79.00	2.84
PASTIZALES	C	> 1%	1.65	1.41	86.00	1.21
SUMA:			116.93	100.00	N	68.51

Así el valor del número de escurrimiento para la cuenca es de N=68.51

5.4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC)

El tiempo de concentración (t_c) es el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio, y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca. Su valor depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca, Para el cálculo del tiempo de concentración las ecuaciones más utilizadas son las propuestas por Kirpich, Temes, Rowe, Soil Conservation Service y Chou.:

Método de Kirpich

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

- S Pendiente del cauce principal (m/m)
- L Longitud del cauce principal, en m.
- t_c Tiempo de concentración, en horas.

Método de Temes

$$t_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

- S Pendiente del cauce principal (m/m)
- L Longitud del cauce principal, en m.
- t_c Tiempo de concentración, en horas.

Método de Rowe Se utiliza para calcular el t_c de cuencas naturales de áreas cuya extensión excede los 3 000 km².

$$t_c = 0.86 \left(\frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385}$$

- H Diferencia de elevaciones entre los extremos del cauce principal (m)
- L Longitud del cauce principal, en m.
- t_c Tiempo de concentración, en horas.

Método de CSC Soil Conservation Service

$$tc = 0.95 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

- H Diferencia de elevaciones entre los extremos del cauce principal (m)
 L Longitud del cauce principal, en m.
 tc Tiempo de concentración, en horas.

Con lo expuesto antes se obtiene un valor del tiempo de concentración (tc) de 2.27 horas utilizando el método de Kirpich.

5.5. PARÁMETRO K

Este parámetro nos sirve para posteriormente calcular el volumen de escurrimiento de la cuenca mediante la Norma Mexicana NOM-011-CNA-2000, conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

La presente norma tiene como objetivo establecer el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales y subterráneas, para su explotación, uso o aprovechamiento.

Esta norma establece que el cálculo del volumen medio anual de escurrimiento natural se obtiene con el promedio de los volúmenes anuales de escurrimiento natural utilizando la siguiente formula:

$$Ve = Ce * A * P$$

Donde:

- Ve Volumen medio anual de escurrimiento natural
 Ce Coeficiente de escurrimiento
 A Área de la cuenca en m²
 P Precipitación anual en mm.

El coeficiente de escurrimiento Ce se obtiene en función del K de la cuenca y la precipitación media anual utilizando los siguientes parámetros:

K: PARÁMETRO QUE DEPENDE DEL TIPO Y USO DE SUELO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ANUAL (Ce)
Si K resulta menor o igual que 0,15	$Ce = K (P-250) / 2000$
Si K es mayor que 0,15	$Ce = K (P-250) / 2000 + (K - 0,15) / 1,5$

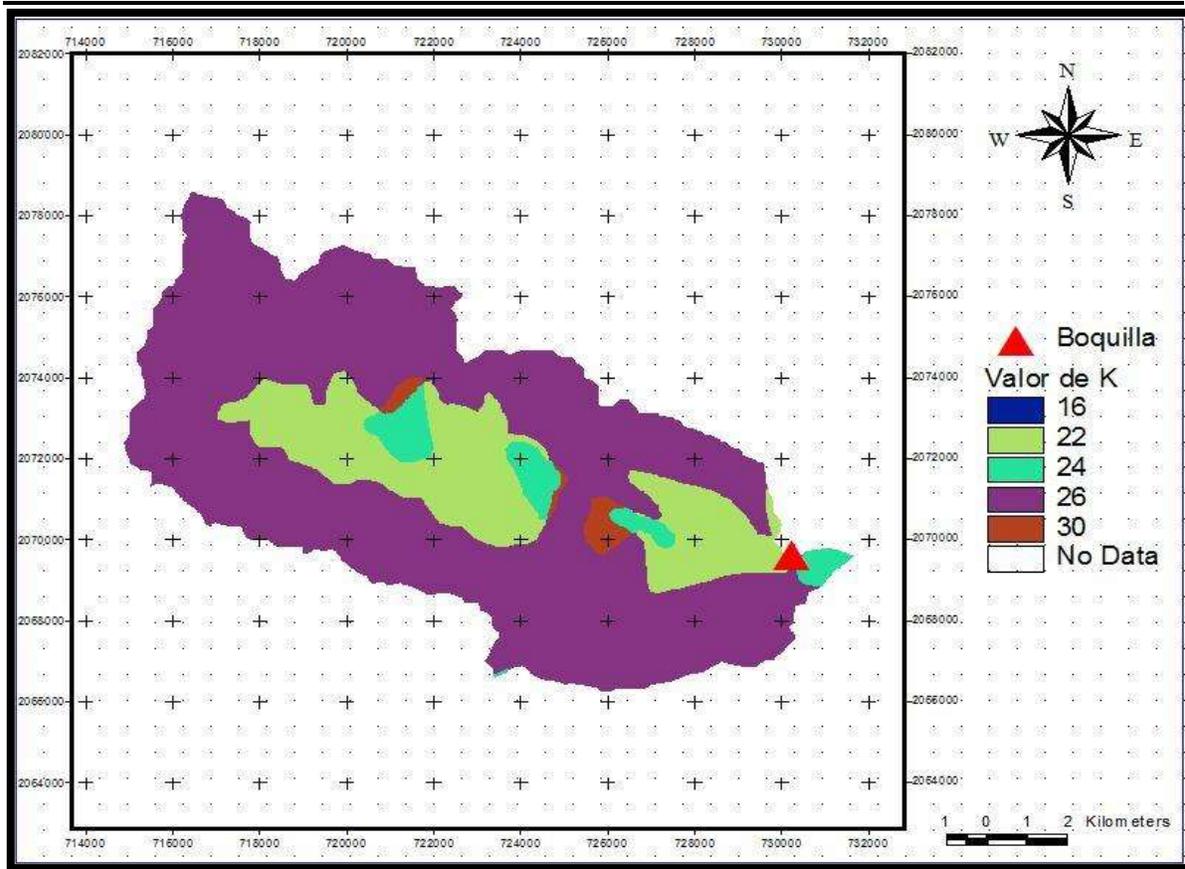
Fórmula para calcular el coeficiente de escurrimiento Ce en función del parámetro K según la norma

El parámetro K se determina a partir del tipo y uso de suelo, mediante el empleo de las cartas editadas por el INEGI, del conocimiento de la zona de estudio y del valor de los coeficientes de la siguiente tabla.

USO DEL SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
Cultivos:			
En Hileras	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,27	0,30
Granos pequeños	0,24	0,27	0,30
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% - Poco -	0,14	0,20	0,28
Del 50 al 75% - Regular -	0,20	0,24	0,30
Menos del 50% - Excesivo -	0,24	0,28	0,30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 50 al 75%	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 25 al 50%	0,17	0,26	0,28
Cubierto menos del 25%	0,22	0,28	0,30
Zonas urbanas	0,26	0,29	0,32
Camino	0,27	0,30	0,33
Pradera permanente	0,18	0,24	0,30

Valores de parámetro K según el tipo y uso de suelo (NOM-011-CNA-2000)

Con esta información se clasifican los suelos de la cuenca con lo que se obtiene un mapa del coeficiente K para cada tipo y uso de suelo, la metodología es similar a la del cálculo del N, zonificando cada tipo y uso de suelo y creando los respectivos mapas con las rutinas del software ARCVIEW y sus extensiones se obtiene el siguiente mapa:



Zonificación del coeficiente K en la cuenca El Ancón

Los valores del Parámetro K indicados en el mapa anterior habrá que dividirlos entre 100.

RESULTADOS

La siguiente tabla muestra la cuantificación del uso y tipo de suelo y el correspondiente valor de K.

Uso de suelo	Tipo de suelo	Área (km ²)	Área (%)	K	K*Área (%)
Bosque espeso	B	0.03	0.02	0.16	0
Bosque normal	B	22.98	19.65	0.22	0.04
Pastizal normal	B	5.17	4.42	0.24	0.01
Bosque normal	C	87.08	74.48	0.26	0.19
pastizal normal	C	1.67	1.43	0.3	0
	suma	116.93	100		0.25

Cuantificación del coeficiente K por tipo y uso de suelo en la cuenca El Ancón

Así el Parámetro K para la cuenca resulta de 0.25.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA ESTACIÓN BASE

La selección de la estación base se hizo a partir de las premisas siguientes:

- Más cercana a la cuenca en estudio.
- Sus registros contengan información reciente.
- El periodo de los registros sea suficientemente amplio o superior a 15 años.
- Registros con la menor cantidad de vacíos y evitar el llenado de datos para lograr un alto grado de confiabilidad en los mismos

Tomando en consideración lo anterior la estación seleccionada es “Aguililla” en el municipio de Aguililla ya que es la más cercana al centroide de la cuenca y cuenta con un periodo de registros aceptable de 26 años.

5.6.2. DATOS DE PRECIPITACIÓN

En el Anexo se presentan los datos mensuales de las estaciones seleccionadas, precipitación total mensual y la precipitación mensual máxima 24 horas.

A) RESUMEN Y GRAFICAS DE LOS DATOS ESTACIONES SELECCIONADAS

i) Tabla precipitación total anual y máxima 24 horas:

AÑO	Aguililla	El Cajón	Arteaga	Aquila	Coalcomán
1945	950.5	-----	-----	-----	1019.6
1946	905.5	-----	-----	-----	-----
1947	1020.7	-----	-----	-----	-----
1948	860.4	-----	-----	-----	-----
1949	1069.1	-----	-----	-----	-----
1950	1258	-----	-----	-----	-----
1951	886.9	-----	-----	-----	1928.5
1952	1108.3	-----	-----	-----	1315.5
1953	601.2	698.5	-----	-----	839.6
1954	-----	823.4	-----	-----	1740.8
1955	1319.8	1215.1	-----	-----	1528.6
1956	762.1	915.8	-----	-----	-----
1957	-----	728.4	-----	-----	985.7
1958	-----	1067.1	1082.9	-----	2423.7
1959	1205.8	974.5	977.1	-----	2026.6
1960	705.9	777.6	726.5	-----	1769.4
1961	843	544.2	604	-----	-----
1962	1268.5	938.5	1128.7	963.7	-----
1963	847.2	1043.2	871	763.2	-----

AÑO	Aguililla	El Cajón	Arteaga	Aguila	Coalcomán
1964	-----	-----	-----	990.5	-----
1965	-----	934.5	663.5	913	-----
1966	1234	1010.2	976.5	1193.5	-----
1967	-----	1259.8	1065.7	1450.8	-----
1968	1729.6	1321.5	1167.5	1476	-----
1969	1104.1	919.8	-----	1000.5	-----
1970	1170.8	985.5	1092.5	1217	-----
1971	1098	-----	937	1091.5	-----
1972	-----	870.3	712.5	1058.5	-----
1973	905.4	934.6	943	780.5	-----
1974	1052.6	764.4	902.5	1072	1981.1
1975	-----	739.3	-----	1819	-----
1976	1110.4	917.7	1190	1093	1417.3
1977	823.9	828.7	819	1035.5	1576.5
1978	-----	720.4	768	1305.7	1300.1
1979	-----	638.5	846	1145.9	1102.1
1980	-----	1014.5	842	1093.9	1140.6
1981	999.4	921.8	967.5	945.3	-----
1982	-----	649.5	529	966.7	1480.3
1983	-----	845.5	1026	-----	-----
1984	-----	942.7	-----	-----	-----
1985	-----	484.2	-----	-----	1635.5
1986	-----	-----	-----	-----	1028.5
1987	-----	-----	544	1393.6	854
1988	-----	-----	-----	-----	-----
1989	-----	-----	319	-----	-----
1990	-----	-----	-----	1010.7	-----
1991	-----	-----	599.5	-----	-----
1992	-----	-----	1578.6	-----	-----
1993	-----	-----	1181.3	-----	-----
1994	-----	-----	670.1	-----	-----
1995	-----	-----	829.1	-----	-----
1996	-----	-----	1245.9	-----	-----
1997	-----	-----	866.3	-----	-----
1998	-----	-----	853.1	-----	-----
1999	-----	-----	895.2	-----	-----
MEDIA	1032.35	884.83	894.72	1120.87	1454.70

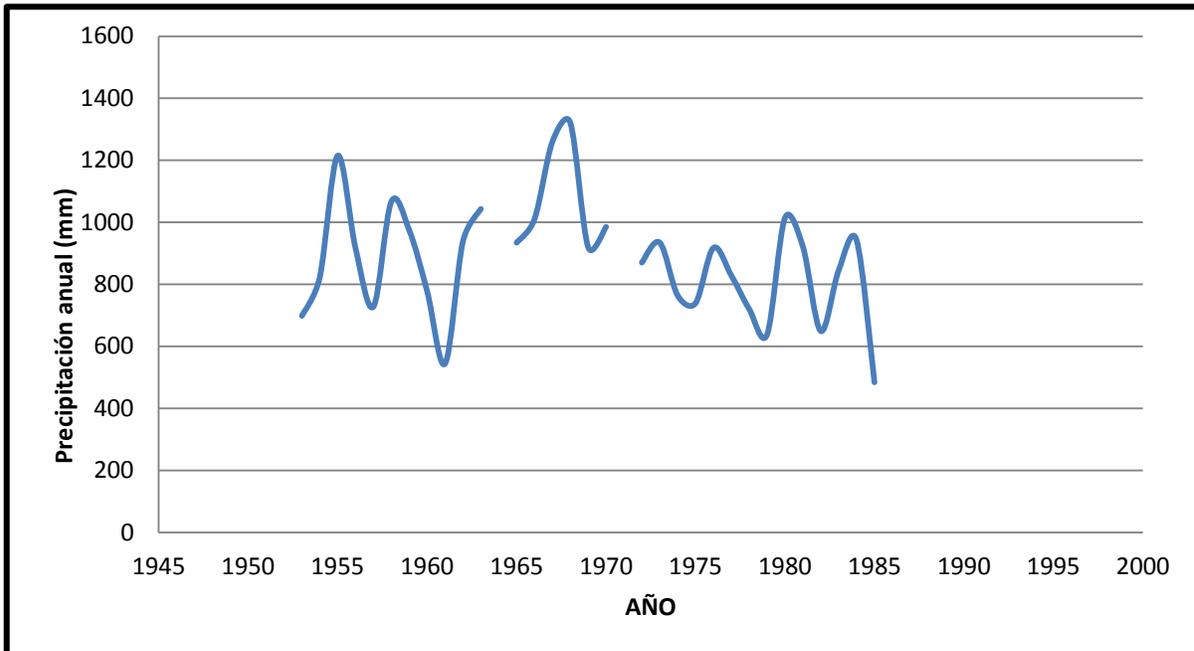
Precipitación total anual en mm de las estaciones cercanas en la cuenca

AÑO	Aguililla	El Cajón	Arteaga	Aquila	Coalcomán
1945	79.21	-----	-----	-----	151.1
1946	75.46	-----	-----	-----	-----
1947	85.06	-----	-----	-----	-----
1948	71.70	-----	-----	-----	-----
1949	89.09	-----	-----	-----	-----
1950	104.83	-----	-----	-----	-----
1951	80.63	-----	-----	-----	85
1952	100.75	-----	-----	-----	60
1953	50.10	128	-----	-----	53.5
1954	-----	51.5	-----	-----	75
1955	109.98	65.6	-----	-----	67.8
1956	63.51	65.5	-----	-----	-----
1957	-----	84	-----	-----	56
1958	-----	75.7	70	-----	82
1959	100.48	53.4	81.5	-----	76.5
1960	58.83	80	70.5	-----	86
1961	70.25	40.3	69.5	-----	-----
1962	105.71	91	173	55	-----
1963	70.60	65.3	94	66.5	-----
1964	-----	-----	-----	82	-----
1965	-----	56	133.5	115.5	-----
1966	102.83	120	184.5	252	-----
1967	-----	102.5	225	166	-----
1968	144.13	101.4	98.5	142	-----
1969	92.01	104.5	-----	103	-----
1970	97.57	75.9	216.5	89.5	-----
1971	91.50	-----	99	94	-----
1972	-----	58.5	74.5	87.5	-----
1973	75.45	66.5	113	92.5	-----
1974	87.72	64.5	148	145	95
1975	-----	63.5	-----	308	-----
1976	92.53	120	202	132.5	80
1977	68.66	96	80	82	80
1978	-----	69	49.5	86.3	67
1979	-----	68.5	93	150.8	90
1980	-----	73.5	120.5	85.4	56
1981	83.28	68	137.5	63.3	-----

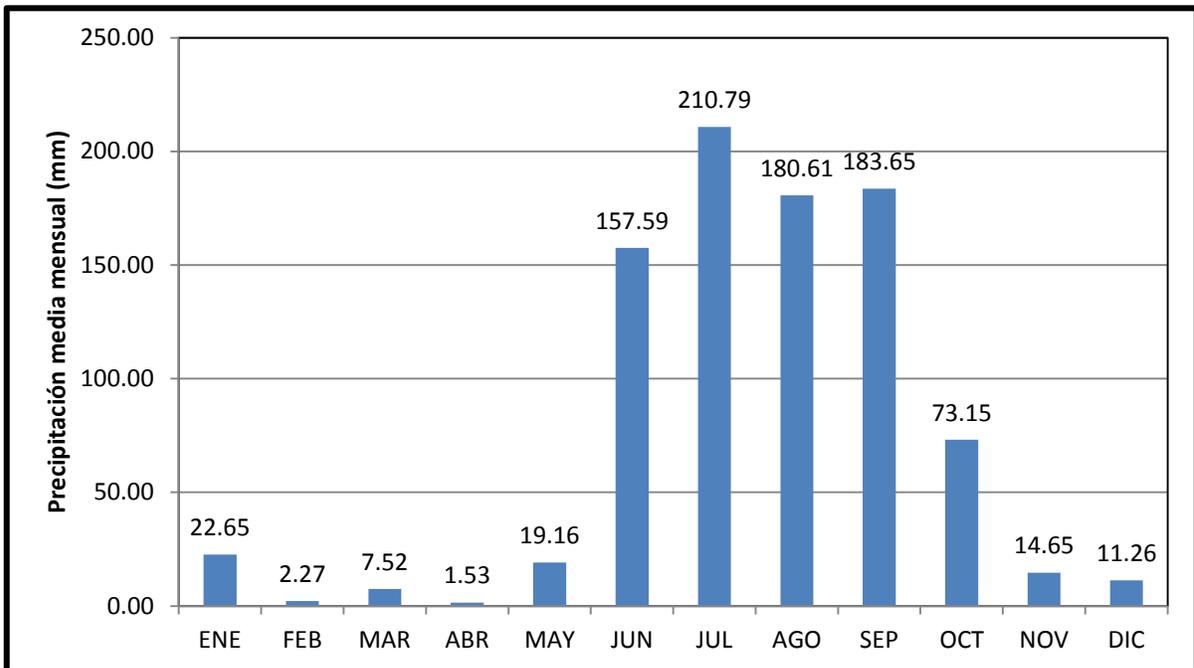
AÑO	Aguililla	El Cajón	Arteaga	Aquila	Coalcomán
1982	-----	76.5	48	57	82
1983	-----	73.5	307.5	-----	-----
1984	-----	64	-----	-----	-----
1985	-----	68.4	-----	-----	100
1986	-----	-----	-----	-----	64
1987	-----	-----	52	215.2	65
1988	-----	-----	-----	-----	-----
1989	-----	-----	53	-----	-----
1990	-----	-----	-----	74	-----
1991	-----	-----	55	-----	-----
1992	-----	-----	192.8	-----	-----
1993	-----	-----	100	-----	-----
1994	-----	-----	81.2	-----	-----
1995	-----	-----	124.9	-----	-----
1996	-----	-----	329.6	-----	-----
1997	-----	-----	82	-----	-----
1998	-----	-----	65	-----	-----
1999	-----	-----	64	-----	-----
MEDIA	86.61	77.13	120.25	119.35	78.60

Precipitación máxima 24 h en mm de las estaciones cercanas en la cuenca

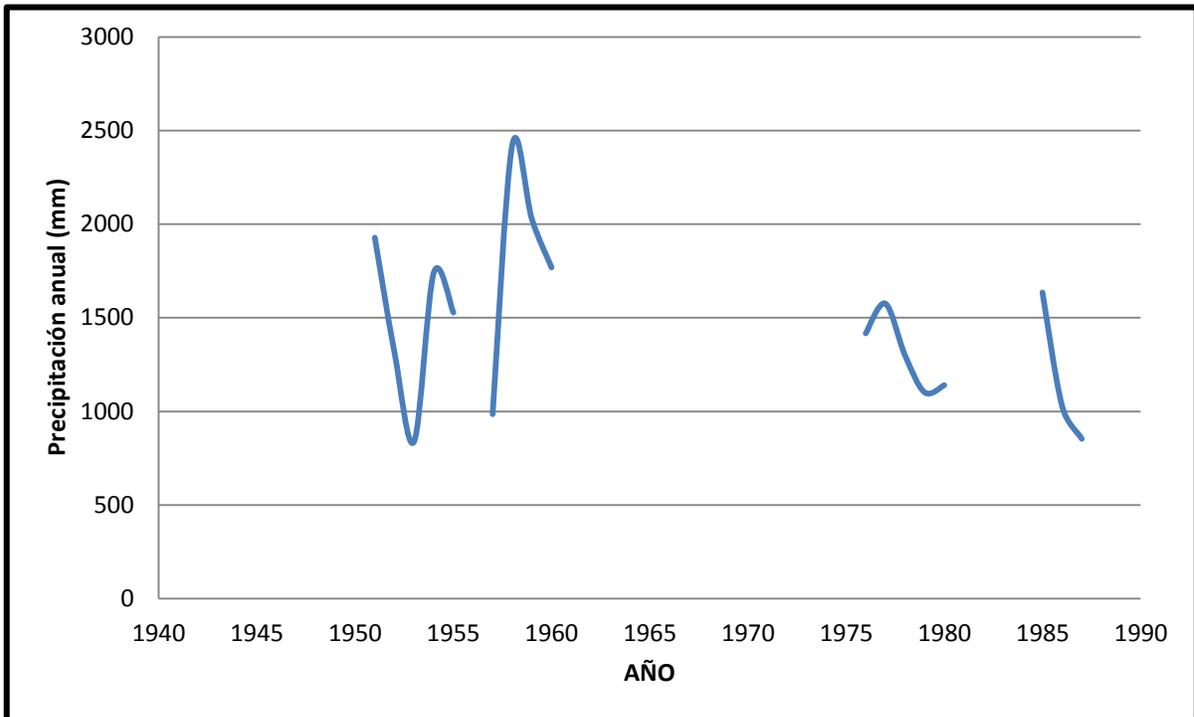
ii) Graficas precipitación total anual y media mensual.



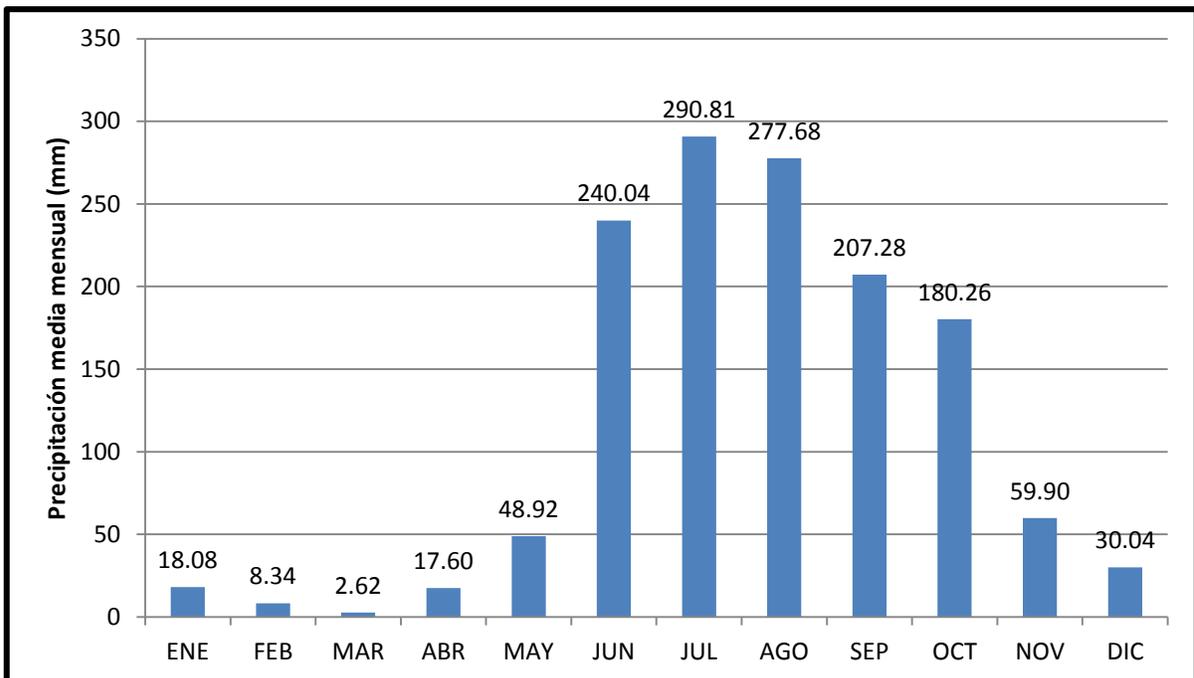
Precipitación total anual estación "El Cajón"



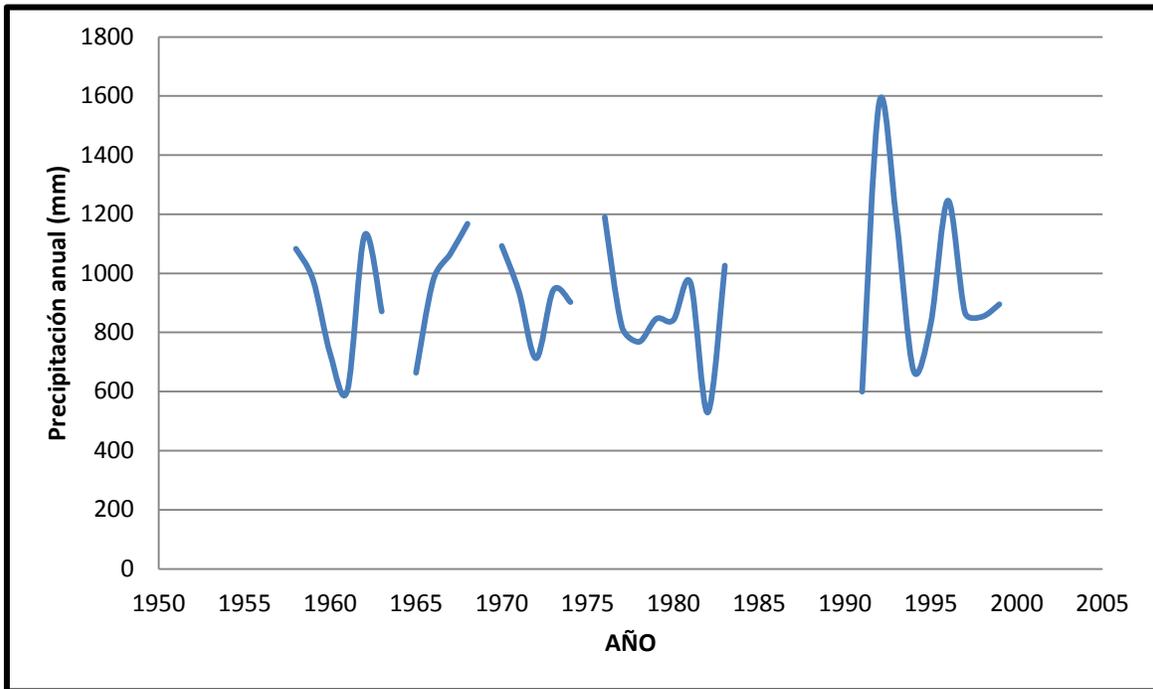
Precipitación media mensual estación "El Cajón"



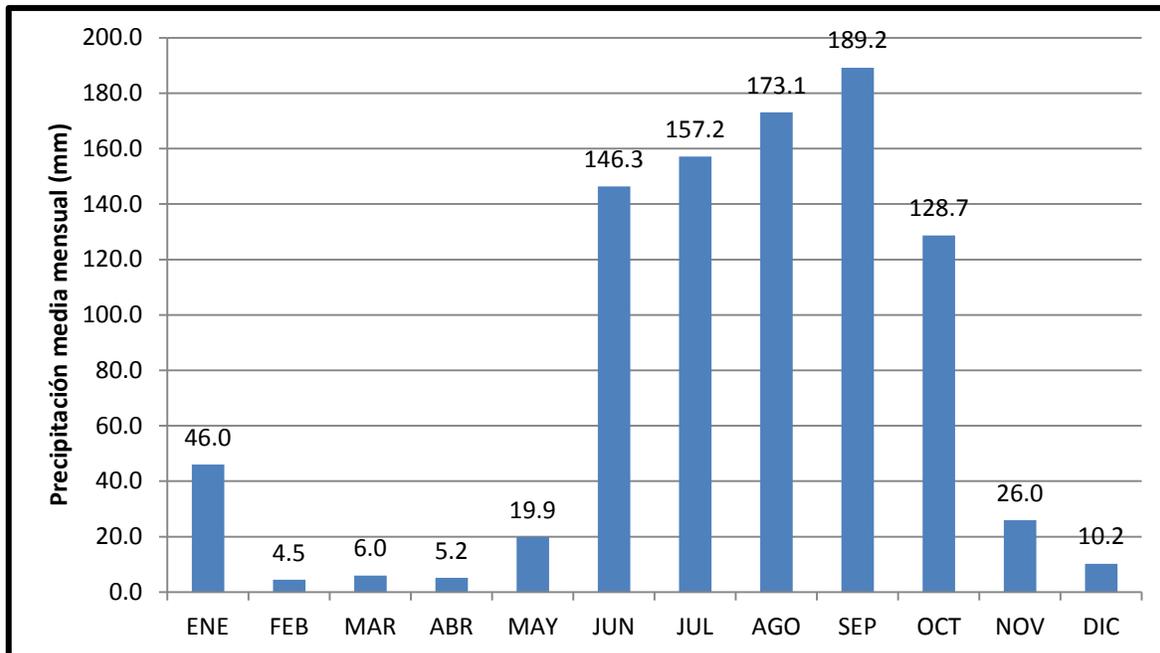
Precipitación total anual estación "Coalcomán"



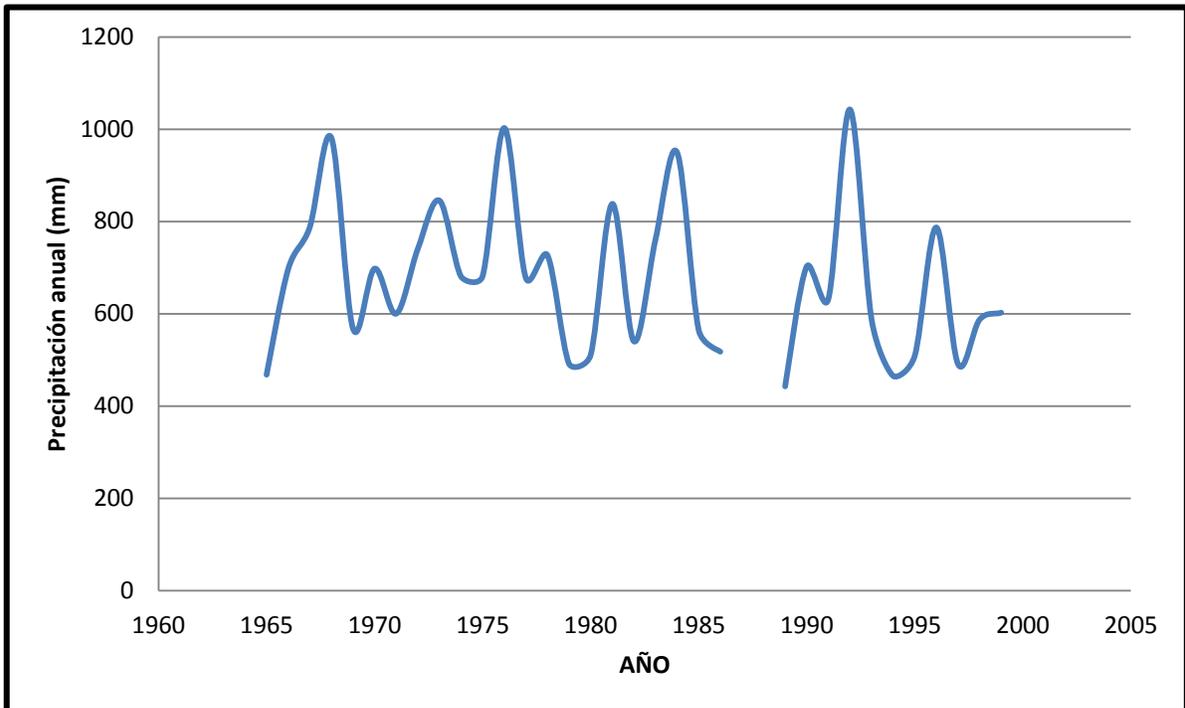
Precipitación media mensual estación "Coalcomán"



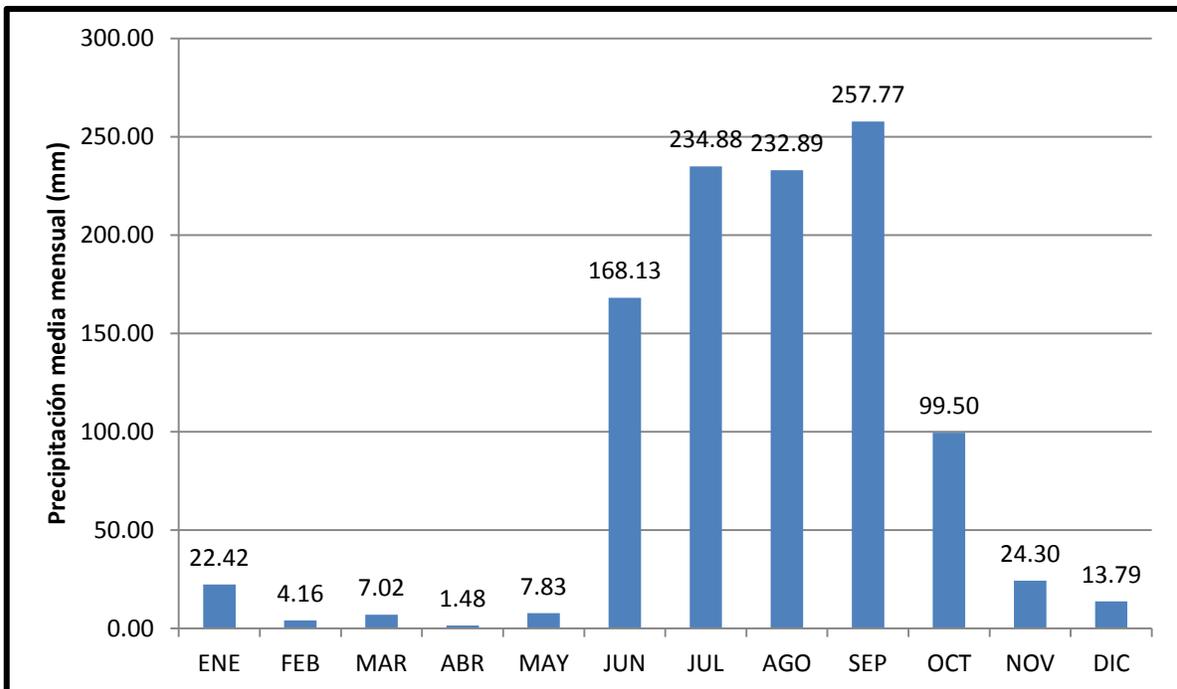
Precipitación total anual estación "Artega"



Precipitación media mensual estación "Artega"



Precipitación total anual estación "Aquila"



Precipitación media mensual estación "Aquila"

iii) Tablas y graficas precipitación de la estación base:

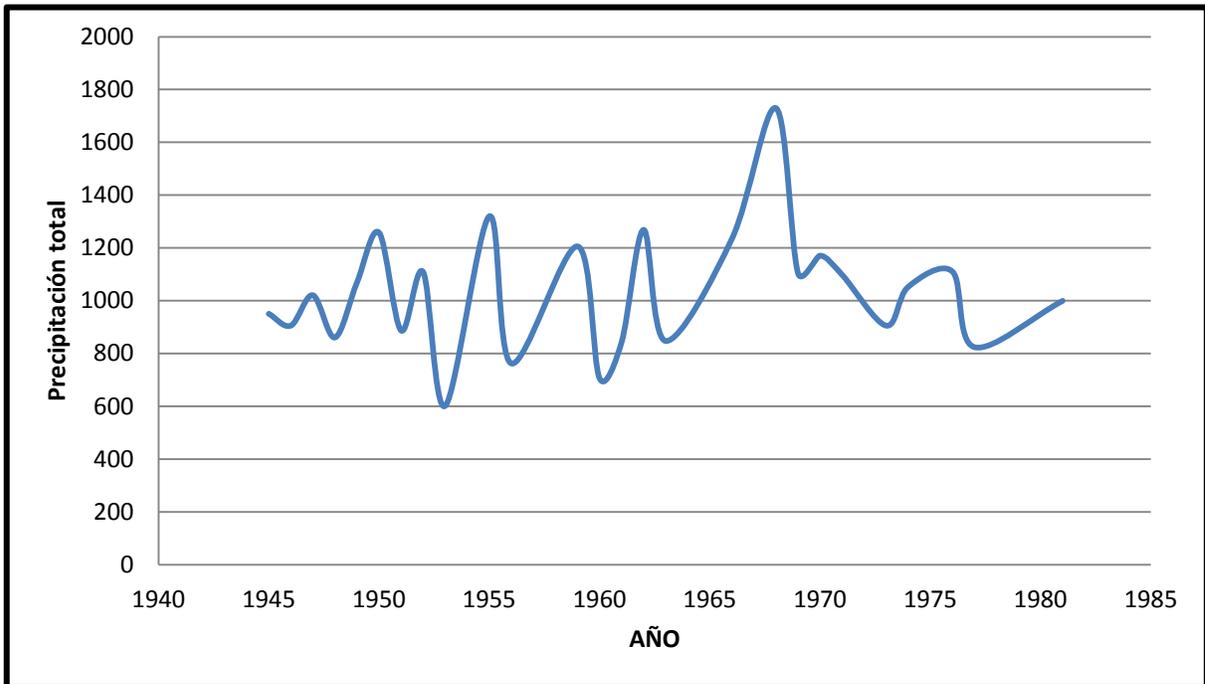
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1943	ND	ND	ND	0	ND	ND	115	ND	ND	184	ND	ND	
1944	ND	1	ND	ND	ND	251	ND	ND	319	319	ND	0	
1945	17	0	0	0	3.5	77	253	232	239	129	0	0	950.5
1946	14	0	0	0	0	107	119	93.5	252.5	252.5	67	0	905.5
1947	5.6	0	0	0	12.5	177	237.5	268	109	152.7	53.3	5.1	1020.7
1948	2.7	0	0	37	21	242	21.7	125	194.5	194.5	22	0	860.4
1949	0	0	0	0	0.2	234.7	175	236.2	370.5	52.5	0	0	1069.1
1950	18	0	0	0	7	303	365	230	165	165	5	0	1258
1951	0	0	0	0	15.3	138.1	223.5	163	257	58	32	0	886.9
1952	8	0	0	7	57.5	189	222	87.6	260.6	260.6	16	0	1108.3
1953	0	0	0	0	0	197	274	17	9	69	35	0.2	601.2
1954	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	
1955	0	0	0	0	3.5	137	414	261	320	181	3.3	0	1319.8
1956	0	0	0	0	22.5	264.5	200.7	170	19.2	19.2	49	17	762.1
1957	0	ND	0	0	ND	71	ND	199	174	59	0	0	
1958	13.1	5	0	ND	0	197.2	284	184	321	321	9.4	30	
1959	16	0	0	114	48	182.3	319	177	128.5	189	32	0	1205.8
1960	0	0	0	0	0	77.5	232.5	169.5	109.5	109.5	5	2.4	705.9
1961	0	0	0	0	0	224	301	118	168.5	18	13.5	0	843
1962	0	0	0	2.5	2.5	238	185.5	228	289.5	289.5	6	27	1268.5
1963	0	0	8	0	0	149.2	376	86.5	117.5	93	0	17	847.2
1964	24.5	0	3	0	1.5	ND	276	224.5	220	220	ND	39	
1965	8	ND	0	6.5	30.5	108	152	234.5	107.5	111	10	1.5	
1966	2.5	3.5	0	5	65.5	372	311	153.5	160.5	160.5	0	0	1234
1967	226	0	0	ND	63.5	ND	ND	255.5	290.5	128	0	15	
1968	3	12	106	0	83	316.5	193.5	320.5	338.3	338.3	2	16.5	1729.6
1969	1.3	0	3	0	0	106	314.8	335.8	197.2	135	0	11	1104.1
1970	0	0	0	0	0	194.5	133	293.7	258.3	258.3	33	0	1170.8
1971	5	0	2.5	0	17	163.5	289.5	319.5	150.5	144.5	2	4	1098
1972	0	ND	43.5	0	ND	327.5	447.5	222	ND	ND	ND	0	
1973	0.3	0.8	0	40.9	30.2	235.8	94.4	158.2	184.5	158.9	0.8	0.6	905.4
1974	0	0	1	0	59.4	209.1	215.6	151.7	175.3	175.3	25.1	40.1	1052.6
1975	16.2	0	0	0	34.2	205.5	351.5	202.4	248.1	14.3	ND	6.6	
1976	0	15.8	0	2	1.6	149.9	220.3	257.3	157.5	157.5	147.1	1.4	1110.4
1977	4	2.5	0	1.9	56.1	252.3	200.4	123.9	113.9	60.2	3.1	5.6	823.9
1978	1.3	2.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
1979	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
1980	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
1981	0	15.8	0	2	0	152	261.4	281.2	151.5	135.5	0	0	999.4
1982	0	ND	0	0	0	87	276	128.2	ND	ND	ND	ND	

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIA	3.75	1.94	4.63	8.17	19.47	195.73	236.67	194.52	188.36	152.19	21.24	6.16	1032.82

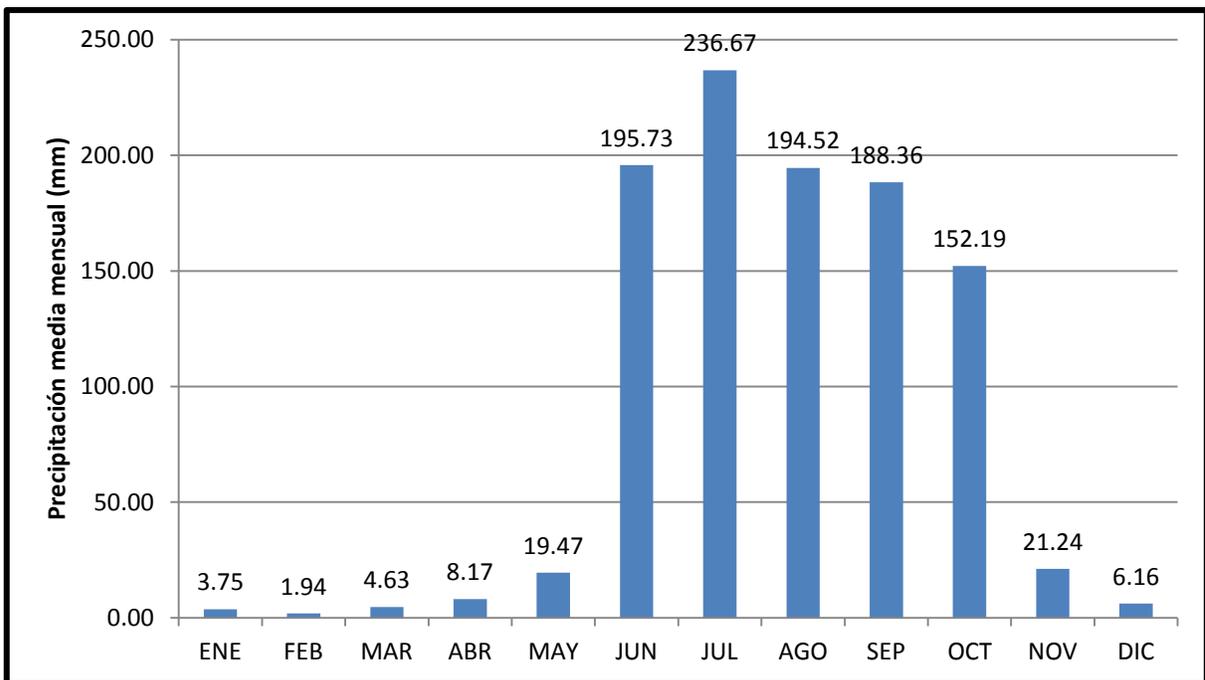
Precipitación total mensual en mm de la estación "Aguililla"

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
1943	ND	ND	ND	0	ND	ND	19	ND	ND	40	ND	ND	
1944	ND	1	ND	ND	ND	42	ND	ND	67	67	ND	0	
1945	10	0	0	0	3.5	46	54	32	55	66	0	0	66
1946	10	0	0	0	0	17	32	26	45.5	45.5	53	0	53
1947	2.5	0	0	0	12.5	40	47	50	20	69	29	2.7	69
1948	2	0	0	28	11	60	3.1	47	106	106	17	0	106
1949	0	0	0	0	0.2	38	42	54	103	16	0	0	103
1950	10	0	0	0	7	38	60	28	32	32	5	0	60
1951	0	0	0	0	10.5	40	35	40	69	22	32	0	69
1952	8	0	0	7	27	20	60	42	43	43	9	0	60
1953	0	0	0	0	0	40	48.5	4	3	17	35	0.2	48.5
1954	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	
1955	0	0	0	0	3.5	43	69	70	46	75	2	0	75
1956	0	0	0	0	6.9	70	45	42	4.5	4.5	17	17	70
1957	0	ND	0	0	ND	48	ND	52	25	28	0	0	
1958	4.6	5	0	ND	0	24	35	34	27	27	5	24	
1959	16	0	0	45	19	29	69	29	35	100	20	0	100
1960	0	0	0	0	0	22	49	56	22	22	5	2.4	56
1961	0	0	0	0	0	60	52	29	28	8	8	0	60
1962	0	0	0	2.5	2.5	66	52.5	35.5	72	72	4	23	72
1963	0	0	8	0	0	33	68	26	19	55	0	13	68
1964	18	0	3	0	1.5	ND	36	67	32	32	ND	31	
1965	8	ND	0	6.5	23	34	37	49	24	58.5	6	1.5	
1966	2.5	3.5	0	5	42	192.5	41	40	22	22	0	0	192.5
1967	76	0	0	ND	35	ND	ND	42.5	66	72	0	6	
1968	1.5	8	60	0	63	135	32	61.5	46	46	2	14	135
1969	1.3	0	3	0	0	65	60	85	30	41.5	0	6	85
1970	0	0	0	0	0	67	28.5	37	43	43	23	0	67
1971	3	0	2.5	0	17	36	60	123	31	49	2	4	123
1972	0	ND	37	0	ND	87	94	36	ND	ND	ND	0	
1973	0.3	0.8	0	30.3	25.9	75.1	10.6	28.6	40.9	45.1	0.8	0.6	75.1
1974	0	0	0.8	0	50.9	66	41.1	26.5	47.9	47.9	16.1	40.1	66
1975	6	0	0	0	21.6	37.7	61.9	43.4	56	11.8	ND	6.6	
1976	0	8.2	0	2	1.6	29.8	40.3	88.6	40.5	40.5	72.8	0.8	88.6
1977	2.6	2.5	0	1.7	42.8	58.5	40.3	22.5	32.8	24.3	1.6	5.6	58.5
1978	1.3	2.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
1979	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
1980	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
1981	0	8.2	0	2	0	29.8	70.2	45	54.6	38.1	0	0	70.2
1982	0	ND	0	0	0	30	45	20	ND	ND	ND	ND	
MEDIA	5.1	1.77	5.44	4.75	17.29	60.71	49.42	47.20	39.09	43.62	9.49	7.73	80.63

Precipitación máxima 24 h en mm de la estación "Aguililla"



Precipitación total anual estación "Aguililla"



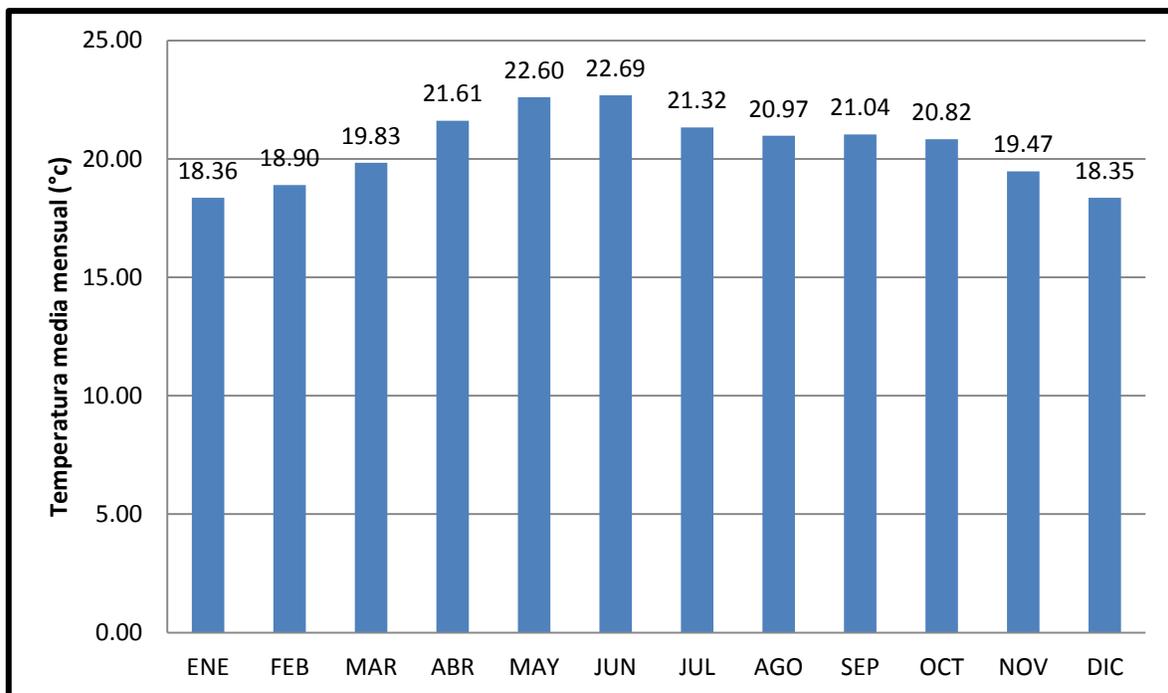
Precipitación media mensual estación "Aguililla"

5.6.3. DATOS DE TEMPERATURA

En la siguiente tabla y grafica se muestran los datos de temperatura media, máxima y mínima de la estación base aguillilla.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MED. ANUAL
1961	19.23	21.66	23.27	23.80	25.53	24.78	23.06	22.73	22.30	22.23	20.77	20.39	22.48
1963	20.81	19.61	22.82	23.00	24.32	23.77	21.61	22.52	22.50	21.32	20.17	19.39	21.82
1965	19.00	17.75	18.71	21.83	20.61	22.43	20.48	19.87	20.23	19.52	19.97	18.87	19.94
1966	17.26	18.61	20.29	20.87	22.87	21.78	20.39	20.02	20.12	18.60	18.60	16.35	19.65
1969	17.53	18.96	19.76	20.99	22.16	23.72	21.99	21.57	21.95	20.90	19.61	18.53	20.64
1970	17.21	18.71	18.58	20.35	21.40	22.33	21.58	21.35	20.38	24.92	23.24	22.46	21.04
1971	22.73	22.39	24.70	24.72	26.13	24.21	23.83	23.07	23.56	24.37	23.22	22.45	23.78
1973	19.54	20.99	22.19	22.96	24.61	23.82	22.55	22.33	22.43	21.91	20.86	18.32	21.88
1974	19.54	18.88	16.78	20.04	20.48	20.86	20.02	19.82	19.56	18.73	17.43	16.03	19.01
1976	13.96	15.17	17.04	20.38	21.28	21.85	20.17	19.28	19.91	19.34	16.19	15.71	18.36
1977	19.54	18.88	16.78	20.04	20.48	20.86	20.02	19.82	19.56	18.73	17.43	16.03	19.01
1981	13.96	15.17	17.04	20.38	21.28	21.85	20.17	19.28	19.91	19.34	16.19	15.71	18.36
MEDIA	18.36	18.90	19.83	21.61	22.60	22.69	21.32	20.97	21.04	20.82	19.47	18.35	20.50
MÁXIMA	22.73	22.39	24.70	24.72	26.13	24.78	23.83	23.07	23.56	24.92	23.24	22.46	23.78
MÍNIMA	13.96	15.17	16.78	20.04	20.48	20.86	20.02	19.28	19.56	18.60	16.19	15.71	18.36

Temperaturas de la estación base, Aguillilla



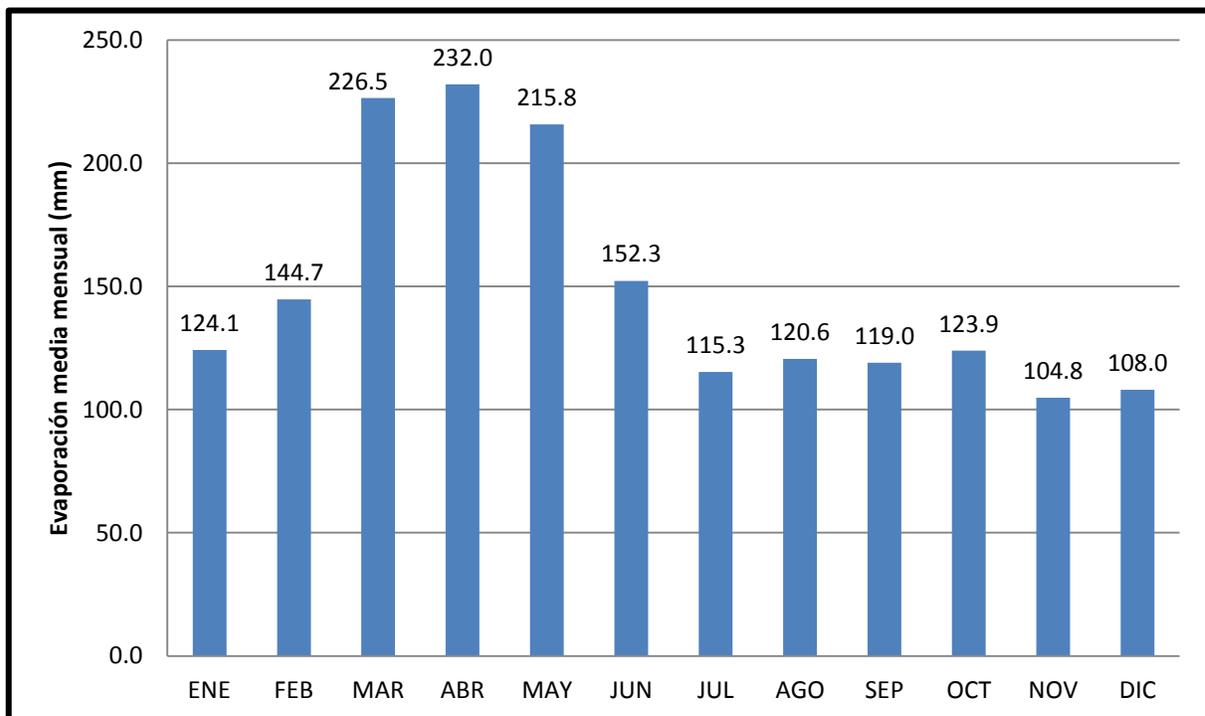
Temperaturas medias mensuales de la estación base, Aguillilla

5.6.4. DATOS DE EVAPORACIÓN.

En la siguiente tabla y grafica se muestran los datos de evaporacion media, máxima y mínima de la estación base aguililla.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1974				253.4	234.6	160.9	118.1	119.9	134.4	134.3	112.2	117.1	1384.9
1975	118.4	142.6	233.2	249.5	202.6	149.8	109	120.9	108.2	136.6		120.8	1691.6
1976	134	165	232.1	228.4	235	177.2	123.9	130.7	115.6	112.7	101.2	94.5	1850.3
1977	120	126.4	214.1	196.7	190.8	121.1	110	110.9	117.9	112	100.9	99.6	1620.4
MEDIA	124.13	144.7	226.5	232	215.8	152.3	115.3	120.6	119	123.9	104.8	108	1786.8
MÁXIMA	134	165	233.2	253.4	235	177.2	123.9	130.7	134.4	136.6	112.2	120.8	1956.4
MINIMA	118.4	126.4	214.1	196.7	190.8	121.1	109	110.9	108.2	112	100.9	94.5	1603.0

Evaporación total mensual y anual de la estación Aguililla.



Evaporación medias mensuales de la estación base, Aguililla

5.7. TRATAMIENTO DE DATOS (ESTACIÓN BASE AGUILILLA)

5.7.1. CONSISTENCIA DE DATOS

Una serie de datos es consistente si es una muestra de una única población. Si la serie es inconsistente, se le deben hacer ajustes o correcciones para volverla consistente. La consistencia de una serie se puede perder por un sinnúmero de causas, las principales son: cambio en la localización del pluviómetro, cambio en la forma de exposición, cambio del operador, deforestación o reforestación del sitio, entre otras.

Todas las acciones anteriores traen consigo una alteración relativa en la cantidad de lluvia captada por el pluviómetro. Lo anterior indica que conducen a errores del tipo sistemático, los cuales son muy importantes pues su efecto es acumulativo. Con la finalidad de detectar estos errores existe una gran cantidad de pruebas estadísticas de las más utilizadas son las de HELMERT, SECUENCIAS, ESTUDENT, CRAMER, CURVA MASA DOBLE entre otras.

El análisis de consistencia de datos tiene el propósito detectar algún error entre la estación Aguililla y las estaciones circundantes en este caso El Cajón, Aquila, Arteaga, y Coalcomán. El método utilizado en este caso es el de la curva masa doble.

La curva masa doble verifica la consistencia del registro de una estación, comparando la precipitación anual acumulada con los valores correspondientes, también acumulados de la precipitación anual promedio de las estaciones circundantes.

El procedimiento para evaluar la consistencia de datos mediante la curva masa doble consiste en graficar la precipitación acumulada de la estación base Aguililla en el eje de las ordenadas y localizar en el eje de las abscisas la precipitación media acumulada de las estaciones circundantes. Hecho lo anterior se identifica en la grafica algún cambio en la pendiente de línea recta que une los puntos de precipitación, si fuera así indicaría que existe un error en la toma de los datos o que la estación comenzó a operar en otras condiciones diferentes a partir del año en el que se presenta dicho cambio de pendiente.

5.7.2. LLENADO DE DATOS A PARTIR DE OTRA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Es frecuente que en un registro de precipitación falten datos de un cierto periodo, debido a diversos factores como ausencia del operador o fallas en el aparato registrador. En estos casos se pueden estimar los datos faltantes si se tienen registros simultáneos de algunas estaciones situadas cerca de la estación base y uniformemente repartidas.

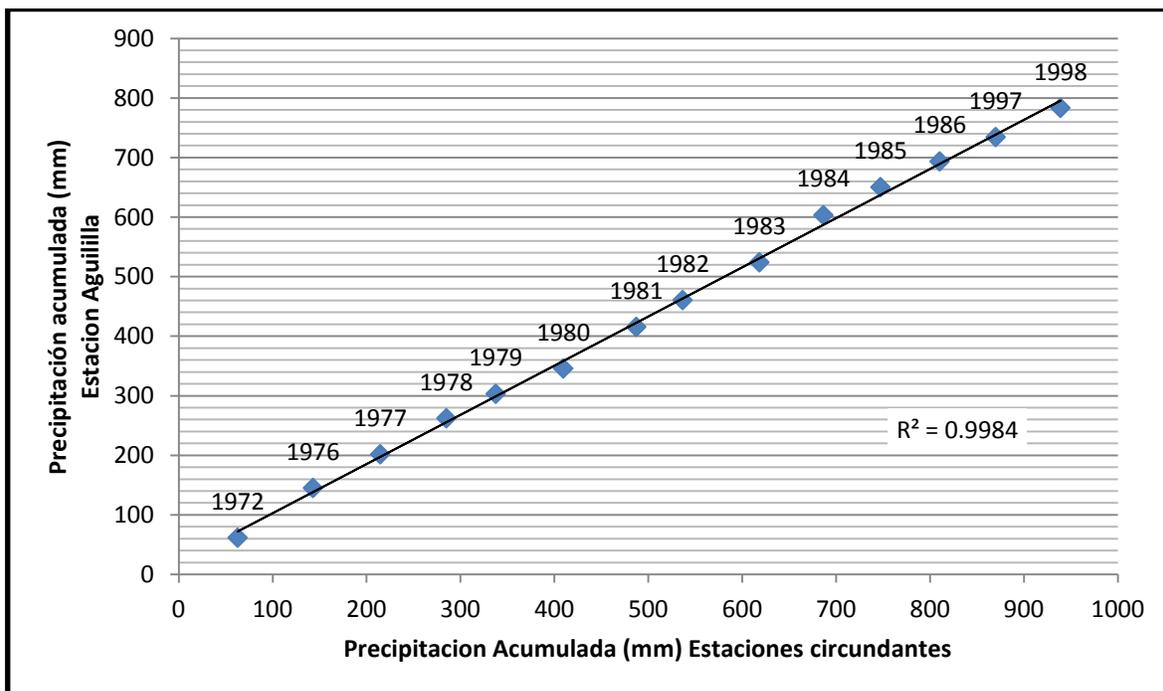
Una manera de hacerlo es mediante una gráfica donde se correlacionan las precipitaciones medidas en una estación cercana o el promedio de las medidas en varias estaciones circundantes con la registrada en la estación en estudio.

Una vez obtenida esta gráfica, y si la correlación es aceptable, bastaría conocer la precipitación en la estación más cercana, o bien la precipitación media en las estaciones circundantes consideradas en los días en cuestión para deducir los datos faltantes.

Para iniciar el llenado de datos es necesario conocer la correlación espacial mensual de la estación aguillilla frente a las estaciones circundantes. Para ello se establece un modelo de regresión lineal para cada estación.

5.7.3. RESULTADOS

En la siguiente grafica se observa la consistencia de datos entre la estación base Aguillilla y las estaciones circundantes, la cual muestra que los puntos se apegan a una línea recta, lo que nos indica que se tiene buena consistencia en los datos además fundamentado en el valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.9988$ el cual nos indica que mientras más cercano es a 1 mejor es la consistencia.



Consistencia de datos de la estación Aguillilla y las estaciones circundantes

La siguiente tabla muestra la matriz de correlación espacial mensual para cada estación, se considera que se puede hacer el llenado de datos si en la correlación se obtienen valores mayores o iguales a 0.8 de los valores indicados en la tabla se concluye que no es conveniente hacer el llenado de datos con ese criterio.

	Aguililla	El Cajón	Arteaga	Coalcomán
Aguililla	1	0.6834	0.5321	0.6518
Al Cajón		1	0.6609	0.6798
Arteaga			1	0.5623
Coalcomán				1

Correlación espacial mensual de las estaciones meteorológicas de la zona en estudio

Si bien el llenado de datos se puede hacer evaluando la precipitación media anual aquí se considera que los registros de la estación base son suficientes para ser utilizados en los métodos lluvia-escurrimiento o en la determinación del coeficiente de escurrimiento de la cuenca.

5.8. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

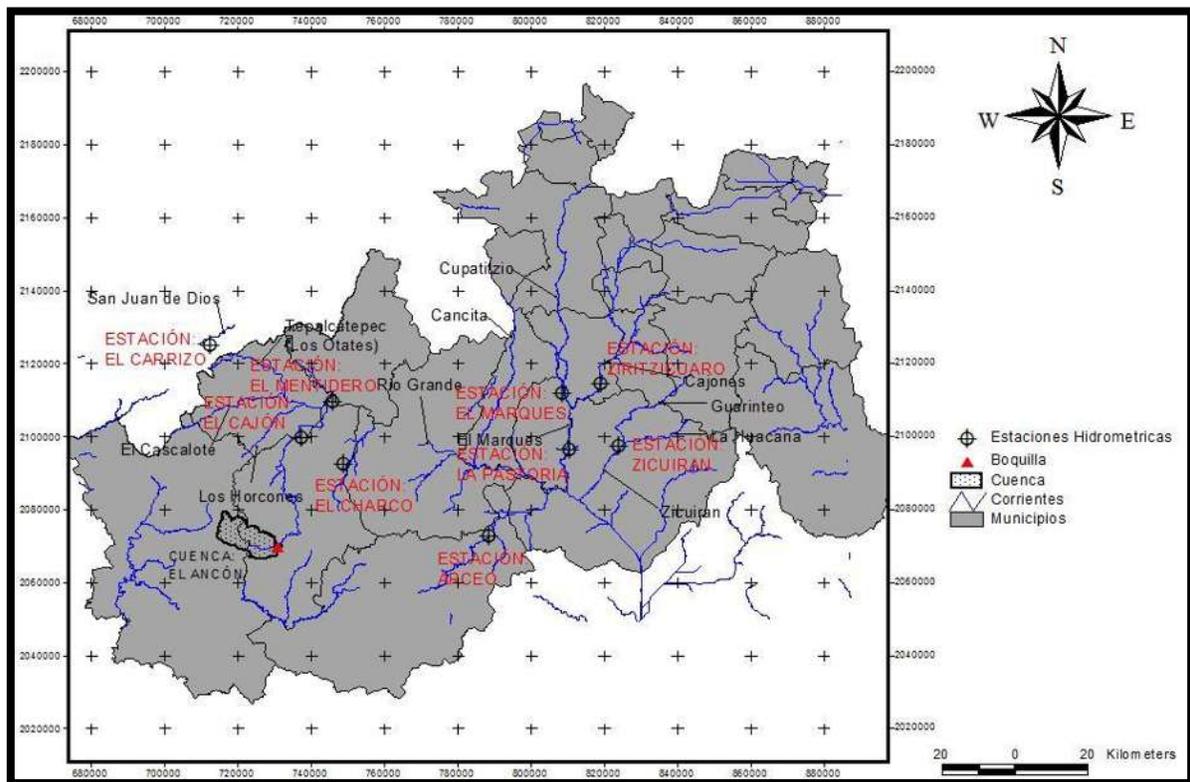
La identificación de las estaciones hidrométricas en la zona se hizo atendiendo a la localización geográfica de la zona de estudio.

A) FUENTES DE INFORMACIÓN Y ESTACIONES ENCONTRADAS.

Para la selección de estaciones se consultó del mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos SIAS (Sistema de Información de Aguas Superficiales). Las estaciones encontradas así como ubicación se muestran en la tabla y mapa siguiente.

NOMBRE	UBICACIÓN	
	Latitud	Longitud
Zirizicuaro	19°05'30"	101°58'24"
El Marques	19°04'10"	102°04'25"
La Pastoría	18°55'40"	102°55'40"
Zicuirán	18°56'10"	101°55'40"
El Mentidero	19°03'20"	102°40'10"
El Carrizo	19°11'55"	102°59'10"

Estaciones hidrométricas en la zona de estudio



Mapa de estaciones hidrométricas en la zona de estudio

B) CRITERIO DE SELECCIÓN Y ESTACIÓN SELECCIONADA.

La selección de la estación se hizo a partir de las premisas siguientes:

- Cercana y que pase por cauce principal.
- Sus registros contengan información reciente.
- El periodo de los registros sea suficientemente amplio o superior a 15 años.
- Registros con la menor cantidad de vacíos y evitar el llenado de datos para lograr un alto grado de confiabilidad en los mismos

Como se observa en el mapa de las estaciones hidrométricas no se encuentra ninguna estación cercana a la cuenca por lo que solo se trabaja con la estación meteorológica.

5.9. LLUVIA MEDIA DE LA CUENCA

5.9.1. DATOS DE PRECIPITACIÓN DE ESTACIONES ALREDEDOR DE LA CUENCA

La altura de la lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos, para cualquier estudio hidrológico es necesario conocer la lluvia media en una zona, para lo cual en todo el país se tienen distribuidas estaciones meteorológicas que miden la precipitación cada 24 horas.

Con las estaciones localizadas al rededor de la zona en estudio, se procede a la determinación de la lluvia media anual, la cual es obtenida a partir de un promedio de la precipitación anual, a continuación se muestra la tabla con las precipitaciones obtenidas.

CLAVE	ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN (mm)
16459	Aguililla	1,032.35
16003	El Cajón	884.83
16151	Arteaga	894.72
16008	Aquila	1,120.87
16154	Coalcomán	1,454.70

Precipitaciones medias anuales de las estaciones para la cuenca El Ancón

5.9.2. MÉTODOS CALCULO LLUVIA MEDIA

Para la determinación de esta lluvia fue necesaria la implementación de dos métodos, el método de los Polígonos de Thiessen y el método de las Isoyetas, tomando en consideración las estaciones anteriores.

A) POLÍGONOS THIESSEN

Este método trata de tomar en cuenta la distribución no uniforme de la estaciones en el area mediante una ponderación de cada una de ellas el método consiste en crear un mapa y unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí (estaciones circundantes). Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas, además se trazan líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos. Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto. Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas que forman los polígonos de Thiessen.

El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente. La lluvia media se calcula entonces

como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente utilizando la siguiente ecuación:

$$hp = \frac{1}{AT} \sum_{i=1}^n Ai * hpi$$

Donde:

hp lluvia media (mm)
AT Área total de la cuenca (Km²)
Ai Área de influencia de la estación n (Km²)
hpi Altura de la precipitación de la estación n (mm)

B) ISOYETAS

Este método consiste en trazar, con la información registrada de precipitación en las estaciones, líneas que unen puntos de igual altura de precipitación llamadas isoyetas, de modo semejante a como se trazan las curvas de nivel en topografía. La precipitación media se calcula con la siguiente ecuación:

$$hp = \frac{1}{AT} \sum_{i=1}^n Ai * hpi$$

Donde:

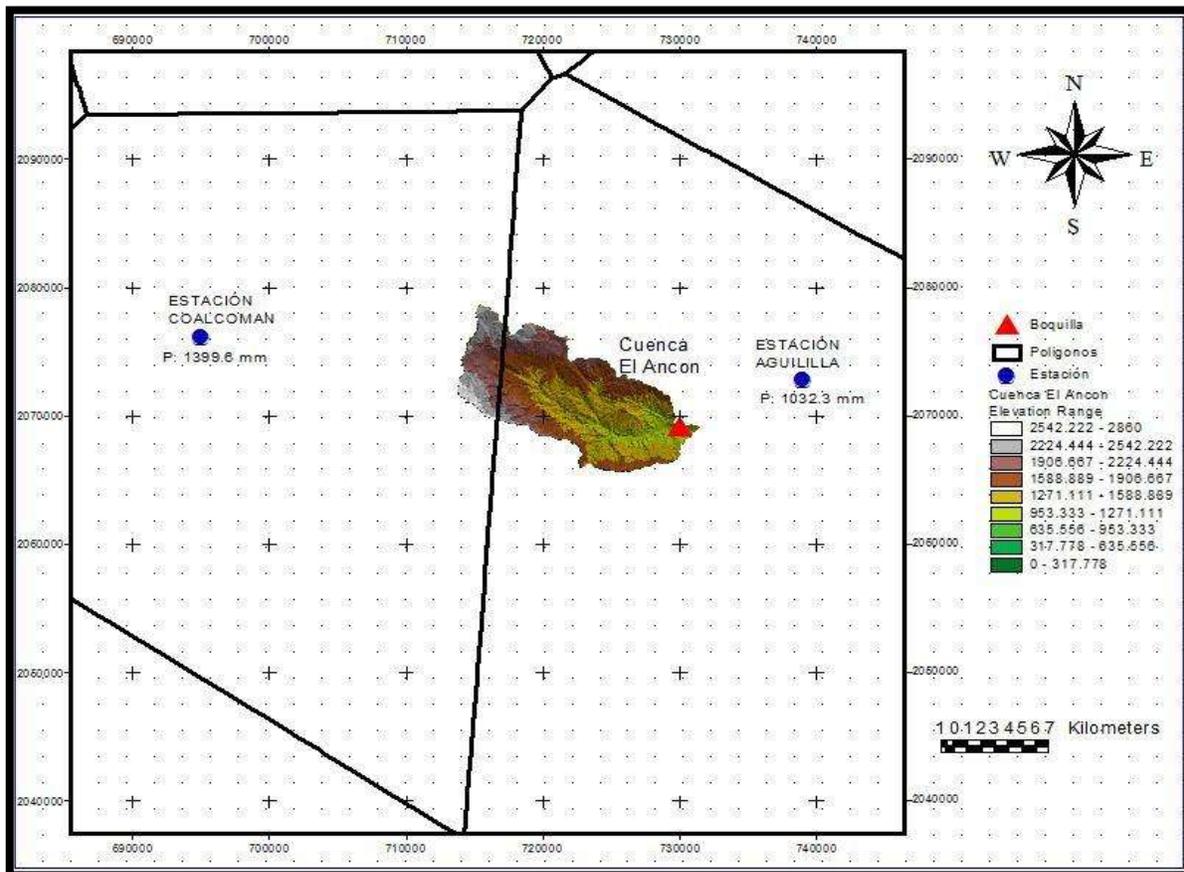
hp lluvia media (mm)
AT Área total de la cuenca (Km²)
Ai Área entre cada dos isoyetas y el parteaguas (Km²)
hpi Altura de la precipitación de la estación n (mm)

5.9.3. RESULTADOS

POLÍGONOS THIESEN

Ambos métodos se realizaron con rutinas del software ARCVIEW con las cartas vectoriales obtenidas de INEGI, ya que es mucho más rápido y ofrecen un menor margen de error.

En la siguiente figura se observa la estación Aguililla es la que mas area de influencia tiene sobre la cuenca



Polígonos Thiessen de las estaciones consideradas en la zona de estudio

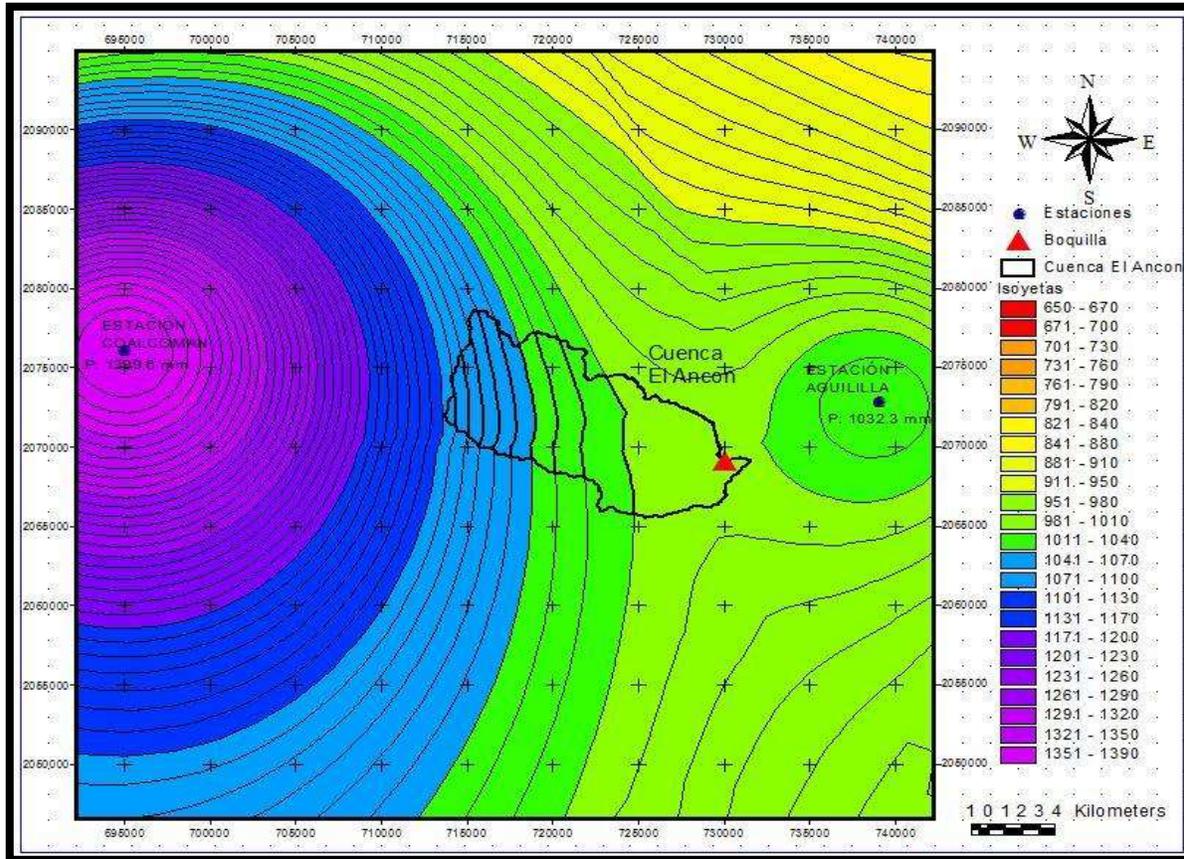
De acuerdo a la distribución de los Polígonos de Thiessen la precipitación media obtenida se muestra a continuación.

Clave	Estación	Precipitación (mm)	Área (Km ²)	A * P
16003	Aguililla	1032.3	97.136	100274.142
16154	Coalcomán	1399.6	19.7967	27707.4815
			Precipitación Media Anual	1094.48357 mm

Precipitación media anual calculada por el método de los Polígonos de Thiessen

ISOYETAS

En la figura siguiente se muestran la distribución de Isoyetas en la cuenca y las respectivas aéreas entre cada isoyeta y el parteaguas.



Isoyetas de precipitación en la cuenca El Ancón

Área (Km ²)	Área (%)	Precipitación (mm)	Precipitación*Área (%)
0.80	0.68	1100.00	7.51
3.21	2.75	1090.00	29.93
4.83	4.13	1080.00	44.60
7.12	6.09	1070.00	65.18
8.40	7.18	1060.00	76.15
8.18	6.99	1050.00	73.42
10.07	8.62	1040.00	89.60
13.39	11.45	1030.00	117.93
21.13	18.07	1020.00	184.28
39.81	34.04	1010.00	343.82
Precipitación media anual			1032.43 mm

Precipitación media anual en mm, calculada por el método de Isoyetas

RESUMEN DE MÉTODOS

En el siguiente recuadro se presenta el resumen de precipitación con los métodos descritos anteriormente.

Método	Precipitación (mm)
Polígonos de Thiessen	1094.48
Isoyetas	1032.43

Precipitación media anual de la cuenca.

5.10. VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL DE LA CUENCA

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

El escurrimiento se divide en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo.

Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan. Posteriormente, se comienzan a llenar las depresiones del terreno y, al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. Este escurrimiento, llamado flujo en la superficie del terreno, se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos (es decir, que no desaparecen entre dos tormentas sucesivas). En su trayectoria hacia la corriente más próxima, el agua que fluye sobre el terreno se sigue infiltrando, e incluso se evapora en pequeñas cantidades. Una vez que llega a un cauce bien definido se convierte en “escurrimiento en corrientes”.

El flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma el escurrimiento superficial. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial; la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina escurrimiento subterráneo.

De los tres tipos de escurrimiento, el superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca. Por ello está relacionado directamente con una tormenta particular y entonces se dice que proviene de la precipitación en exceso o efectiva y que constituye el escurrimiento directo.

Es de vital importancia calcular el escurrimiento ya que de ello depende en gran parte el diseño adecuado de la presa (capacidad, altura, funcionamiento hidráulico, volumen útil etc.)

El volumen medio anual de escurrimiento natural se determina indirectamente, en función de la fórmula dada por la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000. (Véase apartado 5.5)

El cálculo del volumen medio anual de escurrimiento natural se obtiene con el promedio de los volúmenes anuales de escurrimiento natural:

$$V_e = C_e * A * P$$

Donde:

- V_e Volumen medio anual de escurrimiento natural
 C_e Coeficiente de escurrimiento, en función del K de la cuenca y precipitación media anual
 A Área de la cuenca en m^2
 P Precipitación anual en mm.

5.10.1. CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

El coeficiente de escurrimiento (C_e) se determina a partir del tipo y uso de suelo, mediante el empleo de las cartas editadas por el INEGI y del conocimiento de la zona de estudio. Así, para nuestro caso se tiene un suelo tipo B y tipo C, y el suelo que predomina es el tipo C. el uso de suelo es: el uso de suelo el de bosque, espeso, normal, zona de pastizal, surcos rectos y zona urbana.

Con la consideración anterior y el valor del Parámetro K (apartado 5.5), el coeficiente de escurrimiento se puede determinar con alguna de las ecuaciones indicadas en la tabla siguiente:

K: PARÁMETRO QUE DEPENDE DEL TIPO Y USO DE SUELO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ANUAL (C_e)
Si K resulta menor o igual que 0,15	$C_e = K (P-250) / 2000$
Si K es mayor que 0,15	$C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0,15) / 1,5$

Fórmula para calcular el coeficiente de escurrimiento en función del parámetro K

Donde:

- P Precipitación anual expresada en mm
 C_e Coeficiente de escurrimiento.

5.10.2. RESULTADOS

La precipitación media anual considerada es la que se obtuvo según el método de las isoyetas resultando un valor de 1032.43 mm. En tanto que el coeficiente (K) se considera de 0.25, por lo tanto:

Coeficiente de escurrimiento (Ce)

K	P (mm)	Ce
0.25	1032.43	0.167

Coeficiente de escurrimiento de la cuenca

Volumen de escurrimiento directo (Ve)

P (mm)	A (km ²)	Ce	Ve (Mm ³)
1032.43	116.93	0.167	20.09

Volumen medio anual de la cuenca

El volumen de escurrimiento directo medio anual resulta ser de 20.09 Mm³, considerando solo la precipitación media anual de la cuenca

Si se considera la serie de precipitación total y la serie de Ce anuales correspondientes y área de la cuenca de 116.93 km² el volumen de escurrimiento directo medio anual se lista en la tabla siguiente:

Año	Precipitación (mm)	Ce	Ve (Mm ³ /año)
1945	950.50	0.16	17.35
1946	905.50	0.15	15.92
1947	1020.70	0.16	19.68
1948	860.40	0.14	14.56
1949	1069.10	0.17	21.38
1950	1258.00	0.19	28.65
1951	886.90	0.15	15.35
1952	1108.30	0.18	22.80
1953	601.20	0.11	7.88
1955	1319.80	0.20	31.26
1956	762.10	0.13	11.79
1959	1205.80	0.19	26.54
1960	705.90	0.13	10.34
1961	843.00	0.14	14.05
1962	1268.50	0.20	29.09
1963	847.20	0.14	14.17
1966	1234.00	0.19	27.67
1968	1729.60	0.25	51.40

Año	Precipitación (mm)	Ce	Ve (Mm ³ /anual)
1969	1104.10	0.18	22.64
1970	1170.80	0.18	25.16
1971	1098.00	0.17	22.42
1973	905.40	0.15	15.92
1974	1052.60	0.17	20.79
1976	1110.40	0.18	22.88
1977	823.90	0.14	13.50
1981	999.40	0.16	18.96
Volumen de escurrimiento (Mm³)			20.85

Volumen de escurrimiento directo medio anual

Si bien se aprecia diferencia entre el volumen medio anual y el volumen medio de la tabla anterior. Aquí se considera que el volumen de escurrimiento medio es el que se obtiene de la norma hidrológica de la Comisión Nacional del Agua $Ve=20.09 \text{ Mm}^3$.

5.11. GASTOS DE DISEÑO

La cuenca no cuenta con estaciones hidrométricas por tanto la determinación del gasto de diseño se realizara a partir de la precipitación.

5.11.1. CALCULO DE AVENIDAS DE DISEÑO A PARTIR DE DATOS DE PRECIPITACIÓN

De la estación base Aguililla se obtienen los datos o series de precipitación mensual y máxima 24 hrs que se muestra en la siguiente tabla:

AÑO	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 h (mm)
1945	950.5	66
1946	905.5	53
1947	1020.7	69
1948	860.4	106
1949	1069.1	103
1950	1258	60
1951	886.9	69
1952	1108.3	60
1953	601.2	48.5
1955	1319.8	75
1956	762.1	70
1959	1205.8	100

AÑO	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 h (mm)
1960	705.9	56
1961	843	60
1962	1268.5	72
1963	847.2	68
1966	1234	192.5
1968	1729.6	135
1969	1104.1	85
1970	1170.8	67
1971	1098	123
1973	905.4	75.1
1974	1052.6	66
1976	1110.4	88.6
1977	823.9	58.5
1981	999.4	70.2
MEDIA	1032.8	80.63

Series de precipitación media anual y máxima 24h de la estación base

5.11.2. TORMENTA DE DISEÑO (IDTR)

La tormenta de diseño, es uno de los datos de partida para el cálculo de las avenidas máximas. Por lo que es evidente la necesidad de tener una buena exactitud. La única manera de obtener información de la cantidad de precipitación que ocurre en una determinada cuenca, es el análisis de las tormentas que se hayan producido en la zona. Sin embargo, la información registrada de las series de datos de precipitación es limitada, disponiéndose de datos históricos de pocos años (para el caso en estudio se dispone de 26 años para la estación base) en comparación a la de los periodos de retorno habituales para el diseño de obras (2, 100, 1000 y 10,000). Por otro lado estos datos se corresponden a la precipitación que ocurre en 24 horas en una gran mayoría de casos, y como es el caso del presente estudio. Es por esta razón, que habría que ser muy prudente en el tratamiento estadístico de los datos de precipitación, así como en la conversión al contexto regional de cada cuenca. Hay diversas posibilidades para definir la tormenta de diseño, o histograma de diseño de cada cuenca:

Conocer el volumen total de precipitación (precipitación 24 horas o precipitación diaria: pd, registro de estaciones con pluviómetro), y luego construir el hietograma o tormenta de diseño, haciendo uso de técnicas desarrolladas para esta finalidad. El primer paso es analizar los datos de precipitación máxima 24 horas y ajustarlos a una función de distribución adecuada.

5.11.3. AJUSTE A DIVERSAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS.

Debido a la gran variabilidad de los datos de precipitación se hace necesario ajustarlos alguna función de distribución con la finalidad de tener los datos en forma mas homogénea, las funciones utilizadas son: Normal, Log-normal, Gumbel, exponencial, Gama y la Doble Gumbel.

El ajuste probabilístico se realizó con ayuda de software AX, (Ajustes Funciones de Probabilidad versión 1.05) creado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, Facultad de Ingeniería de la UNAM, dicho software analiza los datos históricos de precipitación máxima 24 horas y los ajusta a una distribución probabilística. En la siguiente figura se presenta la caratula de resumen de resultados con la función de distribución de mejor ajuste, y en ANEXO, se presentan los parámetros y cálculos para cada función de distribución, así como las ecuaciones que fundamentan las funciones.

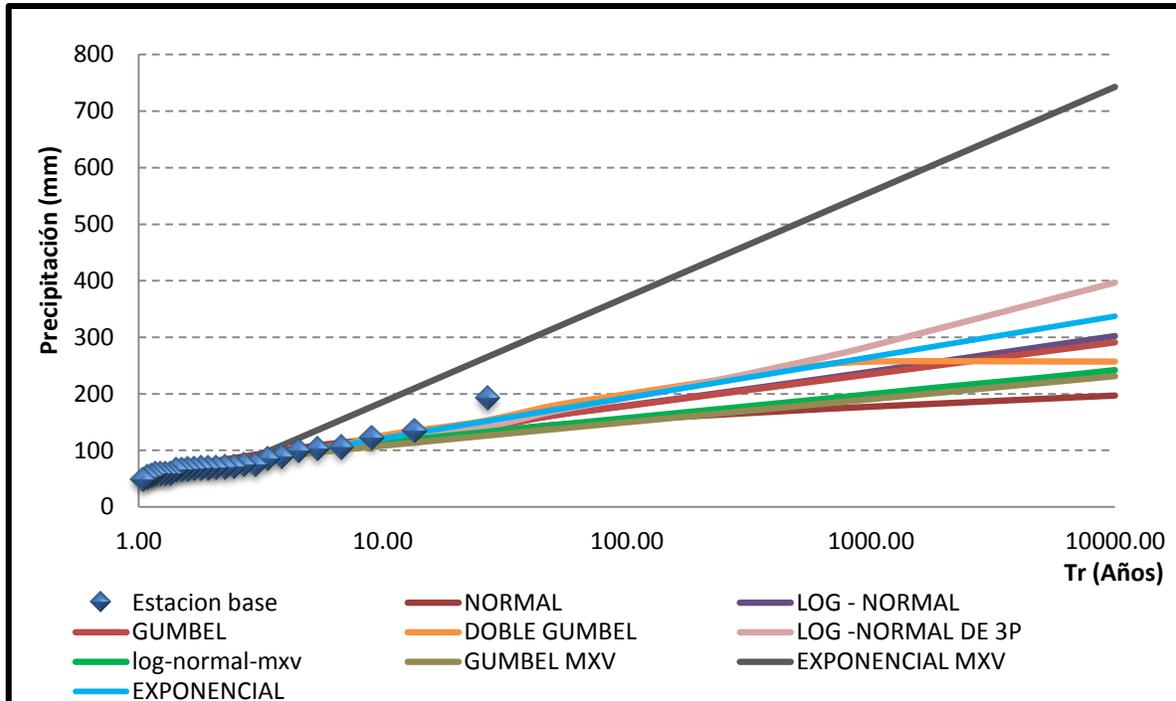
Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	16.198	-----	16.198	-----
Lognormal	11.798	10.177	14.172	90.723
Gumbel	11.717	-----	15.247	-----
Exponencial	9.059	-----	39.126	-----
Gamma	91.716	91.716	11111.000	11111.000
Doble Gumbel	7.669			

Mínimo error estándar: 7.669

Calculado por la función: Doble Gumbel

Errores estándar de las funciones de distribución, ajustada a la estación Aguililla.
Software AX

Del resultado obtenido y ajustado los datos a los periodos de retorno requeridos se puede apreciar de forma visual en la siguiente grafica la función que mejor ajusta a los datos de la estación base Aguillilla.



Ajuste de distribución de Precipitaciones máximas en mm para periodos de retorno de 0 a 10,000 años

La función de distribución que mejor ajusta es la Gumbel de dos poblaciones o doble Gumbel.

Tr (años)	PRECIPITACIÓN (mm) 24 Horas
2	70.04
5	95.17
10	126.33
25	158.04
50	179.25
100	199.61
200	219.57
500	245.72
1,000	257.04
10,000	257.04

Precipitación máxima 24 horas en mm, para la estación aguillilla

5.11.4. TRASLADO DE DATOS AL CENTRO DE GRAVEDAD

Se obtuvieron los datos de precipitación 24 horas con la función doble Gumbel pero es necesario hacer la transferencia de la información hidrológica de la estación base Aguililla al centro de gravedad de la cuenca. Para ello se emplean tres diferentes coeficientes.

1. Coeficiente de Transferencia por Posición, R1 o R2.

$$R1 = \frac{P_{cuenca_{CG}}}{P_{estacion\ base}} \quad (\text{CG centro de gravedad})$$

$$R2 = \frac{P_{cuenca_{Isoyetas}}}{P_{estacion\ base}}$$

2. Coeficiente de Transferencia por Área, R3

$$R3 = 1 - \frac{\text{Log } A}{15}$$

3. Coeficiente de Transferencia por Observación, R4.

$$R4 = 1.13$$

Al multiplicar los 3 coeficientes por la precipitación máxima 24 horas de la estación Aguililla se obtiene se obtiene la $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=2\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=100\text{años}}$...al centro de gravedad de la cuenca. En la siguiente tabla se muestran los resultados de dicha operación.

AGUILILLA		
CORRECCIÓN POSICIÓN	$P_{EB} =$	1032.35 mm
	$P_{cuenca_{(IS)}} =$	1032.43 mm
	$P_{cuenca_{(CG)}} =$	1035.63 mm
CORRECCIÓN POR ÁREA	R1	1.0032
	R2	1.0001
CORRECCIÓN POR OBSERVACIÓN	R3=	116.930 Km ² 0.8621
	R4=	1.13

Coeficientes de corrección para la cuenca

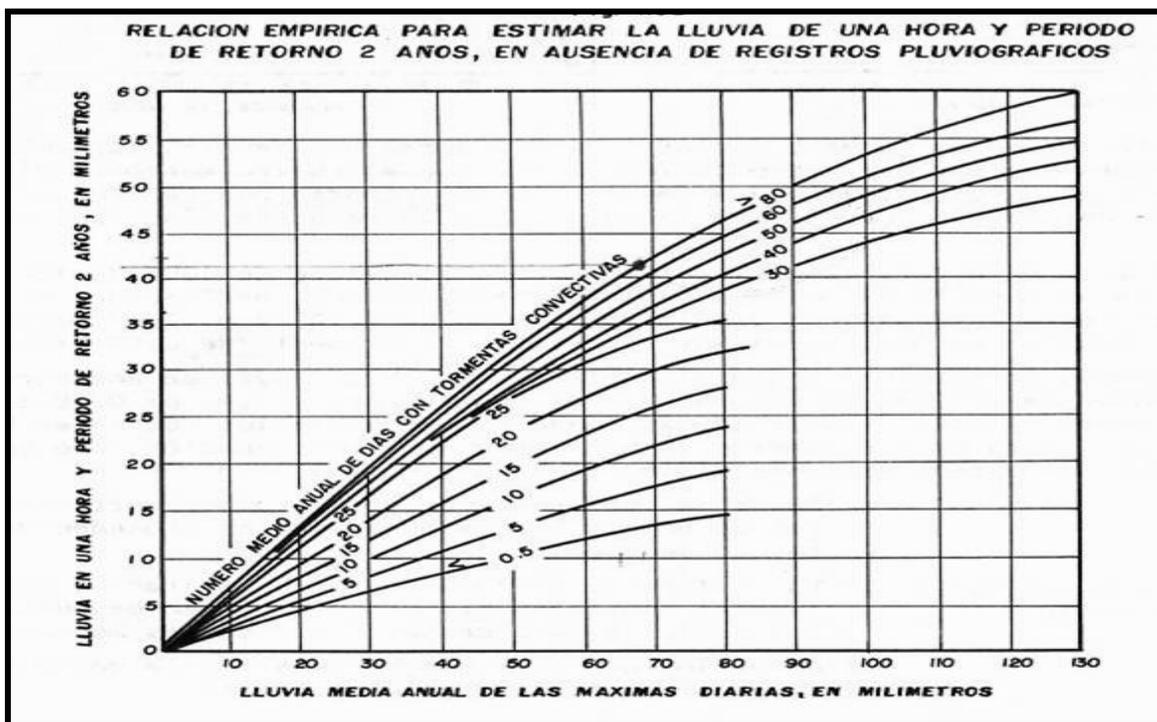
Tr	Precipitación (mm) Máxima 24 horas
2	68.45
5	93.01
10	123.46
25	154.45
50	175.18
100	195.08
200	214.59
500	240.14
1,000	251.21
10,000	251.21

Precipitación máxima 24 horas al centro de gravedad de la cuenca El Ancón

5.11.5. TRANSFORMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN O LLUVIA MÁXIMA 24 HORAS, A HORARIA

Se requiere conocer la intensidad de la precipitación asociada a una duración de tormenta, se procedió a transformar la precipitación máxima 24 horas, en registros de corta duración.

El criterio mas completo para la determinación de la lluvia a una hora y periodo de retorno de dos años es el propuesto por U.S. Weather Bureau el criterio se tiene en la siguiente tabla:



Relación empírica para estimar la lluvia de una hora y periodo de retorno 2 años

Las variables de la tabla anterior son: el número medio anual de días con lluvia mayor a 1 mm y la precipitación media anual de las máximas diarias, los cuales se obtiene de los datos de la estación Aguililla y se presentan en la siguiente tabla.

AÑO	Numero medio anual de días con lluvia
1945	66
1946	71
1947	76
1948	74
1949	69
1950	77
1951	58
1952	69
1953	58
1955	81
1956	78
1959	81
1960	60
1961	64
1962	79
1963	61
1966	85
1968	86
1969	74
1970	74
1971	72
1973	98
1974	86
1976	102
1977	87
1981	76
MEDIA	75.46

Numero medio anual de días con lluvia mayor a 1 mm

El número medio anual de días con precipitación mayor a 1 mm, para la estación Aguililla, es **75.46** y la precipitación media anual de las máximas diarias para la estación Aguililla, es de **80.63mm** (apartado 5.11.1). Con ambos valores se ingresa a la gráfica anterior y se obtiene la precipitación máxima para una duración de 1 hora y un periodo de retorno de dos años, igual a 47 mm., es decir

$$P_{d-1hora}^{Tr-2años} = 47mm$$

Con la precipitación máxima para una duración de 1 hora y un periodo de retorno de dos años, igual a 47 mm, es necesario definir un Cociente R para la cuenca, cociente que se define como la relación entre la precipitación de 1 hora y la precipitación 24 horas ambas para el mismo periodo de retorno. Se desarrolla a continuación el procedimiento de determinación del cociente R, así como su uso para la determinación de la precipitación horaria para los diferentes periodos de retorno.

- Se determina para la estación base Aguililla, la precipitación para una duración de 1 hora, para un periodo de retorno de 2 años, $P_{d=1hora}^{Tr=2años}$.
- Se determina el cociente R para la cuenca, $R = \frac{P_{d=1hora}^{Tr=2años}}{P_{d=24horas}^{Tr=2años}}$, donde $P_{d=24horas}^{Tr=2años}$, es la precipitación de 24 horas para un periodo de retorno de dos años, determinado para la cuenca, cuyo resultado es 68.45 mm. la $P_{d=1hora}^{Tr=2años}$, es la precipitación 1 hora para un periodo de retorno de dos años, determinado para la estación Aguililla (**47mm**). Resultando un $R=0.686$

De acuerdo a los estudios realizados por Daniel Francisco Campos Aranda (1999), para México encontró un valor promedio para el coeficiente R de 0.48, con valores extremos de 0.7 y 0.2. Siendo luego los valores del coeficiente R, adoptados para la cuenca en estudio aceptable.

- Se determina la precipitación para una duración $d=1$ hora, para los diferentes periodos de retorno propuestos y para las diferentes cuencas, como sigue:

$$\text{Cuenca Ancón} \quad Pp_{d=1h}^{Tr} = 0.686P_{d=24h}^{Tr}$$

Obteniendo así:

Tr (años)	Precipitación Máxima (mm)	
	1 hora	24 horas
2	47.00	68.45
5	63.86	93.01
10	84.77	123.46
25	106.05	154.45
50	120.28	175.18
100	133.95	195.08
200	147.34	214.59
500	164.89	240.14
1,000	172.49	251.21
10,000	172.49	251.21

Precipitación a 1 h y 24 h para diferentes periodos de retorno

5.11.6. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO (I-D-TR)

Las curvas I-d-Tr representan una forma conjunta de las tres variables con las cuales se define la lluvia: la relación de la magnitud (intensidad), duración y periodo de retorno, y resultan al unir los puntos representados por dichas variables. Estas curvas son un elemento básico en el cálculo de las avenidas de diseño, las cuales a su vez se utilizan en el dimensionamiento de estructuras hidráulicas tales como: puentes, alcantarillas, bordos, drenajes pluviales urbanos, canales y presas, razón de este estudio.

Los registros de lluvias de corta duración son escasos en México; sin embargo, los de lluvias máximas diarias cuentan con una gran densidad de periodos de registro aceptables, por lo cual, la lluvia con una duración de una hora y un periodo de retorno de dos años, se podrá estimar con una relación a la de 24 horas con igual periodo de retorno.

Procedimiento

Los valores obtenidos en la tabla anterior (apartado 5.11.5) se realizó una interpolación entre los valores de precipitación de 1 hora y la precipitación de 24 horas para cada periodo de retorno. Los resultados de la interpolación se presentan en el ANEXO.

Con los valores de precipitación máxima de 1 hora a 24 si procede a obtener la intensidad de lluvia.

La lluvia se presenta en función del tiempo, por lo que la intensidad de la lluvia es directamente proporcional a la altura de precipitación e inversamente proporcional al tiempo. Por cual podemos definir la intensidad de la lluvia "I" en mm/hr. Mediante la relación siguiente:

$$I_t^{Tr} = \frac{P_t^{Tr}}{t}$$

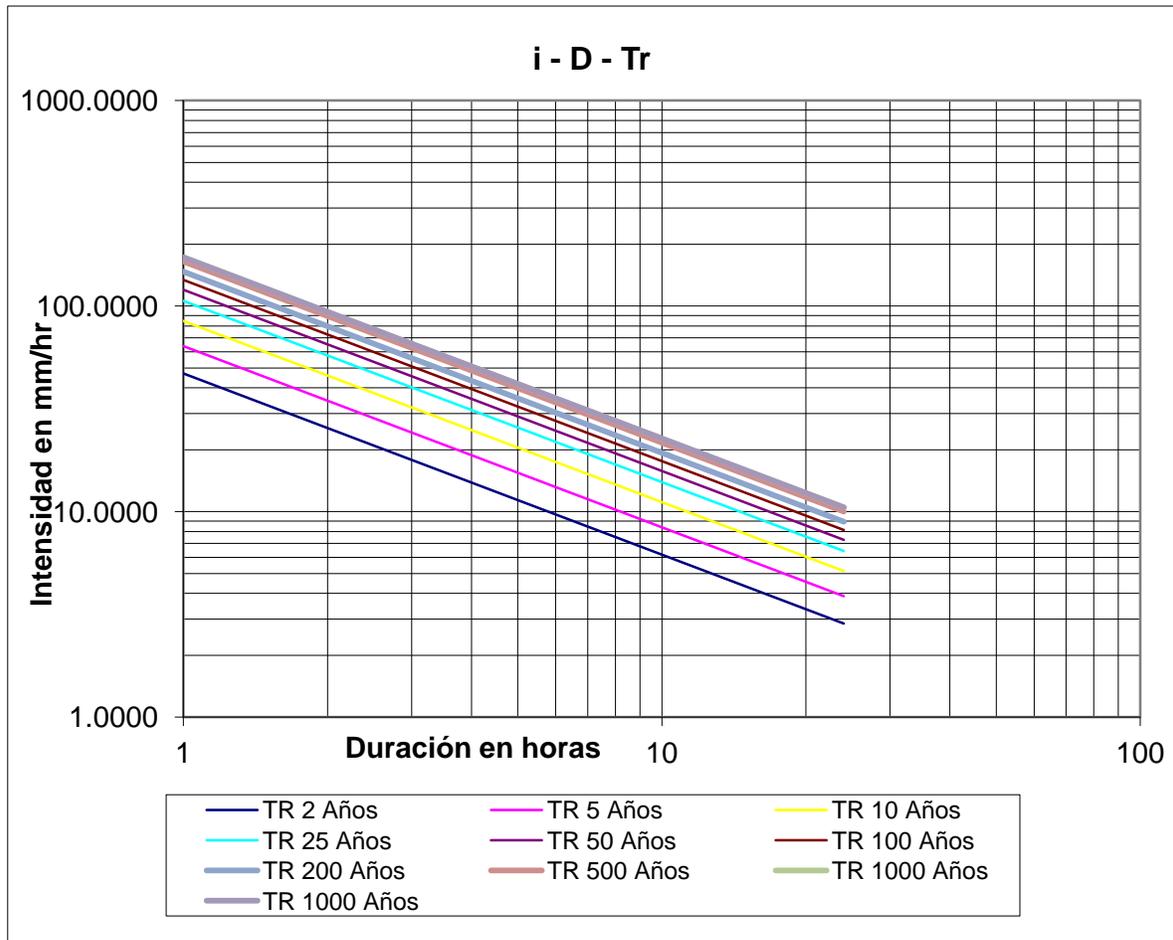
Donde:

I_t^{Tr} Es Intensidad de la lluvia en mm/hr, para un periodo de retorno Tr en años y t una duración en horas.

P_t^{Tr} Es Altura de precipitación en mm, para un periodo de retorno Tr en años y una duración de la tormenta t en minutos.

t Es la duración de la tormenta en horas.

El resultado del cálculo de la intensidad se presenta en el Anexo Finalmente se genera una grafica logarítmica con los datos de intensidad, duración y periodos de retorno.



Curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (I-D-TR)

Aquí solo queda recordar que la duración de una tormenta de diseño, se debe seleccionar de acuerdo al tiempo de concentración de la cuenca, esto es la duración de la precipitación máxima se hace generalmente igual al tiempo de concentración.

5.12. MÉTODOS LLUVIA-ESCURRIMIENTO

Cuando se tiene información de lluvia solamente se procede a aplicar un modelo de lluvia – escurrimiento a fin de poder determinar el gasto pico de la avenida correspondiente, lo que permite definir políticas de operación de las obras hidráulicas. En este estudio se evaluaron varios métodos cuya descripción se desarrolla en este apartado y más adelante se emplean los métodos para la cuenca en estudio.

5.12.1. MÉTODOS EMPÍRICOS

Dentro del grupo de métodos empíricos que se aplicaron a la cuenca, se tiene el Método Racional y el Método de Envolventes.

i) MÉTODO RACIONAL

Es el método de más uso, por su facilidad de uso y los buenos resultados que proporciona, si se verifican las hipótesis en que se basa la formulación.

El método calcula el gasto máximo de la escorrentía de una precipitación en exceso de intensidad (i) y que cae sobre una cuenca con una superficie (A_c), que ocurre de manera instantánea y es constante durante un tiempo mínimo, igual al tiempo de concentración de la cuenca, (t_c). Si la precipitación en exceso es igual a la precipitación que ocurre en la cuenca (equivalente a precipitación interceptada $P_o=0$), el gasto máximo sería $Q_p=iA_c$. Sin embargo, la existencia de detracción de agua o precipitación interceptada, hace necesario considerarla mediante un coeficiente de escorrentía denominado C , calculado con la NOM011. Este coeficiente toma valores de 0 a 1

$$Q_p = 0.278 CiA$$

Donde:

- Q_p Gasto punta, en m^3/s
- C Coeficiente de escorrentía, adimensional
- i intensidad de la precipitación, mm/h (se obtiene de Curva I_dTr , para $d=t_c$ y diferentes Tr)
- A superficie de la cuenca, en Km^2 (se obtiene en apartado anterior)

ii) MÉTODO DE ENVOLVENTES

Este método toma en cuenta sólo el área de la cuenca, siendo este de enorme utilidad en los casos en que se requieran sólo estimaciones gruesas de los gastos máximos probables, o bien cuando se carezca casi por completo de información.

FORMULA DE CREAGER

Este método se emplea para obtener una idea preliminar sobre el gasto máximo ya que en el intervienen únicamente variables las características físicas de la cuenca.

Este método proporciona el gasto de diseño en función del área de la cuenca y de un coeficiente que depende de la región hidrológica en donde se encuentre la cuenca. La idea fundamental de estos métodos es relacionar el gasto máximo Q con el área de la cuenca A_c en la forma:

$$Q_p = q A$$

$$q = 1.303 C_c (0.386 A_c)^\alpha A^{-1}$$

Donde:

Q_p Gasto de diseño m^3/s

q Gasto máximo por unidad de área en $m^3/s\text{-km}^2$

$$\alpha = \frac{0.936}{A^{0.048}}$$

C_c Coeficiente empírico de Creager

A Área de la cuenca en km^2

FÓRMULA DE LOWRY

Este método se basa en el mismo procedimiento que el de Creager, diferenciándose en la ecuación que define a la envolvente en los gastos máximos, la cual es más sencilla en el método de Lowry, la ecuación es la siguiente:

$$Q_p = q A$$

$$q = \frac{C_L}{(A + 259)^{0.85}}$$

Donde:

C_L es un coeficiente empírico.

Los valores de C_c y C_L se determinan por regiones, llevando a una grafica logarítmica los gastos unitarios máximos (q).

5.12.2. MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Dentro del grupo de métodos hidrológicos que se emplean a la cuenca se tienen, el método del Hidrograma Unitario Triangular y el método de Chow; todos los métodos hidrológicos utilizados se identifican como métodos de Hidrograma Unitario Sintético.

i) MÉTODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

El hidrograma unitario triangular es desarrollado por el Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, se aplica a cuencas pequeñas y homogéneas y produce resultados aceptables en el cálculo de caudales de creciente generados por escorrentía.

Además es el hidrograma de escorrentía directa en el punto de salida de la cuenca, generada por una precipitación en exceso de 1 mm., uniforme en toda la cuenca, durante un tiempo D de duración efectiva o en exceso.

$$Q_t = q_p P_e$$

Donde:

Q_t Gasto de diseño, en m^3/s
 q_p Gasto unitario pico, en $m^3/s/mm$

$$q_p = \frac{0.208A}{t_p}$$

A Superficie de la cuenca, en km^2 (se obtiene del estudio geomorfológico)
 t_p Tiempo pico, en horas

$$t_p = \frac{D}{2} + 0.6t_c$$

t_c Tiempo de concentración, en horas (se obtiene al inicio de este apartado)
D Duración en exceso o efectiva de la tormenta, en horas
 P_e Precipitación en exceso, en cm

$$\sum P_e = 0 \quad \text{si} \quad \sum P \leq P_o$$

$$\sum P_e = \frac{(\sum P - P_o)^2}{\sum P + 4P_o} \quad \text{si} \quad \sum P > P_o$$

ΣP Precipitación acumulada para el instante considerado, en cm.
 ΣP_e Precipitación acumulada en exceso, en cm.
 P_o Precipitación interceptada, en cm.

$$P_o = \frac{508}{N} - 5.08$$

N Número de escurrimiento (N)

ii) MÉTODO DE CHOW

Se aplica cuando el área de la cuenca sea menor o igual a 250 km². El cálculo del gasto pico se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Q_p = q_p P_e$$

Donde:

Q_p Gasto Pico, en m³/s

q_p Gasto unitario pico, en m³/s/mm.

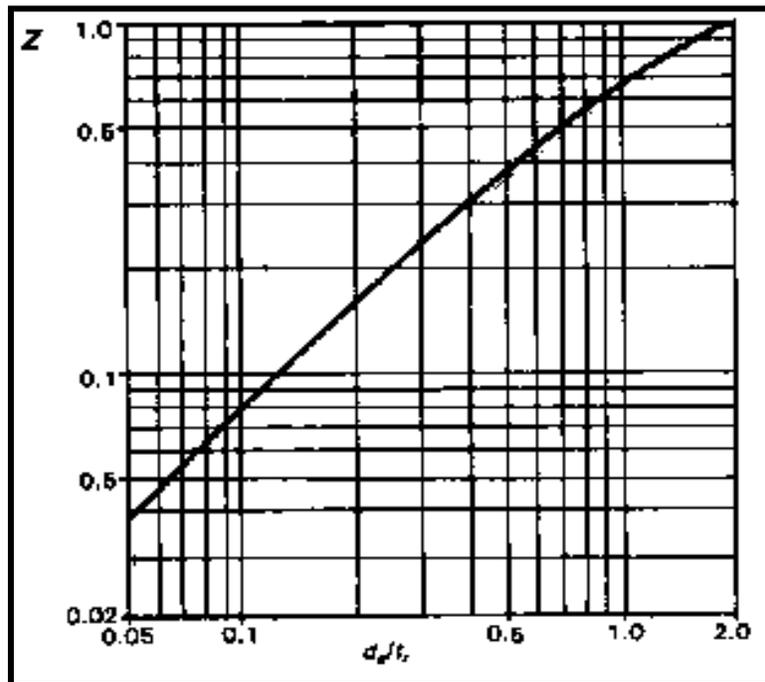
$$q_p = \frac{0.278A}{D} Z$$

A Superficie de la cuenca, en km² (se obtiene del estudio geomorfológico)

D Duración en exceso o efectiva de la tormenta, en horas

Z Factor de reducción del pico, adimensional, se obtiene de grafica en función de la duración y del tiempo de retraso.

$$Z = f(D, t_r)$$



t_r Tiempo de retraso, en horas

$$t_r = 0.005 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$$

- L Longitud del cauce principal, en m
 S Pendiente del cauce principal, en %
 P_e Precipitación en exceso, en cm

$$\sum P_e = \frac{\left[\sum P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{\sum P + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

- P Precipitación acumulada para el instante considerado, en cm.
 N Número de escurrimiento (N)

A) GASTO MÁXIMOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.

Empleando los diferentes métodos presentados en el apartado anterior se obtienen los gastos máximos de la cuenca, para los periodos de retorno seleccionados. Los resultados de cada uno de los métodos se presentan en la siguiente Tabla y los cálculos en el ANEXO.

Gastos Máximos río Aguililla con diferentes métodos y diferentes periodos de retorno es:

MÉTODO EMPLEADO	PERIODO DE RETORNO (años)			
	2	100	1,000	10,000
	Q máximo (m ³ /s)			
Racional	254.20	724.44	932.87	932.87
Creaguer	2,224.15			
Lowry	3,368.64			
Chow	61.71	740.88	1,145.90	1,145.90
Hidrograma Unitario	89.0	946.2	1,436.0	1,436.0

B) FORMA DE AVENIDA Tr= 10,000 años.

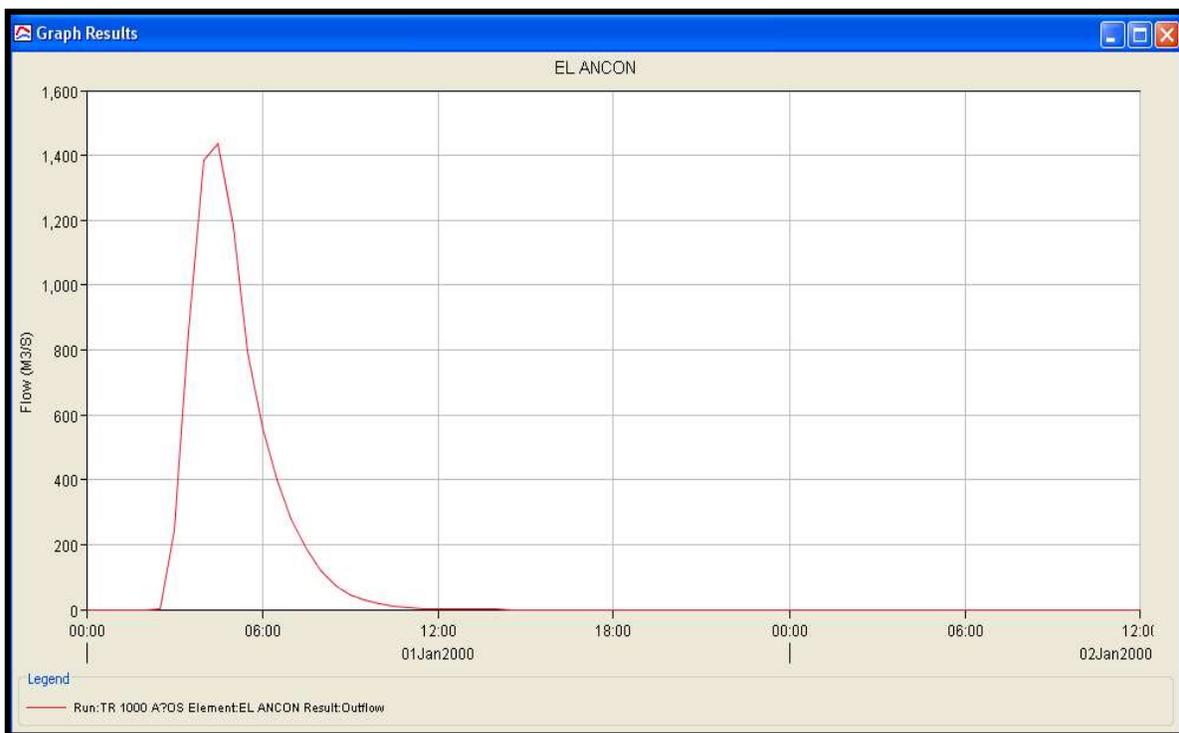
La determinación del gasto de diseño, para los diferentes métodos, se realizó en hojas de cálculo de Excel, adicionalmente el método del hidrograma unitario se realizó con rutinas en el programa HEC HMS.

Los datos ingresados fueron los siguientes:

Tiempo (horas)	Incremento ordenado mm
0 a 0.5	2.585
0.5 a 1	2.851
1 a 1.5	4.191
1.5 a 2	5.008
2 a 2.5	13.579
2.5 a 3	158.906
3 a 3.5	8.475
3.5 a 4	6.265
4 a 4.5	3.615
4.5 a 5	3.185
5 a 5.5	2.366
5.5 a 6	2.183

Datos ingresados en el HEC HMS

En la figura se muestra la evolución de la avenida para un periodo de retorno de 10, 000 años conocido como Hidrograma de la avenida.



Hidrograma de la avenida para periodo de retorno de 10, 000 años.

5.13. RESUMEN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA

Área , en km ²	116.93
Longitud cauce principal , en km	21.67
Pendiente media Cauce Principal, en %	1.91
Perímetro de la cuenca, en km	57.93
Longitud Axial, en km	17.5107
Pendiente media de la cuenca, en %	33.64
Orden de corrientes	4
Índice de forma	0.381
Coefficiente de Compacidad	1.51
Relación de elongación	0.696
Elevación media, en msnm	1,728.26
Densidad de drenaje, en km/km ²	0.76

Características geomorfológicas de la cuenca

Se considera una cuenca pequeña ya que es menor de 250 km², donde la cantidad y distribución del escurrimiento dependen principalmente de las condiciones físicas del suelo, así como su cobertura.

El índice de forma de la cuenca nos indica una cuenca alargada, afectando a la respuesta hidrológica (disminuyendo).

El coeficiente de compacidad cercano a 1, indica una respuesta hidrológica más rápida. La cuenca presenta un índice de compacidad superior a 1, pero no tan lejano, indicando también que su respuesta hidrológica no es muy rápida, es difusa. Pero su caudal punto es más acusado.

La Relación de elongación de 0.69 nos indica una cuenca asociada a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

Otra propiedad que identifica a las cuencas, es la pendiente media, las cuencas de mayores pendientes tienen una escorrentía veloz y su hidrograma, tienden a responder más rápidamente a la precipitación. La pendiente de 33%, se puede considerar alta en la cuenca.

La densidad de drenaje, nos indica un desarrollo limitado de la red de drenaje, pocas ramificaciones, esto depende de la geología, características topográficas y de las condiciones climatológicas.

Esta baja densidad de drenaje, unido a una baja densidad de corrientes, nos indica que el sustrato rocoso es permeable.

ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA

La precipitación media de la cuenca se determinó con dos métodos polígonos de Thiessen e isoyetas los resultados se muestran en la siguiente tabla

Método	Precipitación (mm)
Polígonos de Thiessen	1094.48
Isoyetas	1032.43

Precipitación media de la cuenca

ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO

El volumen de escurrimiento se determinó con la Norma Oficial Mexicana, los resultados se muestran en la siguiente tabla

Coefficiente de escurrimiento (C_e)

K	P (mm)	C_e
0.25	1032.43	0.167

Coefficiente de escurrimiento de la cuenca

Volumen de escurrimiento directo (V_e)

P (mm)	A (km ²)	C_e	V_e (Mm ³)
1032.43	116.93	0.167	20.09

Volumen medio anual de la cuenca

El volumen de escurrimiento directo medio anual resulta ser de 20.09 Mm³.

ANÁLISIS DEL GASTO DE DISEÑO

Gastos Máximos río Aguililla con diferentes métodos y diferentes periodos de retorno es:

MÉTODO EMPLEADO	PERIODO DE RETORNO (años)			
	2	100	1,000	10,000
	Q máximo (m ³ /s)			
Racional	254.20	724.44	932.87	932.87
Creaguer	2,224.15			
Lowry	3,368.64			
Chow	61.71	740.88	1,145.90	1,145.90
Hidrograma Unitario	89.0	946.2	1,436.0	1,436.0

5.14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cuenca el Ancon se localiza entre Aguililla y Coalcoman, la presa se encuentra en el municipio de Aguililla, la cuenca tiene un área de 116.93 km² la precipitación media de la cuenca es de 1032.43 mm y el cauce principal es el Río Aguililla con una longitud de 21.66 km.

El volumen de escurrimiento directo anual es de 20.09 Mm³ con un gasto de diseño de 1,436 m³/s el cual se obtuvo con el Hidrograma Unitario.

Para que estas características de la cuenca no se vean afectadas es recomendable no deforestar la zona ni crear nuevos asentamientos urbanos ya que esto afectaría considerablemente la disponibilidad del agua.

6. ESTUDIO DE DEMANDAS.

Aquí se considera que la demanda está constituida por los volúmenes de agua para riego, requerimiento ecológico, uso urbano y aprovechamiento hidroeléctrico, en ese orden de prioridad. En los párrafos que siguen se define la magnitud de cada uno de ellos.

6.1. DEMANDA AGRICOLA.

El estudio de la demanda de agua para riego permite identificar, comparar y analizar la diferencia obtenida entre la demanda, el suministro y el consumo de agua para riego en cada unidad de superficie, a su vez nos permite la determinación del área de riego para cubrir de manera óptima la necesidad de agua y de esta manera poder satisfacer en la temporada de estiaje el riego en su totalidad.

El área agrícola es uno de los sectores más demandantes de agua, por lo cual se debe de tener en consideración los posibles cultivos para determinar la cantidad de agua a utilizar y de esta manera tener un abastecimiento óptimo, tomando en consideración las temperaturas.

Para determinar las demandas de riego se debe realizar con base en las especificaciones de los cultivos (usos consuntivos), la magnitud de las pérdidas por conducción y la eficiencia de aplicación del riego. Los cálculos dependen de un gran número de factores entre los cuales destacan las características climatológicas de la zona, las variedades de cultivos, el tipo de suelos, prácticas de riego y los sistemas de conducción, distribución y/o aplicación del agua.

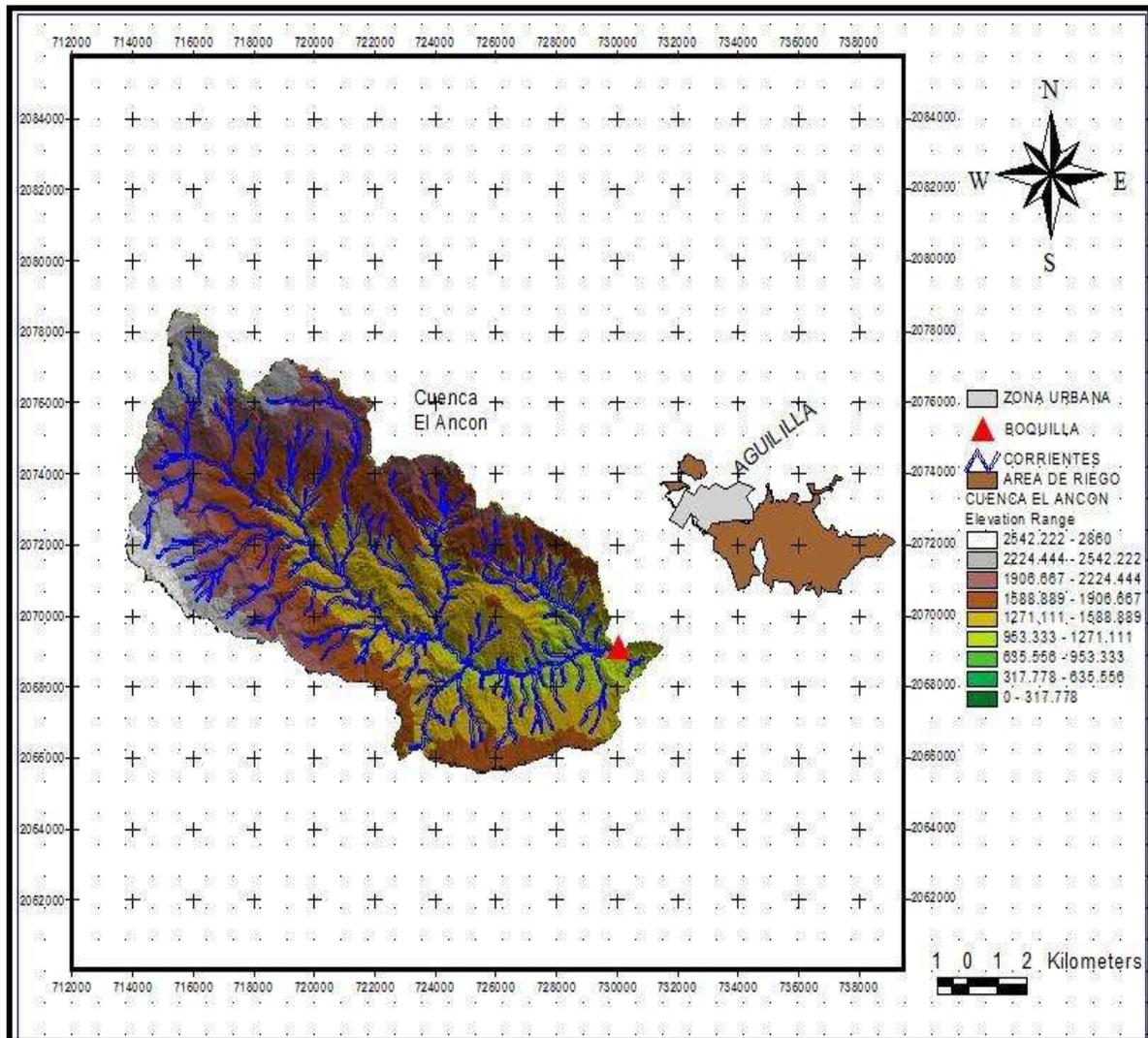
6.1.1. MATERIALES

Para el estudio de la demanda agrícola es necesario contar con las cartas topográficas, de uso y tipo de suelo mencionadas anteriormente para zonificar el área de riego a beneficiar, además de los datos meteorológicos de la estación más cercana a la zona de riego.

6.1.2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

A) IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA POTENCIAL DE RIEGO

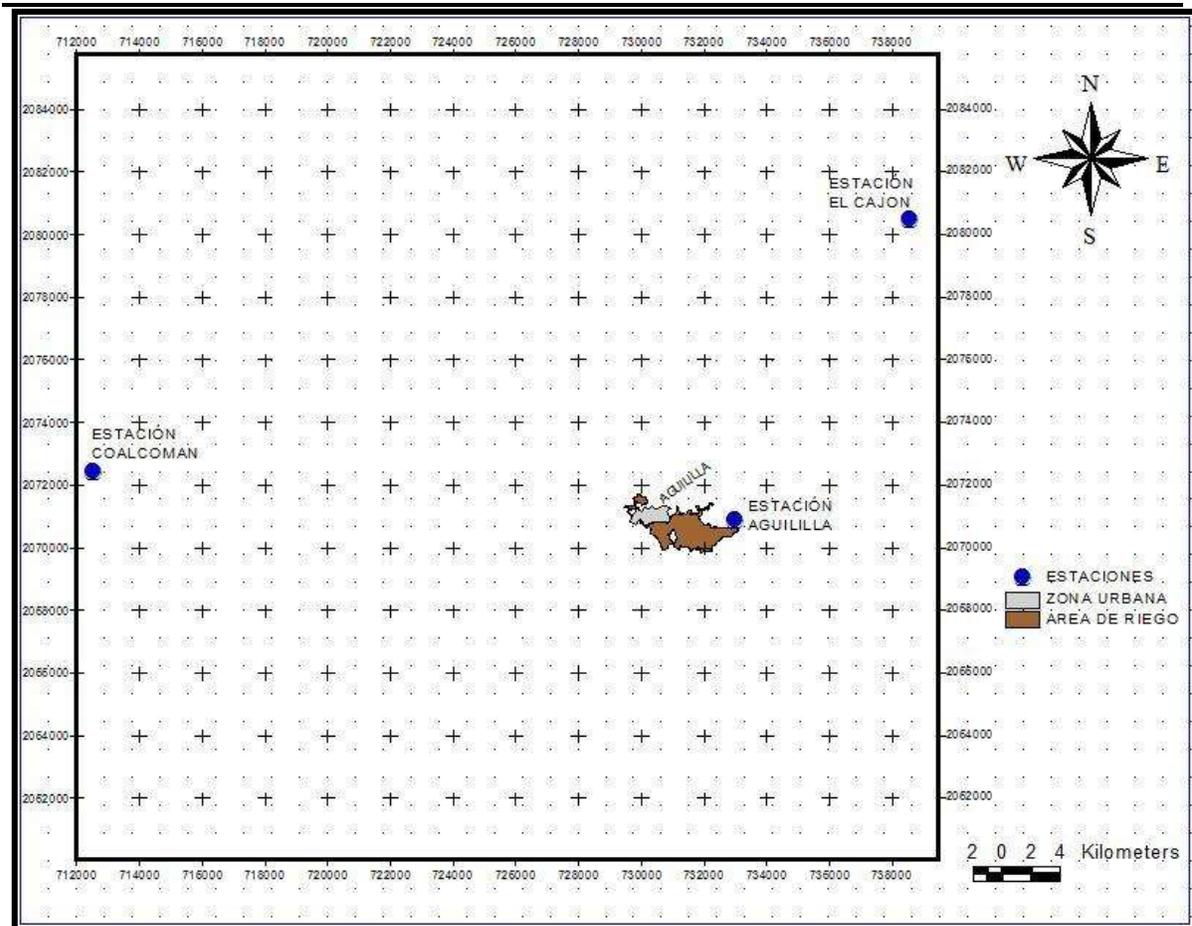
Los cálculos del estudio de demanda se establecen a partir de la unidad territorial de área de riego, definida a partir de la topografía. La topografía influye directamente en la determinación del área de riego por gravedad, teniendo en cuenta esta consideración se determina la zona potencial de riego con ayuda del programa ARCVIEW. Resultando un área de 1000 hectáreas como se puede observar en la siguiente figura.



Zona de riego de la cuenca El Ancón.

B) DATOS METEOROLÓGICOS.

Para el cálculo de las necesidades teóricas de agua de los cultivos se selecciona una estación meteorológica cercana al área en estudio, como se puede observar en la siguiente figura. La estación Aguillilla es la más cercana.



Estaciones climatológicas cercanas al área de riego de la Cuenca El Ancón.

La información de los datos de temperatura de la estación Aguillilla fue obtenida de la base de datos del CLICOM producido por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en la siguiente tabla se muestran las Temperaturas Medias obtenidas para cada mes.

Numero	Mes	Temperatura °C
1	Enero	17.53
2	Febrero	18.01
3	Marzo	19.75
4	Abril	21.71
5	Mayo	22.39
6	Junio	22.34
7	Julio	21.18
8	Agosto	21.15
9	Septiembre	21.03
10	Octubre	21.23
11	Noviembre	19.72
12	Diciembre	18.35

Temperaturas Medias para la estación Aguillilla.

C) DATOS DE LLUVIA EFECTIVA.

La lluvia efectiva también conocida como precipitación en exceso, es la fracción de la precipitación que contribuye a satisfacer las necesidades hídricas brutas de los cultivos para su desarrollo óptimo.

Existen diferentes criterios para estimar la precipitación efectiva, según se consideren de mayor a menor peso los diferentes factores que intervienen en el aprovechamiento de la precipitación caída.

Entre ellos se pueden citar el del porcentaje fijo y el propuesto por U.S. Soil Conservation Service llamado método de los números de escurrimiento. A continuación se explican ambos métodos:

Método del porcentaje fijo:

$$Pe_1 = Ce * P$$

Donde:

Ce Coeficiente de escurrimiento
P Precipitación media en mm
Pe Precipitación en exceso, en mm

Método de los números de escurrimiento

Este método calcula la precipitación efectiva en función de precipitación media mensual y el número de escurrimiento (N) con la siguiente ecuación:

$$Pe_2 = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P + \frac{2032}{N} + 20.32}$$

Donde:

P Es la precipitación en centímetros
N Es el numero de escurrimiento (apartado 5.3)
Pe Precipitación en exceso, en mm

Resultados de ambos métodos:

Método del porcentaje fijo para las precipitaciones medias, siendo el Coeficiente de Escurrimiento (C_e) para la cuenca de 0.17 (apartado 5.10.2).

MES	Precipitación Media (P) (mm)	Lluvia Media Efectiva (Pe_1) (mm)
ENERO	3.75	0.6375
FEBRERO	1.94	0.3298
MARZO	4.63	0.7871
ABRIL	8.17	1.3889
MAYO	19.47	3.3099
JUNIO	195.73	33.2741
JULIO	236.67	40.2339
AGOSTO	194.52	33.0684
SEPTIEMBRE	188.36	32.0212
OCTUBRE	152.19	25.8723
NOVIEMBRE	21.24	3.6108
DICIEMBRE	6.16	1.0472

Muestra la lluvia media efectiva para cada mes.

Método de el numero de escurrimiento para las precipitaciones medias, siendo el numero de Escurrimiento (N) para la cuenca de 68.51

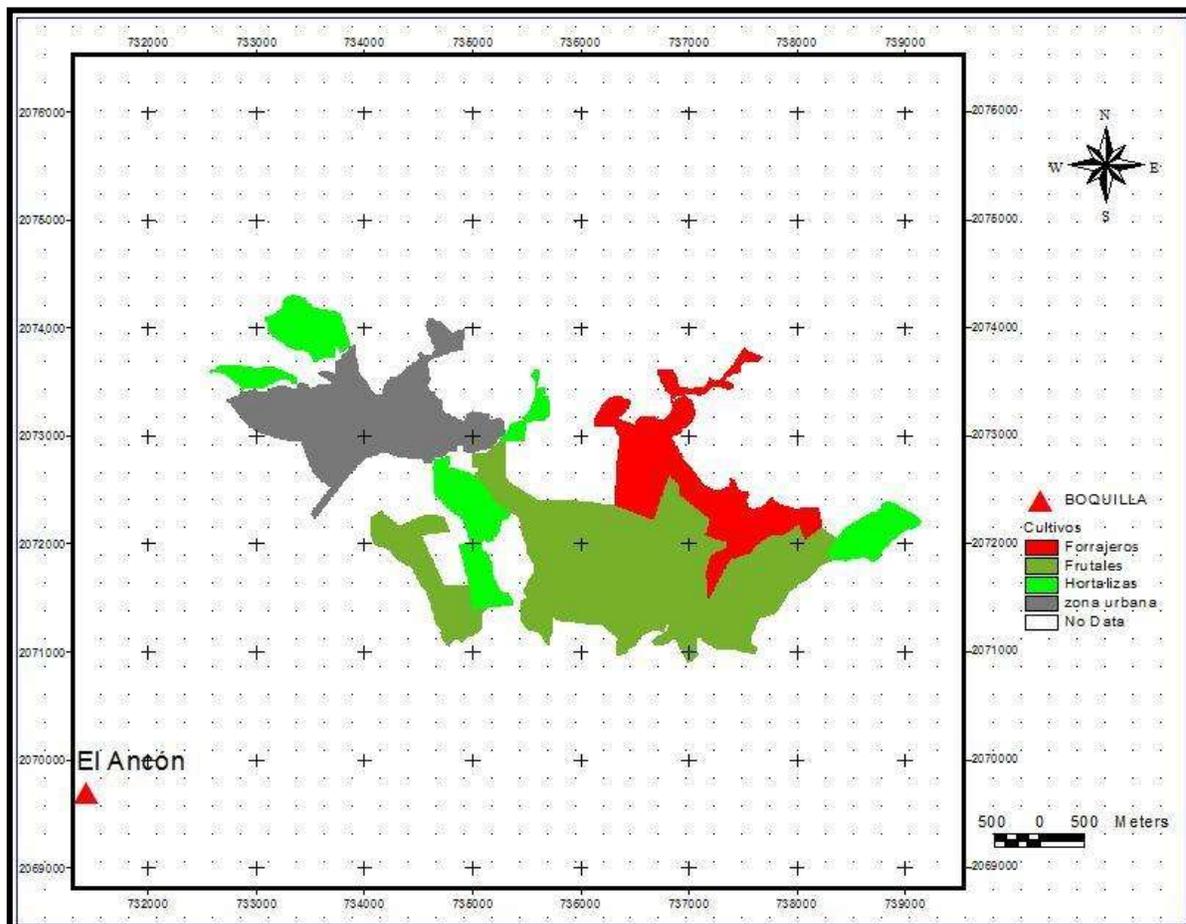
MES	Precipitación Media (P) (mm)	Lluvia Media Efectiva (Pe_2) (mm)
ENERO	3.75	0.40
FEBRERO	1.94	0.48
MARZO	4.63	0.36
ABRIL	8.17	0.23
MAYO	19.47	0.01
JUNIO	195.73	10.28
JULIO	236.67	13.79
AGOSTO	194.52	10.18
SEPTIEMBRE	188.36	9.66
OCTUBRE	152.19	6.76
NOVIEMBRE	21.24	0.1
DICIEMBRE	6.16	0.3

D) REGIMEN DE LAS DEMANDAS PARA RIEGO.

Teniendo en consideración la localización geográfica y el clima del lugar se buscó una distribución de cultivos apta para la zona de riego, siendo la siguiente:

- 60% del área regable para árboles frutales propios de la región (Mango, Toronja, Limón, Papaya, Plátano, etc). Considerándose el cultivo Limón para la zona de riego el Ancón.
- 20% del área regable para cultivos forrajeros (Sorgo, Maíz, etc). Considerándose los cultivos de Sorgo y Maíz para la zona regable el Ancón.
- 20% del área regable para hortalizas (Jitomate, Pepino, etc). Para la zona de riego se considera Jitomate.

En la siguiente figura se muestra la distribución del régimen de las demandas para riego.



Régimen de demandas por área y tipo de cultivo.

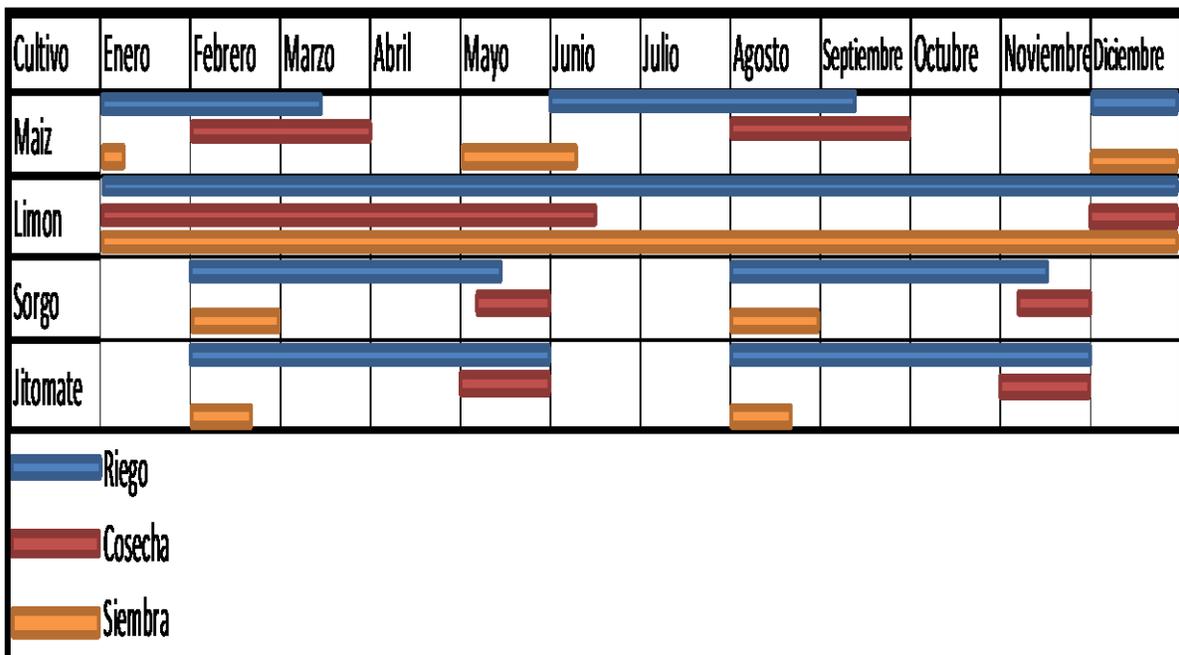
En la siguiente tabla se muestran las aéreas de cada cultivo, cuantificadas con el programa ARCVIEW.

Cultivo General	Cultivo Particular	Área (he)
Frutales	Limón	600
Hortalizas	Jitomate	200
Forrajeros	Maíz	100
	Sorgo	100
Suma		1,000

Área por cultivo.

E) PROGRAMA DE CULTIVOS O PLAN DE CULTIVOS.

El calendario de riegos corresponde a la estimación mensual de las láminas de riego que son necesarias para un desarrollo óptimo de cada una de las plantas que integran el llamado Plan de Cultivos. Tomando en consideración los diferentes cultivos en el área de riego y teniendo en cuenta los tiempos de siembra, riego y cosecha se generó el siguiente Plan de Cultivo para la zona de riego de la Presa El Ancón.



Plan de Cultivos.

F) USOS CONSUNTIVOS O NECESIDADES HÍDRICAS.**i) GENERALIDADES**

La determinación de las necesidades de agua de un cultivo pueden hacerse por diversos métodos, los de mayor uso son los recomendados por la FAO (Food and Agriculture Organization) entre los que se pueden citar el Blaney-Criddle, de la Radiación, de Penman, de Turc y de Thornthwaite, entre otros en México los que con mayor frecuencia se usan son el de Thornthwaite y el de Blaney-Criddle, fundamentalmente por la disponibilidad de información requerida.

El uso consuntivo corresponde a las demandas reales de los cultivos durante su crecimiento y desarrollo, o periodo vegetativo, también es conocido como evapotranspiración. La evapotranspiración es una consideración de dos procesos diferentes, la evaporación y la transpiración, el conocimiento de este factor es determinante en el sistema de obras de almacenamiento y distribución.

Las necesidades hídricas o uso consuntivo posteriormente se transforman en las demandas o volúmenes para riego, al tomar en cuenta las eficiencias o pérdidas que ocurren en la conducción desde la fuente de abastecimiento hasta la parcela, más la eficiencia o pérdidas debidas a la aplicación o riego propiamente dicho. Todo ello conduce a una estimación de los volúmenes de extracción mensual cuando la fuente es una presa de almacenamiento, o bien en los volúmenes de bombeo cuando la fuente es un acuífero.

ii) CALCULO DE USO CONSUNTIVO.

Para la determinación del uso consuntivo se utilizan 2 métodos, el método de Thornthwaite y el de Blaney-Criddle.

METODO DE THORTNWAITE.

Este método toma principalmente en cuenta la temperatura media mensual. Fue desarrollado en el año 1944, calcula el uso consuntivo mensual mediante la fórmula siguiente:

$$U_j = 1.6K_a \left(\frac{10T_j}{I} \right)^a$$

Donde:

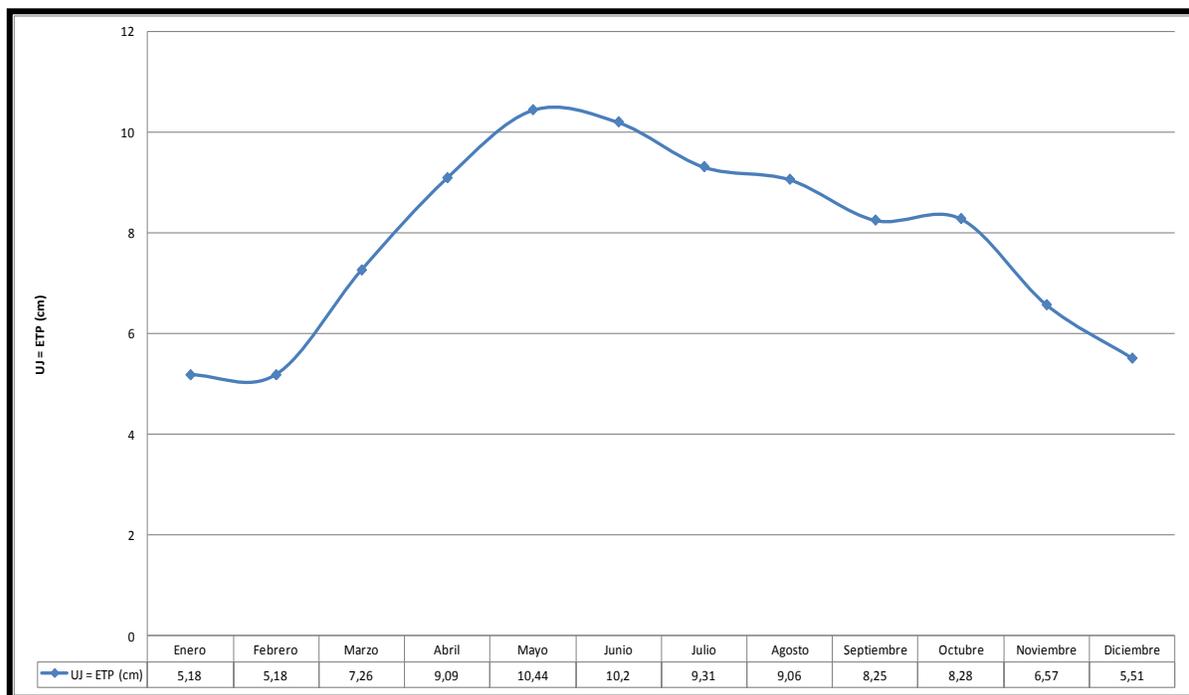
- U_j Uso consuntivo en el mes j, en cm (Tabla siguiente)
- T_j Temperatura media en el mes j, en °C (Tabla al inicio del apartado)
- a, I Constantes (Cálculo constantes en ANEXO)
- K_a Constante que depende de la latitud y el mes del año (vease ANEXO)

El resultado de la evapotranspiración para cada mes se encuentra en la siguiente tabla:

Mes	Evapotranspiración Uj (cm)
Enero	5.18
Febrero	5.18
Marzo	7.26
Abril	9.09
Mayo	10.44
Junio	10.20
Julio	9.31
Agosto	9.06
Septiembre	8.25
Octubre	8.28
Noviembre	6.57
Diciembre	5.51

Evapotranspiración mensual para el área de riego de la cuenca El Ancón.

En la siguiente figura se muestra la gráfica de la evapotranspiración.



Evapotranspiración por el método Thortnwaite.

METODO DE BLANEY-CRIDDLE.

Este método toma en cuenta además de la temperatura, las horas de sol diarias, el tipo de cultivo, la duración de su ciclo vegetativo, la temporada de siembra y la zona. Así la evapotranspiración se obtiene a partir de la fórmula siguiente:

$$ETP_i = K_g F_i$$

Donde:

ETP_i Es la evapotranspiración durante el periodo i .

F Factor de temperatura y luminosidad.

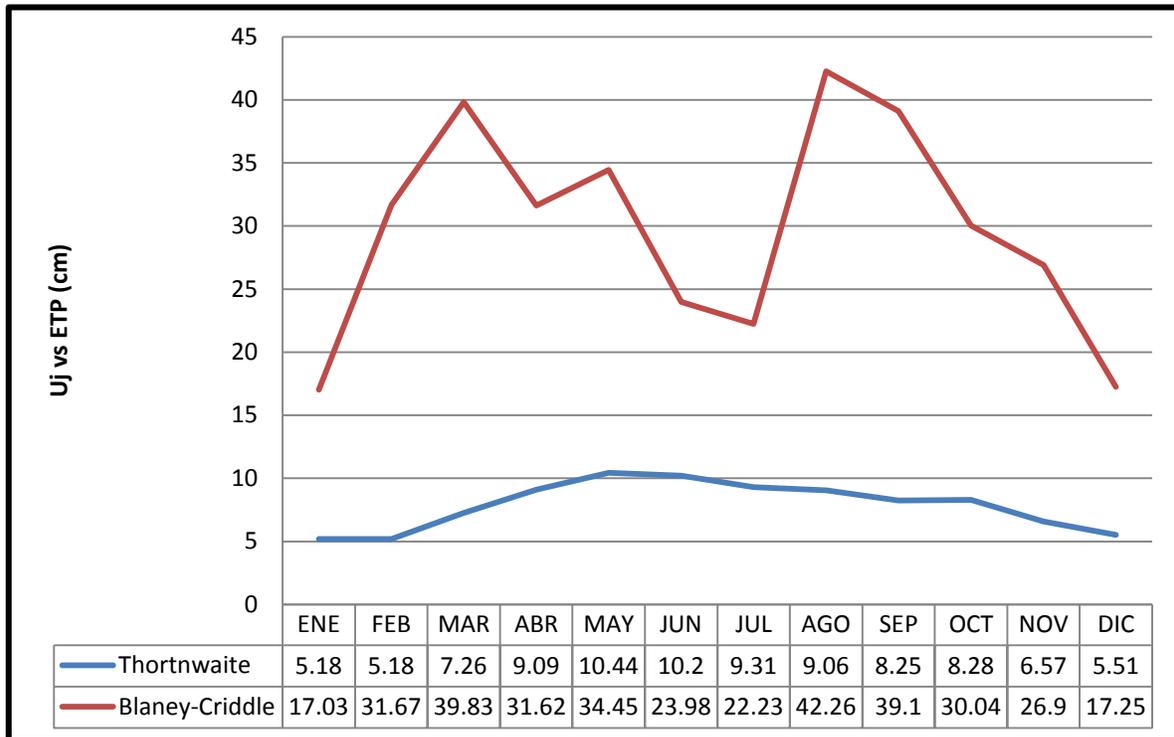
K_g Coeficiente de desarrollo parcial (Coeficiente global de desarrollo).

En la siguiente tabla se muestra el factor de temperatura y luminosidad (F), el coeficiente de desarrollo parcial (K_g) (tablas en anexo) y la evapotranspiración calculada (ETP).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
F	12.61	11.95	14.48	15.43	16.80	16.54	16.47	15.95	14.75	14.66	13.12	12.78
Cultivo	Maíz	Maíz	Maíz			Maíz	Maíz	Maíz	Maíz			Maíz
Kg	0.6	0.6	0.7			0.7	0.6	0.6	0.6			0.6
ETP (mm)	75.67	71.7	101.39			115.76	98.79	95.68	88.52			76.65
Cultivo	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón
Kg	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
ETP (mm)	94.59	89.63	108.63	115.7	126.02	124.03	123.49	119.6	110.65	109.92	98.4	95.81
Cultivo		Sorgo	Sorgo	Sorgo	Sorgo			Sorgo	Sorgo	Sorgo	Sorgo	
Kg		0.7	0.7	0.7	0.7			0.7	0.7	0.7	0.7	
ETP (mm)		83.66	101.39	107.98	117.62			111.63	103.27	102.59	91.84	
Cultivo		Jitomate	Jitomate	Jitomate	Jitomate			Jitomate	Jitomate	Jitomate	Jitomate	
Kg		0.6	0.6	0.6	0.6			0.6	0.6	0.6	0.6	
ETP (mm)		71.7	86.9	92.56	100.81			95.68	88.52	87.93	78.72	
Etp Mensual												
(cm)	17.03	31.67	39.83	31.62	34.45	23.98	22.23	42.26	39.1	30.04	26.9	17.25

Evapotranspiración mensual y por cultivo.

La gráfica siguiente muestra los resultados obtenidos a partir de los dos métodos utilizados.



Comparativa de evapotranspiraciones.

iii) NECESIDADES NETAS DE RIEGO.

Las necesidades netas de riego vienen dadas por las variables: uso consuntivo y aportaciones de la precipitación efectiva. Así, la lámina neta de riego se obtiene como:

$$LN = \text{Lámina Neta} = (ETP - Pe)$$

Donde:

LN Necesidades netas del riego

ETP Evapotranspiración en mm

Pe Precipitación en Exceso en mm (inciso C de este apartado)

Al multiplicar las necesidades por el área de riego se obtiene el volumen neto de riego es decir:

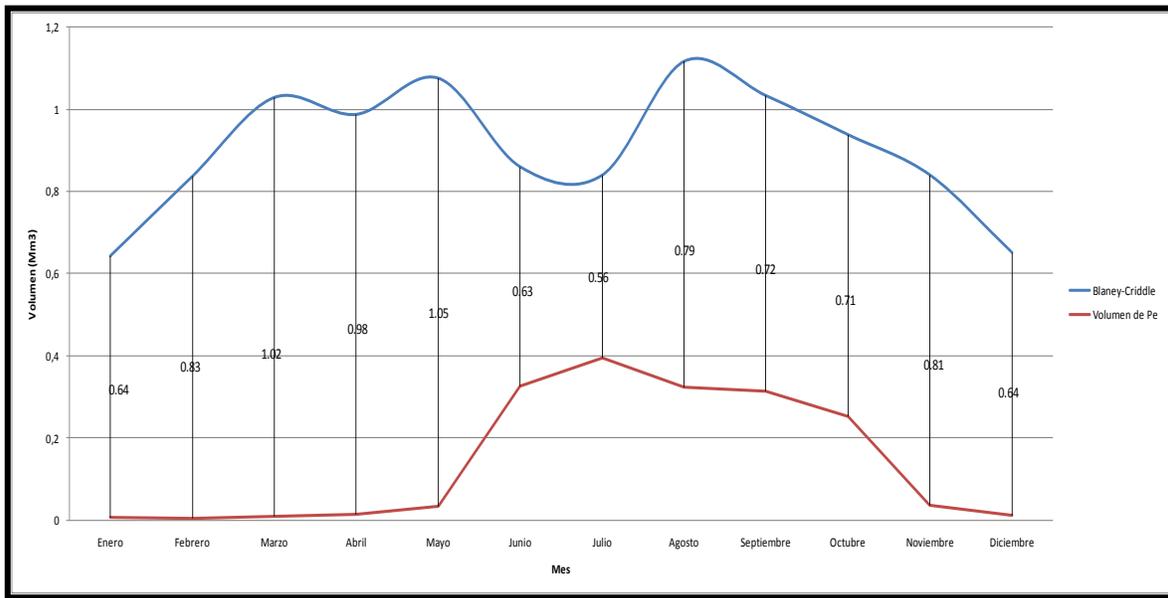
$$LN = ((ETP - Pe_2) / 1000) * (10000 * 100) = Mm^3$$

Así pues para todos los cultivos mes a mes tenemos en la tabla siguiente los resultados.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cultivo	Maíz	Maíz	Maíz			Maíz	Maíz	Maíz	Maíz			Maíz
Área (hectáreas)	100	100	100			100	100	100	100			100
ETP-Pe (mm)	75.27	71.22	101.03			105.48	85.00	85.50	78.86			76.35
Lámina (m3)	75275	71219	101033			105483	85003	85504	78856			76353
Cultivo	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón	Limón
Área (hectáreas)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
ETP-Pe (mm)	94.19	89.15	108.27	115.47	126.01	113.75	109.70	109.42	100.99	103.16	98.40	95.51
Lámina (m3)	565167	534895	649635	692839	756040	682516	658220	656543	605918	618965	590377	573079
Cultivo		Sorgo	Sorgo	Sorgo	Sorgo			Sorgo	Sorgo	Sorgo	Sorgo	
Área (hectáreas)		100	100	100	100			100	100	100	100	
ETP-Pe (mm)		83.18	101.03	107.75	117.61			101.45	93.61	95.83	91.836	
Lámina (m3)		83179	101033	107753	117607			101454	93606	95831	91836	
Cultivo		Jitomate	Jitomate	Jitomate	Jitomate			Jitomate	Jitomate	Jitomate	Jitomate	
Área (hectáreas)		200	200	200	200			200	200	200	200	
ETP-Pe		71.22	86.54	92.33	100.80			85.50	78.86	81.17	78.72	
Lámina (m3)		142438	173085	184666	201593			171008	157713	162342	157432	
Volumen Neto (Mm3)	0.64	0.83	1.02	0.99	1.08	0.79	0.79	1.01	0.94	0.88	0.84	0.65
Volumen Neto (Mm3)							10.46					

Necesidades de agua

De forma gráfica la evolución mensual de tales volúmenes se muestra a continuación.



Volumen neto mensual.

En tanto que la lámina de riego es la cantidad de agua medida en (mm), requerida por un cultivo para su desarrollo.

Al multiplicar este valor por la superficie de riego se obtiene el volumen potencial de riego demandado por el cultivo. Es decir:

$$\text{Volumen de riego} = \text{ETP} \cdot A$$

Los resultados de dicha operación se muestran en la tabla siguiente:

Cultivo	Área (ha)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Maíz	100	0.08	0.07	0.10			0.11	0.09	0.09	0.08			0.08
(Mm ³ /mes)													
Limón	600	0.57	0.53	0.65	0.69	0.76	0.68	0.66	0.66	0.61	0.62	0.59	0.57
(Mm ³ /mes)													
sorgo	100		0.08	0.10	0.11	0.12			0.10	0.09	0.10	0.09	
(Mm ³ /mes)													
Jitomate	200		0.14	0.17	0.18	0.20			0.17	0.16	0.16	0.16	
(Mm ³ /mes)													
SUMA	1000	0.64	0.83	1.02	0.99	1.08	0.79	0.79	1.01	0.94	0.88	0.84	0.65
(Mm ³ /mes)													
Total (Mm³/año)							10.46						

Volumen potencial de agua por mes y cultivo.

iv) EFICIENCIA RIEGO.

La eficiencia de riego es distinta según el tipo de sistema de riego que se utiliza. Esto debido a las diferentes características que presentan las redes de gravedad y a presión. Aquí se consideran eficiencias típicas de los sistemas de gravedad.

De manera general, cuando se estiman los requerimientos de riego de un proyecto, las pérdidas y sus valores promedio que se toman en cuenta son:

Eficiencia de conducción (E_c) 0.65 a 0.90

Eficiencia de distribución (E_d) 0.70 a 0.90

Eficiencia de aplicación (E_a) 0.50 a 0.80

Eficiencia global ($E_g = E_a \cdot E_d \cdot E_c$), realizando la multiplicación, los valores fluctúan de 0.22 a 0.64 \approx 0.40.

Los valores mínimos se adoptan en los distritos de riego con suelos permeables, pendiente pronunciada y donde el agricultor tiene escasa experiencia en el riego. En cambio, los valores máximos corresponden a suelos planos de poca permeabilidad o normal, donde los agricultores ya tienen experiencia con el riego. Aquí se considera una eficiencia global o de proyecto de 0.40.

v) VOLUMEN BRUTO.

Este volumen considera las pérdidas totales que se producen a lo largo de todo el recorrido del agua, desde la captación a la zona radicular de los cultivos y se expresa en función de la eficiencia global del sistema. Es decir.

$$\text{Volumen Bruto} = \text{Volumen Neto} * (1 + E_g)$$

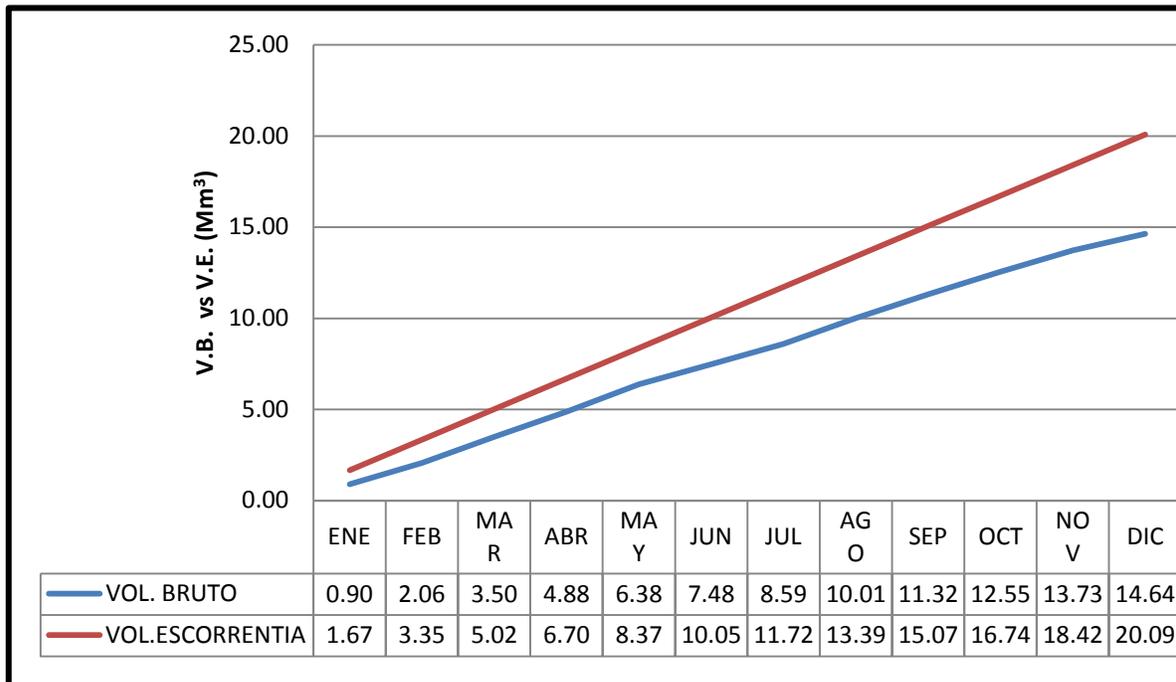
En la siguiente tabla se pueden observar los volúmenes brutos para cada mes.

Mes	Volumen bruto (Mm ³)
ENE	0.90
FEB	1.16
MAR	1.43
ABR	1.38
MAY	1.51
JUN	1.10
JUL	1.11
AGO	1.42
SEP	1.31

Mes	Volumen bruto (Mm ³)
OCT	1.23
NOV	1.18
DIC	0.91
Volumen bruto anual (Mm³)	14.64

Volumen bruto.

En la gráfica que se muestra a continuación se presenta la evolución en el tiempo de los volúmenes brutos acumulados y las aportaciones acumuladas para el régimen de cultivos considerado.



Comparativa Volumen bruto y Volumen de escorrentía (Mm³).

Al inicio del presente apartado se propone que la superficie Potencial (identificada por su topografía y su uso actual) beneficiada sea de 1,000 hectáreas según el plan y régimen de cultivos. El volumen escurrido de agua supera en 27 % el volumen bruto anual de agua, siendo el volumen escurrido de 20.09 Mm³/año.

6.2.DEMANDA ECOLÓGICA O GASTOS PARA ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

6.2.1. GENERALIDADES

La gestión integral del agua en cuencas hidrológicas, en el marco de su desarrollo sostenible, hace necesario que se determinen los requerimientos hídricos para conservar los ecosistemas acuáticos y tenerlos en cuenta al momento de definir la disponibilidad de los recursos hídricos para atender las demandas correspondientes a otros fines.

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (Comisión Nacional del Agua de México), en su artículo 3 Fracción LIV consigna que el uso ambiental o uso para conservación ecológica, representa el caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema.

En los últimos años la Comisión Nacional del Agua (CNA), y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), han trabajado en la determinación de caudales de reserva ecológicos en ríos de México.

6.2.2. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA OBTENER LA DEMANDA ECOLÓGICA

El régimen de caudales de la mayoría de los ríos ha sido modificado, en mayor o en menor medida, debido a la construcción de obras hidráulicas que alteran su distribución induciendo afectaciones en los ecosistemas relacionados.

En general, los gastos para conservación de los ecosistemas acuáticos de los ríos incluyen descargas mínimas necesarias para permitir la existencia o el paso de los peces, asegurando niveles aceptables de oxígeno disuelto y/o temperatura, o bien para mantener un espacio adecuado para la flora y la fauna existentes. Además, altos flujos periódicos son requeridos para remover los sedimentos finos depositados y eliminar las aguas salinas estancadas en las depresiones estratificadas.

Desde finales de los años cuarenta se han planteado metodologías para determinar la cantidad de agua que se requiere para proveer unas condiciones adecuadas a los organismos que habitan en los ecosistemas acuáticos en las corrientes superficiales. A finales de los años setenta dichas metodologías tuvieron un impulso muy importante.

Las principales metodologías suelen agruparse, básicamente en cuatro tipos:

- Las basadas en datos hidrológicos,
- Las basadas en mediciones hidráulicas,
- Las basadas en simulación del hábitat, y
- Las holísticas

Las fundamentadas en datos hidrológicos son las metodologías más usadas en la determinación de la demanda ecológica, ya que, son metodologías de aplicación sencilla, requieren de una baja cantidad de información y su implementación representa un bajo costo.

En las metodologías basadas en datos hidrológicos, las demandas ecológicas (Caudal de Reserva Ecológico), se determina en base a los caudales originales o naturales que históricamente se han presentado en la corriente respectiva (caudales medios diarios, mensuales o anuales), y la magnitud y distribución de dichos caudales ecológicos se obtiene a partir de un porcentaje de los caudales medidos y en algunos casos se utilizan, adicionalmente, algunos parámetros hidráulicos, geomorfológicos o biológicos.

En caso de no contar con datos hidrométricos del río Aguililla, existe un método denominado de los números de escurrimiento, que permita la estimación de los escurrimientos de la cuenca a partir de la información pluviométrica disponible, basado en los datos de precipitación y las características fisiográficas de la cuenca para determinar el escurrimiento de un punto dado de la misma. Este método fue propuesto por el US Soil Conservation Service, en 1969.

De acuerdo a lo anterior la metodología empleada para obtener la demanda ecológica en la cuenca El Ancón, es la basada en los datos hidrológicos obtenidos a partir de los datos meteorológicos, de los cuales solo un método hidrológico tiene aplicación para este río.

6.2.3. OBTENCIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS

A) MÉTODO DE LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTO

El método estima el escurrimiento con la siguiente ecuación:

$$Q = CiAc$$

Donde:

- Q caudal que se produce con una lluvia de intensidad i , a la salida de una cuenca, o a la salida de una porción de cuenca, m^3/s
- C coeficiente de escurrimiento (representa la fracción de lluvia que escurre en forma directa), adimensional
- i intensidad de la lluvia, m/s

Ac área de la cuenca o de la fracción de cuenca considerada, m²

Para el método de los números de escurrimiento, el coeficiente de escurrimiento se agrupa con la intensidad de lluvia en una variable denominada lluvia efectiva (Pe), por lo que la ecuación anterior queda como sigue:

$$Q = PeAc$$

En la cual Pe se calcula con la siguiente ecuación (Aparicio, 1992):

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

Donde:

Pe altura de lluvia efectiva, cm

P altura de lluvia total en cm (estimada a partir del mayor número posible de datos de precipitación de las estaciones en la cuenca, o las más cercanas a la misma)

N número de escurrimiento

Y el coeficiente de escurrimiento se calcula como:

$$Ce = \frac{Pe}{P}$$

B) ESTACIONES METEOROLÓGICAS

La identificación de las estaciones meteorológicas en la zona se hizo atendiendo a la localización geográfica de la zona de estudio.

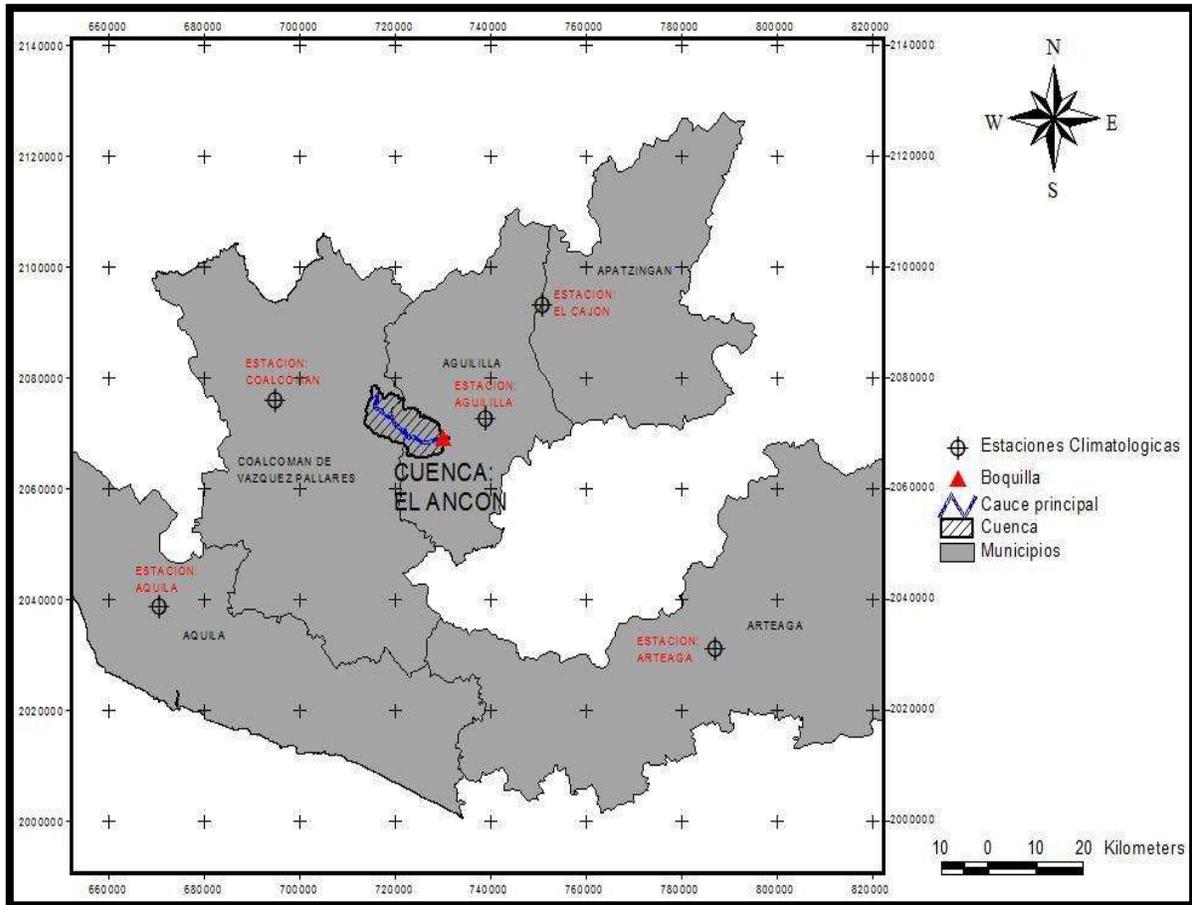
i) FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la selección de estaciones se consultó el mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos ERIC III producida por el IMTA y el CLICOM producido por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Las estaciones encontradas así como ubicación se muestran en la siguiente Tabla y mapa respectivamente.

CLAVE ESTACIÓN	NOMBRE	UBICACIÓN		Periodo de información	Altura (msnm)	Distancia al centro de gravedad de la cuenca (Km)
		Latitud	Longitud			
16459	El cajón, Tepalcatepec	18°55'1.2"	102°37'1.2"	1952-1997	296	36.404
16003	Aguililla, Aguililla	18°43'58.8"	102°43'58.8"	1943-1981	970	17.167

CLAVE ESTACIÓN	NOMBRE	UBICACIÓN		Periodo de información	Altura (msnm)	Distancia al centro de gravedad de la cuenca (Km)
		Latitud	Longitud			
16151	Arteaga, Arteaga	18°21'00"	102°16'58"	1957-2000	940	76.711
16008	Aguila, Aguila	18°25'58.8"	103°22'58.8"	1961-2005	163	60.635
16154	Coalcomán	18°46'01"	103°09'00"	1926-2006	1100	27.304

Estaciones meteorológicas seleccionadas de la zona de estudio



Mapa de estaciones meteorológicas en la zona de estudio

ii) ESTACIÓN SELECCIONADA Y DATOS DE PRECIPITACIÓN

En tabla que se presenta se indica algunas características de la estación seleccionada.

Del estudio hidrológico se tiene la selección de la estación base para la cuenca El Ancón y es la estación meteorológica Aguililla.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MED_ANUAL
1945	0.548	0.000	0.000	0.000	0.113	2.567	8.161	7.484	7.967	4.161	0.000	0.000	6.545
1946	0.452	0.000	0.000	0.000	0.000	3.567	3.839	3.016	8.417	5.565	2.233	0.000	4.710
1947	0.181	0.000	0.000	0.000	0.403	5.900	7.661	8.645	3.633	4.926	1.777	0.165	6.460
1948	0.087	0.000	0.000	1.233	0.677	8.067	0.700	4.032	6.483	4.226	0.733	0.000	4.821
1949	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	7.823	5.645	7.619	12.350	1.694	0.000	0.000	8.359
1950	0.581	0.000	0.000	0.000	0.226	10.100	11.774	7.419	5.500	2.161	0.167	0.000	8.698
1951	0.000	0.000	0.000	0.000	0.494	4.603	7.210	5.258	8.567	1.871	1.067	0.000	6.409
1952	0.258	0.000	0.000	0.233	1.855	6.300	7.161	2.826	8.687	0.806	0.533	0.000	6.243
1953	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.567	8.839	0.548	0.300	2.226	1.167	0.006	4.063
1955	0.000	0.000	0.000	0.000	0.113	4.567	13.355	8.419	10.667	5.839	0.110	0.000	9.252
1956	0.000	0.000	0.000	0.000	0.726	8.817	6.474	5.484	0.640	0.419	1.633	0.548	5.354
1959	0.516	0.000	0.000	3.800	1.548	6.077	10.290	5.710	4.283	6.097	1.067	0.000	6.590
1960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.583	7.500	5.468	3.650	7.468	0.167	0.077	4.800
1961	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.467	9.710	3.806	5.617	0.581	0.450	0.000	6.650
1962	0.000	0.000	0.000	0.083	0.081	7.933	5.984	7.355	9.650	4.355	0.200	0.871	7.731
1963	0.000	0.000	0.258	0.000	0.000	4.973	12.129	2.790	3.917	3.000	0.000	0.548	5.952
1965	0.258	1.148	0.000	0.217	0.984	3.600	4.903	7.565	3.583	3.581	0.333	0.048	4.913
1966	0.081	0.125	0.000	0.167	2.113	12.400	10.032	4.952	5.350	3.355	0.000	0.000	8.183
1968	0.097	0.414	3.419	0.000	2.677	10.550	6.242	10.339	11.277	5.665	0.067	0.532	9.602
1969	0.042	0.000	0.097	0.000	0.000	3.533	10.155	10.832	6.573	4.355	0.000	0.355	7.773
1970	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.483	4.290	9.474	8.610	2.258	1.100	0.000	7.214
1971	0.161	0.000	0.081	0.000	0.548	5.450	9.339	10.306	5.017	4.661	0.067	0.129	7.528
1973	0.010	0.029	0.000	1.363	0.974	7.860	3.045	5.103	6.150	5.126	0.027	0.019	5.540
1974	0.000	0.000	0.032	0.000	1.916	6.970	6.955	4.894	5.843	2.335	0.837	1.294	6.165
1976	0.000	0.545	0.000	0.067	0.052	4.997	7.106	8.300	5.250	6.755	4.903	0.045	6.413
1977	0.129	0.089	0.000	0.063	1.810	8.410	6.465	3.997	3.797	1.942	0.103	0.181	5.667
1981	0.000	0.564	0.000	0.067	0.000	5.067	8.432	9.071	5.050	4.371	0.000	0.000	6.905
MEDIA	0.126	0.108	0.144	0.270	0.641	6.416	7.533	6.323	6.179	3.696	0.694	0.178	6.613

Precipitaciones mensuales medias de la estación Aguillita.

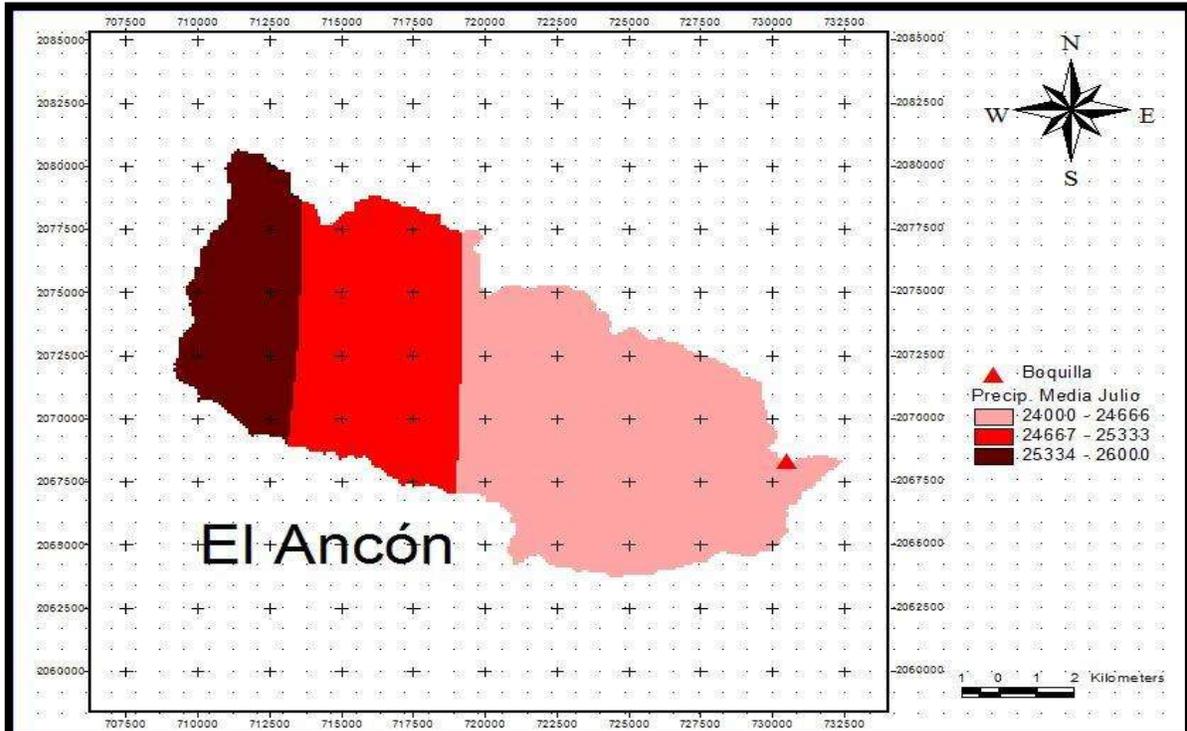
C) CÁLCULO DEL ESCURRIMIENTO

En la tabla del cálculo de escurrimiento para el mes de julio se muestra el resumen del procedimiento del método del número de escurrimiento para determinar el caudal mensual. La zona, vegetación, tipo de suelo, parámetro K y coeficiente de escurrimiento fue determinado previamente en el apartado 5 estudio hidrológico.

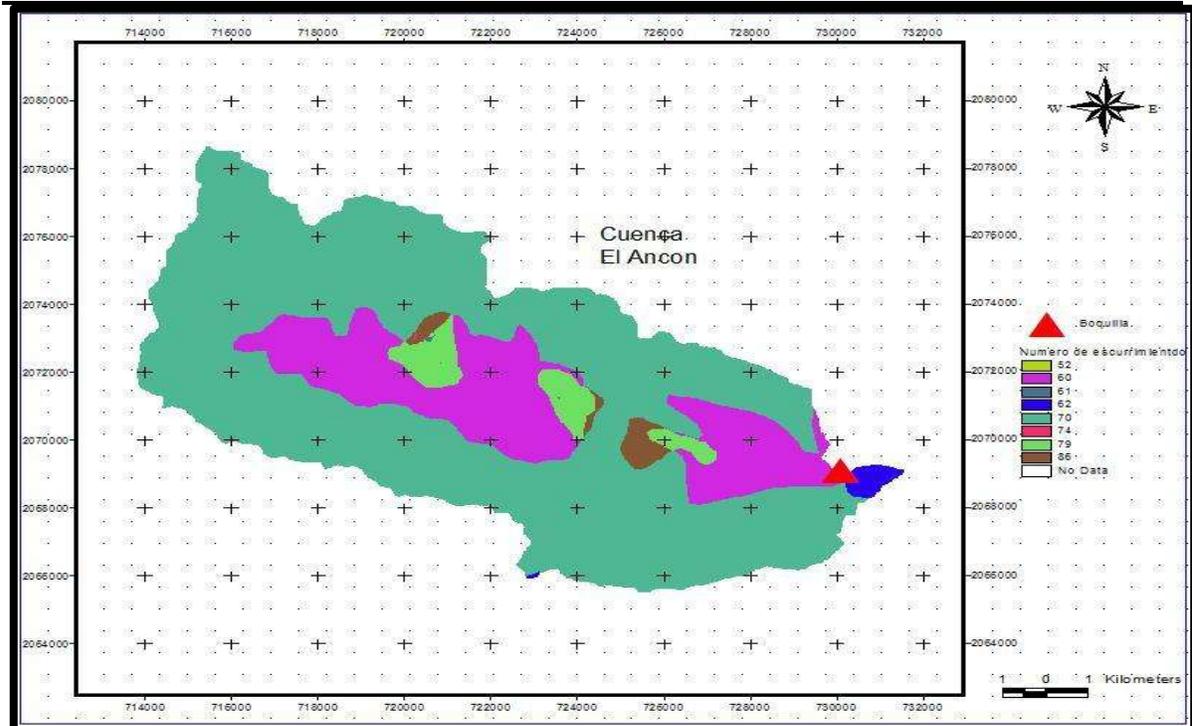
Para la determinación de la altura total de lluvia mensual se utilizó el método de las isoyetas con los datos de precipitación media mensual de las estaciones dentro de la zona de estudio. Este método toma en consideración los efectos

topográficos en la distribución de la lluvia, obtenidas por medio del software ARCVIEW.

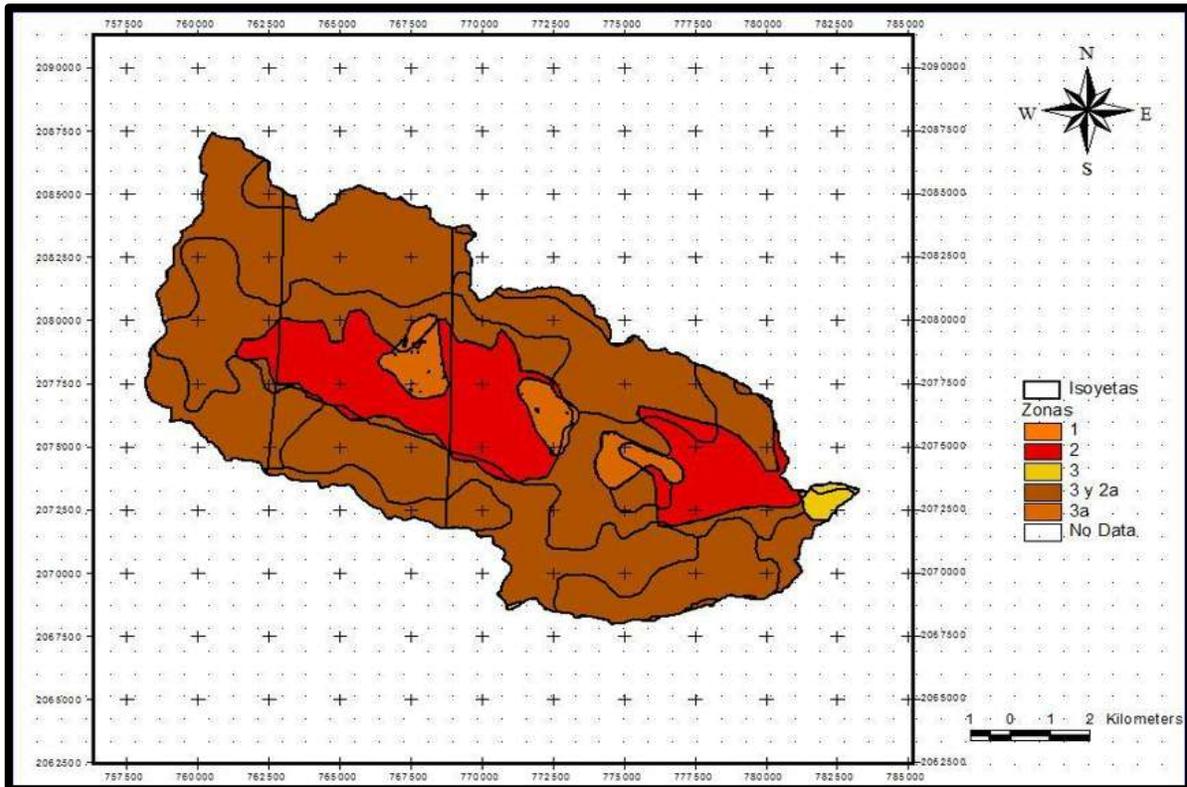
En la figura siguiente se muestran la distribución de Isoyetas en la cuenca de estudio.



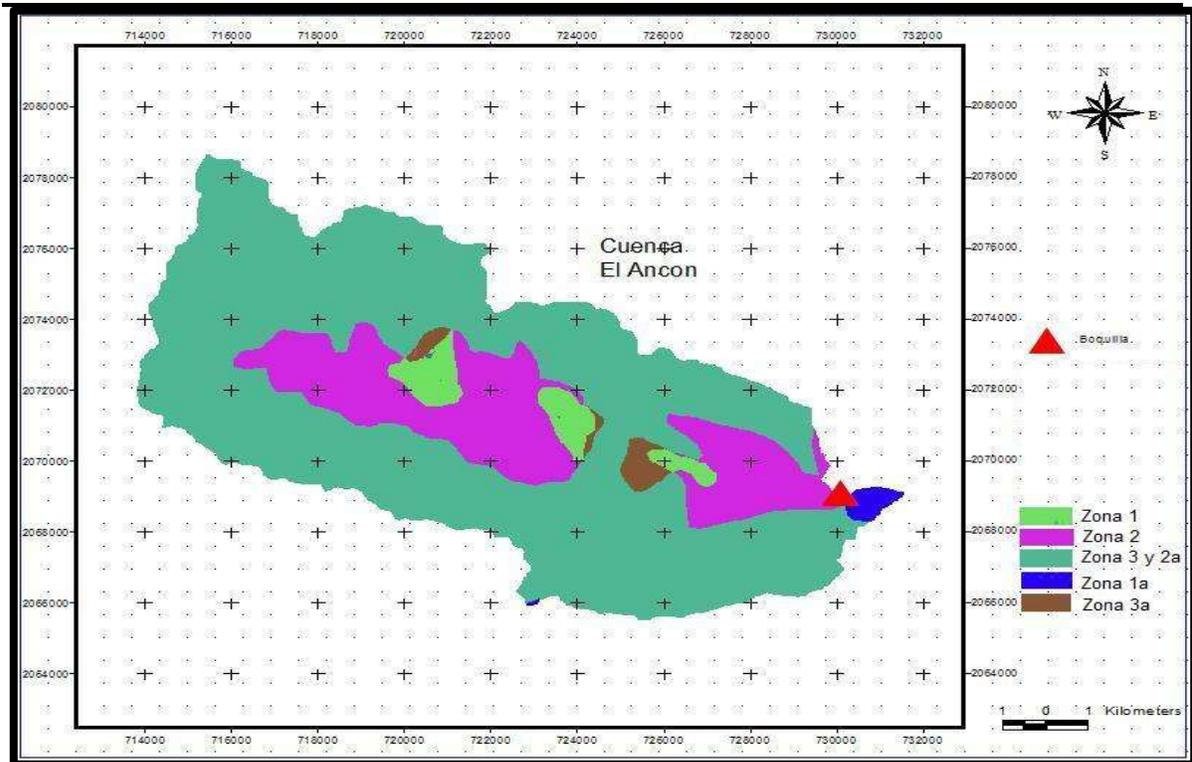
Isoyetas de las estaciones consideradas en la zona de estudio



Mapa de clasificación del número de escurrimiento (N)



Mapa de la unión de isoyetas del mes de julio y el número de escurrimiento



Clasificación de zonas de acuerdo al número de escurrimiento

El escurrimiento o caudal mensual se obtuvo para las diferentes áreas delimitadas por el tipo y uso de suelo dentro de la cuenca El Ancón, mediante la siguiente ecuación:

$$Q = PeAc$$

Donde:

Q caudal o escurrimiento de la zona, m³/s.

Pe altura de lluvia efectiva, m.

Ac área de cada una de las zonas, delimitadas por el uso y tipo de suelo, m².

De acuerdo al método descrito en el apartado A) el cálculo del escurrimiento se muestra en la siguiente tabla, para el mes de Julio. La determinación de los otros meses se presenta en el Anexo.

Zona	Vegetación	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	30000	B	52	24.000	8.722	0.3634	0.000977
2	Bosque-normal	23010000	B	60	24.410	11.644	0.4770	1.000357
3	Pastizales	4240000	B	70	24.462	14.971	0.6120	0.237003
1a	Bosque-espeso	930000	C	62	24.000	11.967	0.4986	0.041552

Zona	Vegetación	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrecimiento (m ³ /s)
2a	Bosque-normal	87060000	C	70	24.737	15.217	0.6152	4.946250
3a	Pastizales	1670000	C	80	24.256	18.011	0.7425	0.112298
		Ac= 116940000	Q = Escurrecimiento de la cuenca = 6.338436273					

Calculo del escurrimiento para el mes de julio (época de lluvias), por medio del método de los números de escurrimiento.

6.2.4. MÉTODO DE TENNANT O MÉTODO DE MONTANA

A) ANTECEDENTES

El método de Montana fue desarrollado por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos de América (EUA), (US Fish and Wild Life Service).

El método de Tennant o Montana, está basado en observaciones de campo de más de 10 años de duración en los estados de Montana, Nebraska y Wyoming, EUA, utiliza una correlación entre los gastos del río y la calidad del hábitat para peces en aguas frías y calientes.

De los estudios desarrollados, Tennant, generó la siguiente descripción cualitativa de flujos:

- El 10% del caudal fluvial medio anual es el mínimo recomendable para mantener un hábitat a nivel de sobrevivencia a corto plazo para la mayoría de las formas de vida acuática. El ancho a nivel de la superficie libre del agua, la profundidad y las velocidades del canal se reducen significativamente, y el hábitat acuático se degrada. La mitad del substrato o posible perímetro mojado del río queda expuesto a la intemperie, excepto en las áreas anchas, en los rabinos de poca profundidad y en las barras, donde la exposición puede ser mayor. Los canales laterales se desecan en forma severa o total. Las barras se secan substancialmente y las islas dejan de funcionar como hábitat para nidos, guaridas, criaderos y refugios de los animales silvestres. La cobertura vegetal de la ribera, útil como hábitat para peces y madrigueras para animales de piel se ve disminuida substancialmente debido a la falta de agua. La generación de áreas de baja profundidad en los cauces induce la migración de peces hacia pozas más profundas, el desplazamiento sobre los rabinos tan bajos en ocasiones es dificultoso. La variación de la temperatura del agua, especialmente en los tramos bajos de los ríos durante los meses calurosos, con frecuencia es un factor limitante; la vía de los invertebrados se reduce considerablemente. Aunque la pesca se favorece en las pozas y en los rápidos más profundos debido a la concentración de peces, los riesgos de sobreexplotación son mayores. La flotación es difícil, aun en canoas o balsas de caucho. La belleza natural y la estética de los ríos se degradan.

-
- El 30% del caudal fluvial medio anual es recomendable para mantener un hábitat adecuado para la sobrevivencia de las diversas formas de vida acuáticas. El ancho de la superficie libre del agua, la profundidad y la velocidad son generalmente satisfactorias. La mayor parte del substrato está cubierto con agua, excepto las zonas muy anchas, en los rabiones de poca profundidad o en las barras. La mayoría de los cauces laterales llevan un poco de agua. Las barras de grava están parcialmente cubiertas con agua y muchas islas son hábitat para nidos, guaridas, criaderos y refugios de vida silvestre. Las riberas con cobertura vegetal proveen hábitat para peces y guaridas para los animales silvestres. Muchos rápidos y pozas son suficientemente profundos para ser utilizadas por los peces como coberturas. La vegetación rivereña no sufre falta de agua y se genera un paisaje agradable. Los peces grandes pueden pasar por los rabiones. Las temperaturas del agua no resultan limitantes para el desarrollo de la vida acuática en la mayoría de los segmentos del río. La vida de los invertebrados se reduce, pero no se convierte en un factor limitante en la producción pesquera. La cantidad y la calidad del agua es buena para la pesca, la flotación y el recreo, especialmente con canoas, balsas de caucho y embarcaciones pequeñas de poco calado. En términos generales, la estética del río y la belleza natural son satisfactorias.
 - El 60% del caudal fluvial medio anual es recomendable para generar un hábitat de características excelentes a excepcionales para la mayoría de las formas de vida acuática, durante los periodos de crecimiento iniciales, así como para diferentes usos recreativos. El ancho de los ríos, la profundidad y la velocidad de la corriente son excelentes como hábitat acuático. La mayor parte del substrato del cauce está cubierto con agua, incluyendo múltiples rabiones y áreas de poca profundidad. Los cauces laterales son adecuados. La mayoría de las islas son adecuadas como hábitat de nidos, guaridas, zonas de criaderos y refugios para los animales silvestres. Numerosas riberas con cobertura vegetal proveen zonas seguras para los peces y madrigueras para protección de los animales silvestres. Las pozas, rápidos y rabiones están cubiertos con suficiente agua y brindan excelentes hábitats para la cría y la alimentación de peces. La vegetación ribereña tiene suficiente agua. La migración de los peces en las zonas de rabiones no presenta ningún problema. Las temperaturas del agua no son un factor limitante para la vida acuática en cualquiera de los tramos del río. Las formas de vida invertebrada son variadas y abundantes. La calidad y cantidad de agua son excelentes para la pesca y la flotación de canoas, balsas y barcas mayores, así como para recreación en general. La estética y la belleza natural de los ríos son de excelentes a excepcionales.

Este método es aplicable sólo en corrientes de baja variabilidad y sus recomendaciones para los gastos en los cauces para la conservación de los peces, la vida silvestre y los usos recreativos son los siguientes:

Criterio cualitativo de la corriente para determinar caudales de reserva ecológicos	Caudales recomendados (Q_{RE}) (% del caudal medio anual)	
	Meses de estiaje	Meses de avenidas
Máximo o de limpieza	200	200
Intervalo óptimo	60 al 100	60 al 100
Excepcional	40	60
Excelente	30	50
Bueno	20	40
Aceptable	10	30
Mínimo o pobre	10	10
Degradación severa	<10	

Clasificación de caudales ecológicos por el Método de Tennant (Tennant, 1976).

Tennant (1976) señala que los estudios realizados por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre, así como la participación de grupos interdisciplinarios experimentados respaldan la validez de este método. Sin embargo, el surgimiento, desarrollo y aplicación del método de Montana en ríos de los EUA hace necesaria la adaptación de la metodología Tennant a los ríos de México (o zonas tropicales), para determinar los requerimientos de cantidad y calidad del agua necesarios a los ecosistemas fluviales locales, con base en estudios de caso sobre el comportamiento de la biota acuática de diferentes regiones y cauces fluviales. El conocimiento de las características fisiográficas y biológicas locales de la corriente de interés es necesario e indispensable para el cálculo y ajuste de los caudales fluviales.

B) MÉTODO DE TENNANT O MÉTODO DE MONTANA ADAPTADO A LAS ZONAS TROPICALES PARA SU APLICACIÓN EN LOS RÍOS DE MÉXICO.

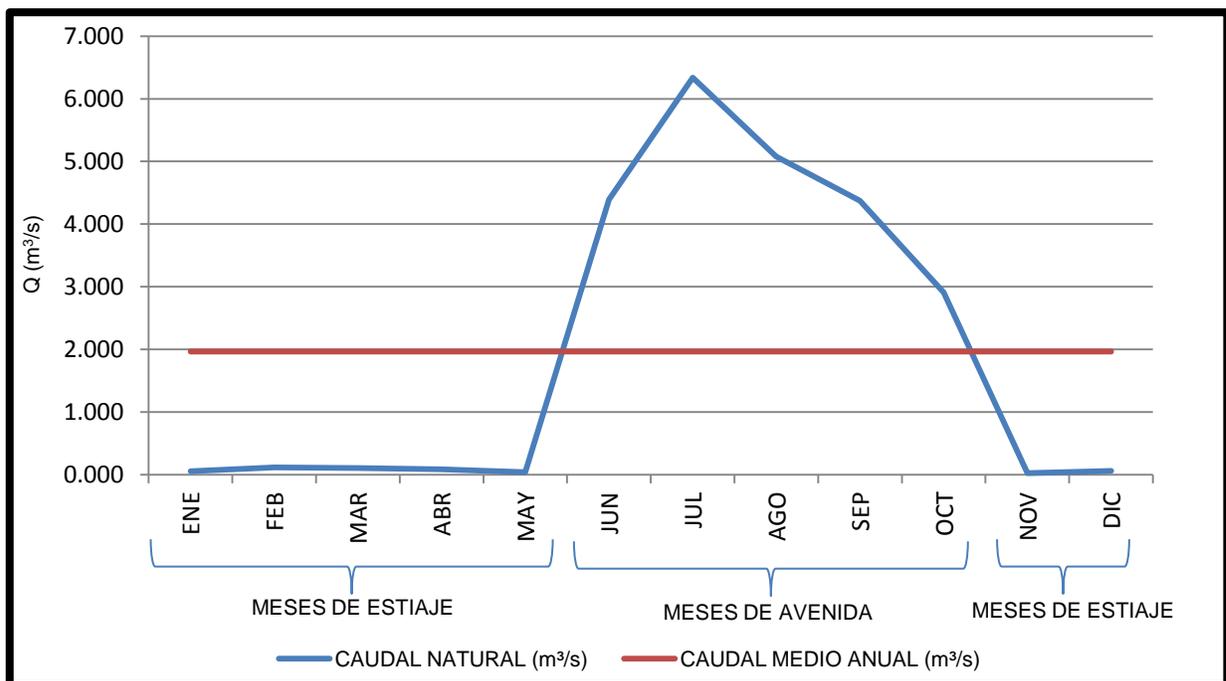
Para el cálculo de los caudales de reserva ecológico se toman en consideración las necesidades hídricas de los ecosistemas en la determinación de los caudales fluviales mínimos necesarios que garanticen el mantenimiento de sus características bióticas. Su concepción se realiza con base en las características observadas del hábitat fluvial respecto a los caudales circulantes.

La determinación del caudal de reserva ecológico se efectúa para un punto en particular, el cual debe coincidir con la ubicación del aprovechamiento hidráulico (presa, derivación, bombeo, etcétera), o con el lugar en el que se pretenda hacer la modificación al régimen de caudales de la corriente. El caudal de reserva ecológico que se calcule para este punto debe corresponder al tramo comprendido entre el mismo y la próxima extracción o aportación a la corriente (o cambio significativo en el caudal).

Como el 10% del caudal medio anual correspondiente al criterio mínimo o pobre del método de Tennant se recomienda solo para periodos cortos, debido a que las condiciones que se generan en el ambiente ponen en estrés a la mayor parte de la biota floral, se sugiere utilizar un mayor porcentaje para los caudales ecológicos recomendados (Q_{RE}) que transiten por el río para reducir el impacto en los organismos adaptados para reproducirse, migrar o desovar cuando ocurren cambios estacionarios.

C) RESULTADOS DEL MÉTODO EN EL RÍO AGUILILLA

Se calculó el gasto medio mensual, así como el gasto medio anual, los datos se presentan en la grafica siguiente:



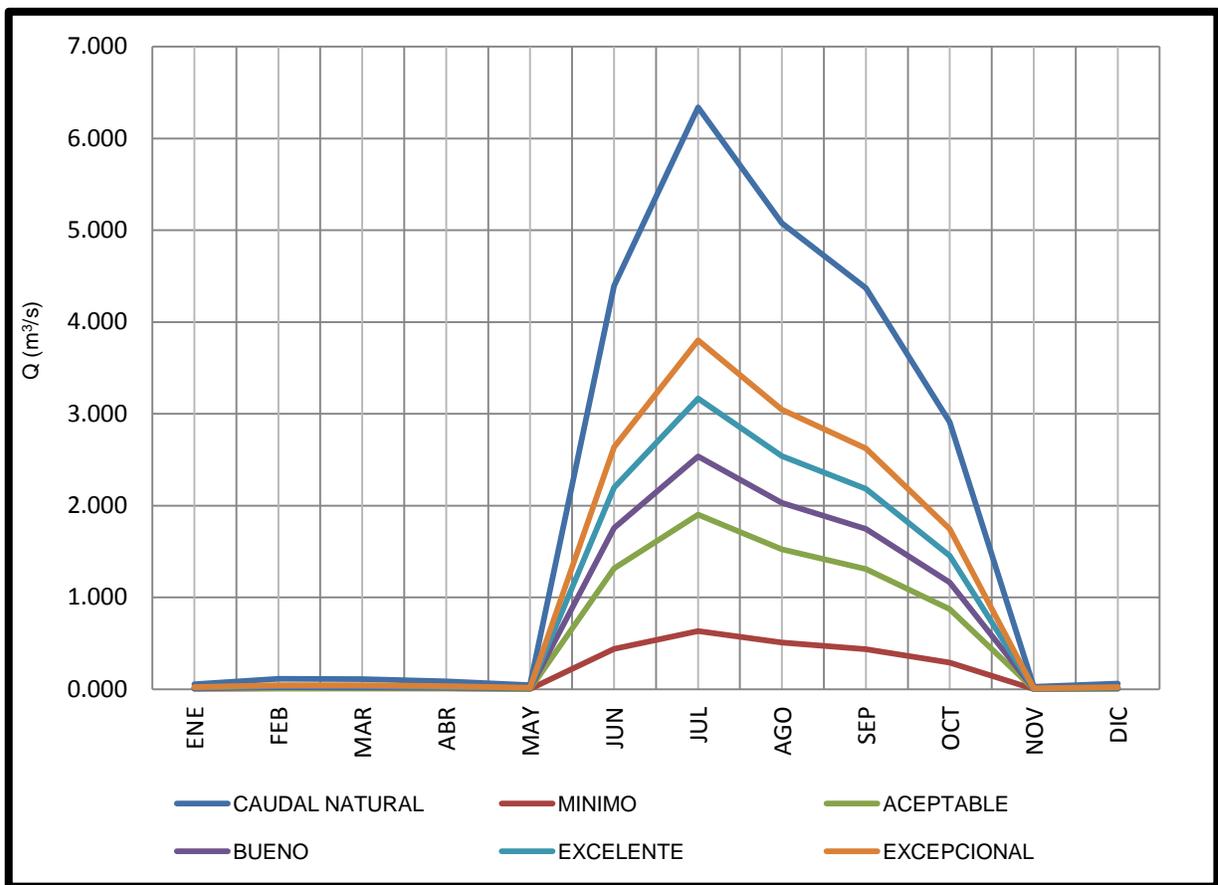
Relación entre el caudal natural y el caudal medio anual.

Para el río Aguililla se determina la demanda ecológica o caudales recomendados ecológicos para los diferentes criterios cualitativos de la corriente, que se presenta en la tabla y grafica siguiente:

Entidad Federativa: MICHOCÁN		Cuenca: ANCÓN		Corriente: RÍO AGUILILLA		
Mes	*Caudal Año Medio (m³/s)	CAUDAL DE RESERVA ECOLÓGICO Q_{RE}^{**} PARA DIFERENTES CRITERIOS CUALITATIVOS DE LA CORRIENTE				
		Mínimo 10%	Aceptable 10%-30%	Bueno 20%-40%	Excelente 30%-50%	Excepcional 40%-60%
Enero	0.056	0.006	0.006	0.011	0.017	0.022
Febrero	0.115	0.012	0.012	0.023	0.035	0.046
Marzo	0.110	0.011	0.011	0.022	0.033	0.044

Abril	0.085	0.009	0.009	0.017	0.026	0.034
Mayo	0.043	0.004	0.004	0.009	0.013	0.017
Junio	4.395	0.439	1.318	1.758	2.197	2.637
Julio	6.338	0.634	1.902	2.535	3.169	3.803
Agosto	5.079	0.508	1.524	2.032	2.540	3.048
Septiembre	4.370	0.437	1.311	1.748	2.185	2.622
Octubre	2.911	0.291	0.873	1.164	1.455	1.746
Noviembre	0.027	0.003	0.003	0.005	0.008	0.011
Diciembre	0.061	0.006	0.006	0.012	0.018	0.025
1.966 caudal medio anual (m³/s)						
	Meses de avenida					
	Meses de estiaje					
*El caudal año medio se obtiene del método de los números de escurrimiento.						
**Q _{RE} Calculados de acuerdo al cuadro de criterio cualitativo para determinar caudales de reserva ecológicos del método de Tennant.						

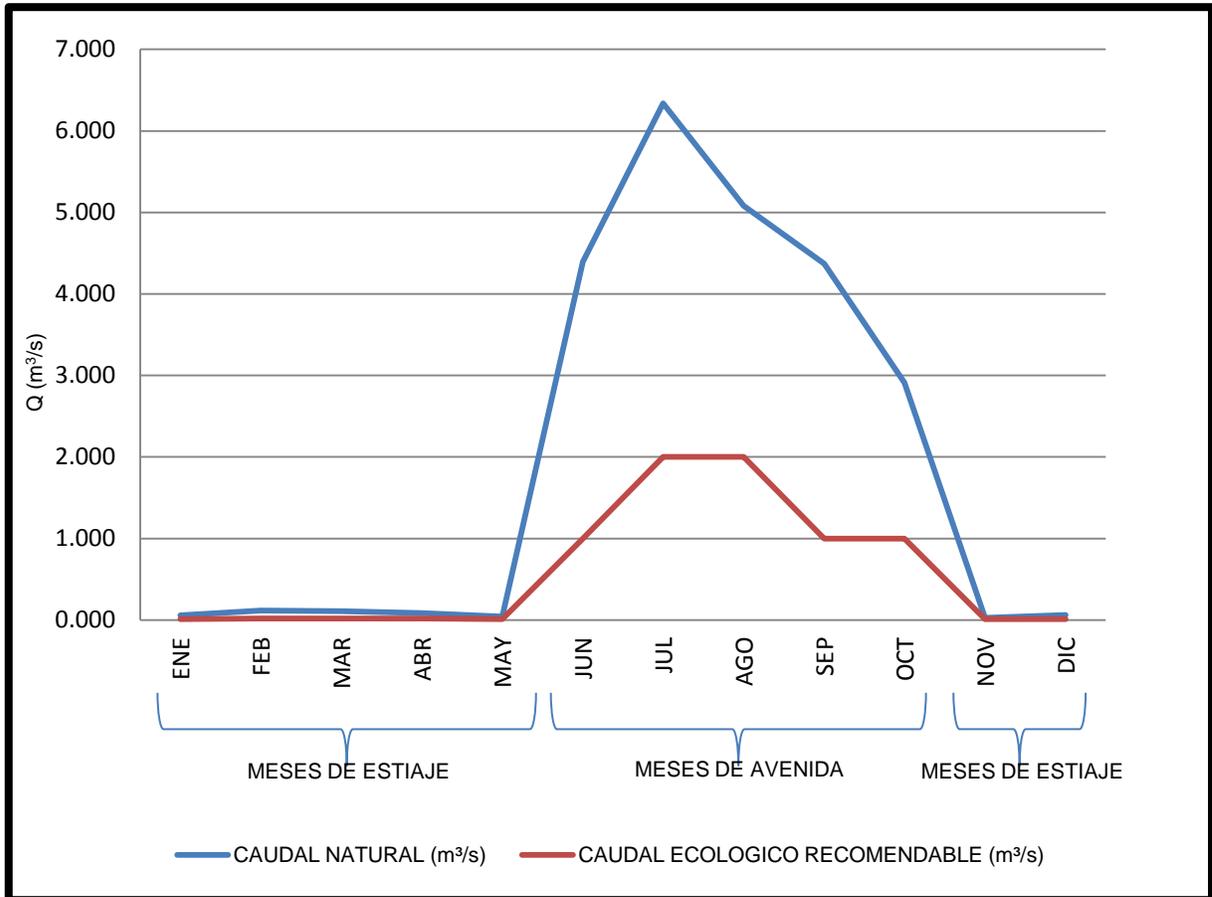
Aplicación del Método de Tennant al río Aguillilla.



Distribución de caudales naturales y de caudales calculados con el método de Tennant en el río Aguillilla.

D) CÁLCULO DEL CAUDAL ECOLÓGICO POR EL MÉTODO DE TENNANT

De acuerdo al método de Tennant los caudales ecológicos recomendables se obtienen de acuerdo a los cálculos obtenidos de la tabla anterior, es decir, para la época de avenida se toma el caudal de reserva ecológico aceptable con un 30% del caudal medio anual y para la época de estiaje el caudal de reserva ecológico bueno con un 20% del caudal medio anual esto con la finalidad de conservar los patrones de variación estacional en el cauce de las corrientes y generar los caudales mínimos necesarios para la sobrevivencia de la mayoría de las formas de vida acuática.



Caudales ecológicos recomendables para el río Aguillilla.

MES	CAUDAL NATURAL (m³/s)	CAUDAL ECOLÓGICO RECOMENDABLE (m³/s)
Enero	0.056	0.010
Febrero	0.115	0.020
Marzo	0.110	0.020
Abril	0.085	0.020
Mayo	0.043	0.010
Junio	4.395	1.000
Julio	6.338	2.000
Agosto	5.079	2.000

Septiembre	4.370	1.000
Octubre	2.911	1.000
Noviembre	0.027	0.010
Diciembre	0.061	0.010

Distribución de caudales naturales y de caudales ecológicos recomendables en el tiempo para el río Aguililla.

Resumen del método de Tennant

RÍO	Método de Tennant (Q_{RE} Mensual, Varía de Mes a Mes) en m^3/s		
	Criterio	Periodo Nov-May	Periodo Jun-Oct
AGUILILLA	Bueno	0-0.02	1-3

Cuadro resumen del método de Tennant para obtener el gasto de reserva ecológico en el río Aguililla.

6.3. DEMANDA URBANA

El estudio de la demanda urbana de agua permite identificar, comparar y analizar la diferencia obtenida entre la demanda, el suministro y el consumo de agua para cubrir de manera óptima la necesidad de agua y de esta manera poder satisfacer en la temporada de estiaje en su totalidad.

La demanda urbana de las regiones cercanas a presa del Ancon se calcula tomando en cuenta los siguientes factores: densidad de población y la dotación de agua por habitante.

$$D = (\sum P) \cdot d$$

Donde:

- D Demanda urbana (lts/día)
- $\sum P$ Número de habitantes por región (hab)
- d Dotación de agua por habitante (lts/día/hab)

La dotación de agua por habitante es de 150 Lts/día/hab en base a los lineamientos de la Comisión Nacional del Agua (CNA). El número de habitantes es obtenido del censo del año 2005 elaborado por el INEGI.

En la siguiente tabla se muestra la demanda urbana de la presa Ancón.

LOCALIDAD	HABITANTES	DOTACIÓN (lts/día/hab)	DEMANDA (lts/día)
EL CAPIRE	21	150	3,150
LA LAGUNA	35	150	5,250
AGUA ZARCA	20	150	3,000
LOS MANGUITOS	19	150	2,850
EL RINCON	140	150	21,000
AGUILILLA	8380	150	1,257,000
Total=	8615		1,292,250
		Total (m3/mes)=	38,767.50

Demanda Urbana Presa El Ancón.

El volumen total demandado es de 0.465 Mm³ anuales.

6.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este apartado se estimaron las demandas o requerimientos de agua para uso urbano, uso ecológico y uso agrícola principalmente. Estos volúmenes son de gran importancia ya que regirán la capacidad del vaso en las distintas épocas del año, así tenemos para uso urbano una demanda de 0.465 Mm³ anuales, para uso agrícola una demanda de 14.64 Mm³ anuales y para uso ecológico se sugiere mantener como caudal de reserva ecológico el valor de 0.02 m³/s en el periodo de estiaje y de 3.00 m³/s en el periodo de avenidas. Que es el caudal necesario para que la flora y la fauna del río Aguililla no sufran alteraciones en el ecosistema acuático.

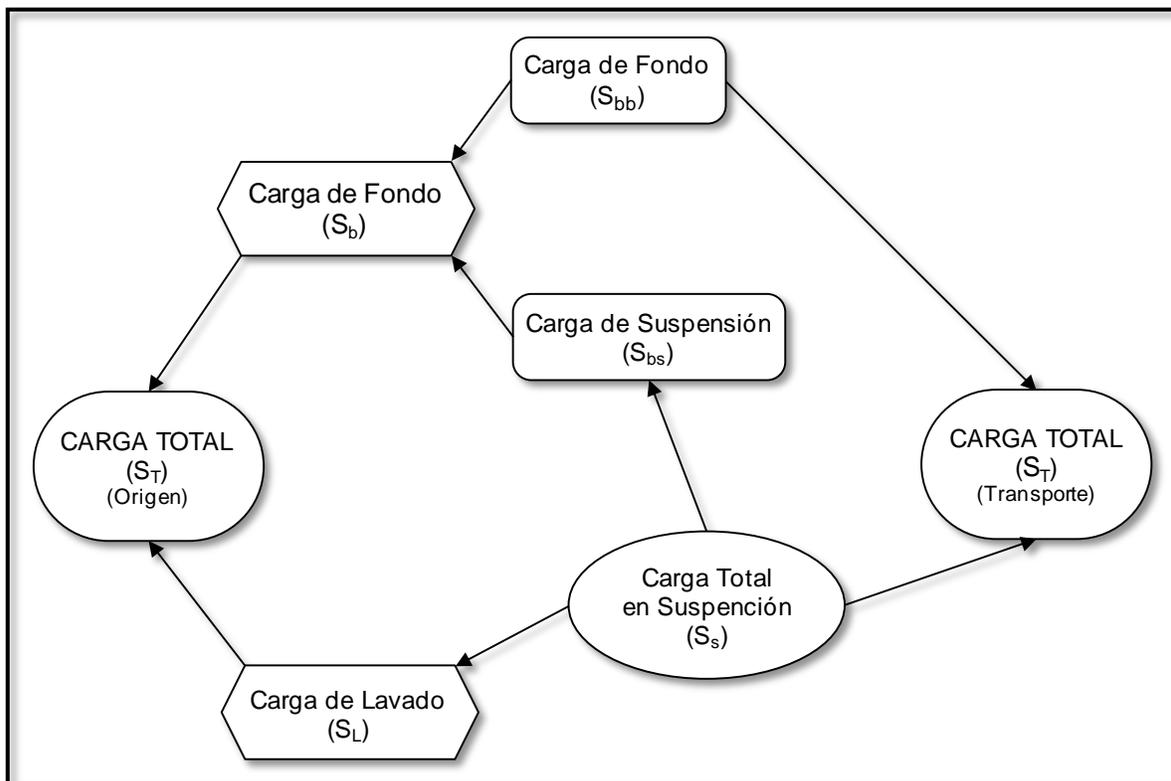
También se recomienda la capacitación de los agricultores en sistemas eficientes de riego para optimizar suministro de agua y así reducir al máximo las pérdidas.

7. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

7.1. GENERALIDADES

La determinación del transporte de sedimentos en un cauce constituye un importante y complejo problema en la ingeniería hidráulica, puesto que los procesos de suspensión, transporte y depositación del sedimento dependen tanto de las propiedades de los sedimentos como de las condiciones de flujo.

El transporte de sedimentos de fondo constituye una fracción del transporte total de sedimentos de un río. En la siguiente figura se presenta el esquema de la Norma ISO-4363, en el cual se clasifican y relacionan los diferentes tipos de transporte de sedimentos en un río, de acuerdo al origen de los sedimentos y el modo de transporte de los mismos.



Esquema de la composición del transporte total de sedimentos

El transporte total de sedimentos en una corriente natural está influenciado por:

- Los procesos erosivos del fondo y las bancas del cauce debido a la capacidad de transporte del río, que depende del caudal líquido.
- Los procesos erosivos en la cuenca del cauce principal y sus tributarios ocasionados por la escorrentía y por la remoción en masa o deslizamientos de masas de material sólido que se han concentrado en zonas inestables.

ORIGEN	TRANSPORTE TOTAL SEDIMENTOS (S_T)		
Lecho del Cauce	Transporte de Material de Fondo (S_b)	Transporte de Fondo (S_{bb})	
		Transporte en Suspensión (S_{bs})	Transporte Total en Suspensión (S_s)
Cuenca	Transporte de Lavado (S_L)		
Ecuación	$S_T = S_b + S_L$	$S_T = S_{bb} + S_{bs} + S_L$	$S_T = S_{bb} + S_s$

Composición del transporte total de sedimento, según Norma ISO-4363

Considerando el origen de los sedimentos se distinguen dos tipos de transporte: transporte de material de fondo, correspondiente al material del fondo y las bancas del río que puede ser transportado cerca del lecho del río o en suspensión en toda la columna de agua; y el transporte de lavado que corresponde al material más fino (arcillas y limos), y que es aportado por la cuenca mediante la escorrentía superficial.

Según la zona de la columna de agua donde ocurre el transporte de sedimentos se puede clasificar en: transporte de fondo y transporte total en suspensión. A mayor intensidad de la corriente mayor es el tamaño del material de fondo que es puesto en suspensión y transportado de esta manera.

Existen en la literatura numerosas metodologías para estimar el transporte de sedimentos en un cauce, establecidas principalmente a través de mediciones de campo y laboratorio.

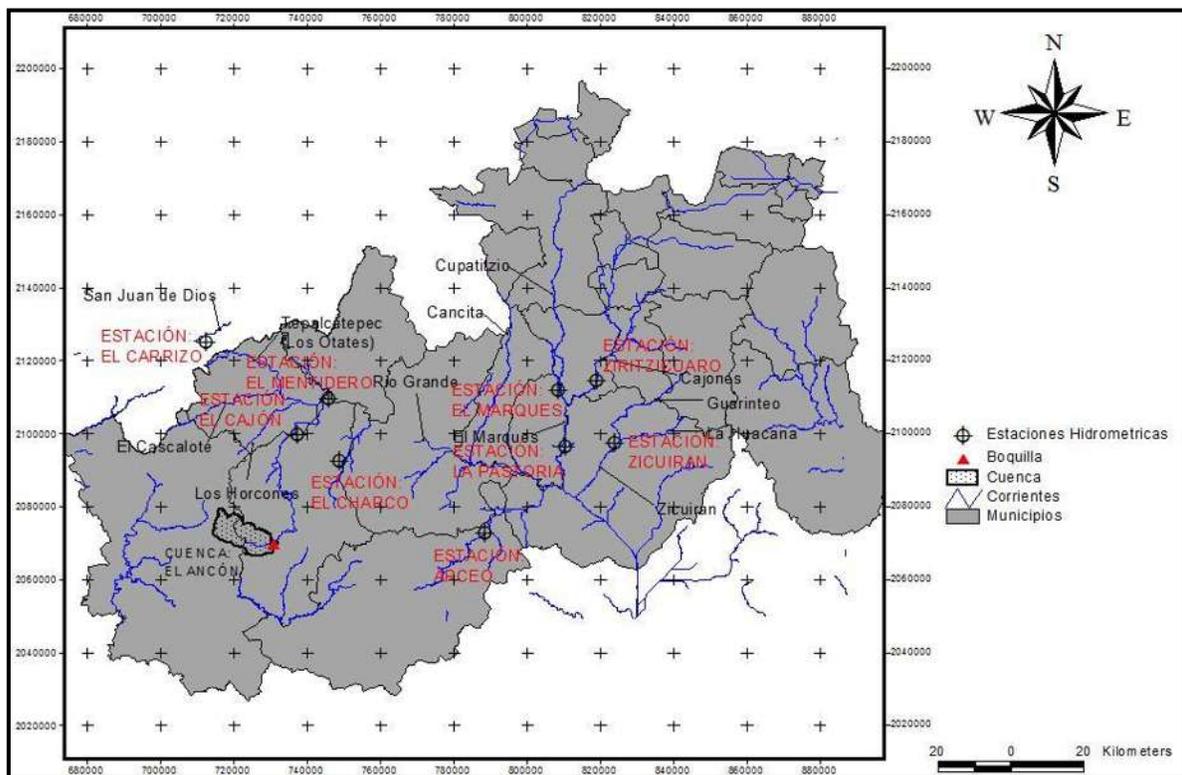
7.2. MATERIALES

A) Datos de estaciones hidrométricas

Para la selección de estaciones se consultó del mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos SIAS (Sistema de Información de Aguas Superficiales). Las estaciones encontradas así como ubicación se muestran en la tabla y mapa siguiente:

NOMBRE	UBICACIÓN		ELEVACIÓN (msnm)
	Latitud	Longitud	
Ziritzicuaro	19°05'30"	101°58'24"	438
El Cajón	18°58'05"	102°45'10"	300
Arceo	18°54'05"	102°38'38"	300
El Charco	18°43'12"	102°16'08"	312
El Marques	19°04'10"	102°04'25"	470
La Pastoría	18°55'40"	102°55'40"	200
Zicuirán	18°56'10"	101°55'40"	362
El Mentidero	19°03'20"	102°40'10"	

Estaciones hidrométricas en la zona de estudio de estudio



Mapa de estaciones hidrométricas en la zona de estudio

La selección de la estación se hizo a partir de las premisas siguientes:

- Cercana y que pase por cauce principal.
- Sus registros contengan información reciente.
- El periodo de los registros sea suficientemente amplio o superior a 15 años.

Tomando en consideración lo anterior la estación para la cuenca El Ancón no se tienen datos de ninguna estación hidrométrica.

B) Características físicas del río Aguililla.

Las principales características son: longitud, pendiente, elevación del tirante entre otras que se enumeran en este apartado.

7.3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

En el análisis del flujo en cauces naturales existe una fuerte interrelación entre el factor de fricción, el transporte de sedimentos y la configuración geométrica de la superficie del lecho. Esta última definida como forma del lecho o configuración del fondo. Recibe el nombre de forma del lecho o configuración del fondo, cualquier irregularidad de tamaño superior al mayor tamaño de la granulometría que la forma.

Existen diversos métodos para estudiar la resistencia al flujo todos ellos han obtenido sus formulas teniendo en cuenta variables como: La velocidad media, el tirante, la pendiente longitudinal del río, la densidad del agua, la viscosidad del agua, la granulometría del material del lecho, el peso específico del material, el factor de forma, la sinuosidad del cauce.

7.3.1. MÉTODO DE DUBOYS (S_b , TRANSPORTE MATERIAL DE FONDO)

Es la formulación más antigua (1879), se fundamenta en la capacidad de arrastre de la corriente por exceso de la tensión de corte o esfuerzos cortantes provocados por la corriente. Basa su metodología en el concepto de que el material del fondo se mueve debido al exceso de esfuerzo cortante, en pequeñas capas delgadas de espesor igual al tamaño del sedimento, además considera que la velocidad aumenta linealmente hasta la superficie del lecho.

El umbral de inicio de la erosión esta dado por:

$$\tau_o = \tau_c$$

Donde:

τ_o Esfuerzos cortantes provocados por la corriente.
 τ_c Esfuerzos criticos

Por tanto para que exista arrastre se debe cumplir lo siguiente de lo contrario no se presentará arrastre de material de fondo:

$$\tau_o - \tau_c > 0$$

El volumen de material transportado de fondo se calcula con la ecuación siguiente según Duboys:

$$S_b = K \tau_o (\tau_o - \tau_c)$$

Donde:

τ_o Se calculará con la siguiente expresión:

$$\tau_o = S R_h \gamma_w$$

Donde:

S Pendiente media del cauce.
 R_h Radio hidráulico, en m.
 γ_w Peso específico del agua, kg/m³.

τ_c Se calculará con la siguiente expresión:

$$\tau_c = 0.061 + 0.019D_{50}$$

Donde:

D_{50} El diámetro considerado representativo de la muestra, en mm.

K Es un parámetro el cual según Straub se obtiene con:

$$K = \frac{0.17}{D_{50}^{3/4}}$$

Al sustituir la expresión del parámetro K según Straub en la ecuación propuesta por Duboys se tiene la siguiente fórmula para la determinación del gasto de material de fondo:

$$S_b = \frac{0.17}{D_{50}^{3/4}} \tau_o (\tau_o - \tau_c)$$

Con la anterior formula se tendrá el gasto de material de fondo por unidad de ancho, es decir en kg/s-m.

7.3.2. MÉTODO DE MEYER, PETER Y MÜLLER (S_B , TRANSPORTE MATERIAL DE FONDO)

Para cuantificar el gasto de material de fondo proponen la siguiente expresión:

$$S_b = 8 \gamma_s \sqrt{g \Delta D_m^3} \left[\left(\frac{n'}{n} \right)^{\frac{3}{2}} \tau_* - 0.047 \right]^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

γ_s Peso específico del material sólido.

D_m Diámetro medio de la muestra de material.

n Coeficiente de rugosidad del cauce, el cual se determina con la ecuación de Manning:

$$n = \frac{A R_h^{2/3} S^{1/2}}{Q}$$

τ_* Parámetro adimensional de Shields; que se determina con la expresión siguiente:

$$\tau_* = \frac{R_h S}{\Delta D_{50}}$$

Δ Relación de los pesos específicos del material y el agua, es decir:

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w}$$

n' Rugosidad asociada a las partículas y que se puede obtener: según Meyer, Peter y Müller con la siguiente ecuación:

$$n' = \frac{D_{90}^{1/6}}{26}$$

Los límites de aplicación de la fórmula son para Dm entre 0.4mm y 30mm; la sección de canal empleada por los autores fue de 2 x 2m, con una longitud de 20m, pendientes entre 0.04 y 0.2, tirantes entre 1cm y 1.20m; gastos entre 0.002 y 4 m³/s, y Peso específico entre 1.25 y 4.02 ton/m³.

Para realizar la formula universal, los autores volvieron adimensional algunos parámetros, por lo que se puede emplear para cualquier tipo de Dm y cualquier peso específico, aunque generalmente produce mejores resultados cuando se tiene cauces con material grueso.

7.3.3. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (EUPS) (S_L , TRANSPORTE DE LAVADO)

El estado de degradación en que se encuentran los suelos de uso agropecuario y forestal, se estima por medio de las pérdidas de suelo que ocurren en los terrenos. De este modo es posible determinar si el uso que se está a los suelos dando es el correcto.

Cuando la tasa de erosión es mayor que la tasa de formación del suelo, es señal de que el manejo está originando su degradación y se hace necesario realizar prácticas y obras de conservación del suelo y de esa forma contribuir al desarrollo sostenible de los recursos naturales.

Para estimar la erosión de los suelos se ha utilizado la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), un modelo que permite estimar en campo, la erosión actual y potencial de los suelos. Esta ecuación constituye un instrumento de planeación para establecer las prácticas y obras de conservación de suelos para que hagan que la erosión actual sea menor que la tasa máxima permisible de erosión.

La tasa máxima permisible de pérdidas de suelo es de 10 ton/ha; mayores pérdidas significan degradación.

Para estimar la erosión del suelo se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$E = R K L S C P$$

Donde:

- E* Erosión del suelo ton/ha año.
- R* Erosividad de la lluvia. Mj/ha mm/hr.
- K* Erosionabilidad del suelo.
- LS* Longitud y Grado de pendiente.
- C* Factor de vegetación.
- P* Factor de prácticas mecánicas.

Para explicar este modelo en forma práctica se utilizarán algunos resultados que se han obtenido de la investigación en México y que han permitido, a nivel nacional, hacer un uso adecuado de este modelo predictivo.

La erosión potencial se estima con la siguiente ecuación:

$$E_p = R K L S$$

Donde:

- E_p* Erosión potencial del suelo ton/ha año.
- R* Erosividad de la lluvia. Mj/ha mm/hr.
- K* Erosionabilidad del suelo.
- LS* Longitud y Grado de pendiente.

La erosión actual se estima utilizando la ecuación $E = R K L S C P$, que considera los factores inmodificables $R K L S$. Los factores de protección como son la vegetación y las prácticas y obras de manejo para reducir las pérdidas de suelo se pueden modificar.

Para utilizar este modelo, se han propuesto diferentes metodologías para estimar cada una de las variables; sin embargo la aplicación de algunas de ellas en el campo es difícil de realizar por no contar con la información necesaria. Para evitar estos problemas, en este apartado se presentará una metodología simplificada y adecuada para utilizarse en nuestro país.

A) EROSIDAD (R)

La estimación de R se puede realizar conociendo la energía cinética de la lluvia y la velocidad de caída de las gotas de lluvia, utilizando la ecuación de:

$$E_c = \frac{m v^2}{2}$$

Donde:

- E_c Energía cinética de la lluvia.
 m masa de lluvia.
 v velocidad de caída de las gotas de lluvia.

Considerando lo complejo de hacer esta estimación se propuso que un mejor estimador de la agresividad de la lluvia sería $\sum EI_{30}$ o sea el valor de erosividad de la lluvia (R) conocida la Energía Cinética (E_c) y la Intensidad de lluvia en 30min (I_{30}). Para estimar R se obtiene el valor de energía cinética por evento; se estima por evento como:

$$E_c = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I$$

Donde:

- I Intensidad de la lluvia.

Obtener el Valor de E_c y multiplicarlo por la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos. La suma de estos valores de EI_{30} en un año da el valor de R .

$$R = \sum E_c I_{30}$$

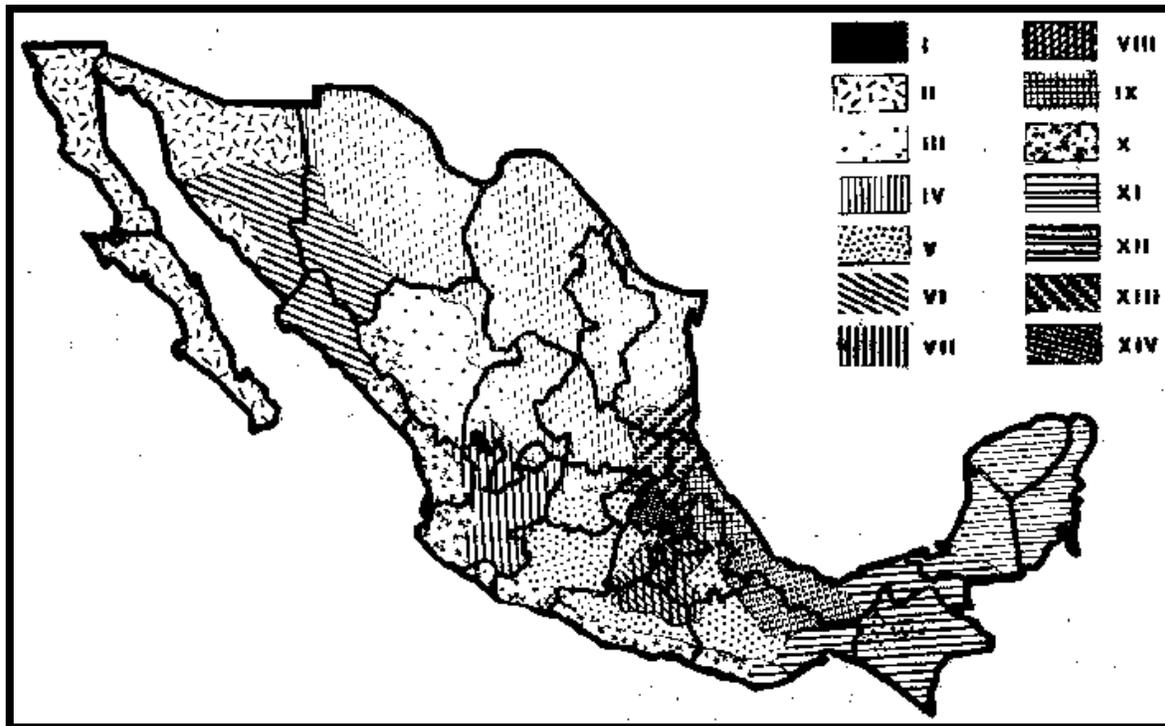
Este procedimiento es complicado cuando no se cuenta con datos de intensidad de la lluvia; por esta razón se buscó correlacionar los datos de precipitación anual con los valores de R estimados en el país utilizando la información de intensidad de la lluvia disponible (Cortés y Figueroa 1991).

De acuerdo con este procedimiento se elaboraron modelos de regresión donde a partir de datos de precipitación anual (P) se puede estimar el valor de R de la EUPS. Estos modelos de regresión son aplicados para 14 diferentes regiones del país mostradas en seguida:

REGIÓN	ECUACIÓN	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
I	$R = 1.2078P + 0.002276P^2$	0.92
II	$R = 3.4555P + 0.006470P^2$	0.93
III	$R = 3.6752P - 0.001720P^2$	0.94

REGIÓN	ECUACIÓN	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
IV	$R = 2.8559P + 0.002983P^2$	0.92
V	$R = 3.4880P - 0.00088P^2$	0.94
VI	$R = 6.6847P + 0.001680P^2$	0.90
VII	$R = -0.0334P + 0.006661P^2$	0.98
VIII	$R = 1.9967P + 0.003270P^2$	0.98
IX	$R = 7.0458P - 0.002096P^2$	0.97
X	$R = 6.8938P + 0.000442P^2$	0.95
XI	$R = 3.7745P + 0.004540P^2$	0.98
XII	$R = 2.4619P + 0.006067P^2$	0.96
XIII	$R = 10.7427P - 0.00108P^2$	0.97
XIV	$R = 1.5005P + 0.002640P^2$	0.95

Ecuaciones para estimar la Erosividad de la lluvia "R" en la República Mexicana



Mapa de regiones con igual Erosividad en la República Mexicana

B) EROSIONABILIDAD (K)

La susceptibilidad de los suelos a erosionarse depende del tamaño de las partículas del suelo, del contenido de materia orgánica, de la estructura del suelo en especial del tamaño de los agregados y de la permeabilidad.

Para su estimación se utilizan fórmulas complicadas; para condiciones de campo se recomienda el uso de la siguiente tabla, para que con datos de la textura de los suelos y contenido de materia orgánica, se estima el valor de erosionabilidad (K).

TEXTURA	% DE MATERIA ORGÁNICA		
	0.0 - 0.5	0.5 - 2.0	2.0 - 4.0
Arcillo arenosa	0.014	0.013	0.012
Arcillo limosa	0.025	0.023	0.019
Arena	0.005	0.003	0.002
Arena fina	0.016	0.014	0.010
Arena fina migajosa	0.024	0.020	0.016
Arena migajosa	0.012	0.010	0.008
Arena muy fina	0.042	0.036	0.028
Arena muy fina migajosa	0.044	0.038	0.030
Limo	0.060	0.052	0.042
Migajón	0.038	0.034	0.029
Migajón arcillo arenosa	0.027	0.025	0.021
Migajón arcillo limosa	0.037	0.032	0.026
Migajón arcillosa	0.028	0.025	0.021
Migajón arenosa	0.027	0.024	0.019
Migajón arenosa fina	0.035	0.030	0.024
Migajón arenosa muy fina	0.047	0.041	0.033
Migajón limoso	0.048	0.042	0.033
Arcilla	0.013 - 0.029		

Valores de erosionabilidad de los suelos (K) estimado en función de la textura y el contenido de materia orgánica (Morgan 1985)

Si las condiciones del terreno indican que el suelo ha sido recién desmontado, entonces el contenido de materia orgánica sería mayor de 5%, y considerando la textura como arcillosa, entonces el valor de K sería de 0.013.

Si el terreno fuera arenoso y el contenido de materia fuera de 0.5 %, entonces el valor de K sería de 0.005.

Es importante destacar que a medida que el valor de K aumenta se incrementa la susceptibilidad del suelo a erosionarse.

C) LONGITUD Y GRADO DE PENDIENTE (LS)

Este factor considera la longitud y el grado de pendiente. La pendiente media del terreno se obtiene dividiendo la diferencia de elevación del punto más alto del terreno al más bajo entre la longitud del mismo. Esto es:

$$S = \frac{H_f - H_i}{L} \times 100$$

Donde:

- S Pendiente media del terreno (%).
 H_f Altura más alta del terreno (m).
 H_i Altura más baja del terreno (m).
 L Longitud del terreno (m).

Para calcular LS (el factor de grado y longitud de la pendiente) se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$LS = \lambda^m [0.0138 + 0.00965 S + 0.00138 S^2]$$

Donde:

- LS Factor de grado y longitud de la pendiente.
 λ Longitud de la pendiente
 S Pendiente media del terreno.
 m Parámetro cuyo valor es 0.5

D) ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN ACTUAL

Para estimar la erosión anual es necesario determinar la protección del suelo que le ofrece la cubierta vegetal y la resistencia que oponen las prácticas mecánicas para reducir la erosión de tal forma que si a $Ep = R K LS$ le incluimos los factores C y P entonces se puede estimar la erosión actual utilizando la ecuación:

$$E = R K L S C P$$

E) FACTOR DE PROTECCIÓN DE LA VEGETACIÓN (C)

El factor de protección (C) se estima dividiendo las pérdidas de suelo de un lote con un cultivo de interés y las pérdidas de suelo de un lote desnudo. Los valores de C son menores que la unidad y en promedio indican que a medida que aumenta la cobertura del suelo el valor de C se reduce y puede alcanzar valores similares a 0. Por ejemplo, cuando existe una selva con una cobertura vegetal alta. Los valores de (C) que se reportan para diferentes partes del mundo y para México se presentan en el siguiente:

CULTIVO	FACTOR DE PROTECCIÓN		
	MÍNIMO	MEDIO	MÁXIMO
Maíz	0.54	0.62	0.8
Maíz labranza cero	0.05	0.1	0.15
Maíz rastrojo	0.1	0.15	0.2
Algodón	0.3	0.42	0.49
Pastizal	0.004	0.01	0.1

CULTIVO	FACTOR DE PROTECCIÓN		
	MÍNIMO	MEDIO	MÁXIMO
Alfalfa	0.02	0.05	0.1
Trébol	0.025	0.05	0.1
Sorgo grano	0.43	0.55	0.7
Sorgo grano rastrojo	0.11	0.18	0.25
Soya	0.48		
Soya después de maíz con rastrojo	0.18		
Trigo	0.15	0.38	0.53
Trigo rastrojo	0.1	0.18	0.25
Bosque natural	0.001	0.01	0.1
Sabana en buenas condiciones	0.01	0.54	
Sabana sobrepastoreada	0.1	0.22	
Mijo	0.4 a 0.9		
Arroz	0.1 a 0.2		
Tabaco	0.5 a 0.7		
Cacahuete	0.4 a 0.8		
Palma	0.1 a 0.3		
Café	0.1 a 0.3		
Cacao	0.1 a 0.3		
Piña	0.1 a 0.3		

Valores de C que se pueden utilizar para estimar pérdidas de suelo

F) FACTOR DE PRÁCTICAS MECÁNICAS (P)

El factor P se estima comparando las pérdidas de suelo de un lote con prácticas de conservación y un lote desnudo y el valor que se obtiene varía de 0 a 1. Si el valor de P es cercano a 0, entonces hay una gran eficiencia en la obra o práctica seleccionada y si el valor es cercano a 1, entonces la eficiencia de la obra es muy baja para reducir la erosión. Los valores de P que se utilizan para diferentes prácticas y obras como el surcado al contorno, surcos con desnivel, surcos perpendiculares a la pendiente, fajas al contorno, terrazas de formación sucesiva construidas en terrenos de diferentes pendientes y las terrazas de banco.

PRÁCTICA	VALOR DE P
Surcado al contorno	0.75 – 0.90
Surcos rectos	0.80 – 0.95
Franjas al contorno	0.60 – 0.80
Terrazas (2 – 7% de pendiente)	0.50
Terrazas (7 – 13% de pendiente)	0.60
Terrazas (mayores de 13%)	0.80

PRACTICA	VALOR DE P
Terrazas de Banco	0.10
Terrazas de Banco en contrapendiente	0.05

Factor P utilizado para diferentes practicas de conservación del suelo y agua

7.4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

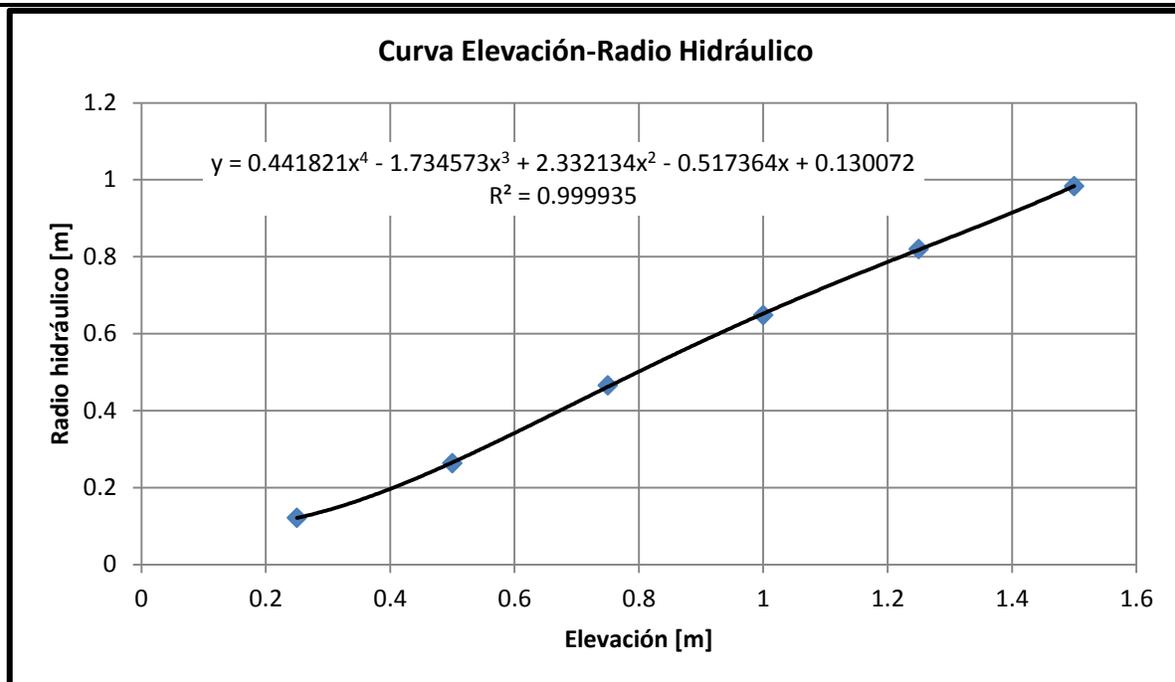
7.4.1. CALCULO DE GASTO SOLIDO PRODUCIDO POR EL CAUCE (S_b)

A) MÉTODO DE DUBOYS

Este método para el cálculo del transporte material de fondo toma como base del procedimiento los siguientes datos:

- D_{50} El diámetro característico.
- S Pendiente media del cauce.
- R_h Radio hidráulico.
- ν La viscosidad dinámica del agua.
- γ_s El peso específico del material de fondo.

Los datos de pendiente media (S) del cauce se determino con la ayuda del software ArcView y la extensión DetermHidro, el radio hidráulico (R_h) se determino con la siguiente curva elevación-radio hidráulico, para obtener la curva elevación-radio hidráulico se tomo una sección transversal tipo medida en campo en el rio Aguililla proponiendo para dicha sección diferentes elevaciones del tirante de agua obteniendo así como resultado los valores del Área hidráulica y el Perímetro mojado.



Curva elevación-radio hidráulico

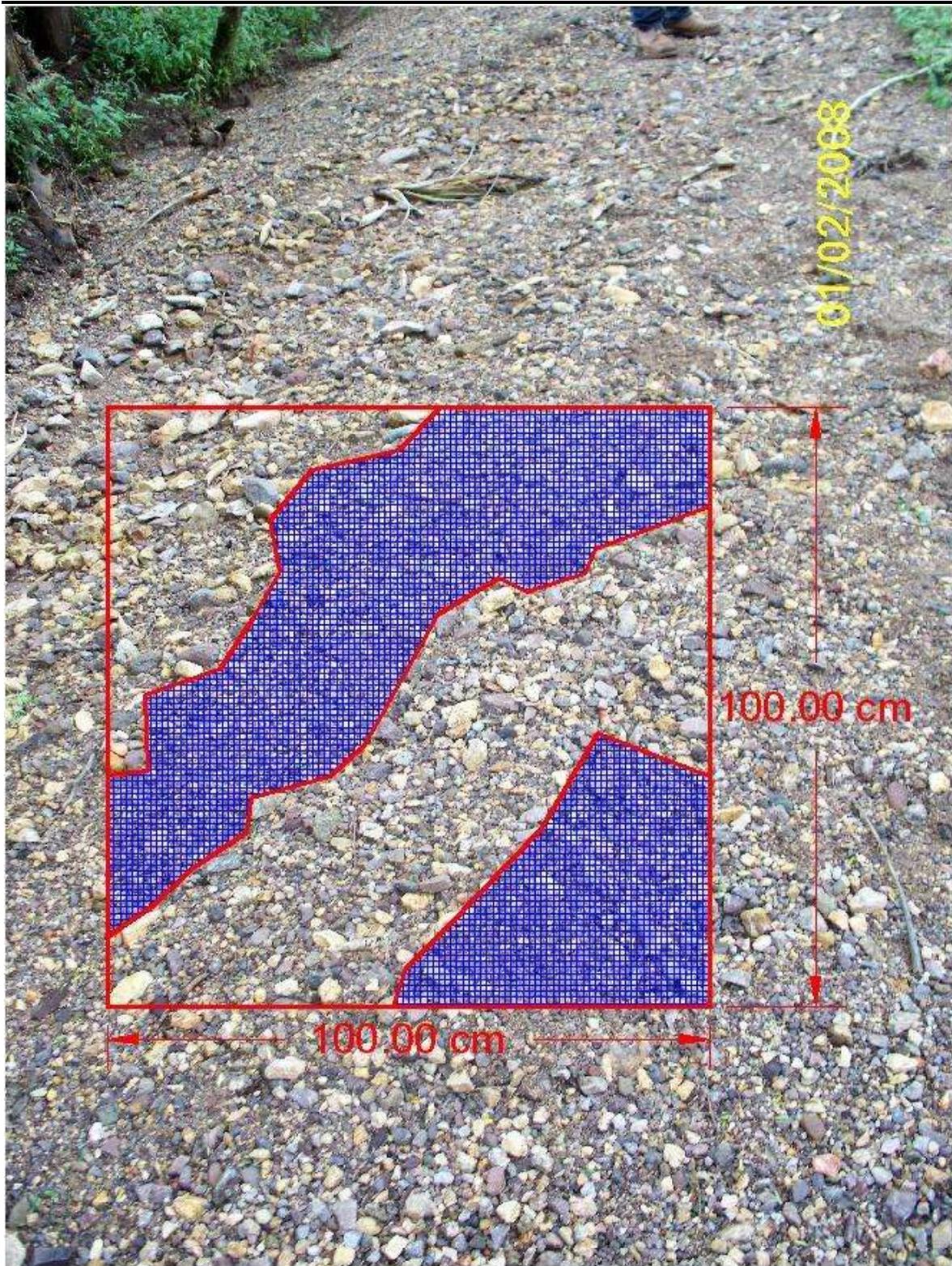
Además para el método de Duboys se hicieron las consideraciones que a continuación se listan:

1. Para la viscosidad dinámica (ν) del agua se tomo como referencia la siguiente tabla, tomando como temperatura 20°C.

TEMPERATURA [°C]	VISCOSIDAD DINÁMICA
5	1.52×10^{-6}
10	1.308×10^{-6}
15	1.142×10^{-6}
20	1.007×10^{-6}
30	0.803×10^{-6}

Valores para la viscosidad dinámica del agua en función de la temperatura

2. Peso específico del material de fondo (γ_s); como la mayoría de las arenas están formadas por partículas de cuarzo, de acuerdo a esto el peso específico es del material de fondo será igual a 2650 kg/m³.
3. Se determino visualmente el diámetro característico (D_{50}) requerido para este método de la siguiente fotografía tomada en el sitio donde se localizará lo boquilla de la presa.



Fotografía tomada en la zona del proyecto, propuesta de D₅₀

Con la curva elevación-radio hidráulico, y con la información de campo de la elevación del tirante en el cauce se determino un radio hidráulico igual a 0.203m.

D ₅₀ (Determinado visualmente)	10 mm
Pendiente media del cauce principal (Aguililla)	0.01914
Elevación del tirante medido en campo	0.41 m
Radio hidráulico (calculado)	0.203 m

Datos para método de Duboys

El material de fondo de acuerdo a la clasificación siguiente es una Grava Mediana para el diámetro característico, D₅₀.

GRUPO	CLASE	TAMAÑO [mm]
Bolos	Muy grandes	2048 - 4096
	Grandes	1024 - 2048
	Medianos	512 - 1024
	Pequeños	256 - 512
Cantos	Grandes	128 - 256
	Pequeños	64 - 128
Gravas	Muy gruesa	32 - 64
	Gruesa	16 - 32
	Mediana	8 - 16
	Fina	4 - 8
	Muy Fina	2 - 4
Arenas	Muy gruesa	1 - 2
	Gruesa	0.5 - 1
	Mediana	0.25 - 0.5
	Fina	0.125 - 0.25
	Muy Fina	0.062 - 0.125
Limo	Gruesa	0.031 - 0.062
	Mediana	0.016 - 0.031
	Fina	0.008 - 0.016
	Muy Fina	0.004 - 0.008
Arcilla	Gruesa	0.002 - 0.004
	Mediana	0.001 - 0.002
	Fina	0.0005 - 0.001
	Muy Fina	0.00024 - 0.0005

Clasificación de los materiales según American Geophysical Union

Tomando las anteriores consideraciones se tiene como resultado el transporte de fondo para la cuenca El Ancón por el método de Duboys.

S	D ₅₀ [m]	R _h [m]	ν [m ² /s]	γ_w [kg/m ³]	g [m/s ²]	γ_s [kg/m ³]
0.01914	0.010	0.203	1.007E-06	1000.00	9.81	2650.00

τ_o [kg/m ²]	τ_c [kg/m ²]	q _b [kg/s-m]	q _b [m ³ /s-m]	B [m]	S _b [m ³ /s]	S _b [Mm ³]
3.8839	0.2510	0.4266	0.000161	9.50	0.0015	2.411

Tabla de cálculo para el método de Duboys

El cauce en estudio presenta un transporte por arrastre de fondo de 0.0015 m³/s tomando un ancho medio del cauce (B) de 9.50 m, el cual se estimó tomando la sección tipo cercana a la boquilla. Además se determinó la cantidad de material transportado considerando un periodo de 50 años como vida útil de la obra que se pretende construir sobre el cauce [Presa], con lo cual se tiene que para el final de dicho periodo la presa albergara 2.441 Mm³ de material de sedimentos producidos por el cauce.

B) MÉTODO DE MEYER, PETER Y MÜLLER

Este método para el cálculo del transporte material de fondo toma como base del procedimiento los siguientes datos:

- D_{90} El diámetro característico.
- S Pendiente media del cauce.
- R_h Radio hidráulico.
- ν La viscosidad dinámica del agua.
- γ_s El peso específico del material de fondo.

Los datos de pendiente media (S) del cauce se determinó con la ayuda del software ArcView y la extensión DetermHidro, el radio hidráulico (R_h) se determinó con la curva elevación-radio hidráulico obtenida para el Método de Duboys.

Además para el método de Meyer-Peter y Müller se hicieron las consideraciones que a continuación se listan:

1. Para la viscosidad dinámica (ν) del agua se tomó como referencia la siguiente tabla, tomando como temperatura 20°C.

TEMPERATURA [°C]	VISCOSIDAD DINÁMICA
5	1.52×10^{-6}
10	1.308×10^{-6}
15	1.142×10^{-6}

TEMPERATURA [°C]	VISCOSIDAD DINÁMICA
20	1.007×10^{-6}
30	0.803×10^{-6}

Valores para la viscosidad dinámica del agua en función de la temperatura

2. Peso específico del material de fondo (γ_s); como la mayoría de las arenas están formadas por partículas de cuarzo, de acuerdo a esto el peso específico es del material de fondo será igual a 2650 kg/m³.
3. Se determinaron visualmente los diámetros característicos (D_{90} y D_m) requeridos para este método de la siguiente fotografía tomada en el sitio donde se localizará lo boquilla de la presa.

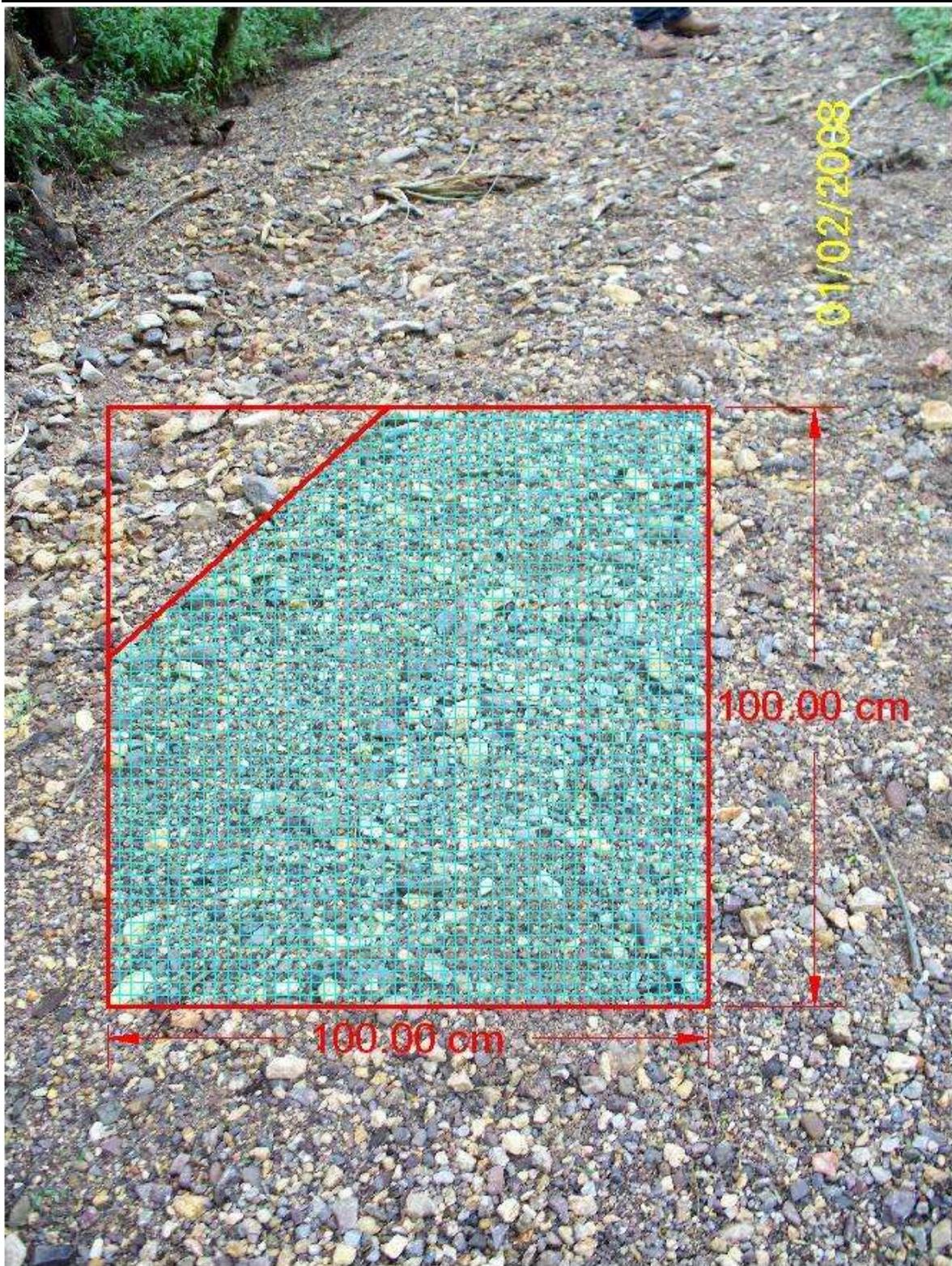
Con la curva elevación-radio hidráulico y con la información de campo de la elevación del tirante en el cauce se determino un radio hidráulico igual a 0.203 m, se podrá determinar con el método de Meyer-Peter y Müller el transporte de material de fondo.

D_{90}	20 mm
D_m	10 mm
Pendiente media del cauce principal (Aguililla)	0.01914
Elevación del tirante medido en campo	0.41 m
Radio hidráulico (calculado)	0.203 m

Datos para método de Meyer-Peter y Müller

El material de fondo es una Grava Gruesa para el D_{90} y una Grava Mediana para el D_m , de acuerdo a la clasificación de la American Geophysical Union.

Estos diámetros los podemos evaluar en la siguiente fotografía tomada en el rio Aguililla, para proponer visualmente los diámetros característicos considerados.



Fotografía tomada en la zona del proyecto, propuesta de D_{90}

Con el procedimiento y formulas descritas para el método de Meyer, Peter y Müller se muestra la tabla siguiente con los resultados obtenidos para el transporte por arrastre de fondo para el cauce Aguililla dentro de la cuenca El Ancón:

Sb [kg/s-m]	Sb [m ³ /s-m]	Sb [m ³ /s]	Sb [Mm ³], 50 años
0.176	0.0001	0.001	0.995

Transporte por arrastre de fondo para el método de Meyer, Peter y Müller

El rio Aguililla presenta un transporte por arrastre de fondo de 0.001 m³/s tomando un ancho del cauce de 9.50 m. Además se determino la cantidad de material transportado considerando un periodo de 50 años como vida útil de la obra que se pretende construir sobre el cauce [Presa], con lo cual se tiene que para el final de dicho periodo la presa albergara 0.995 Mm³ de material de sedimentos producido por el cauce.

7.4.2. CALCULO DE GASTO SOLIDO PRODUCIDO POR LA CUENCA (S_L)

A) ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (EUPS)

Para la aplicación de este método para la cuenca El Ancón se determinaron las características morfológicas con la ayuda del software ArcView y de la extensión DetermHidro como son la pendiente media de la cuenca (S) y la longitud axial (L) que se requieren para realizar este método, además de determinar la precipitación media de la cuenca con el método de las Isoyetas, que también fue realizado con la ayuda del software ArcView.

Para realizar una comparativa del transporte de material de lavado que puede producir la cuenca se consideraron las más óptimas características de la cuenca para las cuales se determino una erosión, adicionalmente se hicieron dos consideraciones más; una con las características más desfavorables y la última considerando las características actuales de la cuenca, teniendo como resultado las siguientes valores:

Erosionabilidad del suelo (K)	Máxima	0.060
	Mínima	0.002
	Media	0.026
Factor de vegetación (C)	Máxima	0.800
	Mínima	0.001
	Media	0.150
Factor de prácticas mecánicas (P)	Máxima	0.950
	Mínima	0.050
	Media	0.500
Precipitación media anual [mm]	1,032.43	

Pendiente media de la cuenca [%]	33.65
Longitud axial de la cuenca [m]	17,510.70

Valores considerados para los coeficientes para la ecuación de pérdida de suelo

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos después de aplicar la ecuación para el cálculo del transporte de material lavado producido por la cuenca.

S_L , MÁXIMA [m ³]	S_L , MÍNIMA [m ³]	S_L , MEDIO [m ³]
1,231.56	0.0015	42.42

Resultados del transporte de material lavado producido por la cuenca

Para esta cuenca se considerará el transporte de lavado medio dado que es el calculado para las condiciones más semejantes a las de la cuenca.

7.4.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Además de los métodos descritos con anterioridad, para el cálculo de la capacidad de azolve también se considera las sugerencias y recomendaciones de que en el 95 % de casos estudiados dicho volumen varía entre el 8 y el 12 % del escurrimiento medio anual o volumen útil. Aquí consideramos el 12 % ya que por ejemplo algunas dependencias de gobierno en el diseño de presas pequeñas consideran la capacidad de azolve del 10 % del volumen útil o escurrimiento medio anual.

Así, para la presa El Ancón, la capacidad útil es de 20.09 Mm³, siendo la capacidad de azolve la indicada a continuación:

		m ³ /s	Mm ³
S_b	DUBOYS	0.002	2.411
	MEYER, PETER & MÜLLER	0.0006	0.995
	RECOMENDACIONES	0.002	2.410

		m ³ /año	Mm ³
S_L	ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO [EUPS]	0.848	0.00004

Resumen del transporte de sedimentos de fondo y transporte lavado

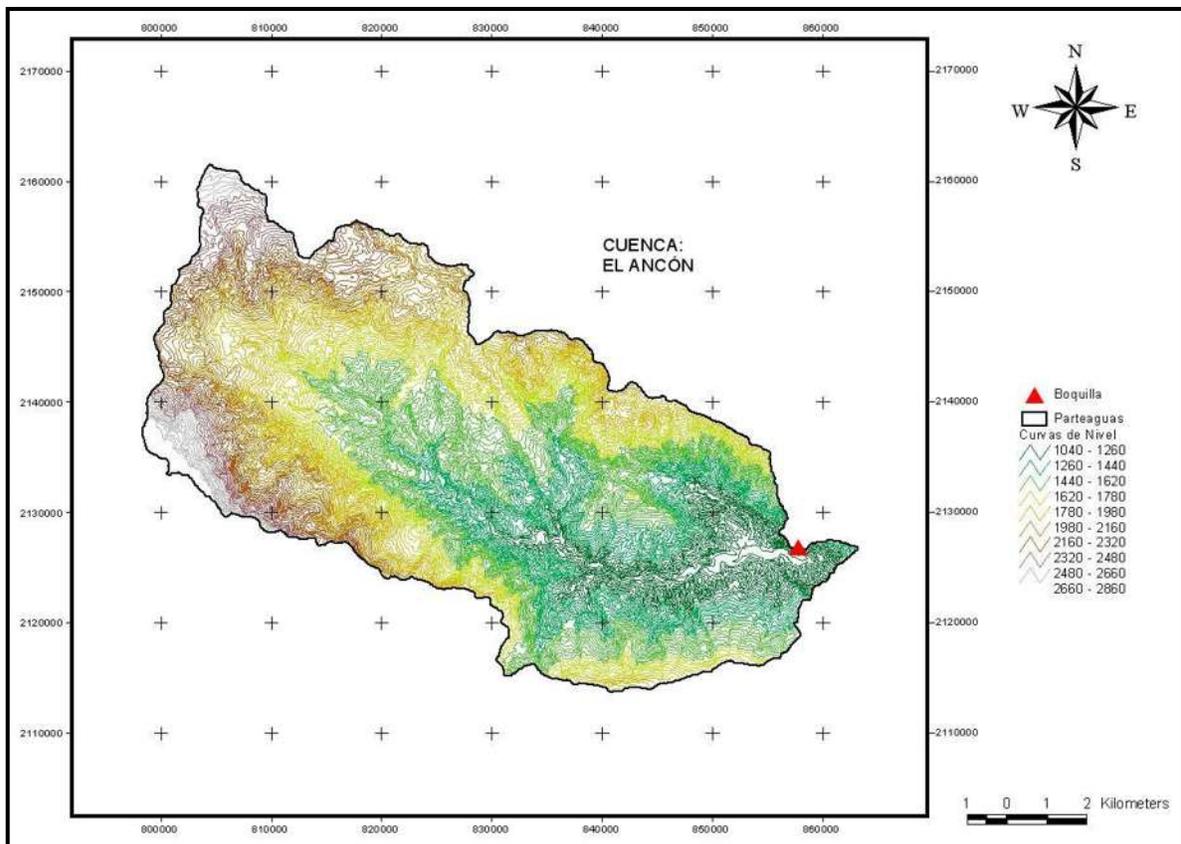
Por lo que el transporte total que lleva el río Aguillilla es de 0.002 m³/s tomando un ancho del cauce de 9.50 m y considerando un periodo de 50 años como vida útil de la Presa se tiene que para el final de dicho periodo la presa albergara 2.410 Mm³.

8. ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DEL VASO Y TRANSITO DE LA AVENIDA

En los párrafos siguientes, se describe la metodología y resultados alcanzados para el funcionamiento del vaso y tránsito de la avenida por el vertedor de la presa El Ancón.

8.1. CARACTERÍSTICAS DEL VASO

Las características físicas del vaso de almacenamiento están dadas por la localización de la boquilla de la presa y de las condiciones topográficas del sitio donde se construirá la presa. Por tanto la capacidad de almacenamiento en un embalse o vaso es la característica principal o importante.

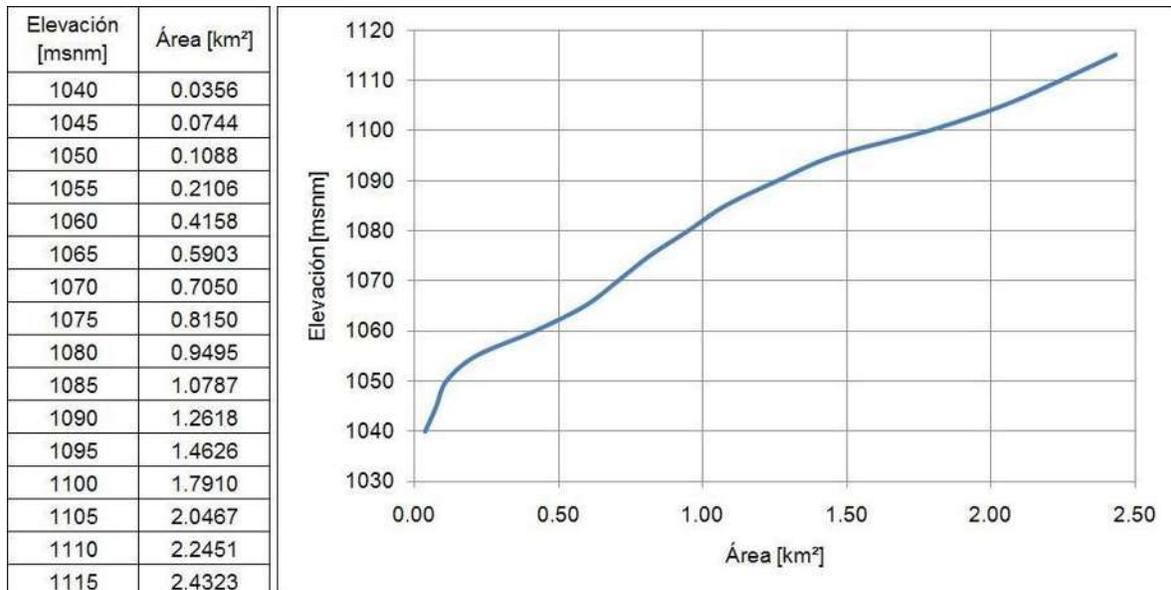


Características topográficas en la cuenca

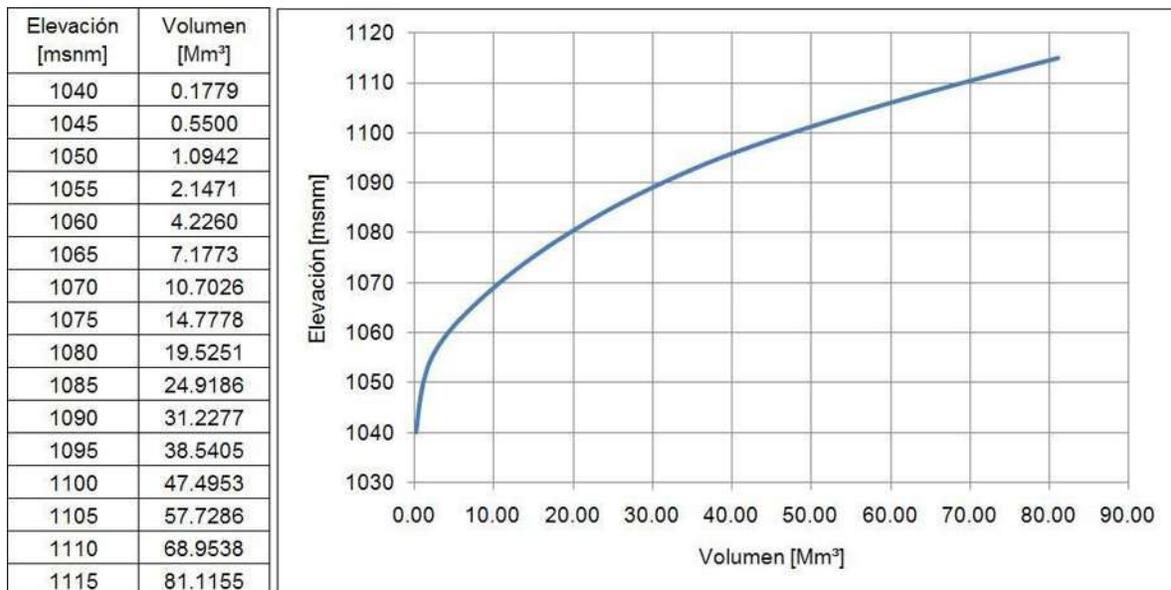
Para conocer la capacidad del vaso se recurre a dos curvas características denominadas: Elevación-Área y Elevación-Volumen.

8.1.1. CURVA ELEVACIÓN ÁREA-VOLUMEN DEL VASO

La construcción de estas curvas se hace a partir del modelo digital de elevación del terreno E13B57 y E13B67, y con la ayuda de la herramienta informática ARCVIEW, AUTOCAD y CIVIL CAD. La curva Elevación-Área indica la superficie inundada correspondiente a cada elevación de la superficie libre del agua en el vaso, en tanto que la curva Elevación-Volumen indica el volumen almacenado para cada elevación del espejo del agua en el vaso.



Curva característica del vaso de almacenamiento, Elevación-Área



Curva característica del vaso de almacenamiento, curva Elevación-Volumen

Además de la curva característica del vaso, se tienen los niveles asociados al volumen de almacenamiento, los cuales se describen y muestran a continuación.

Nivel de Aguas Mínimo (NAMIN).- Es el nivel del almacenamiento que es proporcionado por la capacidad muerta y está constituida por el volumen que se destina a la acumulación de los sedimentos transportados por la corriente.

El volumen de azolve para este caso es de: 2.410 Mm³ para un periodo de 50 años (apartado 7).

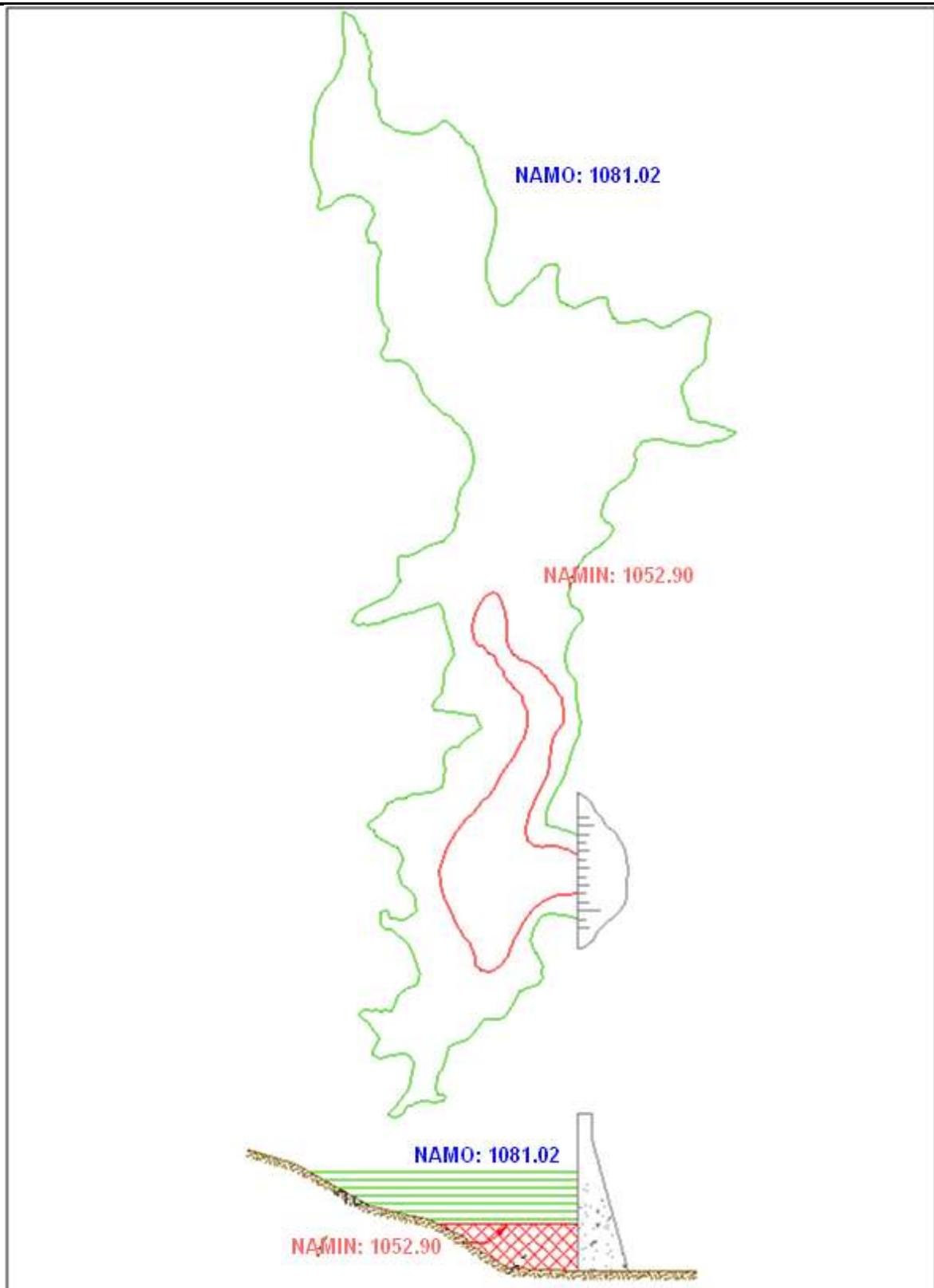
Nivel de Aguas Normales (NAMO).- Es el nivel del almacenamiento que indica la capacidad total del vaso, queda definida por la capacidad muerta más la capacidad útil.

El volumen útil para este caso es de: 20.09 Mm³.

Nivel de Aguas Máxima Extraordinaria (NAME).- Es el nivel del almacenamiento que señala la cota máxima a la cual puede llegar el espejo del agua ante la presencia de una avenida máxima. Se obtiene al sumar al nivel aguas normales la carga sobre el vertedor de excedencias.

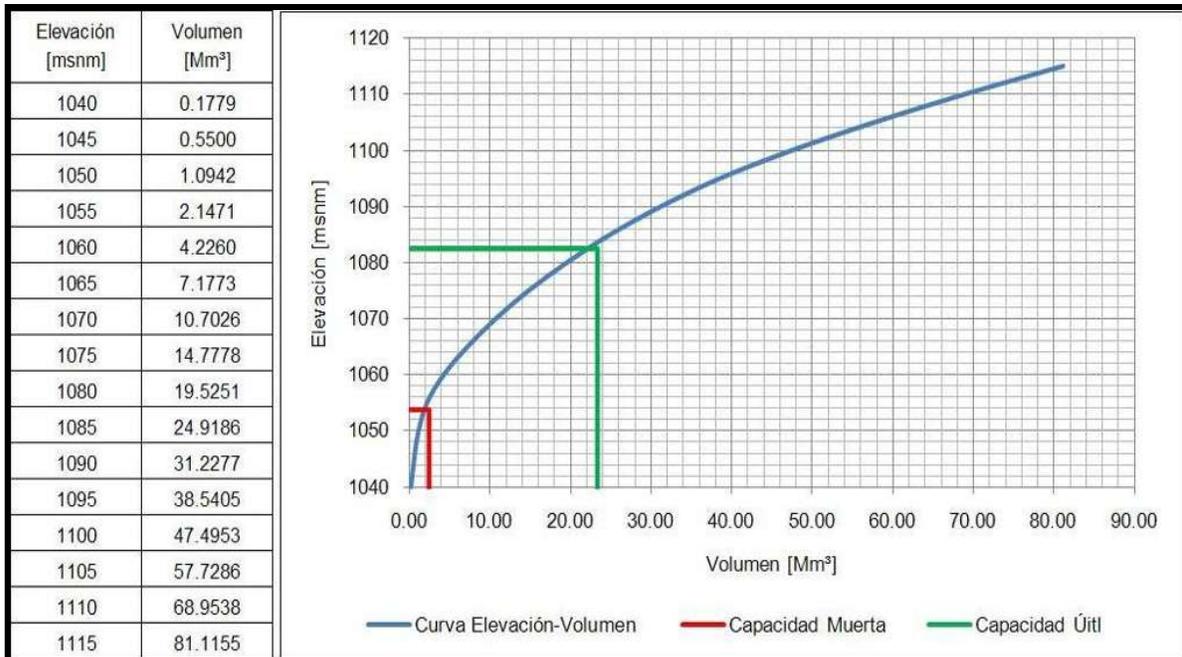
Nivel de la Corona de la Presa.- Es el nivel que define la altura de la cortina de la presa, se obtiene al sumar al nivel de aguas extraordinarias una magnitud lineal denominada bordo libre.

En la figura siguiente se indican los niveles y capacidades para el vaso de almacenamiento de El Ancón.



Vaso de almacenamiento del Ancón área inundada y nivel

Una vez que se conocen la capacidad muerta y la capacidad útil, a partir de la curva característica Elevación-Volumen, se determina la elevación asociada a cada uno de esos volúmenes, tal como se muestra en la figura siguiente.



Determinación del nivel característico para la capacidad muerta y capacidad útil

Así la capacidad y la elevación característica del vaso de almacenamiento de la presa El Ancón, hasta el nivel de aguas máximo ordinario se indica en la tabla siguiente.

Capacidad muerta (NAMIN)	2.304 Mm ³
Capacidad útil (NAMO)	20.09 Mm ³
NAMIN, elevación	1052.90 msnm
NAMO, elevación	1081.02 msnm

8.1.2. EVAPORACIÓN NETA

Para poder realizar la simulación del vaso es necesario saber la evaporación neta mensual ya que estas pérdidas se deben cuantificar y tomar en cuenta, continuación se calcula la evaporación mensual por el método del monograma de Wilson.

- **método del monograma de Wilson.**

Penman, en 1948 desarrolló una teoría basada en el balance de energía para el cálculo de la evaporación. Donde La ecuación final es la siguiente:

$$E = \frac{\Delta \cdot R_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

Donde:

$$\Delta = \frac{e'_s - e_s}{T'_s - T_a}$$

$$R_n = (1 - r) R_c - R_B$$

$$E_a = k(e_s - e_a) f(V_w)$$

γ = Constante psicrométrica = 0.27 mmHg/°F

e'_s = Presión de vapor de saturación para la temperatura del aire en la zona de intercambio, mmHg.

T' = Temperatura del aire en la zona de intercambio, °F.

r = Reflectividad o albedo; $r = 0.05$ para grandes masas de agua.

R_c = radiación solar, g.cal/cm² día.

R_B = radiación emitida por la masa de agua, g.cal/cm² día

k = Constante

V_w = velocidad del viento, km/h.

E = evaporación, mm/día.

Para facilitar la aplicación de la ecuación anterior, Wilson propone el nomograma el cual se encuentra en los anexos. Para usar dicho nomograma se requieren los siguientes datos:

- Temperatura del aire T_a , °C
- Relación de nubosidad, n/D

Donde:

n = número de horas del sol reales en el mes en cuestión.

D = número de horas de sol posibles, esto es, el que se tendría si no hubiera nubes en todo el día.

El valor de n puede estimarse a partir de información meteorológica y D según la latitud y la época del año. (Tabla 4.1 ver anexo)

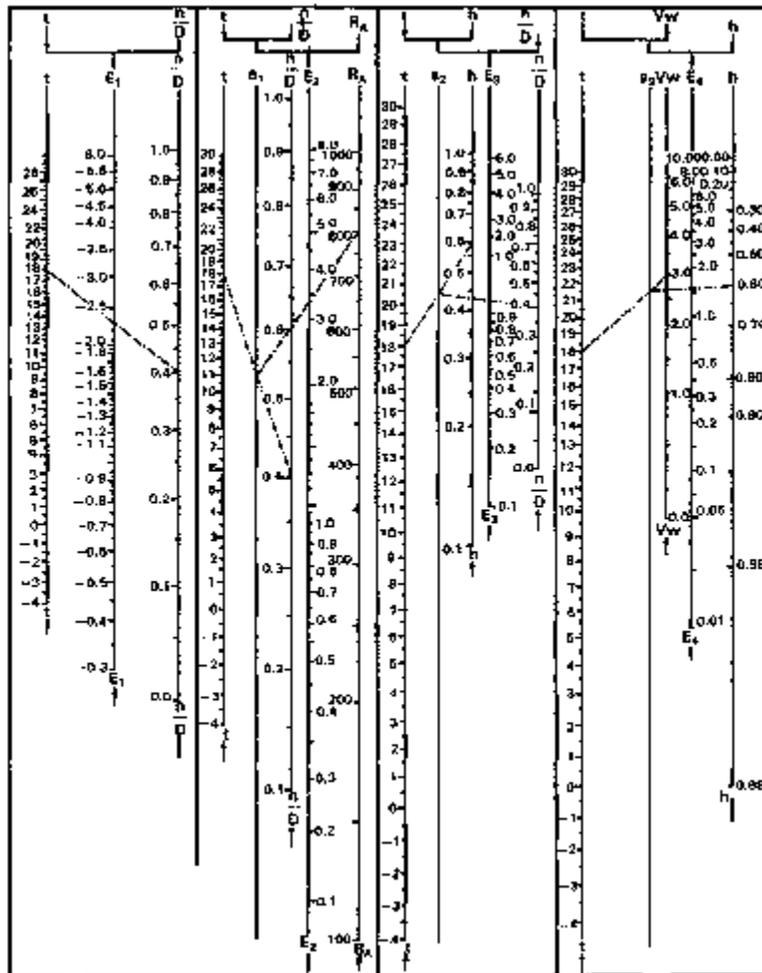
- c) R_c , que puede calcularse también en función de la latitud y la época del año (tabla 4.2. anexo).
- d) La humedad relativa h , en %, que se calcula con la figura 6.2 (anexo), en función de la presión de vapor y T_a .
- e) La velocidad del viento V_w , en km/h, medida a 2m de la superficie.

Los parámetros anteriores se muestran en la siguiente tabla.

Mes	n/D	Rc	h (%)	V (m/S)	T° C	mb
Enero	0.14	682.87	60	8.08	17.53	21.20
Febrero	0.14	753.30	54	6.36	18.01	21.81
Marzo	0.17	844.41	49	4.80	19.75	24.05
Abril	0.17	1220.33	48	6.41	21.71	27.44
Mayo	0.19	940.29	54	2.29	22.39	28.66
Junio	0.20	955.40	67	4.44	22.34	28.57
Julio	0.20	909.61	72	4.51	21.18	26.49
Agosto	0.19	927.63	72	6.07	21.15	26.43
Septiembre	0.17	924.59	73	7.74	21.03	26.22
Octubre	0.16	797.12	69	7.91	21.23	26.58
Noviembre	0.14	690.63	66	12.20	19.72	24.01
Diciembre	0.14	655.49	52	4.47	18.35	22.25

Parámetros para el monograma de Willson

Tomando en consideración estos parámetros utilizamos el nomograma de Willson que a continuación se presenta, para la obtención de los parámetros E1, E2, E3 y E4.



Nomograma de Willson

Una vez obtenidos los parámetros se procede a realizar la suma de estos para la determinación de la evaporación.

$$E = E1+E2+E3+E4$$

El resultado mensual de la evaporación se muestra a continuación.

Mes	Volumen Evaporación (Mm3)
Enero	0.11
Febrero	0.13
Marzo	0.19
Abril	0.20
Mayo	0.20
Junio	0.14
Julio	0.10

Mes	Volumen Evaporación (Mm3)
Agosto	0.11
Septiembre	0.10
Octubre	0.10
Noviembre	0.09
Diciembre	0.10
suma	1.56

Evaporación mensual por el método del monograma de Willson

8.1. DATOS DE DEMANDA A SUMINISTRAR POR EL VASO

8.1.1. VOLÚMENES MEDIOS MENSUALES DEMANDADOS

En la tabla que a continuación se muestra se indican el volumen medio mensual demandado en la zona de estudio según el régimen de cultivos que se consideraron en el capítulo 6, teniendo en cuenta las pérdidas por evaporación, se tiene que el volumen demandado para riego es de 16.20 Mm³.

Si bien se ha estimado la demanda para uso urbano esta estará limitada a los excedentes una vez que se asegure la demanda para riego. Los volúmenes mensuales requeridos se indican en la tabla siguiente:

Mes	Volumen de salida (Mm3)
Enero	1.01
Febrero	1.29
Marzo	1.62
Abril	1.58
Mayo	1.71
Junio	1.24
Julio	1.21
Agosto	1.53
Septiembre	1.41
Octubre	1.33
Noviembre	1.27
Diciembre	1.01
Volumen Medio Anual (Mm3)	16.21

Volúmenes mensuales demandados

8.1.2. VOLÚMENES MEDIOS MENSUALES DE LA CUENCA

El volumen de agua que ingresa al vaso de almacenamiento es el dado por el volumen de escurrimiento medio anual obtenido a partir de la norma hidrológica de Comisión Nacional del Agua el cual es de 20.09 Mm³.

8.2. SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL VASO

La simulación del funcionamiento del vaso se hace considerando la ecuación de continuidad en la que se conoce el volumen que ingresa al vaso y el volumen que sale de él. El volumen que ingresa al vaso está dado por el escurrimiento derivado de la precipitación, en tanto que las salidas corresponden al uso que tenga la presa.

Mes	Volumen Entrante Mm ³ (Escorrentía)
Enero	1.67
Febrero	1.67
Marzo	1.67
Abril	1.67
Mayo	1.67
Junio	1.67
Julio	1.67
Agosto	1.67
Septiembre	1.67
Octubre	1.67
Noviembre	1.67
Diciembre	1.67
suma	20.09

Volumen que ingresa al vaso.

El volumen de salida del vaso (O), lo constituye el volumen medio mensual demandado. Siendo, fundamentalmente la demanda de riego a nivel mensual, su valor se indica en la tabla siguiente.

Mes	Volumen de salida (Mm3)
Enero	0.901
Febrero	1.171
Marzo	1.440
Abril	1.382
Mayo	1.506
Junio	1.204

Mes	Volumen de salida (Mm3)
Julio	1.176
Agosto	1.563
Septiembre	1.446
Octubre	1.313
Noviembre	1.176
Diciembre	0.912
Volumen Medio Anual (Mm3)	15.188

8.2.1. CAPACIDAD INICIAL DE SIMULACIÓN

Con los valores indicados en las tablas anteriores y las curvas características del vaso de almacenamiento se realiza la simulación para las condiciones siguientes:

1. Vaso lleno es decir con la elevación del agua al NAMO
2. Vaso con elevación de la superficie libre del agua entre el NAMO y el NAMIN.

8.2.2. METODOLOGÍA

SIMULACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL VASO

Con la simulación se pretende conocer el nivel o elevación alcanzada por el espejo del agua en el vaso al final del intervalo de tiempo. Dicho nivel es función de las entradas y de las salidas de agua del vaso, así como de las características físicas del vaso de almacenamiento y que son dadas por las curvas características.

$$I - O = \frac{dV}{dt}$$

Donde:

- I Volumen de entrada al vaso, (m³/mes)
- O Volumen de salida del vaso (demanda, evaporación) (m³/mes)
- dV Variación de almacenamiento en la presa, en m³.
- dt Intervalo de tiempo, (mes)

La ecuación anterior puede ser expresada en diferencias finitas para su resolución.

Con el empleo del método numérico de diferencias finitas y la ayuda de una hoja de cálculo en Excel y un programa sencillo se realizó la simulación.

Transito de la avenida

El tránsito de la avenida en vasos de almacenamiento es un proceso que permite evaluar la capacidad de regulación de la crecientes en el vaso. Para tal fin se precisa conocer el hidrograma de la creciente y la morfología del vaso definida por las curvas características. De esta manera se define un hidrograma de salida que es función de la capacidad de almacenamiento del embalse, de la longitud de la cresta del vertedor y del hidrograma de entrada.

Cuando una creciente alcanza un embalse donde el vertedor es de descarga libre, la condición crítica ocurre cuando el vaso de almacenamiento está lleno. En tal situación el volumen de almacenamiento del vaso se va incrementando y al mismo tiempo se inicia la descarga por el vertedor debido al incremento de la carga hidráulica sobre la cresta. En la etapa inicial de este proceso es de esperar que los gastos de entrada sean mayores que los de salida, hasta alcanzar un máximo en el que el vaso empieza a vaciarse.

Para hacer el tránsito de la avenida se emplea la ecuación de continuidad, la cual está dada por:

$$I - O = \frac{dV}{dt}$$

Donde:

- I Gasto de entrada al vaso, (m³/s)
- O Gasto de salida del vaso por la obra de toma y/o excedencias, (m³/s)
- dV Variación de almacenamiento en la presa, en m³.
- dt Intervalo de tiempo, (s).

En el tránsito de una avenida no se consideran variables como la evaporación y la infiltración ya que su magnitud es inferior al volumen de las entradas o salidas. Además, de utilizar únicamente el gasto de salida por la obra de excedencia, ya que el que se extrae por la obra de toma se considera despreciable.

El gasto de salida o que descarga el vertedor queda expresado por la ecuación siguiente:

$$Q = CLH^{1.5}$$

Donde:

- C Coeficiente de descarga del vertedor depende del tipo de vertedor, aquí se emplea un valor de 2.6
- L Longitud de la cresta del vertedor, (m)
- H Carga hidráulica sobre la cresta del vertedor, m.
- Q Gasto descargado por el vertedor, (m³/s).

Las entradas al vaso de almacenamiento quedan definidas por el hidrograma de asociado a un periodo de retorno de 10 000 años.

8.2.3. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados derivados de la simulación para las condiciones analizadas

1. Vaso lleno

Esta condición de análisis supone que el espejo del agua se encuentra a la elevación 1081 msnm, y a partir de aquí se simula el nivel que se alcanza mes a mes durante el año.

La simulación requiere además conocer el régimen de entradas constituidas por la aportación de la cuenca y el régimen de salidas constituidas por la demanda agrícola, ecológica y urbana.

En cuanto a las pérdidas de agua aquí se consideran sólo las debidas a la evaporación en el vaso. Así, los resultados obtenidos bajo estas consideraciones se muestran en la tabla siguiente:

Elevación (msnm)	MES	Entrada (Mm3)	Salida demanda (Mm3)	Elevación final (msnm)
1081	Enero	1.67	1.01	1081.90
1081.90	Febrero	1.67	1.29	1082.48
1082.48	Marzo	1.67	1.62	1082.83
1082.83	Abril	1.67	1.58	1083.20
1083.20	Mayo	1.67	1.71	1083.50
1083.50	Junio	1.67	1.24	1083.08
1083.08	Julio	1.67	1.21	1082.21
1082.21	Agosto	1.67	1.53	1081.37
1081.37	Septiembre	1.67	1.41	1080.80
1080.80	Octubre	1.67	1.33	1080.64
1080.64	Noviembre	1.67	1.27	1081.29
1081.29	Diciembre	1.67	1.01	1082.08

Como puede verse la elevación del agua alcanzada al final del año se localiza 1.08 m por arriba del vertedor, con lo que no se regula el volumen descargado por la obra de excedencia.

2. Vaso con agua entre el NAMO y el NAMIN

Al considerar que con nivel inicial de vaso lleno se presenta descarga por el vertedor, en este apartado se considera que el espejo del agua en el embalse se localiza en la cota 1068 msnm. Los resultados de esta simulación se presentan a continuación.

Elevación (msnm)	MES	Entrada (Mm3)	Salida demanda (Mm3)	Elevación final (msnm)
1068	Enero	1.67	1.01	1069.12
1069.12	Febrero	1.67	1.29	1069.92
1069.92	Marzo	1.67	1.62	1070.40
1070.40	Abril	1.67	1.58	1070.93
1070.93	Mayo	1.67	1.71	1071.36
1071.36	Junio	1.67	1.24	1070.76
1070.76	Julio	1.67	1.21	1069.54
1069.54	Agosto	1.67	1.53	1068.41
1068.41	Septiembre	1.67	1.41	1067.66
1067.66	Octubre	1.67	1.33	1067.45
1067.45	Noviembre	1.67	1.27	1068.31
1068.31	Diciembre	1.67	1.01	1069.37

El nivel alcanzado por el espejo del agua al final de año se localiza en la cota 1069.37 m, 1.37 m por arriba del nivel inicial de simulación con lo que se regula el volumen de entrada.

En la tabla siguiente se muestran los resultados alcanzados si el nivel inicial fuera el NAMIN.

Elevación (msnm)	MES	Entrada (Mm3)	Salida demanda (Mm3)	Elevación final (msnm)
1052.9	Enero	1.67	1.01	1056.04
1056.04	Febrero	1.67	1.29	1057.62
1057.62	Marzo	1.67	1.62	1058.58
1058.58	Abril	1.67	1.58	1059.62
1059.62	Mayo	1.67	1.71	1060.34
1060.34	Junio	1.67	1.24	1059.28
1059.28	Julio	1.67	1.21	1056.88
1056.88	Agosto	1.67	1.53	1054.26
1054.26	Septiembre	1.67	1.41	1051.33
1051.33	Octubre	1.67	1.33	1050.51

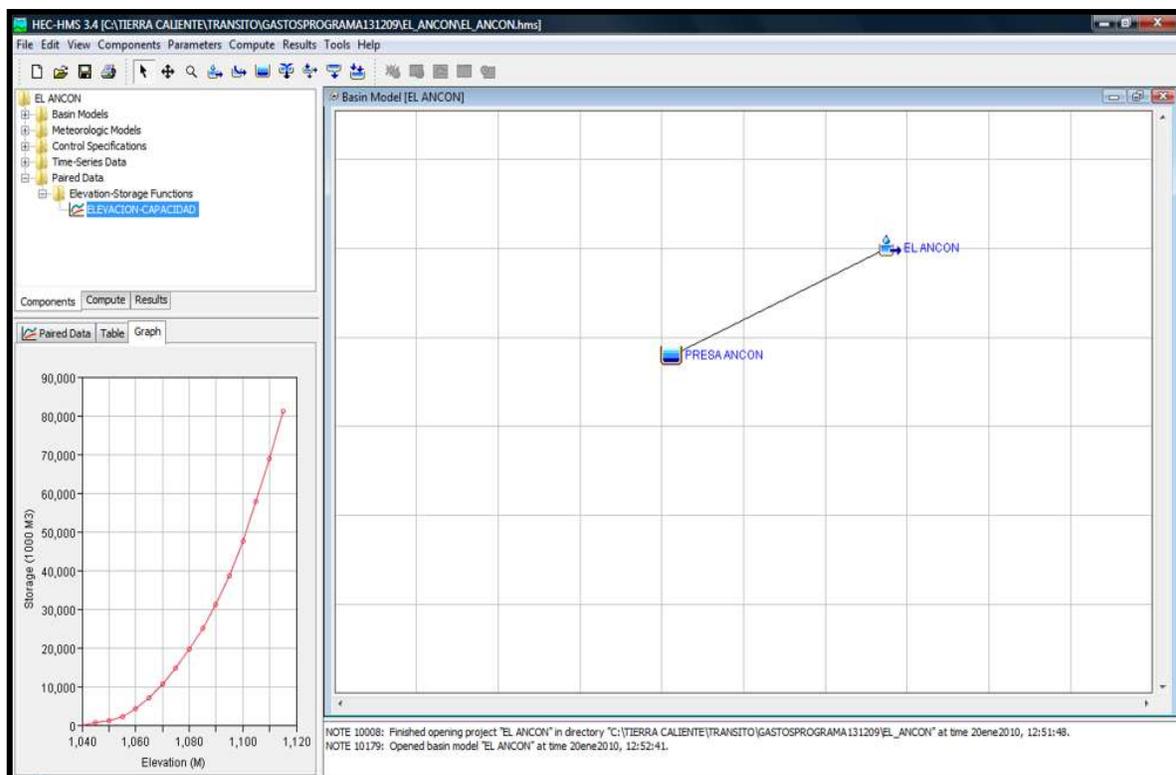
Elevación (msnm)	MES	Entrada (Mm3)	Salida demanda (Mm3)	Elevación final (msnm)
1050.51	Noviembre	1.67	1.27	1053.88
1053.88	Diciembre	1.67	1.01	1056.54

Puede verse que bajo esta condición de análisis el espejo del agua al final del año se localiza en la cota 1056.54, 3.64 m por arriba del nivel inicial por lo que se regulan las entradas.

8.3. TRANSITO DE LA AVENIDA

El tránsito de la avenida por el vaso y el vertedor de excedencias se realizaron con la ayuda del software HEC-HMS. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

En la figura siguiente se muéstrala curva de elevación-capacidad del vaso



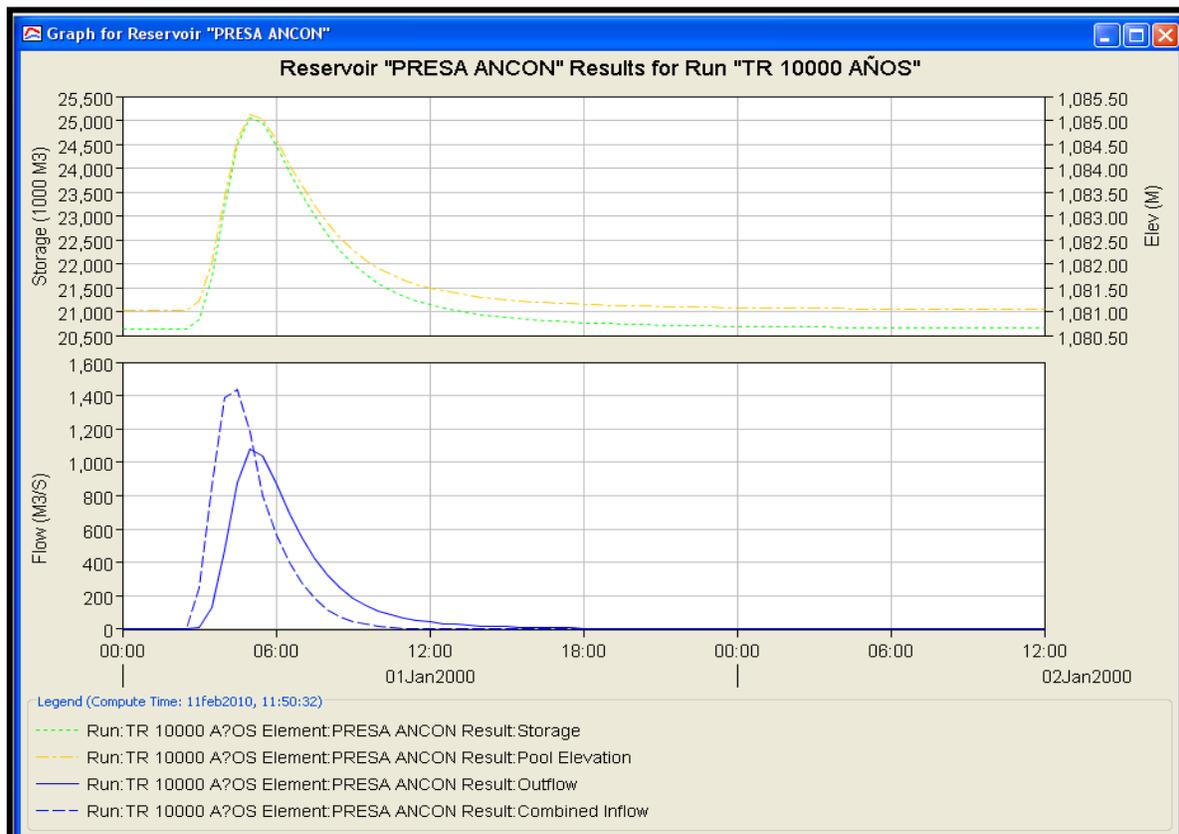
Curva característica del vaso

Para conocer la descarga del vertedor se requiere conocer su longitud, el coeficiente de descarga y la elevación de la cresta. Dichos valores se indican a continuación.

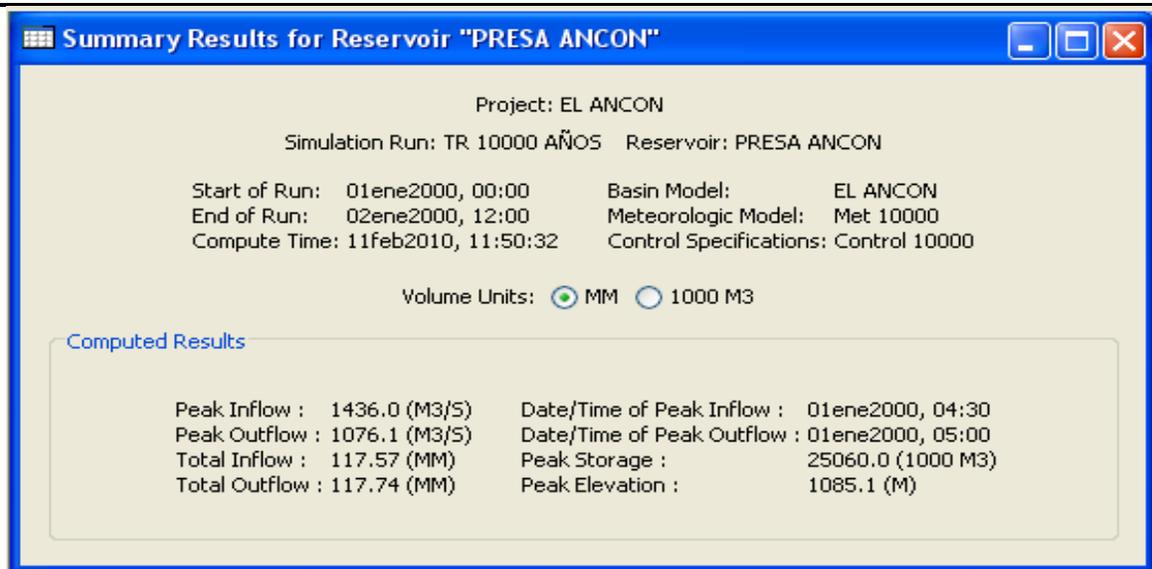
	Reservoir	Spillway 1	Options
Basin Name: EL ANCON			
Element Name: PRESA ANCON			
Method:	Broad-Crested Spillway 		
Direction:	Main 		
*Elevation (M)	1081.02		
*Length (M)	50		
*Coefficient:	2.6		
Gates:	0 		

Características físicas del vertedor

En la figura siguiente se muestra el hidrograma de salida por el vertedor para un periodo de retorno de 10,000 años, así como algunos datos hidráulicos representativos.



Hidrograma de salida por el vertedor



Características hidráulicas en el vaso

En la tabla siguiente se presentan los resultados derivados de la modelación.

Time-Series Results for Reservoir "PRESA ANCON"

Project: EL ANCON
Simulation Run: TR 10000 AÑOS Reservoir: PRESA ANCON
Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: EL ANCON
End of Run: 02ene2000, 12:00 Meteorologic Model: Met 10000
Compute Time: 11feb2010, 11:50:32 Control Specifications: Control 10000

Date	Time	Inflow (M3/S)	Stor... (100...)	Elev... (M)	Outfl... (M3/S)
01ene2000	00:00	0.0	20625.4	1081.0	0.0
01ene2000	00:30	0.0	20625.4	1081.0	0.0
01ene2000	01:00	0.0	20625.4	1081.0	0.0
01ene2000	01:30	0.0	20625.4	1081.0	0.0
01ene2000	02:00	0.0	20625.4	1081.0	0.0
01ene2000	02:30	0.5	20625.8	1081.0	0.0
01ene2000	03:00	244.9	20838.0	1081.2	11.4
01ene2000	03:30	856.3	21709.2	1082.0	130.9
01ene2000	04:00	1384.6	23180.8	1083.4	474.0
01ene2000	04:30	1436.0	24480.7	1084.6	878.4
01ene2000	05:00	1184.7	25060.0	1085.1	1076.1
01ene2000	05:30	796.8	24939.9	1085.0	1038.8
01ene2000	06:00	560.7	24458.2	1084.6	870.7
01ene2000	06:30	401.5	23929.6	1084.1	696.9
01ene2000	07:00	278.5	23435.4	1083.6	546.6
01ene2000	07:30	186.3	22991.6	1083.2	422.4
01ene2000	08:00	118.6	22603.0	1082.9	322.7
01ene2000	08:30	73.9	22270.5	1082.5	244.8
01ene2000	09:00	45.9	21993.7	1082.3	185.7
01ene2000	09:30	29.2	21768.5	1082.1	141.8
01ene2000	10:00	18.7	21587.1	1081.9	109.4
01ene2000	10:30	10.9	21439.7	1081.8	85.3
01ene2000	11:00	4.7	21317.7	1081.7	66.8
01ene2000	11:30	2.2	21216.7	1081.6	52.8
01ene2000	12:00	1.2	21134.6	1081.5	42.2
01ene2000	12:30	0.6	21067.8	1081.4	34.2
01ene2000	13:00	0.3	21012.9	1081.4	28.0
01ene2000	13:30	0.1	20967.4	1081.3	23.2
01ene2000	14:00	0.0	20929.2	1081.3	19.4
01ene2000	14:30	0.0	20897.0	1081.3	16.4
01ene2000	15:00	0.0	20869.7	1081.2	14.0
01ene2000	15:30	0.0	20846.3	1081.2	12.0
01ene2000	16:00	0.0	20826.1	1081.2	10.4
01ene2000	16:30	0.0	20808.5	1081.2	9.1
01ene2000	17:00	0.0	20793.2	1081.2	8.0
01ene2000	17:30	0.0	20779.7	1081.2	7.0
01ene2000	18:00	0.0	20767.8	1081.2	6.2

Elevación del espejo del agua en el vaso

8.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados anteriores se observa que la elevación máxima alcanzada por el espejo del agua en el vaso es la 1085.10m, con la que se presenta una carga sobre el vertedor de 4.08 m. para una longitud del vertedor de 50 m.

Con esto la cortina alcanzara una altura aproximada de 46m donde los niveles del espejo de agua estarán regidos por las demandas pero deberá asegurarse el suministro en épocas de estiaje.

REFERENCIAS

- Campos Aranda Daniel Francisco, Estimación y Aprovechamiento del escurrimiento, 2007.
- Campos Aranda Daniel Francisco, Procesos del ciclo Hidrologico, 1998.
- Aparicio, Fundamentos
- Manual HEC – HMS, F. Javier Sanchez San Román – Dpto. Geología – Univ. Salamanca (España).
- Manual ArcView 3.2, Virginia Behm Caracas 2008.
- Norma Mexicana NOM-011-CNA-2000

ANEXOS**A) TABLA DEL NUMERO DE ESCURRIMIENTO**

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno %	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	**	77	86	91	94
Cultivos en surco	surcos rectos	>1	72	81	88	91
	surcos rectos	<1	67	78	85	89
	Contorneo	>1	70	79	84	88
	Contorneo	<1	65	75	82	86
	Terrazas	>1	66	74	80	82
	Terrazas	<1	62	71	78	81
Cereales	surcos rectos	>1	65	76	84	88
	surcos rectos	<1	63	75	83	87
	Contorneo	>1	63	74	82	85
	Contorneo	<1	61	73	81	84
	Terrazas	>1	61	72	79	82
	Terrazas	<1	59	70	78	81
Leguminosas ó praderas en rotación	surcos rectos	>1	66	77	85	89
	surcos rectos	<1	58	72	81	85
	Contorneo	>1	64	75	83	85
	Contorneo	<1	55	69	78	83
	Terrazas	>1	63	73	80	83
	Terrazas	<1	51	67	76	80
Pastizales	*****	>1	68	79	86	89
	*****	<1	39	61	74	80
	Contorneo	>1	47	67	81	88
	Contorneo	<1	6	35	70	79
Pradera permanente	*****	<1	30	58	71	78
Bosques naturales						
Muy ralo	*****	**	56	75	86	91
Ralo	*****	**	46	68	78	84
Normal	*****	**	36	60	70	77
Espeso	*****	**	26	52	62	69
Muy espeso	*****	**	15	44	54	61
Caminos						
De terracería	*****	**	72	82	87	89
De superficie muy dura	*****	**	74	84	90	92

B) DATOS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1953	0	0	0	0	11.1	57.2	274.6	96.7	184.8	36.6	30.2	7.3	698.5
1954	0	0	0	0	7.9	216.3	243.1	120.1	194.8	39.9	1.3	0	823.4
1955	0	0	0	0	19	147.5	338.5	256.3	306.9	108.5	38.4	0	1215.1
1956	0	0	0	0	138.6	250.4	216.7	166.6	92.9	36.8	13.8	0	915.8
1957	0	0	0	0	0	126.9	218.2	169.1	182.2	29	3	0	728.4
1958	100.3	0	0	0	2	108.8	302.8	144.4	299.8	75.5	25.8	7.7	1067.1
1959	18.4	8.4	0	29.3	54.4	176.6	154.7	246.2	129.8	144.1	12.6	0	974.5
1960	9	0	0	0	0	56.2	308	131.2	78.6	154	0	40.6	777.6
1961	22.7	0	0	0	0	159.6	174.1	57	119.4	9.4	2	0	544.2
1962	0	0	0	4	0	82.7	210.6	309.6	175	104.3	52	0.3	938.5
1963	0	0	0	0	0	154.1	152.6	96.4	355	85.7	0	199.4	1043.2
1965	194.8	3.5	119.1	4	34.3	104.3	154.6	215.5	83.2	17.7	0	3.5	934.5
1966	1.4	6.1	5.8	3.5	24	371.4	226.5	199.4	98.8	73.3	0	0	1010.2
1967	130.4	0	3.8	0	17.4	221.2	203.7	194.8	351.9	119.1	0	17.5	1259.8
1968	0.3	17.8	76.2	2	3.5	172.2	179.5	264.2	387.5	179.4	24.5	14.4	1321.5
1969	0	0	0	0	0	50.7	231.8	400.4	159	65.5	0	12.4	919.8
1970	0	0	0	0	0	153.9	312.2	233.9	232.9	50.1	2.5	0	985.5
1972	0	0	0	0	16.3	291.3	222.3	136.8	160.8	10.8	32	0	870.3
1973	0	0	0	4.5	18	171	94.3	172.5	288.6	185.7	0	0	934.6
1974	0	0	0	0	34	191.2	169.9	171.7	146.6	41	2	8	764.4
1975	4	0	0	0	20	159.8	244.6	138.6	163	9.3	0	0	739.3
1976	0	5	0	0	0	160	231.9	92.3	108.4	188.1	132	0	917.7
1977	0	0	0	0	15	183.9	184	218.1	220.2	5	2.5	0	828.7
1978	1	1	4	0	0	58.9	208.5	191.5	156	99.5	0	0	720.4
1979	0	0	0	0	0	157	118	90.5	220.5	48.5	0	4	638.5
1980	91	0	0	0	4	213.5	220	307.5	49	76	53.5	0	1014.5
1981	96.5	10.5	6	0	0	160.8	246	181.5	168	52.5	0	0	921.8
1982	0	10	0	0	71.5	75.5	211.5	150	78	53	0	0	649.5
1983	11	8	0	0	103	64	152	162.5	180	105	26	34	845.5
1984	21.5	0	0	0	0	248.5	253.5	136	218.7	64.5	0	0	942.7
1985	0	0	18.3	0	0	139.8	75.7	147.6	102.8	0	0	0	484.2
MEDIA	22.65	2.27	7.52	1.53	19.16	157.59	210.79	180.61	183.65	73.15	14.65	11.26	884.83
MÁXIMA	194.8	17.8	119.1	29.3	138.6	371.4	338.5	400.4	387.5	188.1	132	199.4	1321.5
MINIMA	0.3	1	3.8	2	2	50.7	75.7	57	49	5	1.3	3.5	484.2

Datos totales mensuales y anuales de la estación meteorológica Cajón

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1937	0	22.5	0	0	25	265	294	371.3	157.4	40.8	0	70.1	1246.1
1938	9.9	6	1	10	49.9	311.2	99	228.4	201	45	71	12.6	1045
1940	5.7	6.3	0	0	2.4	150.5	190.4	133.1	117	58.6	47	25.1	736.1
1942	0	0	0	0	33.6	198.7	247.6	234.7	223.6	56.7	79	7.1	1081
1943	1	0	0	0	94.5	258.5	183.6	256.9	302.2	134.3	0	76.2	1307.2
1945	0	0	0	0	5.1	140.2	151.3	227	282.3	172.8	40.9	0	1019.6
1951	0	0	7.5	0	40.5	270	886.2	265.5	235	138.3	55.5	30	1928.5
1952	55	0	0	151	66.5	260.5	279.5	96.5	254.5	41	50	61.5	1315.5
1953	0	0	7	0	21.3	226.7	146.5	149.6	91.3	151.9	5.8	39.5	839.6
1954	0	67	0	29	118.3	242.4	307.7	587.2	239.6	88.6	61	0	1740.8
1955	0	0	0	45	26.9	180.8	334.4	290.4	340	243.8	57.2	10.1	1528.6
1957	0	0	0	0	56	138.9	177.6	226.7	247	71.1	48	20.4	985.7
1958	150.4	3.5	0	0	112.4	351.9	481.8	337.2	158.5	743.5	56	28.5	2423.7
1959	35.2	0	0	144	127.6	343	321.7	209.2	140	578.9	127.5	0	2026.6
1960	0	0	0	0	120	118	679.5	578.3	112.7	118.3	30.2	12.4	1769.4
1974	42.5	11	0	34	54	260.6	469.5	575	239.5	236.5	23.5	35	1981.1
1976	3.5	5.1	0	0	0	208	210	201	161.5	441.5	132.2	54.5	1417.3
1977	4	10	0	15	88	398.5	182	355	191	230	92	11	1576.5
1978	1.7	30	0	0	33.5	351.5	157.4	135	352	190	49	0	1300.1
1979	0	10	0	0	66	249.6	161	322.5	196.5	96.5	0		1102.1
1980	128.1	0	0	0	7	253	244.5	263	112.5	79.5	50	3	1140.6
1982	0	17	0	2	70	155	208	249.5	305	203	174.8	96	1480.3
1985	0	0	50	0	4.5	270	286	331	262	142	190	100	1635.5
1986	15	20	0	11	0	165.5	275	238	130	124	22	28	1028.5
1987	0	0	0	0	0	233	296	80	130	80	35	0	854
MEDIA	18.08	8.34	2.62	17.6	48.92	240.04	290.81	277.68	207.28	180.3	59.9	30.04	1380.4
MÁXIMA	150.4	67	50	151	127.6	398.5	886.2	587.2	352	743.5	190	100	2423.7
MINIMA	1	3.5	1	2	2.4	118	99	96.5	91.3	40.8	5.8	3	736.1

Datos totales mensuales y anuales de la estación meteorológica Coacomán

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUL
1958	110.5	19.5	0	0	14.5	95.5	265	132.5	255	105.9	44	40.5	1082.9
1959	51.5	0	0	35.5	10	261.7	103	143.5	104	211.4	56.5	0	977.1
1960	0	0	0	0	0	78.5	115	122.5	225.5	151.5	31.5	2	726.5
1961	12	1.5	0	0	21.5	173.5	120	122	109	36	8.5	0	604
1962	0	0	0	0	0.2	332	182.5	178.5	221.5	214	0	0	1128.7
1963	0	0	1.5	0	2	187	199	44	391	46.5	0	0	871
1965	1.5	22.5	0	0	17.5	76.5	130	234	63.5	103	1.5	13.5	663.5
1966	0	17	5.5	3	6.5	371	92	128.5	220.5	131.5	0	1	976.5
1967	455	0	0	0	3	179.5	130.5	190.7	43	55.5	0	8.5	1065.7
1968	4	33.5	139.5	0	17	239	61	159.5	257	206.5	6	44.5	1167.5
1970	0	6.5	0	0	0	333	151	278	305.5	6	12.5	0	1092.5
1971	0	0	0	0	50	100	124	285.5	238	139.5	0	0	937
1972	0	0	20.5	0	1	170.5	102	202.5	121	62.5	31	1.5	712.5
1973	1	0	0	122	4	134	165.5	223	149	137.5	7	0	943
1974	0	0	0	0	82	150.5	108.5	202	245	22	40.5	52	902.5
1976	0	0	0	0	0	62	80.5	88	231	395	318.5	15	1190
1977	22.5	0	0	1	15	123.5	133.5	268.5	159.5	79.5	0	16	819
1978	4.5	4	1.5	0	9	57.5	259.5	102.5	252	77.5	0	0	768
1979	0	0	0	0	0	75	196	265	201.5	101.5	0	7	846
1980	193.5	0	0	0	16	99	188	110	141	33.5	61	0	842
1981	92.5	0	0	1.5	0	87.5	222	315.5	164.5	82.5	0	1.5	967.5
1982	0	0	0	0	27	32.5	112	153.5	48.5	59.5	96	0	529
1983	8	7.5	6	0	307.5	32	167	35.5	300	117.5	0	45	1026
1987	12	2	0	4.5	0	81.5	246.5	91	76.5	29	1	0	544
1991	5.7	0	0	0	4.5	105.7	130.6	95.1	203.2	45.1	6.4	3.2	599.5
1992	529.8	25.6	0	1.8	6.2	58.2	138.3	154.3	246.4	387	9.7	21.3	1578.6
1993	8.8	2	0	0	0	271.6	400.8	215.3	218.2	53	11.6	0	1181.3
1994	0	0	0	0	0	66.5	72.8	220.4	157.5	152.3	0.6	0	670.1
1995	3.4	6.5	1	0	8.2	110.4	110.3	253.6	252.8	18.3	16.8	47.8	829.1
1996	0	0	0	0	8.5	258.3	118.3	251.3	43.4	544	16.1	6	1245.9
1997	0	0	22.5	1.3	22.4	88.5	156.5	129.4	78.7	285.1	70.2	11.7	866.3
1998	1.2	0	0	0	1.6	139.3	179.5	157.6	289.6	79.1	5.2	0	853.1
1999	0	0	0	0	0	196.7	225.9	157.6	231.1	78.9	5	0	895.2
MEDIA	46.0	4.5	6.0	5.2	19.9	146.3	157.2	173.1	189.2	128.7	26.0	10.2	912.2
MÁXIMA	529.8	33.5	139.5	122	307.5	371	400.8	315.5	391	544	318.5	52	1578.6
MINIMA	1.2	1.5	1	1.3	0.2	32	61	35.5	43	6	0.6	1	529

Datos totales mensuales y anuales de la estación meteorológica Arteaga

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1962	0	0	0	0	0	156.8	181.5	229	230	139	22.4	5	963.7
1963	0	0	0	0	4.5	162	184.2	45.5	265	74	1.5	26.5	763.2
1964	0	0	0	0	0	183.5	225	116.5	302	114.5	4.5	44.5	990.5
1965	2	16	0	0	0	139	130.5	275	282.5	60.5	0	7.5	913
1966	0	14.5	0	3	3	376.5	153	138.5	287	213.5	4.5	0	1193.5
1967	230	0	0	0.5	0	116	124	368.5	433.8	127.5	3.5	47	1450.8
1968	0	39.5	167.5	0	0	233	73.5	179	661	74.5	0	48	1476
1969	0	0	0	0	0	53.5	152.5	353.5	207	224	0	10	1000.5
1970	0	0	0	0	0	202.5	304.5	349	295	26	40	0	1217
1971	0	0	1	0	5	93.5	173	325.5	239.5	232.5	21.5	0	1091.5
1972	28.5	0	0	0	33	357.5	175	153.5	175.5	39	96.5	0	1058.5
1973	35	0	0	30	4	151	141	205	132	79	3.5	0	780.5
1974	0	0	0	0	99.5	258.5	113	215	297	8	0	81	1072
1975	26	0	0	0	1	130.5	1131	309.5	140	78.5	2.5	0	1819
1976	0	4	0	0	0	224.5	243	191	87	110	227	6.5	1093
1977	2.5	0	0	2	4	290.5	179	380	83.5	56.5	5	32.5	1035.5
1978	0	22.5	0	0	0	254.4	284.7	163.9	398.9	181.3	0	0	1305.7
1979	9.7	0	0	0	0	67.3	184.1	344.3	386.1	154.4	0	0	1145.9
1980	159.2	3.3	0	0	0	52.4	242.6	239.8	339.5	38.5	16.4	2.2	1093.9
1981	45.1	0	0	0	0	101.6	172.8	289.2	212.1	116	8.5	0	945.3
1982	0	0	0	0	32	90.6	182.2	196.7	318.4	66	74.3	6.5	966.7
1987	0	0	0	0	2	105.9	751.5	267.3	134.9	68.7	49.5	13.8	1393.6
1990	0	0	0	0	0	234.1	135.6	254.1	278.8	106	2.1	0	1010.7
MEDIA	22.42	4.16	7.02	1.48	7.83	168.13	234.88	232.89	257.77	99.50	24.30	13.79	1120.9
MÁXIMA	230	39.5	167.5	30	99.5	376.5	1131	380	661	232.5	227	81	1819
MINIMA	2	3.3	1	0.5	1	52.4	73.5	45.5	83.5	8	1.5	2.2	763.2

Datos totales mensuales y anuales de la estación meteorológica Aquila

C) PARÁMETROS Y CÁLCULO DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN QUE SE AJUSTAN A LOS DATOS DE LA ESTACIÓN BASE AGUILILLA.

Errores cuadráticos Archivo: AGUILILLAJU

i	Tr	Dato	Calculado	Error^2
1	27	192.5	136.48	3138.45
2	13.5	135.	125.82	84.35
3	9.	123.	118.75	18.1
4	6.75	106.	113.22	52.13
5	5.4	103.	108.56	30.94
6	4.5	100.	104.46	19.87
7	3.86	88.6	100.73	147.15
8	3.38	85.	97.27	150.65
9	3.	75.1	94.02	357.78
10	2.7	75.	90.9	252.85
11	2.45	72.	87.89	252.58
12	2.25	70.2	84.96	217.77
13	2.08	70.	82.07	145.6
14	1.93	69.	79.19	103.94
15	1.8	69.	76.3	53.36
16	1.69	68.	73.37	28.82
17	1.59	67.	70.36	11.29
18	1.5	66.	67.25	1.55
19	1.42	66.	63.99	4.05
20	1.35	60.	60.53	.28
21	1.29	60.	56.8	10.21
22	1.23	60.	52.7	53.3
23	1.17	58.5	48.04	109.39
24	1.13	56.	42.52	181.82
25	1.08	53.	35.45	308.14
26	1.04	48.5	24.78	562.48

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 80.631$ $\sigma = 31.266$ $\gamma = 2.195$ $\kappa = 8.837$

Parámetros de la función: **Normal (momentos)**

Parámetro	Alfa	Beta
Valor	80.6308	31.2662

Error estándar = 16.198

Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

Función de distribución Normal, ecuación de momentos.

Errores cuadráticos Archivo: AGUILILLAJU

i	Tr	Dato	Calculado	Error^2
1	27.	192.5	136.48	3138.45
2	13.5	135.	125.82	84.35
3	9.	123.	118.75	18.1
4	6.75	106.	113.22	52.13
5	5.4	103.	108.56	30.94
6	4.5	100.	104.46	19.87
7	3.86	88.6	100.73	147.15
8	3.38	85.	97.27	150.65
9	3.	75.1	94.02	357.78
10	2.7	75.	90.9	252.85
11	2.45	72.	87.89	252.58
12	2.25	70.2	84.96	217.77
13	2.08	70.	82.07	145.6
14	1.93	69.	79.19	103.94
15	1.8	69.	76.3	53.36
16	1.69	68.	73.37	28.82
17	1.59	67.	70.36	11.29
18	1.5	66.	67.25	1.55
19	1.42	66.	63.99	4.05
20	1.35	60.	60.53	.28
21	1.29	60.	56.8	10.21
22	1.23	60.	52.7	53.3
23	1.17	58.5	48.04	109.39
24	1.13	56.	42.52	181.82
25	1.08	53.	35.45	308.14
26	1.04	48.5	24.78	562.48

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 80.631$ $\sigma = 31.266$ $\gamma = 2.195$ $\kappa = 8.837$

Parámetros de la función: Log-normal (momentos)

Parámetro	Alfa	Beta
Valor	4.3198	.3743

Error estándar = 16.198

Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

Función de distribución Log-Normal, ecuación de momentos.

Errores cuadráticos Archivo: AGUILLAU

i	Tr	Dato	Calculado	Error^2
1	27.	192.5	148.96	1895.41
2	13.5	135.	127.76	52.47
3	9.	123.	115.86	50.95
4	6.75	106.	107.61	2.58
5	5.4	103.	101.28	2.97
6	4.5	100.	96.14	14.92
7	3.86	88.6	91.8	10.23
8	3.38	85.	88.03	9.21
9	3.	75.1	84.7	92.12
10	2.7	75.	81.69	44.78
11	2.45	72.	78.95	48.24
12	2.25	70.2	76.41	38.52
13	2.08	70.	74.04	16.29
14	1.93	69.	71.8	7.86
15	1.8	69.	69.68	.46
16	1.69	68.	67.64	.13
17	1.59	67.	65.67	1.76
18	1.5	66.	63.75	5.06
19	1.42	66.	61.86	17.13
20	1.35	60.	59.98	.
21	1.29	60.	58.09	3.65
22	1.23	60.	56.15	14.79
23	1.17	58.5	54.13	19.07
24	1.13	56.	51.96	16.36
25	1.08	53.	49.48	12.4
26	1.04	48.5	46.31	4.79

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 80.631$ $\sigma = 31.266$ $\gamma = 2.195$ $\kappa = 8.837$

Parámetros de la función: **Log-normal (momentos)**

Parámetro	Alfa	Beta	Delta
Valor	3.7109	.5883	32.0142

Error estándar = 10.177

Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

Función de distribución Log-Normal 3P, ecuación de momentos.

Errores cuadráticos Archivo: AGUILLAJU

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	27.	192.5	146.45	2120.42
2	13.5	135.	129.08	35.04
3	9.	123.	118.71	18.44
4	6.75	106.	111.19	26.89
5	5.4	103.	105.22	4.93
6	4.5	100.	100.23	.05
7	3.86	88.6	95.9	53.35
8	3.38	85.	92.06	49.81
9	3.	75.1	88.57	181.4
10	2.7	75.	85.35	107.19
11	2.45	72.	82.35	107.15
12	2.25	70.2	79.52	86.78
13	2.08	70.	76.81	46.38
14	1.93	69.	74.2	27.08
15	1.8	69.	71.67	7.13
16	1.69	68.	69.19	1.41
17	1.59	67.	66.73	.08
18	1.5	66.	64.27	3.
19	1.42	66.	61.79	17.76
20	1.35	60.	59.25	.57
21	1.29	60.	56.61	11.49
22	1.23	60.	53.82	38.19
23	1.17	58.5	50.79	59.43
24	1.13	56.	47.37	74.48
25	1.08	53.	43.24	95.23
26	1.04	48.5	37.48	121.33

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 80.631$ $\sigma = 31.266$ $\gamma = 2.195$ $\kappa = 8.837$

Parámetros de la función: **Gumbel (momentos)**

Parámetro	Alfa	Beta
Valor	.041	66.561

Error estándar = 11.717

Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

Función de distribución Gumbel, ecuación de momentos.

Errores cuadráticos Archivo: AGUILLLAJU

i	Tr	Dato	Calculado	Error^2
1	27.	192.5	160.46	1026.47
2	13.5	135.	137.52	6.35
3	9.	123.	122.08	.84
4	6.75	106.	109.36	11.32
5	5.4	103.	98.68	18.65
6	4.5	100.	90.8	84.56
7	3.86	88.6	85.42	10.11
8	3.38	85.	81.57	11.79
9	3.	75.1	78.61	12.3
10	2.7	75.	76.2	1.45
11	2.45	72.	74.17	4.7
12	2.25	70.2	72.38	4.77
13	2.08	70.	70.79	.62
14	1.93	69.	69.32	.1
15	1.8	69.	67.96	1.08
16	1.69	68.	66.67	1.76
17	1.59	67.	65.44	2.44
18	1.5	66.	64.24	3.1
19	1.42	66.	63.06	8.66
20	1.35	60.	61.88	3.52
21	1.29	60.	60.67	.45
22	1.23	60.	59.43	.33
23	1.17	58.5	58.09	.16
24	1.13	56.	56.62	.38
25	1.08	53.	54.86	3.47
26	1.04	48.5	52.46	15.7

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 80.631$ $\sigma = 31.266$ $\gamma = 2.195$ $\kappa = 8.837$

Parámetros de la función: **Doble Gumbel**

Parámetro	Alfa1	Beta1	Alfa2	Beta2	P
Valor	.1065	63.0048	.035343	115.5705	.8

Error estándar = 7.669

Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

Función de distribución Doble Gumbel.

Errores cuadráticos Archivo: AGUILLAJU

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	27.	192.5	132.91	3550.56
2	13.5	135.	119.6	237.11
3	9.	123.	111.52	131.8
4	6.75	106.	105.59	.17
5	5.4	103.	100.83	4.72
6	4.5	100.	96.81	10.18
7	3.86	88.6	93.3	22.06
8	3.38	85.	90.15	26.53
9	3.	75.1	87.28	148.31
10	2.7	75.	84.62	92.45
11	2.45	72.	82.11	102.3
12	2.25	70.2	79.74	91.03
13	2.08	70.	77.47	55.75
14	1.93	69.	75.27	39.27
15	1.8	69.	73.12	16.97
16	1.69	68.	71.01	9.04
17	1.59	67.	68.91	3.64
18	1.5	66.	66.81	.65
19	1.42	66.	64.68	1.75
20	1.35	60.	62.5	6.23
21	1.29	60.	60.23	.05
22	1.23	60.	57.83	4.72
23	1.17	58.5	55.22	10.75
24	1.13	56.	52.28	13.81
25	1.08	53.	48.75	18.06
26	1.04	48.5	43.87	21.46

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 80.631$ $\sigma = 31.266$ $\gamma = 2.195$ $\kappa = 8.837$

Parámetros de la función: Log-normal (máx. ver.)

Parámetro	Alfa	Beta	Delta
Valor	4.3354	.3103	.

Error estándar = 14.172

Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

Función de distribución Log-Normal, ecuación de Máxima Verosimilitud.

Errores cuadráticos Archivo: AGUILLAJU

i	Tr	Dato	Calculado	Error^2
1	27.	192.5	126.39	4370.66
2	13.5	135.	113.77	450.61
3	9.	123.	106.24	280.97
4	6.75	106.	100.78	27.29
5	5.4	103.	96.44	42.99
6	4.5	100.	92.82	51.56
7	3.86	88.6	89.68	1.16
8	3.38	85.	86.88	3.55
9	3.	75.1	84.35	85.57
10	2.7	75.	82.02	49.21
11	2.45	72.	79.83	61.38
12	2.25	70.2	77.78	57.39
13	2.08	70.	75.81	33.76
14	1.93	69.	73.92	24.18
15	1.8	69.	72.08	9.47
16	1.69	68.	70.27	5.17
17	1.59	67.	68.49	2.21
18	1.5	66.	66.7	.49
19	1.42	66.	64.9	1.21
20	1.35	60.	63.05	9.33
21	1.29	60.	61.14	1.3
22	1.23	60.	59.11	.79
23	1.17	58.5	56.91	2.52
24	1.13	56.	54.43	2.47
25	1.08	53.	51.43	2.46
26	1.04	48.5	47.25	1.56

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 80.631$ $\sigma = 31.266$ $\gamma = 2.195$ $\kappa = 8.837$

Parámetros de la función: **Gumbel (máx. ver.)**

Parámetro	Alfa	Beta
Valor	.0565	68.3669

Error estándar = 15.247

Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

Función de distribución Gumbel, ecuación de Máxima Verosimilitud.

Errores cuadráticos Archivo: AGUTULLAJU

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	27.	192.5	265.75	5364.96
2	13.5	135.	209.86	5603.55
3	9.	123.	177.16	2933.73
4	6.75	106.	153.97	2300.92
5	5.4	103.	135.98	1087.39
6	4.5	100.	121.27	452.62
7	3.86	88.6	108.85	409.89
8	3.38	85.	98.08	171.06
9	3.	75.1	88.58	181.76
10	2.7	75.	80.09	25.87
11	2.45	72.	72.4	.16
12	2.25	70.2	65.39	23.18
13	2.08	70.	58.93	122.5
14	1.93	69.	52.96	257.39
15	1.8	69.	47.39	466.83
16	1.69	68.	42.19	666.16
17	1.59	67.	37.3	881.99
18	1.5	66.	32.69	1109.36
19	1.42	66.	28.33	1418.77
20	1.35	60.	24.2	1281.81
21	1.29	60.	20.26	1578.98
22	1.23	60.	16.51	1891.14
23	1.17	58.5	12.93	2076.76
24	1.13	56.	9.5	2162.53
25	1.08	53.	6.21	2189.73
26	1.04	48.5	3.04	2066.34

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 80.631$ $\sigma = 31.266$ $\gamma = 2.195$ $\kappa = 8.837$

Parámetros de la función: **Exponencial (máx. ver.)**

Parámetro	Alfa	Beta
Valor	80.6308	.

Error estándar = 39.126

Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

Función de distribución Exponencial, ecuación de Máxima Verosimilitud.

TABLAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CURVAS IDTR**Interpolación entre 1 hora y 24 horas de la precipitación máxima**

Duración	CUENCA EL ANCON									
	Tr									
	2 Años	5 Años	10 Años	25 Años	50 Años	100 Años	200 Años	500 Años	1000 Años	10000 Años
1	47.00	63.86	84.77	101.24	120.28	133.95	147.34	164.89	172.49	172.49
2	51.02	69.32	92.02	109.89	130.56	145.39	159.93	178.98	187.23	187.23
3	53.52	72.73	96.54	115.29	136.98	152.54	167.79	187.77	196.42	196.42
4	55.38	75.24	99.88	119.28	141.72	157.82	173.60	194.27	203.22	203.22
5	56.86	77.26	102.55	122.47	145.51	162.04	178.24	199.47	208.66	208.66
6	58.10	78.94	104.79	125.14	148.68	165.57	182.13	203.82	213.21	213.21
7	59.17	80.39	106.72	127.45	151.42	168.62	185.48	207.57	217.13	217.13
8	60.11	81.67	108.42	129.48	153.83	171.30	188.43	210.88	220.59	220.59
9	60.95	82.82	109.94	131.29	155.99	173.71	191.08	213.84	223.69	223.69
10	61.72	83.86	111.32	132.94	157.95	175.89	193.47	216.52	226.49	226.49
11	62.42	84.81	112.58	134.45	159.74	177.88	195.67	218.97	229.06	229.06
12	63.06	85.69	113.74	135.84	161.39	179.72	197.69	221.24	231.43	231.43
13	63.66	86.50	114.83	137.13	162.93	181.43	199.57	223.34	233.63	233.63
14	64.22	87.26	115.84	138.34	164.36	183.03	201.33	225.31	235.69	235.69
15	64.75	87.98	116.79	139.47	165.71	184.53	202.98	227.16	237.62	237.62
16	65.24	88.65	117.68	140.54	166.98	185.94	204.54	228.90	239.44	239.44
17	65.71	89.29	118.53	141.55	168.18	187.28	206.01	230.54	241.17	241.17
18	66.16	89.90	119.33	142.51	169.32	188.55	207.41	232.11	242.80	242.80
19	66.58	90.47	120.10	143.43	170.41	189.76	208.74	233.60	244.36	244.36
20	66.99	91.03	120.83	144.30	171.44	190.92	210.01	235.02	245.85	245.85
21	67.38	91.55	121.53	145.14	172.44	192.02	211.22	236.38	247.27	247.27
22	67.75	92.06	122.20	145.94	173.39	193.08	212.39	237.68	248.63	248.63
23	68.11	92.54	122.84	146.71	174.30	194.10	213.51	238.94	249.95	249.95
24	68.45	93.01	123.46	147.45	175.18	195.08	214.59	240.14	251.21	251.21

Calculo de la intensidad I

Duración	CUENCA EL ANCON									
	TR									
	2 Años	5 Años	10 Años	25 Años	50 Años	100 Años	200 Años	500 Años	1000 Años	10000 Años
1	47.00	63.86	84.77	101.24	120.28	133.95	147.34	164.89	172.49	172.49
2	25.51	34.66	46.01	54.95	65.28	72.70	79.97	89.49	93.61	93.61
3	17.84	24.24	32.18	38.43	45.66	50.85	55.93	62.59	65.47	65.47
4	13.84	18.81	24.97	29.82	35.43	39.45	43.40	48.57	50.81	50.81
5	11.37	15.45	20.51	24.49	29.10	32.41	35.65	39.89	41.73	41.73
6	9.68	13.16	17.46	20.86	24.78	27.60	30.35	33.97	35.54	35.54
7	8.45	11.48	15.25	18.21	21.63	24.09	26.50	29.65	31.02	31.02
8	7.51	10.21	13.55	16.18	19.23	21.41	23.55	26.36	27.57	27.57
9	6.77	9.20	12.22	14.59	17.33	19.30	21.23	23.76	24.85	24.85
10	6.17	8.39	11.13	13.29	15.79	17.59	19.35	21.65	22.65	22.65
11	5.67	7.71	10.23	12.22	14.52	16.17	17.79	19.91	20.82	20.82
12	5.26	7.14	9.48	11.32	13.45	14.98	16.47	18.44	19.29	19.29
13	4.90	6.65	8.83	10.55	12.53	13.96	15.35	17.18	17.97	17.97
14	4.59	6.23	8.27	9.88	11.74	13.07	14.38	16.09	16.83	16.83
15	4.32	5.87	7.79	9.30	11.05	12.30	13.53	15.14	15.84	15.84
16	4.08	5.54	7.36	8.78	10.44	11.62	12.78	14.31	14.97	14.97
17	3.87	5.25	6.97	8.33	9.89	11.02	12.12	13.56	14.19	14.19
18	3.68	4.99	6.63	7.92	9.41	10.48	11.52	12.89	13.49	13.49
19	3.50	4.76	6.32	7.55	8.97	9.99	10.99	12.29	12.86	12.86
20	3.35	4.55	6.04	7.22	8.57	9.55	10.50	11.75	12.29	12.29
21	3.21	4.36	5.79	6.91	8.21	9.14	10.06	11.26	11.77	11.77
22	3.08	4.18	5.55	6.63	7.88	8.78	9.65	10.80	11.30	11.30
23	2.96	4.02	5.34	6.38	7.58	8.44	9.28	10.39	10.87	10.87
24	2.85	3.88	5.14	6.14	7.30	8.13	8.94	10.01	10.47	10.47

D) METODO CHOW

$$TR = 2$$

Duración horas	i mm/hr	P mm	Pe mm	d / tr	Z	Q m3/s
0.2	193.73	38.75	1.79	0.11	0.08	23.32
0.4	105.27	42.11	2.60	0.22	0.17	35.87
0.6	73.68	44.21	3.16	0.33	0.26	44.53
0.8	57.20	45.76	3.61	0.45	0.33	48.39
1	47.00	47.00	3.98	0.56	0.41	53.10
1.1	43.22	47.54	4.15	0.61	0.43	52.76
1.2	40.03	48.04	4.31	0.67	0.47	54.87
1.3	37.31	48.50	4.46	0.72	0.52	57.98
1.4	34.95	48.94	4.60	0.78	0.55	58.74
1.5	32.90	49.34	4.73	0.83	0.58	59.50
1.6	31.08	49.73	4.86	0.89	0.61	60.25
1.7	29.46	50.09	4.98	0.95	0.64	60.99
1.8	28.02	50.43	5.10	1.00	0.67	61.71
1.9	26.72	50.76	5.21	1.06	0.68	60.65
2	25.54	51.08	5.32	1.11	0.69	59.68
2.1	24.46	51.38	5.43	1.17	0.70	58.79
2.2	23.48	51.66	5.53	1.22	0.71	57.98
2.3	22.58	51.94	5.62	1.28	0.72	57.23
2.4	21.75	52.21	5.72	1.34	0.74	56.93
2.5	20.99	52.46	5.81	1.39	0.77	58.18
2.6	20.27	52.71	5.90	1.45	0.80	59.01
2.7	19.61	52.95	5.99	1.50	0.81	58.38
2.8	18.99	53.18	6.07	1.56	0.84	59.21
2.9	18.42	53.41	6.15	1.61	0.87	60.01
3	17.87	53.62	6.23	1.67	0.88	59.44
3.1	17.37	53.83	6.31	1.73	0.90	59.57
3.2	16.89	54.04	6.39	1.78	0.93	60.35

TR = 100

Duración horas	i mm/hr	P mm	Pe mm	d / tr	Z	Q m3/s
0.2	552.11	110.42	37.20	0.11	0.08	483.68
0.4	300.00	120.00	43.77	0.22	0.17	604.76
0.6	209.97	125.98	48.01	0.33	0.26	676.36
0.8	163.01	130.41	51.21	0.45	0.33	686.71
1	133.95	133.95	53.80	0.56	0.41	717.08
1.1	123.17	135.49	54.94	0.61	0.43	698.15
1.2	114.09	136.91	55.99	0.67	0.47	712.92
1.3	106.33	138.23	56.98	0.72	0.52	740.88
1.4	99.62	139.47	57.90	0.78	0.55	739.44
1.5	93.75	140.63	58.77	0.83	0.58	738.71
1.6	88.57	141.72	59.59	0.89	0.61	738.56
1.7	83.97	142.75	60.37	0.95	0.64	738.86
1.8	79.85	143.74	61.12	1.00	0.67	739.51
1.9	76.14	144.67	61.83	1.06	0.68	719.30
2	72.78	145.57	62.51	1.11	0.69	701.01
2.1	69.72	146.42	63.16	1.17	0.70	684.36
2.2	66.93	147.24	63.78	1.22	0.71	669.15
2.3	64.36	148.03	64.39	1.28	0.72	655.21
2.4	61.99	148.79	64.97	1.34	0.74	646.78
2.5	59.81	149.52	65.53	1.39	0.77	656.09
2.6	57.78	150.22	66.07	1.45	0.80	660.87
2.7	55.89	150.90	66.60	1.50	0.81	649.47
2.8	54.13	151.56	67.11	1.56	0.84	654.44
2.9	52.48	152.20	67.60	1.61	0.87	659.27
3	50.94	152.82	68.08	1.67	0.88	649.20
3.1	49.49	153.43	68.55	1.73	0.90	646.95
3.2	48.13	154.01	69.00	1.78	0.93	651.92

TR = 1,000

Duración horas	i mm/hr	P mm	Pe mm	d / tr	Z	Q m3/s
0.2	710.96	142.19	59.95	0.11	0.08	779.52
0.4	386.31	154.53	69.40	0.22	0.17	958.87
0.6	270.38	162.23	75.45	0.33	0.26	1062.86
0.8	209.91	167.93	79.99	0.45	0.33	1072.58
1	172.49	172.49	83.65	0.56	0.41	1114.90
1.1	158.61	174.47	85.26	0.61	0.43	1083.38
1.2	146.92	176.30	86.74	0.67	0.47	1104.39
1.3	136.92	178.00	88.13	0.72	0.52	1145.90
1.4	128.28	179.59	89.42	0.78	0.55	1142.00
1.5	120.72	181.09	90.64	0.83	0.58	1139.36
1.6	114.06	182.49	91.80	0.89	0.61	1137.71
1.7	108.13	183.83	92.89	0.95	0.64	1136.85
1.8	102.83	185.09	93.94	1.00	0.67	1136.62
1.9	98.05	186.30	94.93	1.06	0.68	1104.44
2	93.72	187.45	95.88	1.11	0.69	1075.31
2.1	89.78	188.55	96.79	1.17	0.70	1048.82
2.2	86.18	189.60	97.67	1.22	0.71	1024.63
2.3	82.88	190.62	98.51	1.28	0.72	1002.45
2.4	79.83	191.59	99.32	1.34	0.74	988.78
2.5	77.01	192.53	100.10	1.39	0.77	1002.27
2.6	74.40	193.44	100.86	1.45	0.80	1008.85
2.7	71.97	194.32	101.59	1.50	0.81	990.77
2.8	69.70	195.17	102.30	1.56	0.84	997.70
2.9	67.58	195.99	102.99	1.61	0.87	1004.42
3	65.60	196.79	103.66	1.67	0.88	988.48
3.1	63.73	197.57	104.31	1.73	0.90	984.48
3.2	61.98	198.32	104.95	1.78	0.93	991.48

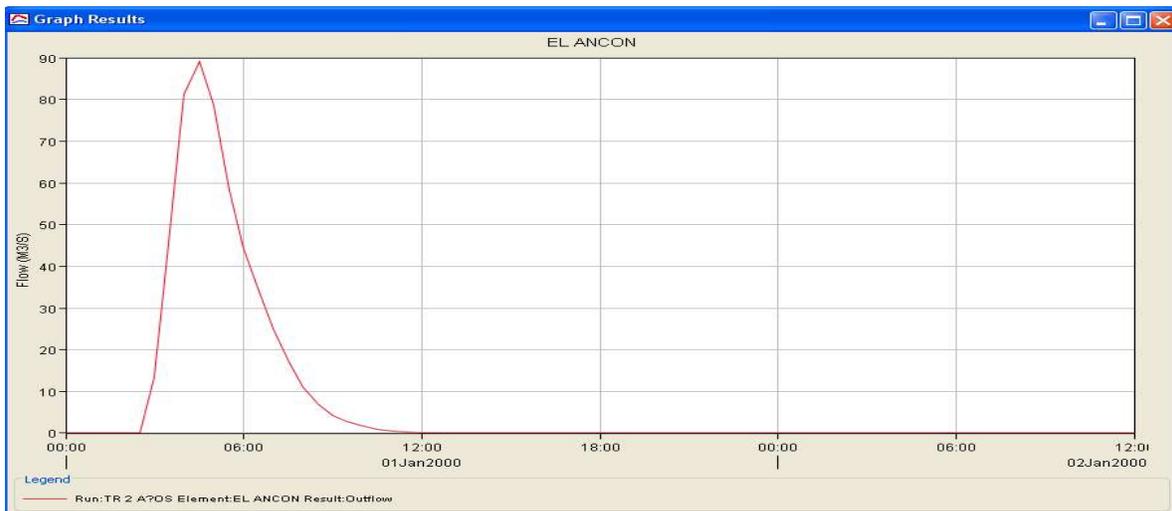
TR = 10,000

Duración horas	i mm/hr	P mm	Pe mm	d / tr	Z	Q m3/s
0.2	710.96	142.19	59.95	0.11	0.08	779.52
0.4	386.31	154.53	69.40	0.22	0.17	958.87
0.6	270.38	162.23	75.45	0.33	0.26	1062.86
0.8	209.91	167.93	79.99	0.45	0.33	1072.58
1	172.49	172.49	83.65	0.56	0.41	1114.90
1.1	158.61	174.47	85.26	0.61	0.43	1083.38
1.2	146.92	176.30	86.74	0.67	0.47	1104.39
1.3	136.92	178.00	88.13	0.72	0.52	1145.90
1.4	128.28	179.59	89.42	0.78	0.55	1142.00
1.5	120.72	181.09	90.64	0.83	0.58	1139.36
1.6	114.06	182.49	91.80	0.89	0.61	1137.71
1.7	108.13	183.83	92.89	0.95	0.64	1136.85
1.8	102.83	185.09	93.94	1.00	0.67	1136.62
1.9	98.05	186.30	94.93	1.06	0.68	1104.44
2	93.72	187.45	95.88	1.11	0.69	1075.31
2.1	89.78	188.55	96.79	1.17	0.70	1048.82
2.2	86.18	189.60	97.67	1.22	0.71	1024.63
2.3	82.88	190.62	98.51	1.28	0.72	1002.45
2.4	79.83	191.59	99.32	1.34	0.74	988.78
2.5	77.01	192.53	100.10	1.39	0.77	1002.27
2.6	74.40	193.44	100.86	1.45	0.80	1008.85
2.7	71.97	194.32	101.59	1.50	0.81	990.77
2.8	69.70	195.17	102.30	1.56	0.84	997.70
2.9	67.58	195.99	102.99	1.61	0.87	1004.42
3	65.60	196.79	103.66	1.67	0.88	988.48
3.1	63.73	197.57	104.31	1.73	0.90	984.48
3.2	61.98	198.32	104.95	1.78	0.93	991.48

E) HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR (HUT)

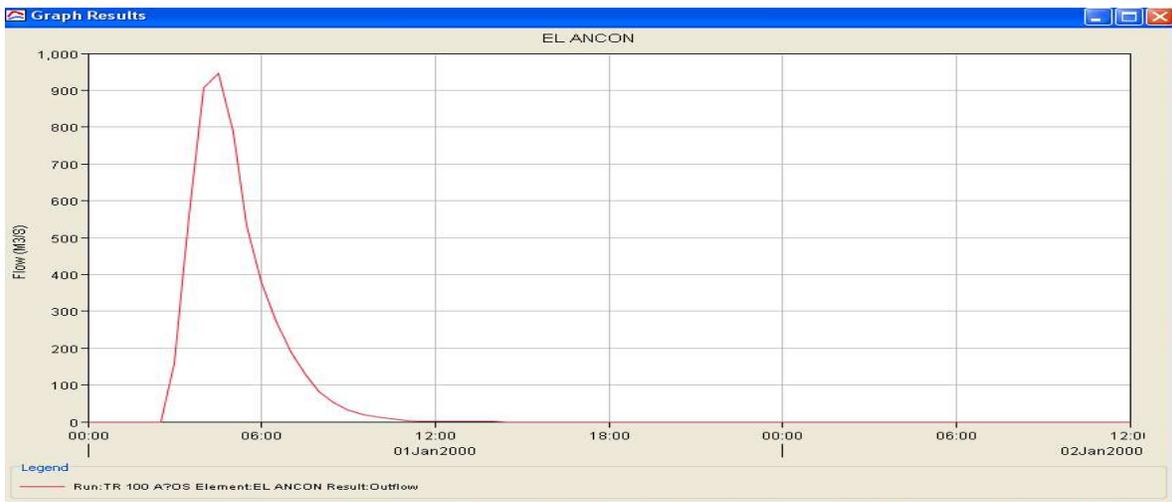
TR = 2

Tiempo (horas)	Lluvia total mm	Incremento lluvia mm	Incremento ordenado mm
0 a 0.5	43.300	43.300	0.704
0.5 a 1	47.000		3.700
1 a 1.5	49.309	2.309	1.142
1.5 a 2	51.016	1.707	1.365
2 a 2.5	52.381	1.365	3.700
2.5 a 3	53.523	1.142	43.300
3 a 3.5	54.508	0.985	2.309
3.5 a 4	55.376	0.868	1.707
4 a 4.5	56.153	0.777	0.985
4.5 a 5	56.857	0.704	0.868
5 a 5.5	57.502	0.645	0.645
5.5 a 6	58.097	0.595	0.595
6 a 9	60.952	2.855	2.855
9 a 12	63.062	2.110	2.110
12 a 18	66.160	3.099	3.099
18 a 24	68.451	2.290	2.290



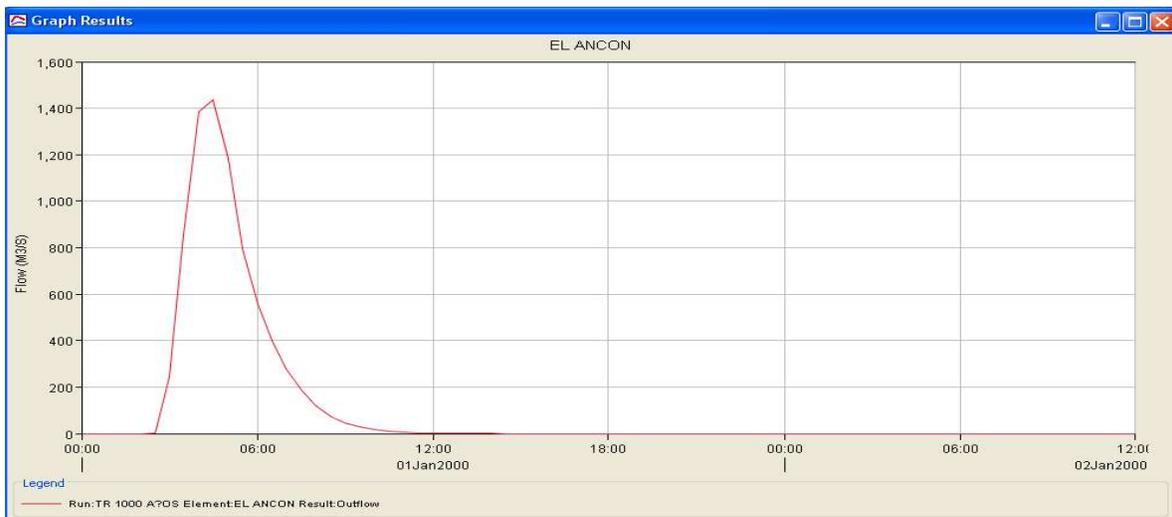
TR = 100

Tiempo (horas)	Lluvia total mm	Incremento lluvia mm	Incremento ordenado mm
0 a 0.5	123.402	123.402	2.007
0.5 a 1	133.947	10.545	2.214
1 a 1.5	140.529	6.582	3.255
1.5 a 2	145.394	4.865	3.889
2 a 2.5	149.283	3.889	10.545
2.5 a 3	152.538	3.255	123.402
3 a 3.5	155.345	2.807	6.582
3.5 a 4	157.818	2.473	4.865
4 a 4.5	160.033	2.214	2.807
4.5 a 5	162.040	2.007	2.473
5 a 5.5	163.877	1.837	1.837
5.5 a 6	165.573	1.696	1.696
6 a 9	173.708	8.136	8.136
9 a 12	179.722	6.014	6.014
12 a 18	188.553	8.831	8.831
18 a 24	195.080	6.527	6.527



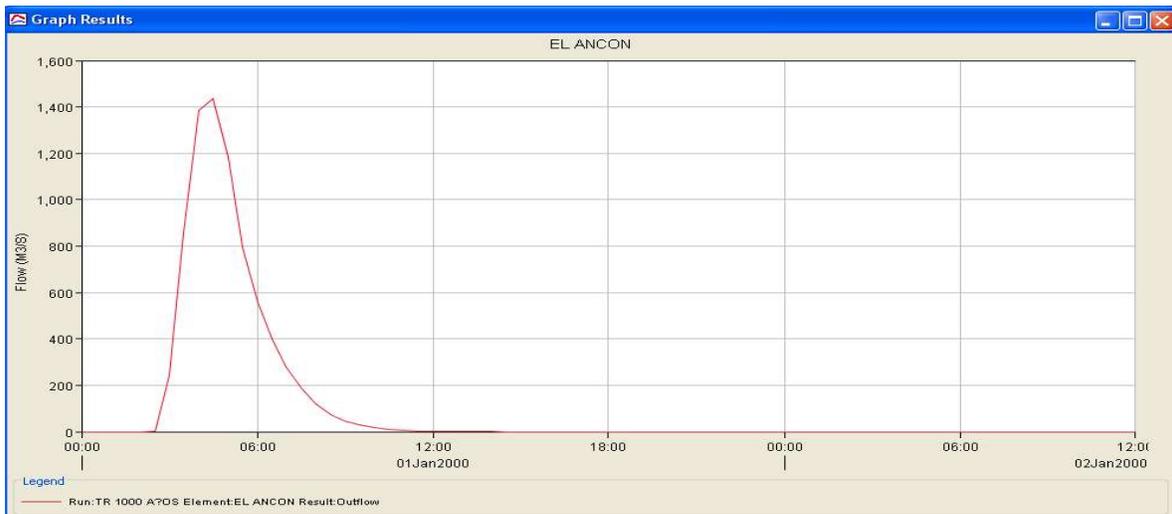
TR = 1,000

Tiempo (horas)	Lluvia total mm	Incremento lluvia mm	Incremento ordenado mm
0 a 0.5	158.906	158.906	2.585
0.5 a 1	172.485	13.579	2.851
1 a 1.5	180.961	8.475	4.191
1.5 a 2	187.225	6.265	5.008
2 a 2.5	192.233	5.008	13.579
2.5 a 3	196.425	4.191	158.906
3 a 3.5	200.039	3.615	8.475
3.5 a 4	203.225	3.185	6.265
4 a 4.5	206.076	2.851	3.615
4.5 a 5	208.661	2.585	3.185
5 a 5.5	211.027	2.366	2.366
5.5 a 6	213.210	2.183	2.183
6 a 9	223.686	10.476	10.476
9 a 12	231.430	7.744	7.744
12 a 18	242.801	11.371	11.371
18 a 24	251.207	8.405	8.405



TR = 10,000

Tiempo (horas)	Lluvia total mm	Incremento lluvia mm	Incremento ordenado mm
0 a 0.5	158.906	158.906	2.585
0.5 a 1	172.485	13.579	2.851
1 a 1.5	180.961	8.475	4.191
1.5 a 2	187.225	6.265	5.008
2 a 2.5	192.233	5.008	13.579
2.5 a 3	196.425	4.191	158.906
3 a 3.5	200.039	3.615	8.475
3.5 a 4	203.225	3.185	6.265
4 a 4.5	206.076	2.851	3.615
4.5 a 5	208.661	2.585	3.185
5 a 5.5	211.027	2.366	2.366
5.5 a 6	213.210	2.183	2.183
6 a 9	223.686	10.476	10.476
9 a 12	231.430	7.744	7.744
12 a 18	242.801	11.371	11.371
18 a 24	251.207	8.405	8.405



F) TABLAS PARA THORNTWAITE**CONSTANTES "I" Y "a"**

NÚMERO	MES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	ij
1	enero	17.53	6.68
2	febrero	18.01	6.96
3	marzo	19.75	8.01
4	abril	21.71	9.23
5	mayo	22.39	9.68
6	junio	22.34	9.65
7	julio	21.18	8.90
8	agosto	21.15	8.88
9	septiembre	21.03	8.80
10	octubre	21.23	8.93
11	noviembre	19.72	7.98
12	diciembre	18.35	7.16
I=			100.85

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 0.492$$

Cálculo de la constante "a"	
a=	2.21

TABLA PARA VALORES DE K_a

Latitud (Grados)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.01
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.91
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70

G) MÉTODO DE BLANEY-CRIDDLE

TABLA PARA VALORES DE Kg

<i>Cultivo</i>	<i>Ciclo vegetativo</i>	<i>Coefficiente global Kg.</i>
Aguacate	Perenne	0.50 — 0.55
Ajonjolí	3 a 4 meses	0.80
Alfalfa	Entre heladas	0.80 — 0.85
	En invierno	0.60
Algodón	6 ó 7 meses	0.60 — 0.65
Arroz	3 a 5 meses	1.00 — 1.20
Cacahuate	5 meses	0.60 — 0.65
Cacao	Perenne	0.75 — 0.80
Café	Perenne	0.75 — 0.80
Camote	5 a 6 meses	0.60
Caña de azúcar	Perenne	0.75 — 0.90
Cártamo	5 a 8 meses	0.55 — 0.65
Cereales de grano pequeño (alpiste, avena, cebada, centeno, trigo)	3 a 6 meses	0.75 — 0.85
Cítricos	7 a 8 meses	0.50 — 0.65
Chile	3 a 4 meses	0.60
Espárrago	6 a 7 meses	0.60
Fresa	Perenne	0.45 — 0.60
Frijol	3 a 4 meses	0.60 — 0.70
Frutales de hueso y pepita (hoja caduca)	Entre heladas	0.60 — 0.70
Garbanzo	4 a 5 meses	0.60 — 0.70
Girasol	4 meses	0.50 — 0.65
Gladiola	3 a 4 meses	0.60
Haba	4 a 5 meses	0.60 — 0.70
Hortalizas	2 a 4 meses	0.60
Jitomate	4 meses	0.70
Lechuga y col	3 meses	0.70
Lenteja	4 meses	0.60 — 0.70
Maíz	4 meses	0.60 — 0.70
Maíz	4 a 7 meses	0.75 — 0.85
Mango	Perenne	0.75 — 0.80
Melón	3 a 4 meses	0.60
Nogal	Entre heladas	0.70
Papa	3 a 5 meses	0.65 — 0.75
Palma datilera	Perenne	0.65 — 0.80
Palma cocotera	Perenne	0.80 — 0.90
Papaya	Perenne	0.60 — 0.80
Plátano	Perenne	0.80 — 1.00
Pastos de gramíneas	Perenne	0.75
Remolacha	6 meses	0.65 — 0.75
Sandía	3 a 4 meses	0.60
Sorgo	3 a 5 meses	0.70
Soya	3 a 5 meses	0.60 — 0.70
Tabaco	4 a 5 meses	0.70 — 0.80
Tomate	4 a 5 meses	0.70 — 0.80
Trébol ladino	Perenne	0.80 — 0.85
Zanahoria	2 a 4 meses	0.60

TABLA PARA PORCENTAJE DE HORAS DE SOL DEL MES

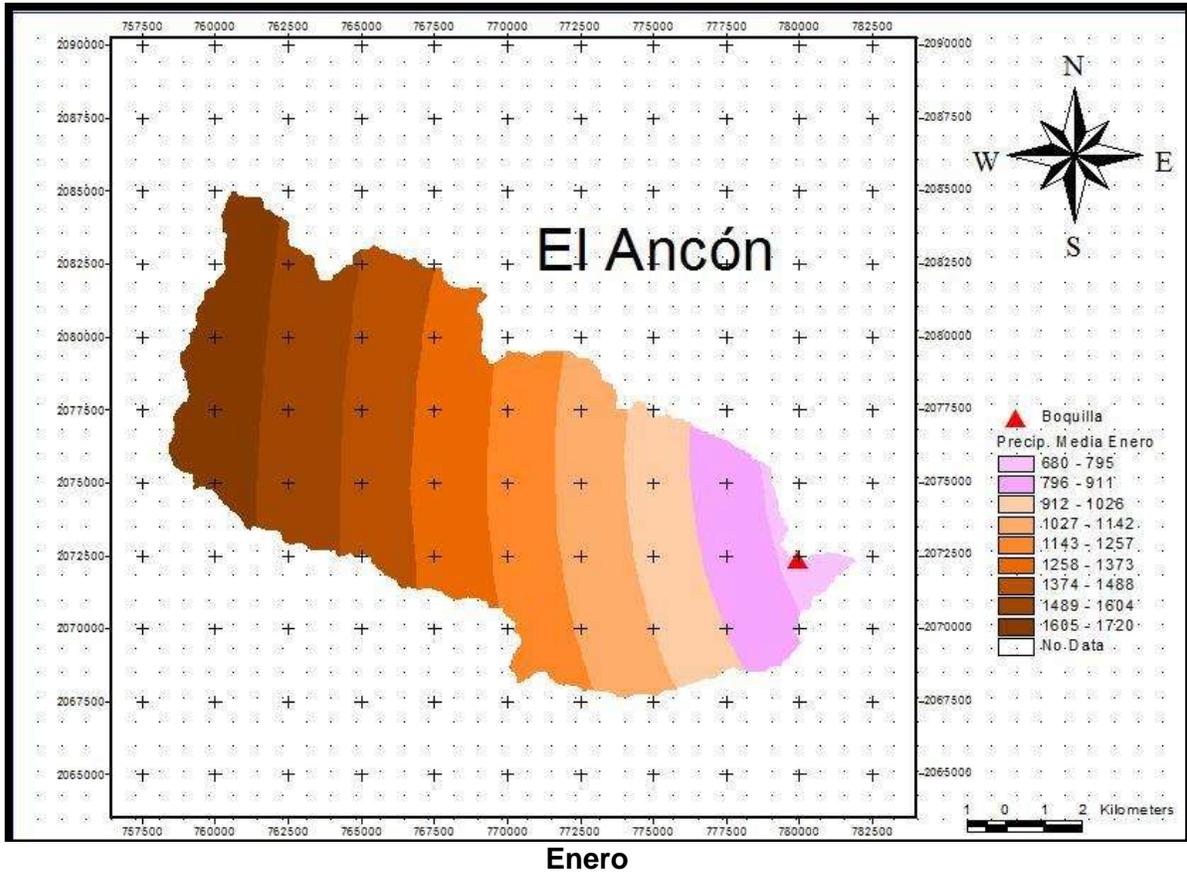
LATITUD NORTE		Porcentaje de horas de sol mensual														
		ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.			
0°	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.32	7.57	8.47	8.29	8.65	8.41	8.67	8.60	8.23	8.42	8.41	8.67	8.60	8.23	8.42	8.07
10	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.80	9.05	8.83	8.28	8.20	8.80	9.05	8.83	8.28	8.20	7.75
16	7.95	7.35	8.44	8.46	9.07	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69
18	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	9.16	8.90	8.27	8.21	8.92	9.16	8.90	8.27	8.21	7.66
19	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63
20	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	7.58
21	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54
22	7.66	7.21	8.40	8.56	9.22	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50
23	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43
25	7.53	7.14	8.39	8.61	9.33	9.23	9.45	9.09	8.32	8.09	9.23	9.45	9.09	8.32	8.09	7.40
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36
27	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.31
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27
29	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	8.67	9.22	8.33	7.99	9.49	8.67	9.22	8.33	7.99	7.19
31	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15
32	7.20	6.97	8.37	8.76	9.62	9.59	9.77	9.27	8.34	7.95	9.59	9.77	9.27	8.34	7.95	7.09
33	7.15	6.94	8.36	8.78	9.68	9.65	9.82	9.31	8.35	7.94	9.65	9.82	9.31	8.35	7.94	7.05
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	6.98
35	7.05	6.88	8.35	8.83	9.77	9.76	9.94	9.37	8.37	7.88	9.76	9.94	9.37	8.37	7.88	6.92
																6.85

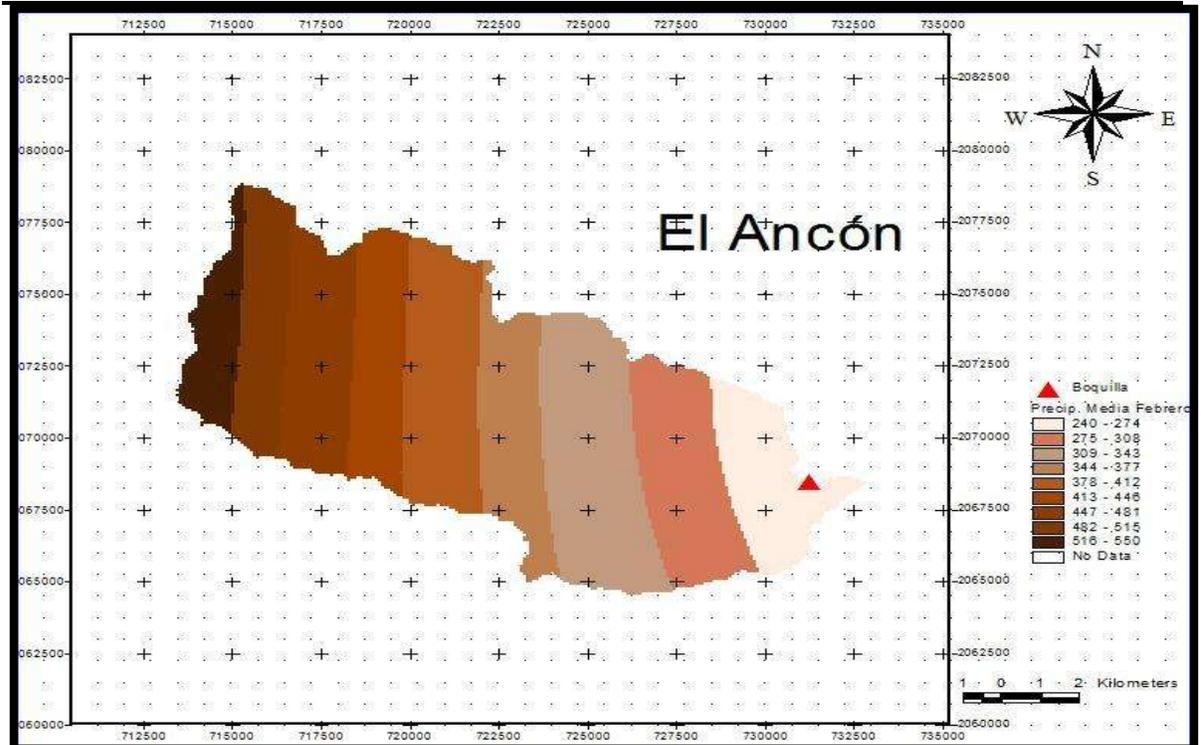
36	6.99	6.85	8.35	8.85	9.82	9.82	9.09	9.40	8.37	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.80	6.82	6.66
40	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	7.52
42	6.63	6.65	8.31	9.00	10.14	10.22	10.35	9.62	8.40	7.69	6.62	6.37
44	6.49	6.58	8.30	9.06	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.21
46	6.34	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.57	6.36	6.04
48	6.17	6.41	8.27	9.18	10.53	10.71	10.80	9.89	8.44	7.51	6.23	5.86
50	5.98	6.30	8.24	9.24	10.68	10.91	10.90	10.00	8.46	7.45	6.10	5.65
52	5.77	6.19	8.21	9.29	10.85	11.13	11.20	10.12	8.49	7.39	5.93	5.43
54	5.55	6.08	8.18	9.36	11.03	11.38	11.43	10.26	8.51	7.30	5.74	5.18
56	5.30	5.95	8.15	9.45	11.22	11.67	11.69	10.40	8.52	7.21	5.54	4.89
58	5.01	5.81	8.12	9.55	11.46	12.00	11.98	10.55	8.51	7.10	4.31	4.56
60	4.67	5.65	8.08	9.65	11.74	12.39	12.31	10.70	8.51	6.98	5.04	4.22

LATTITUD SUR												
0°	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.68	7.76	8.51	8.15	8.34	8.05	8.33	8.38	8.19	8.56	8.37	8.68
10	8.86	7.87	8.53	8.09	8.18	7.86	8.14	8.27	8.17	8.62	8.53	8.88
15	9.05	7.98	8.55	8.02	8.02	7.65	7.95	8.15	8.15	8.68	8.70	9.10
20	9.24	8.09	8.57	7.94	7.85	7.43	7.76	8.03	8.13	8.76	8.87	9.33
25	9.46	8.21	8.60	7.94	7.66	7.20	7.54	7.90	8.11	8.86	9.04	9.58
30	9.70	8.33	8.62	7.73	7.45	6.96	7.31	7.76	8.07	8.97	9.24	9.85
32	9.81	8.39	8.63	7.69	7.36	6.85	7.21	7.70	8.96	9.01	9.33	9.96
34	9.92	8.45	8.64	7.64	7.27	6.74	7.10	7.63	8.05	9.06	9.42	10.08
36	10.03	8.51	8.65	7.59	7.18	6.62	6.99	7.56	8.04	9.11	9.51	10.21
38	10.15	8.57	8.66	7.54	7.08	6.50	6.87	7.49	8.03	9.16	9.61	10.34
40	10.27	8.63	8.67	7.49	6.97	6.37	6.76	7.41	8.02	9.21	9.71	10.49
42	10.40	8.70	8.68	7.44	6.85	6.23	6.64	7.33	8.01	9.26	9.82	10.64
44	10.54	8.78	8.69	7.38	6.73	6.08	6.51	7.25	7.99	9.31	9.94	10.80
46	10.69	8.86	8.70	7.32	6.61	5.02	6.37	7.16	7.96	9.37	10.07	10.97

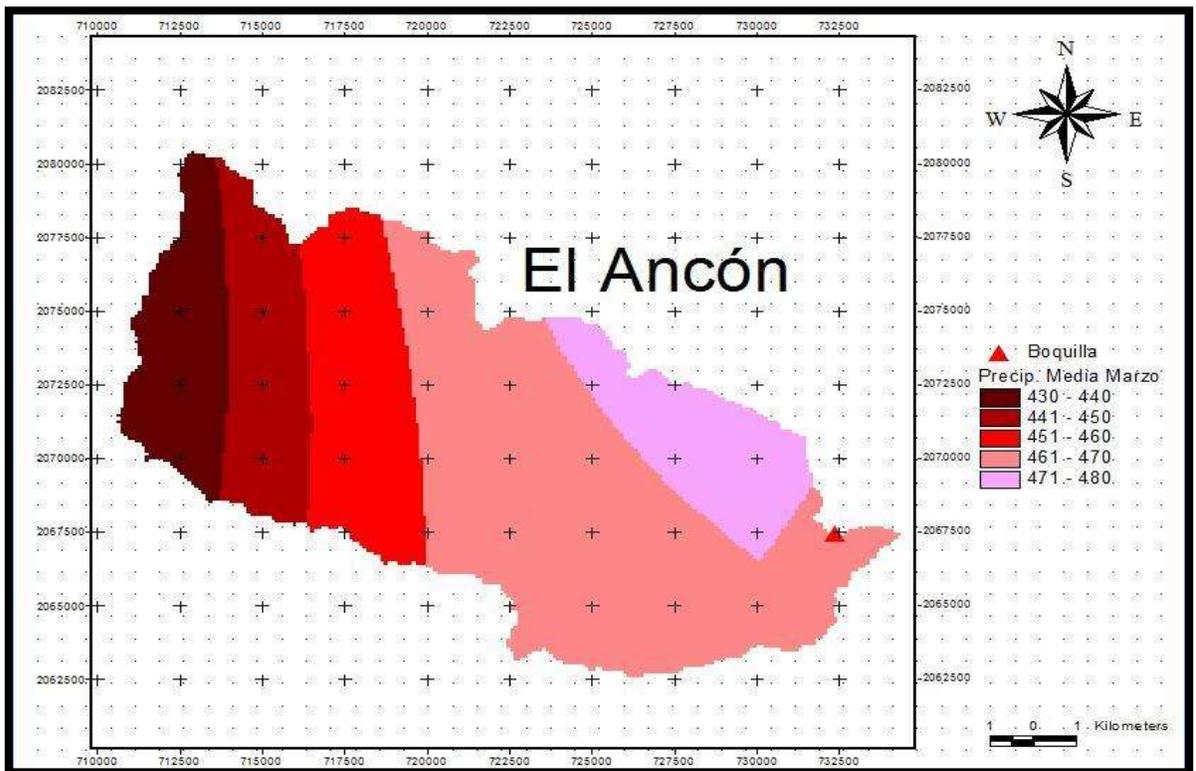
H) CALCULO DEL ESCURRIMIENTO POR MEDIO DE EL MÉTODO DE LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTO.

MAPAS DE ISOYETAS PARA CADA MES

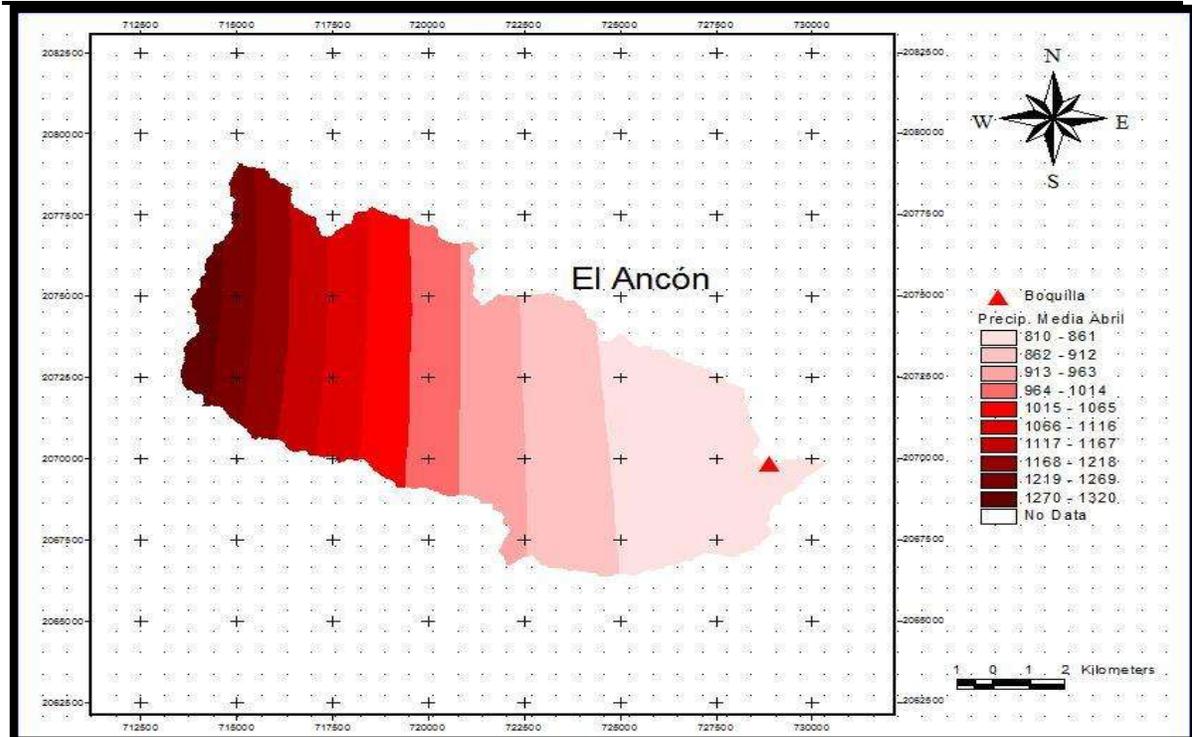




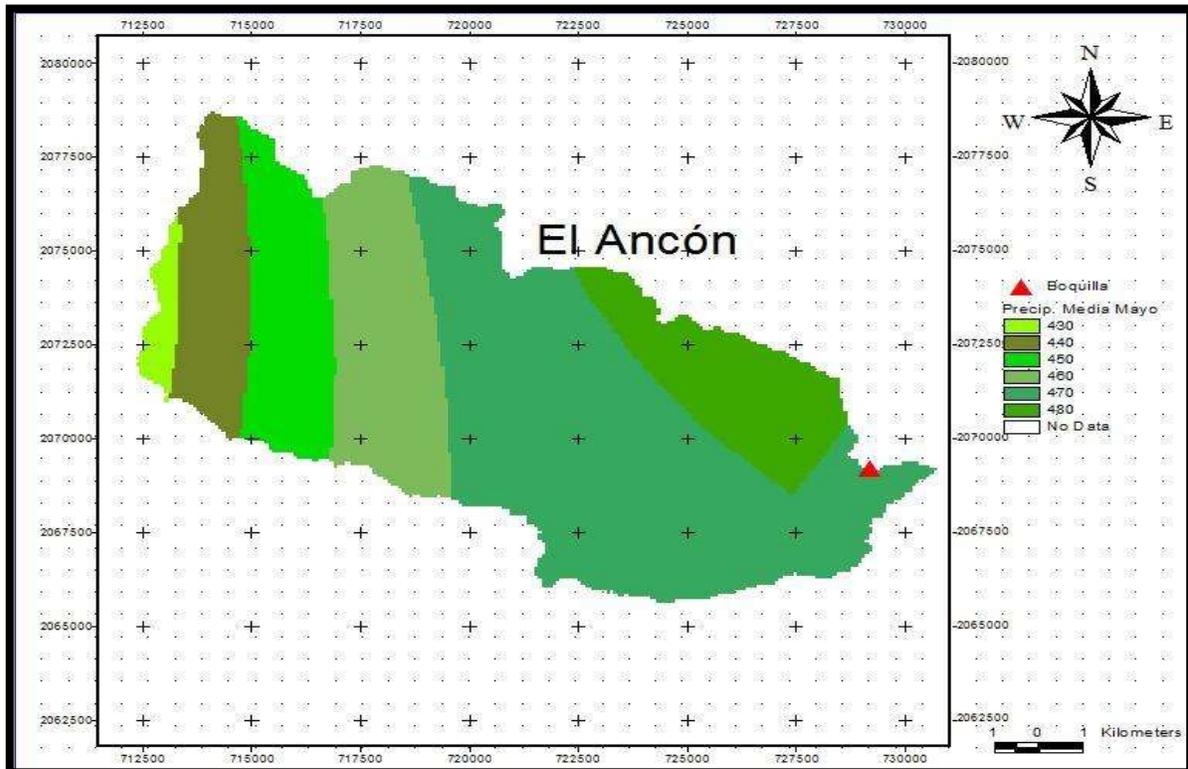
Febrero



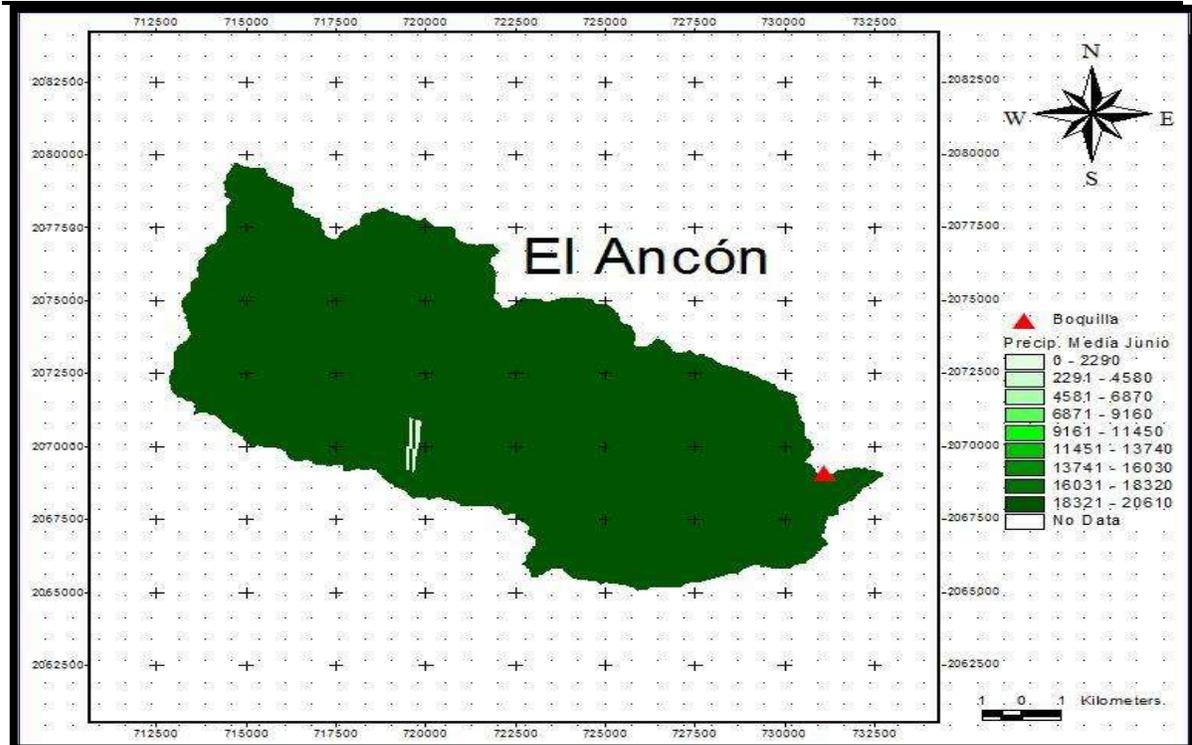
Marzo



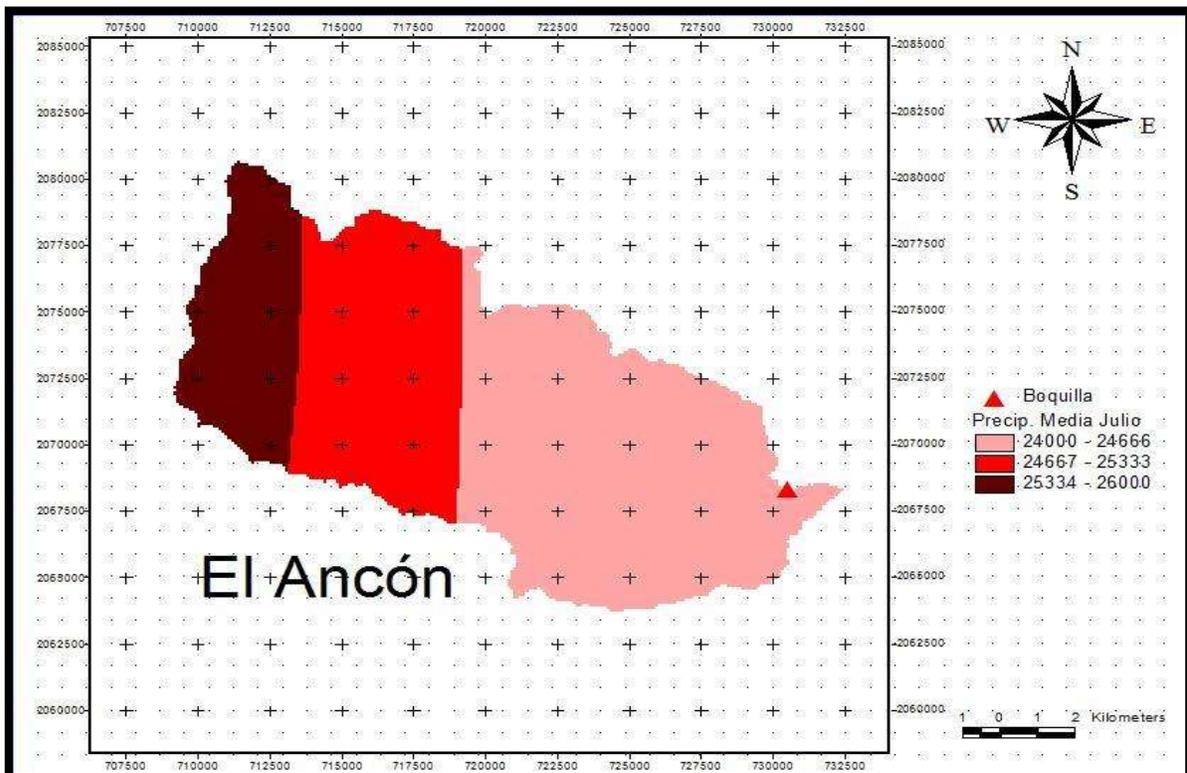
Abril



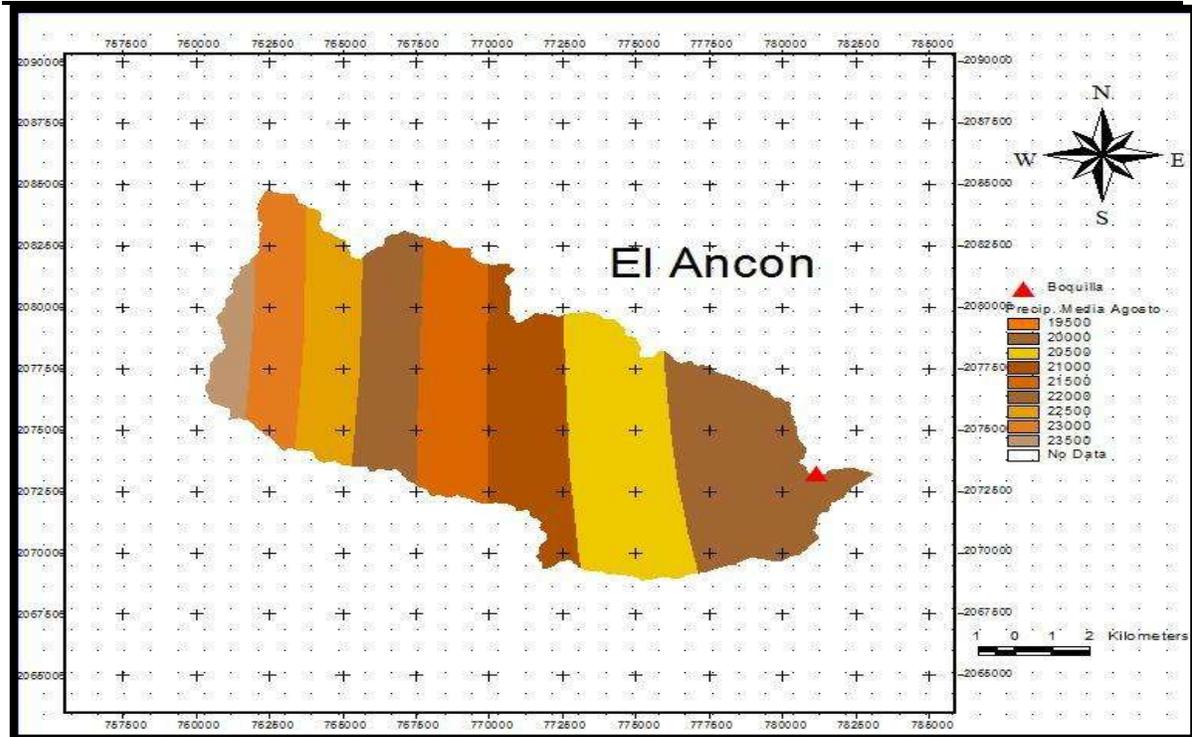
Mayo



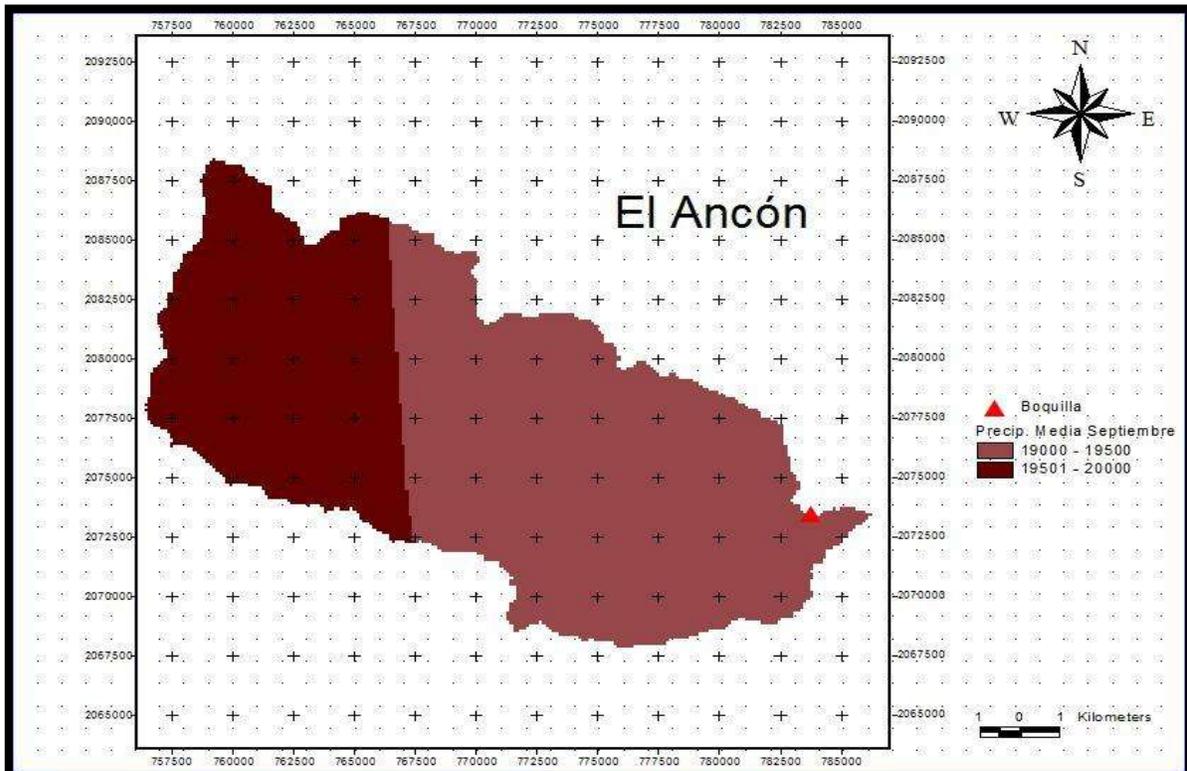
Junio



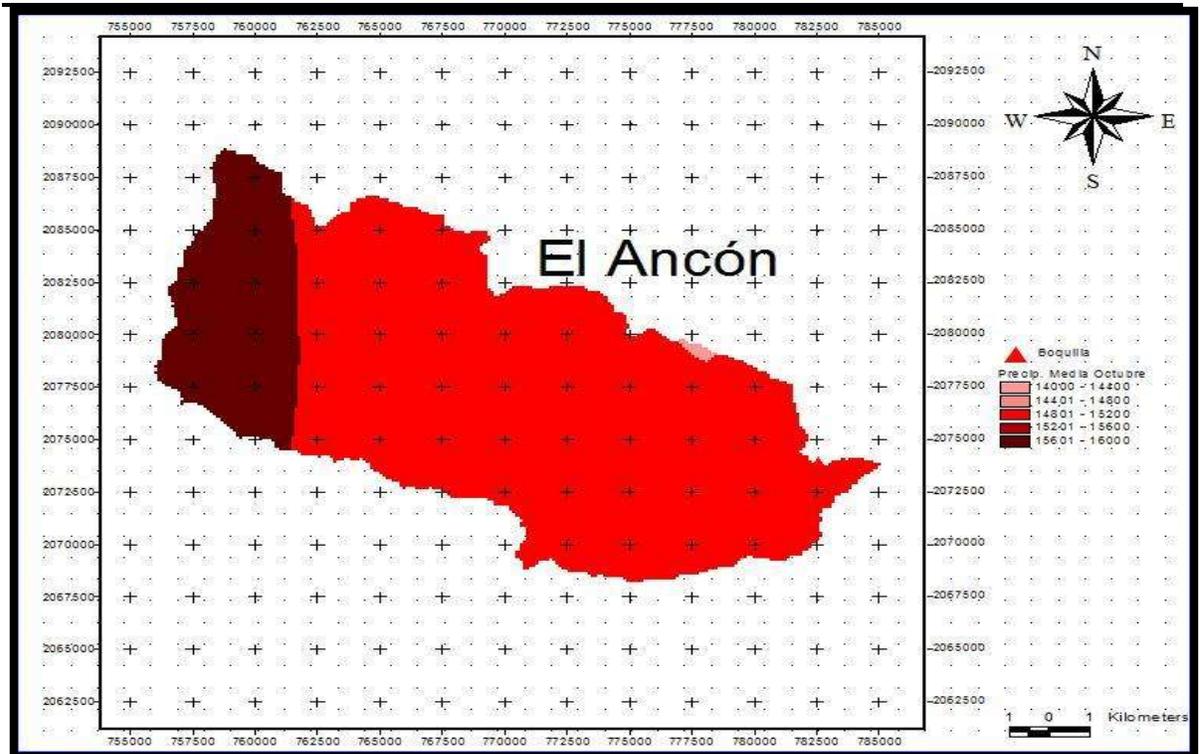
Julio



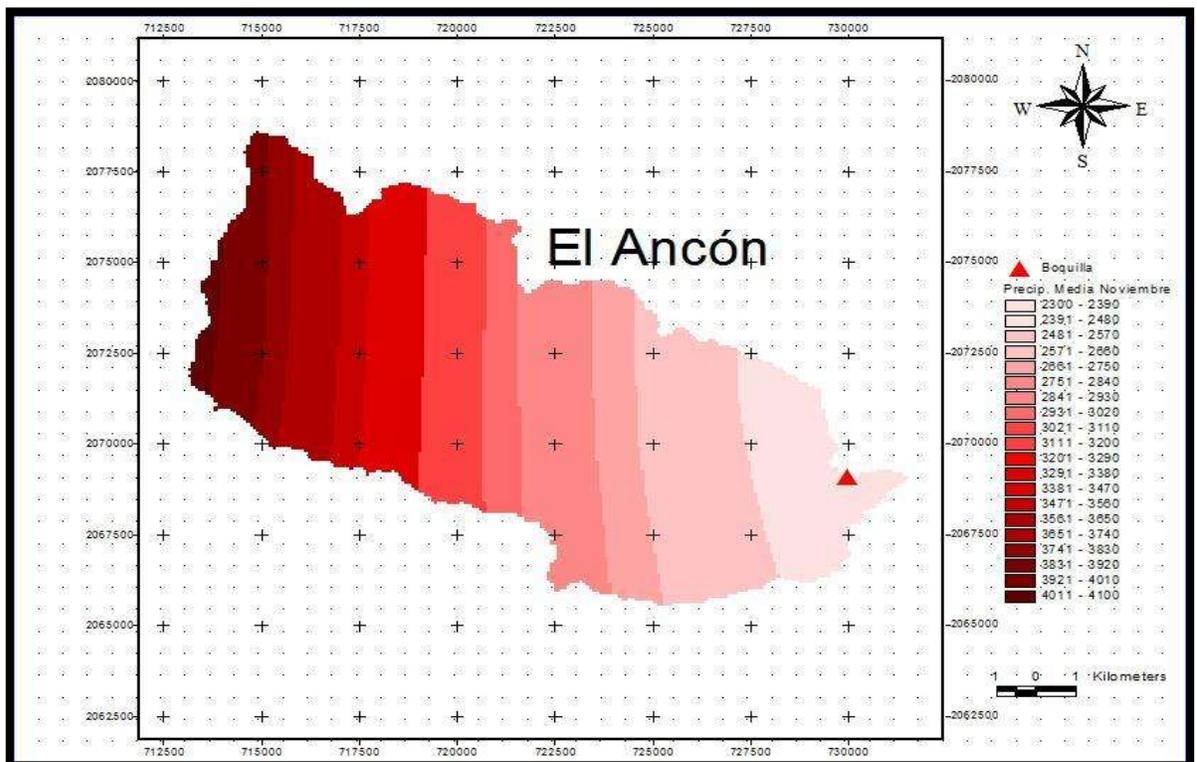
Agosto



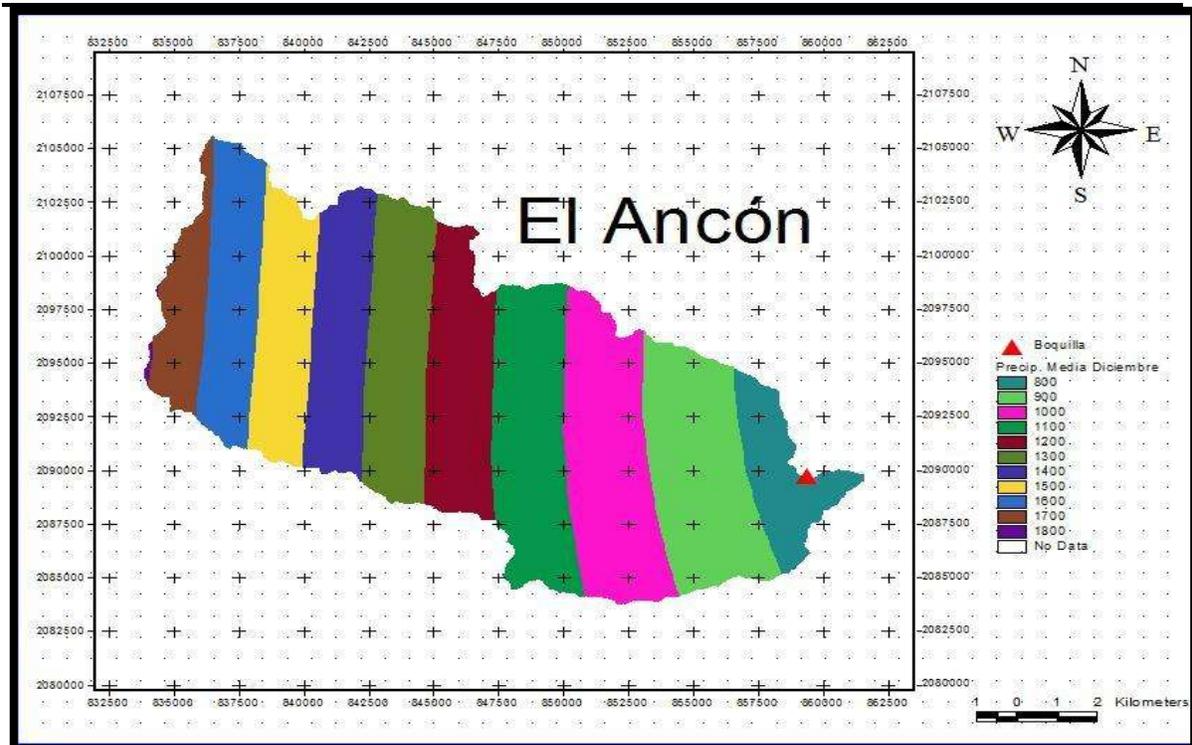
Septiembre



Octubre

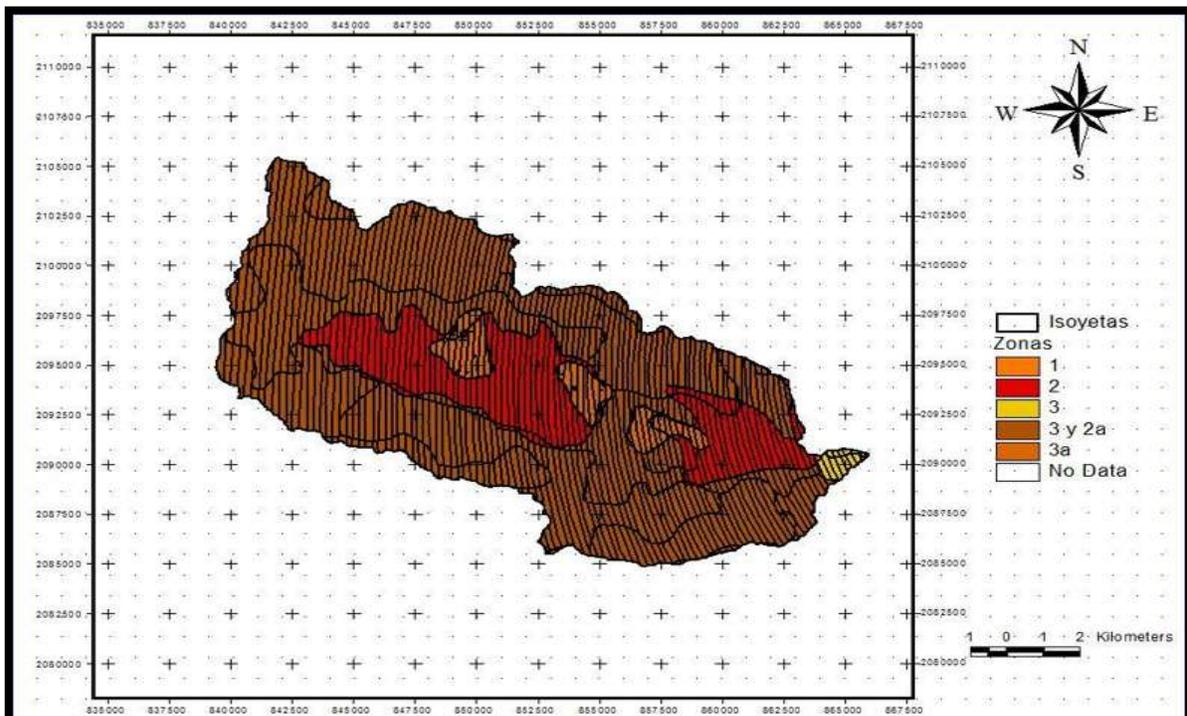


Noviembre

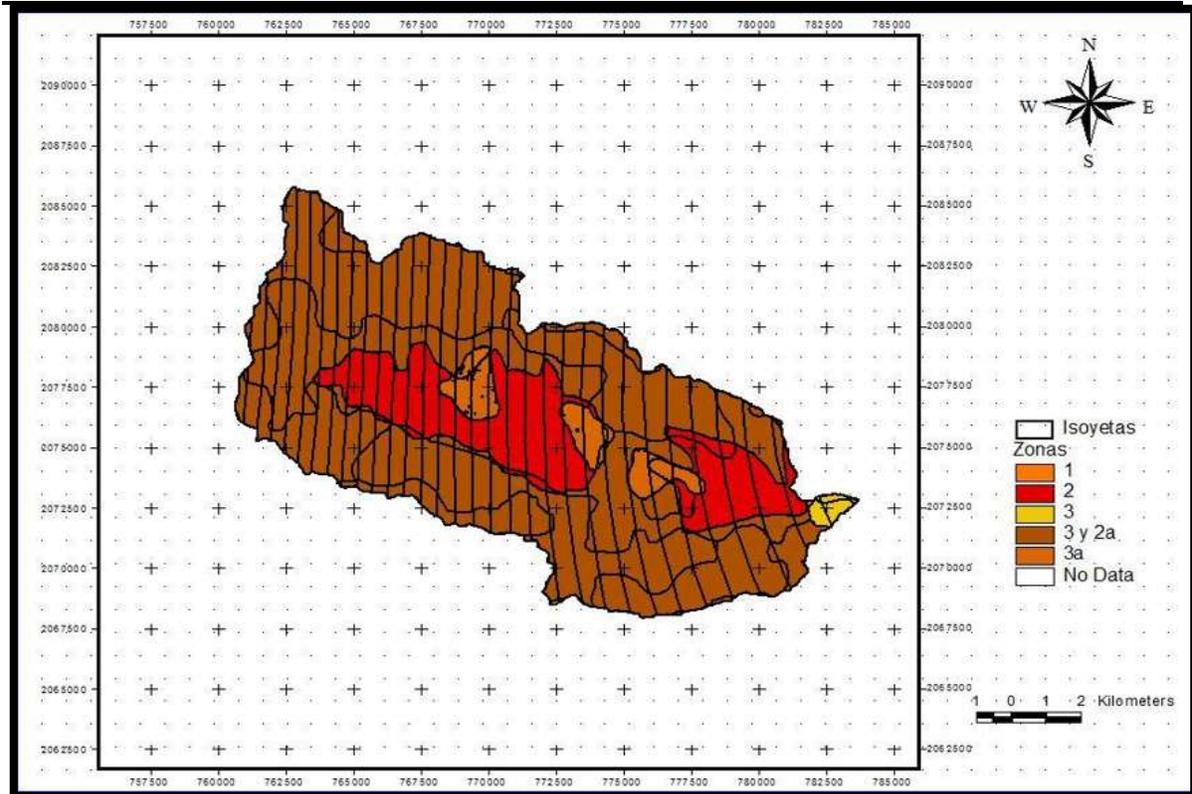


Diciembre

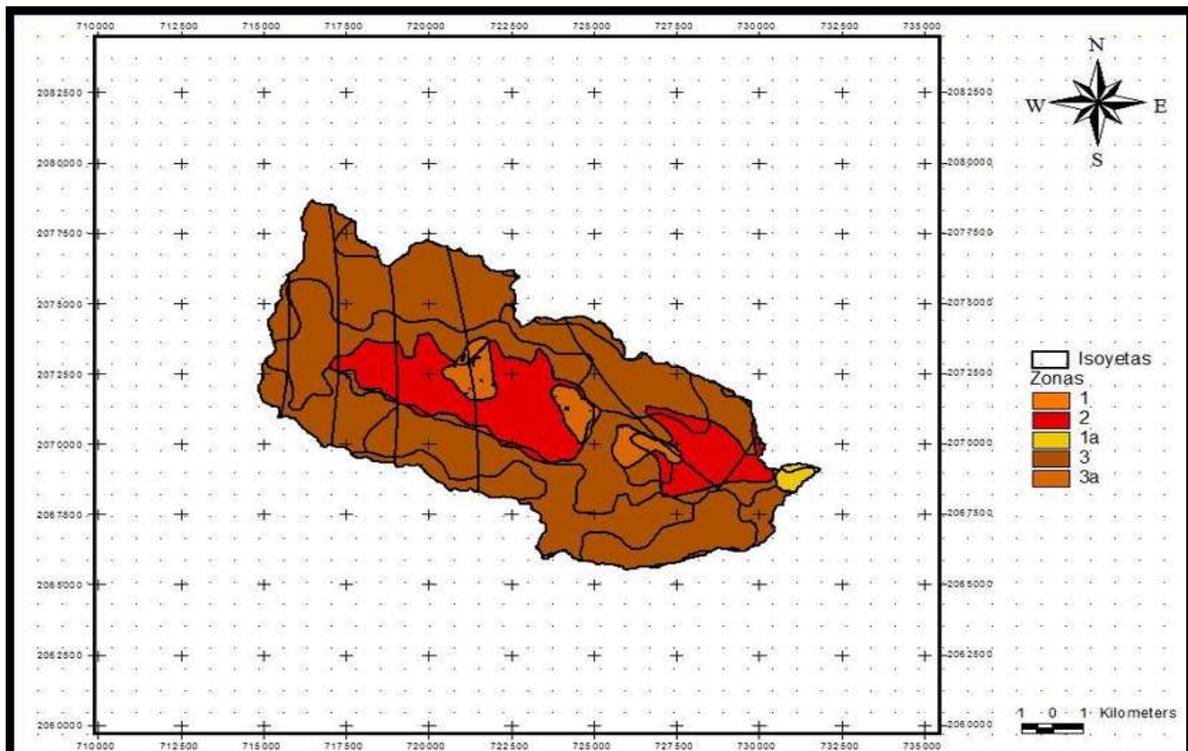
MAPAS DE LA UNIÓN DE ISOYETAS Y LAS ZONAS DEFINIDAS POR EL N



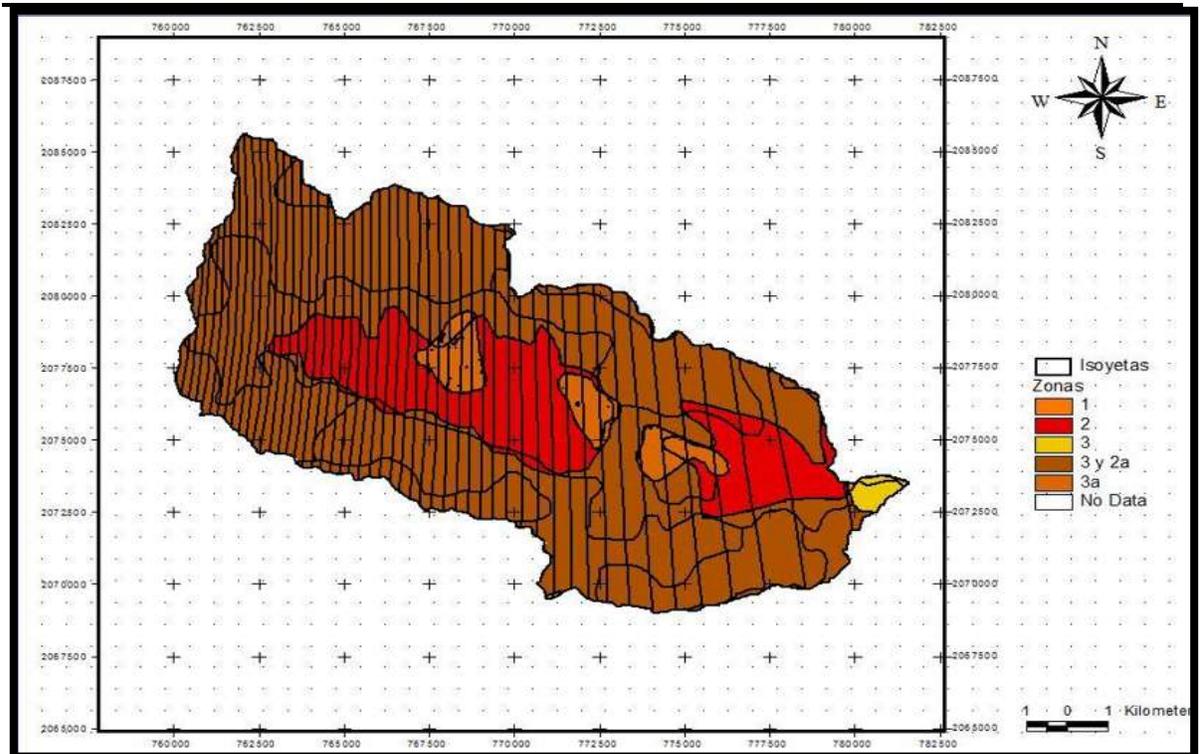
Unido Enero



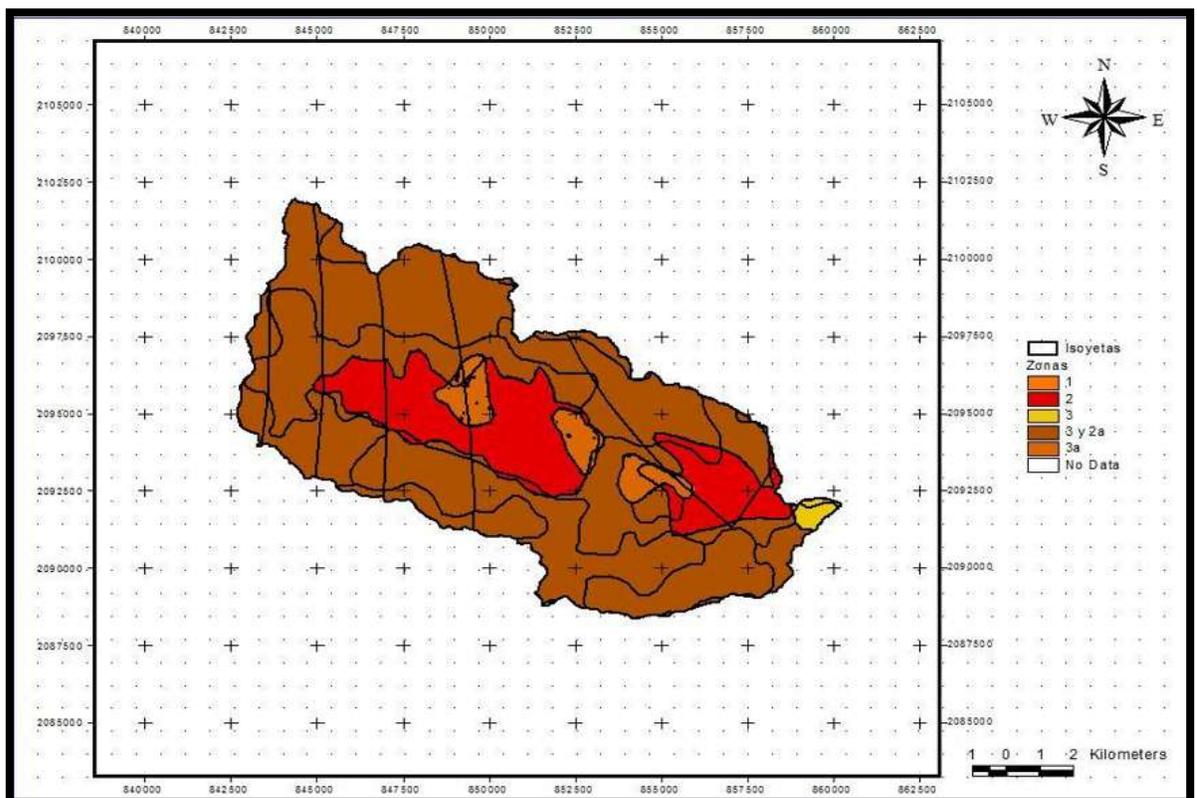
Unido Febrero



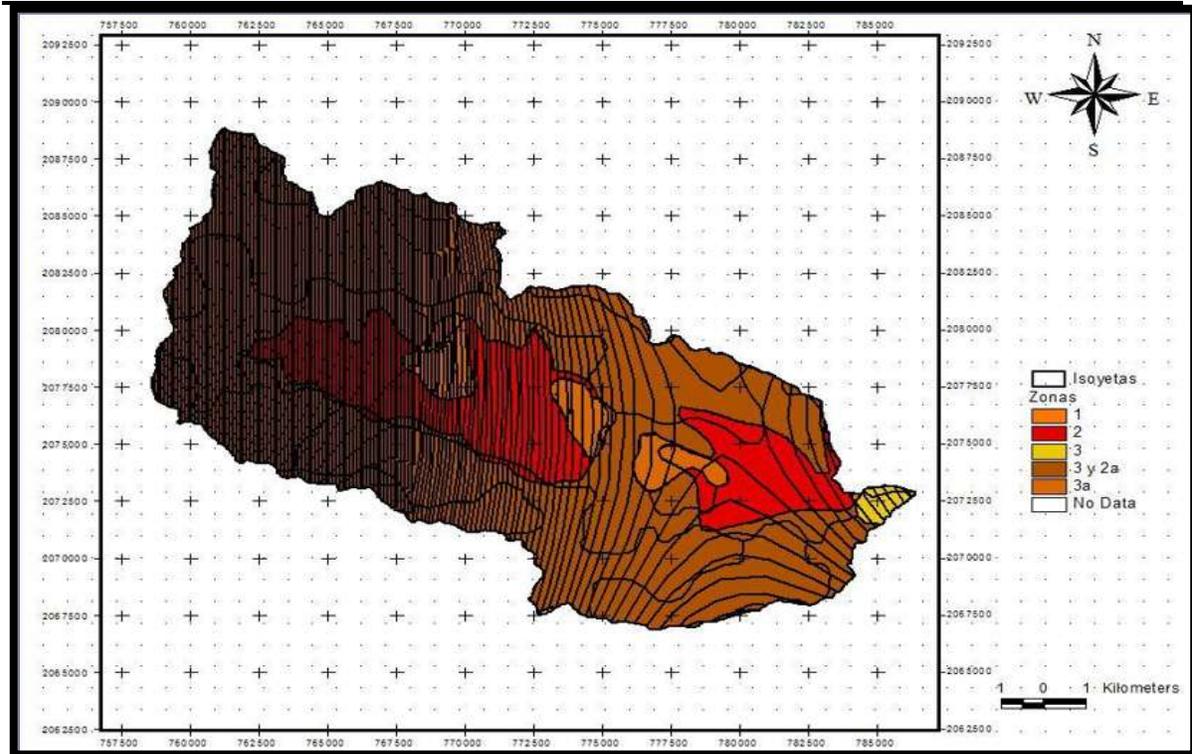
Unido Marzo



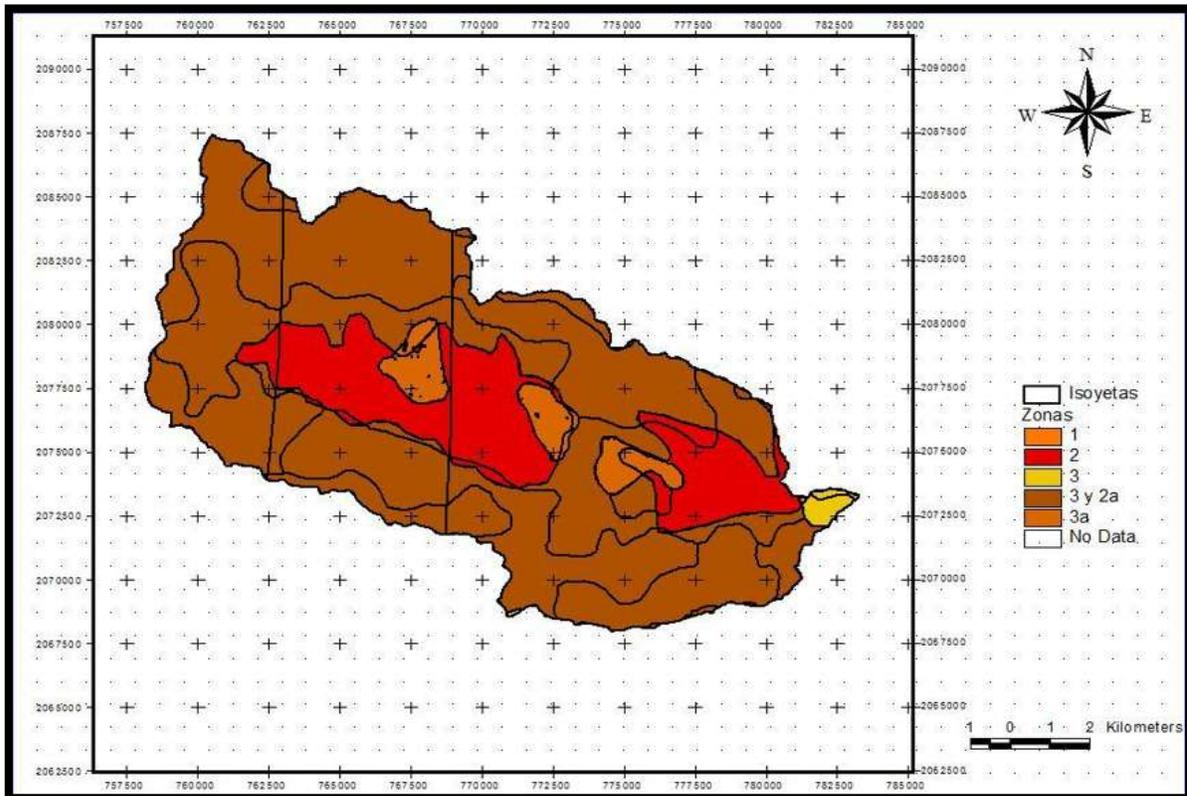
Unido Abril



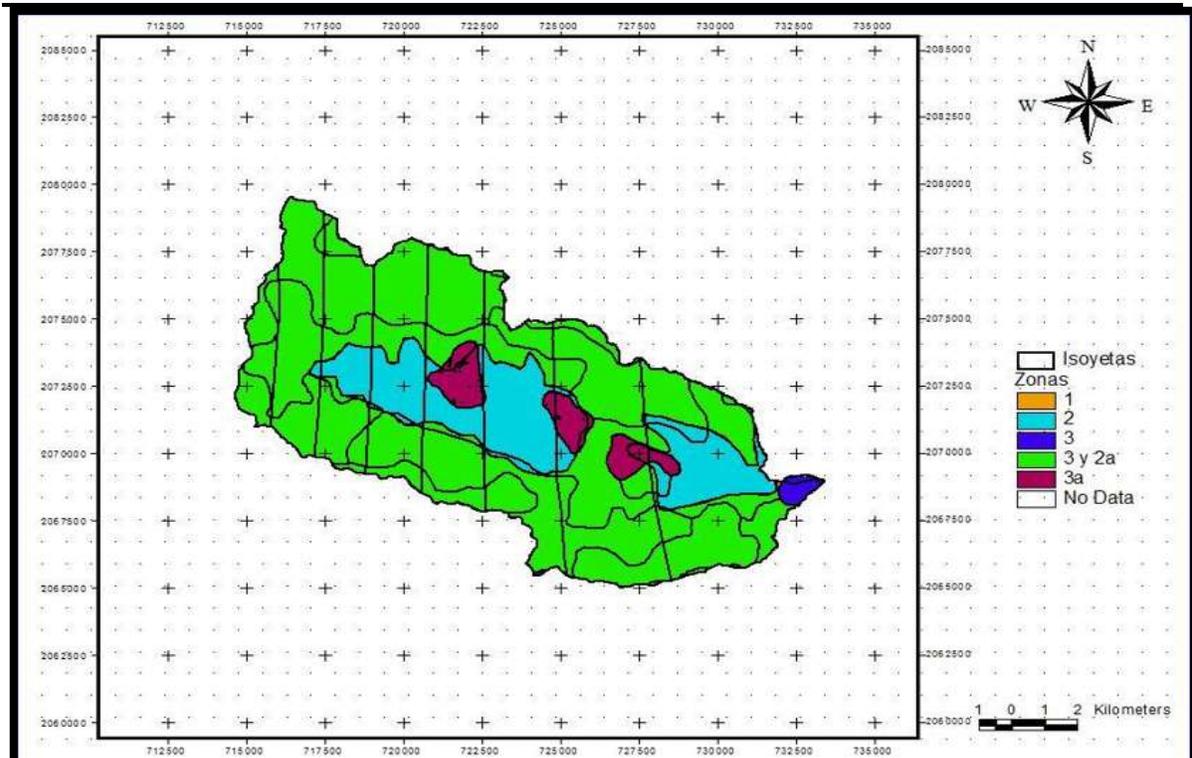
Unido Mayo



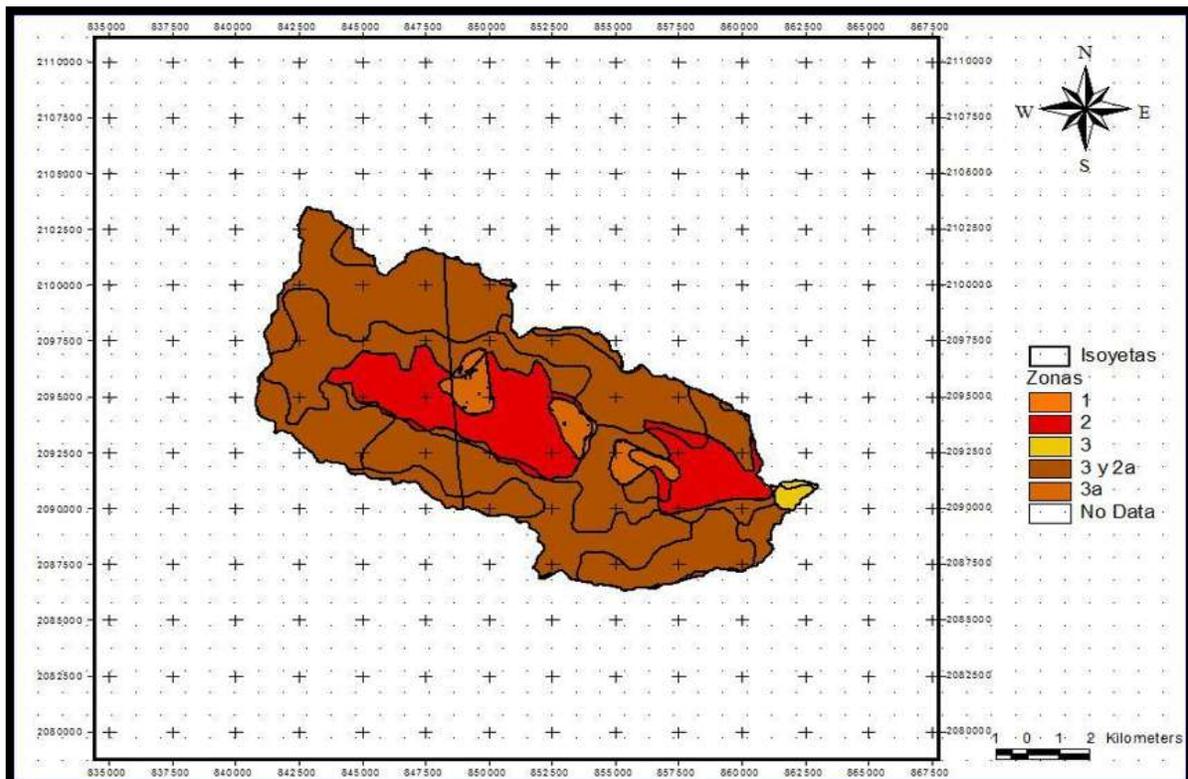
Unido Junio



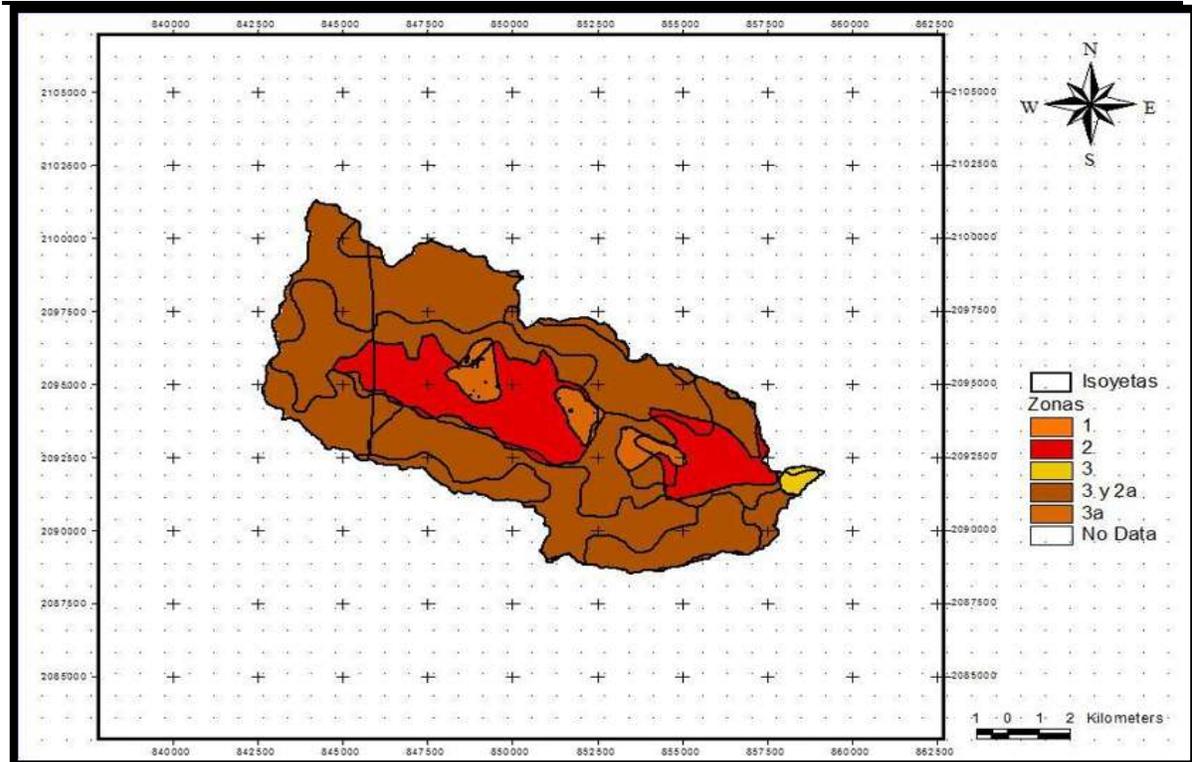
Unido Julio



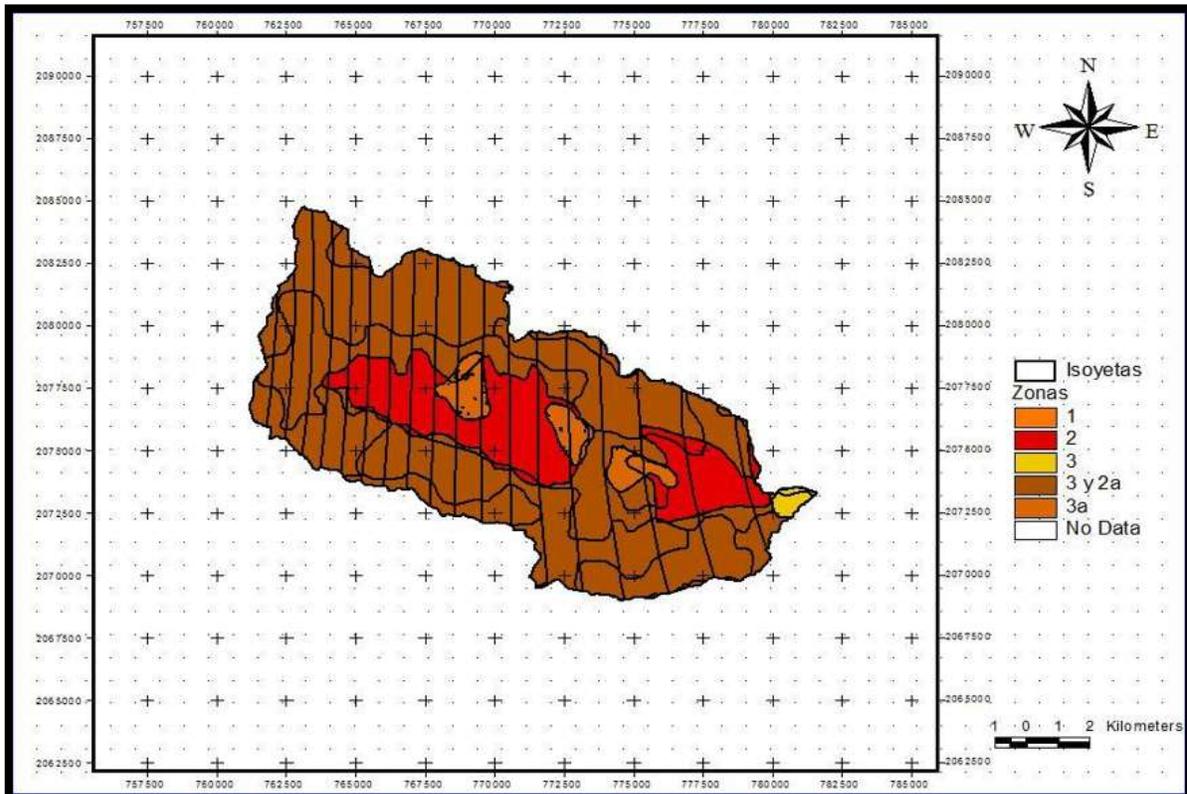
Unido Agosto



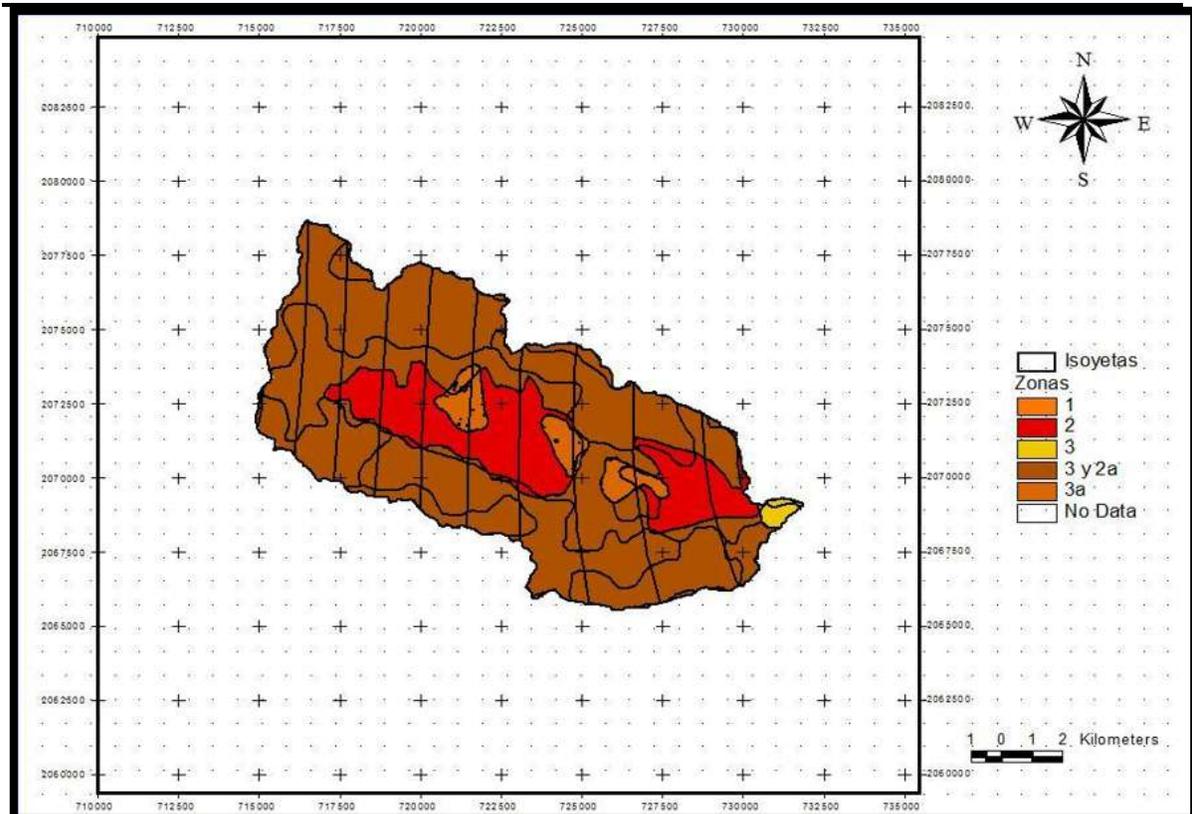
Unido Septiembre



Unido Octubre



Unido Noviembre



Unido Diciembre

ESCURRIMIENTOS CALCULADOS POR EL MÉTODO DE LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTO

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, ENERO

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (cm)	Altura de lluvia efectiva (cm)	Coefficiente de escurrimiento	Escorrimento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	0.762	0.000	0.0000	0.000000
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	1.206	0.322	0.2674	0.027700
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	1.208	0.095	0.0785	0.001500
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	0.750	0.423	0.5636	0.001468
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	1.296	0.078	0.0599	0.025246
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	1.129	0.003	0.0028	0.000020
Ac = 116940000				Q = Escorrimento de la cuenca = 0.055934892					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, FEBRERO

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	0.250	0.000	0.0000	0.000000
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	0.360	0.000	0.0000	0.000000
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	0.354	0.000	0.0000	0.000000
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	0.248	0.000	0.0000	0.000000
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	0.389	0.352	0.9048	0.114295
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	0.332	0.163	0.4899	0.001014
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 0.115308471					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, MARZO

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	0.470	0.000	0.0000	0.000000
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	0.467	0.000	0.0000	0.000000
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	0.469	0.318	0.6790	0.005036
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	0.470	0.000	0.0000	0.000000
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	0.462	0.321	0.6947	0.104286
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	0.469	0.116	0.2464	0.000721
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 0.110042177					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, ABRIL

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	0.810	0.769	0.9495	0.000086
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	0.954	0.408	0.4276	0.035053
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	0.938	0.159	0.1699	0.002522
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	0.814	0.398	0.4895	0.001384
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	1.004	0.142	0.1411	0.046062
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	0.904	0.022	0.0247	0.000139
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 0.085245976					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, MAYO

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	0.010	0.000	0.0000	0.000000
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	0.278	0.000	0.0000	0.000000
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	0.097	0.000	0.0000	0.000000
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	0.164	0.000	0.0000	0.000000
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	1.041	0.132	0.1272	0.043042
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	0.056	0.000	0.0000	0.000000
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 0.043041670					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, JUNIO

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	19.159	5.522	0.2882	0.000619
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	19.385	7.772	0.4009	0.667709
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	19.304	10.471	0.5424	0.165767
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	19.175	8.156	0.4253	0.028319
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	19.470	10.612	0.5451	3.449493
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	19.222	13.261	0.6899	0.082686
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 4.394592432					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, JULIO

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	24.000	8.722	0.3634	0.000977
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	24.410	11.644	0.4770	1.000357
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	24.462	14.971	0.6120	0.237003
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	24.000	11.967	0.4986	0.041552
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	24.737	15.217	0.6152	4.946250
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	24.256	18.011	0.7425	0.112298
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 6.338436273					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, AGOSTO

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	20.000	6.048	0.3024	0.000677
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	21.039	9.009	0.4282	0.773982
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	20.933	11.868	0.5669	0.187867
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	20.033	8.812	0.4399	0.030596
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	21.419	12.289	0.5738	3.994508
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	20.756	14.697	0.7081	0.091637
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 5.079267370					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, SEPTIEMBRE

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	19.000	5.424	0.2855	0.000608
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	19.299	7.709	0.3994	0.662250
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	19.043	10.250	0.5383	0.162262
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	19.000	8.024	0.4223	0.027860
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	19.421	10.571	0.5443	3.435966
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	19.000	13.055	0.6871	0.081396
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 4.370342133					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, OCTUBRE

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	15.000	3.149	0.2100	0.000353
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	15.051	4.757	0.3161	0.408702
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	15.000	6.935	0.4624	0.109788
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	15.000	5.146	0.3431	0.017869
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	15.237	7.123	0.4675	2.315319
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	15.000	9.388	0.6259	0.058535
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 2.910566182					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, NOVIEMBRE

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	2.300	0.271	0.1179	0.000030
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	2.920	0.013	0.0045	0.001137
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	2.876	0.042	0.0147	0.000668
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	2.321	0.042	0.0183	0.000147
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	3.098	0.072	0.0232	0.023329
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	2.744	0.278	0.1012	0.001732
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 0.027043879					

ESCURRIMIENTOS EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO, DICIEMBRE

Zona	Vegetación	Área (km ²)	Área (m ²)	Tipo de Suelo	Numero de escurrimiento N	Altura total lluvia mensual (m)	Altura de lluvia efectiva (m)	Coefficiente de escurrimiento	Escurrimiento (m ³ /s)
1	Bosque-espeso	0.03	30000	B	52	0.800	0.000	0.0000	0.000000
2	Bosque-normal	23.01	23010000	B	60	1.147	0.341	0.2977	0.029331
3	Pastizales	4.24	4240000	B	70	1.136	0.110	0.0970	0.001744
1a	Bosque-espeso	0.93	930000	C	62	0.811	0.400	0.4931	0.001388
2a	Bosque-normal	87.06	87060000	C	70	1.239	0.089	0.0714	0.028770
3a	Pastizales	1.67	1670000	C	80	1.118	0.004	0.0033	0.000023
Ac = 116940000				Q = Escurrimiento de la cuenca = 0.061256579					