

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



**ESTUDIO HIDROLÓGICO EN EL KM 40+160,
SAN JOSÉ DEL SITIO – VALLE DEL ROSARIO, SATEVO, CHIHUAHUA**

POR:

ING. VEIRA SOLEDAD VALENZUELA ACOSTA

**ESTUDIO DE CASO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
GRADO DE**

MAESTRO EN INGENIERÍA EN VÍAS TERRESTRES

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

FEBRERO 2022



Estudio Hidrológico En El Km 40+160, San José Del Sitio – Valle Del Rosario, Satevo, Chihuahua. Estudio de Caso presentado por Veira Soledad Valenzuela Acosta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres, ha sido aprobado y aceptado por:

M.I. Javier González Cantú
Director de la Facultad de Ingeniería

Dr. Alejandro Villalobos Aragón
Secretario de Investigación y Posgrado

M.A. María de Lourdes Flores Portillo
Coordinadora Académica

M.I. Javier González Cantú
Director(a) de Tesis

FEBRERO 2022

Fecha

COMITÉ

Director de Tesis: **M.I. JAVIER GONZÁLEZ CANTÚ**
Co Director de Tesis: **M.I. MIGUEL ÁNGEL GONZÁLEZ NÚÑEZ**
Asesor de Tesis: **M.I. JOSÉ ANTONIO PORTILLO OCEGUERA**
Asesor de Tesis externo: **M.I. FRANCISCO JAVIER LÓPEZ SILVA**

Derechos Reservados
Veira Soledad Valenzuela Acosta
Circuito Universitario No. 1, Campus
Universitario 2 C.P. 31125
Chihuahua, Chih. México
Febrero 2022



ING. VEIRA SOLEDAD VALENZUELA ACOSTA
Presente.

En atención a su solicitud relativa al trabajo de estudio de caso para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por el director **M.I. Javier González Cantú** para que lo desarrolle como estudio de caso, con el título **“ESTUDIO HIDROLÓGICO EN EL KM 40+160 SAN JOSÉ DEL SITIO - VALLE DEL ROSARIO, SATEVO, CHIHUAHUA”**.

Índice de Contenido

1. Introducción
2. Antecedentes
3. Descripción de la zona de estudio
 - 3.1. Clima
 - 3.2. Suelo
 - 3.3. Vegetación
 - 3.4. Fauna
4. Características fisiográficas
 - 4.1. Parámetros asociados a la forma de la cuenca
 - 4.2. Parámetros relativos al relieve
 - 4.3. Parámetros relativos al drenaje
5. Análisis de precipitación
 - 5.1. Métodos para la estimación de registros faltantes
 - 5.2. Precipitación media anual acumulada
6. Construcción de curvas $i - d - Tr$.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

7. Gasto
 - 7.1. Métodos empíricos
 - 7.2. Métodos semiempíricos
8. Conclusiones
9. Referencias
10. Anexos

Solicitamos a Usted tomar nota de que el título del trabajo se imprima en lugar visible de los ejemplares del documento terminal.

ATENTAMENTE

"Naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

**SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO**

**FACULTAD DE
INGENIERÍA
U.A.CH.**



M.I. JAVIER GONZÁLEZ CANTÚ

DR. ALEJANDRO VILLALOBOS ARAGÓN

DIRECCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No.1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx



RESUMEN

Con la finalidad de calcular el gasto máximo aproximado que puede pasar por el Río “La Cal”, específicamente en el km 40+160, del camino San José del Sitio – Valle del Rosario, en el Municipio de Satevo en el Estado de Chihuahua, se realiza la elaboración de los siguientes puntos, el primero es describir la zona donde se realiza el estudio hidrológico, el segundo es describir las características de la cuenca donde se encuentra el lugar donde se propone construir el puente, tercero analizar la precipitación por medio de los métodos Media Aritmética y Polígonos de Thiessen, el cuarto realizar las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia. Con lo anterior se obtienen los datos necesarios para calcular el gasto con los métodos: Método de Creager, Formula de Lowry, Método Racional y Método de Ven Te Chow.

En la conclusión se obtiene el valor del gasto máximo para el diseño del proyecto del puente, así como periodo de retorno a utilizar.

Palabras clave: Cuenca, precipitación, gasto máximo, periodo de retorno.

ABSTRACT

In order to calculate the approximate maximum water flow that can pass through the “La Cal” river, specifically at km 40+160 of the San José del Sitio – Valle del Rosario road, in the Municipality of Satevo in the state of Chihuahua, the following points are elaborated, the first is to describe the area where the hydrological study is made, the second is to describe the characteristics of the watershed where the bridge is proposed to be built, the third is to analyze the precipitation through the Arithmetic Mean and the Thiessen Polygons methods, the fourth is to perform the Intensity – Duration – Frequency curves. With the above, the necessary data to calculate the water flow are obtained using the methods: Creager's Method, Lowry's Formula, Rational Method and Ven Te Chow's Method.

In the conclusion, the value of the maximum water flow for the design of the bridge project is obtained, as well as the return period to be used.

Keywords: Watershed, precipitation, maximum water flow, return period.



ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	11
2.	ANTECEDENTES	13
3.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	14
3.1	CLIMA	15
3.2	SUELO	16
3.3	VEGETACIÓN	19
3.4	FAUNA	20
4.	CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS.....	22
4.1	Parámetros asociados a la forma de la cuenca.....	22
4.2	Parámetros relativos al relieve.....	26
4.3	Parámetros relativos al drenaje.....	34
5.	ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN.....	40
5.1	MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE REGISTROS FALTANTES	41
5.2	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL ACUMULADA	50
5.2.1	Media Aritmética.....	50
5.2.2	Polígonos de Thiessen	51
6.	CONSTRUCCIÓN DE CURVAS $i - d - Tr$	55
7.	GASTO.....	63
7.1	Metodos Empíricos.....	63
7.1.1	Método de Creager	63
7.1.2	Fórmula de Lowry	65
7.2	Métodos Semiempíricos	66
7.2.1	Método Racional	67
7.2.2	Método de Ven Te Chow	69
8.	CONCLUSIONES.....	75
9.	REFERENCIAS	77
10.	ANEXOS	80
	ANEXO I DATOS TOTALES ORIGINALES DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	80
	ANEXO II	86



Análisis de la estimación de datos faltantes para cada una de las estaciones climatológicas por el método de la Relación Normalizada.	86
Anexo III	92
Datos estimados de las 4 estaciones climatológicas del periodo del 1971 al 1986, por el Método de la Relación Normalizada.	92
Anexo IV	96
Análisis de la estimación de datos faltantes para cada una de las estaciones climatológicas por el Método U.S. National Weather.....	96
Anexo V.....	102
Datos estimados de las 4 estaciones climatológicas del periodo del 1971 al 1986, por el Método U.S. National Weather.	102



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Croquis de la ubicación de la zona de estudio (Google Earth).....	11
Ilustración 3.1 Providencias Fisiográficas de la República Mexicana (INEGI, 1983).....	14
Ilustración 3.2 Localización de la Cuenca La Cal (Google Earth).....	15
Ilustración 3.3 Clima en la cuenca La Cal.....	16
Ilustración 3.4 Tipo de suelo en la cuenca La Cal.....	17
Ilustración 3.5 Tipo de vegetación en la cuenca La Cal.....	19
Ilustración 3.6 Especies de mamíferos en la zona de estudio. (SEMARNAT, 2021).....	20
Ilustración 3.7 Especies de aves en la zona de estudio (SEMARNAT, 2021).....	21
Ilustración 3.8 Especies de reptiles en la zona de estudio (SEMARNAT, 2021).....	21
Ilustración 4.1 Área de la Cuenca La Cal.....	23
Ilustración 4.2 Clasificación de tamaños de cuencas.....	23
Ilustración 4.3 Longitud de la Cuenca La Cal.....	24
Ilustración 4.4 Clasificación del Índice de Compacidad de Gravelius (Cardona, 2015).....	25
Ilustración 4.5 Malla de cuadros en la Cuenca.....	27
Ilustración 4.6 Clasificación del tipo de terreno (Morales, 2009).....	29
Ilustración 4.7 Perfil del Cauce principal.....	31
Ilustración 4.8 Tramos de longitud variable del cauce principal.....	33
Ilustración 4.9 Formas de sistema de drenaje (Morales, 2009).....	36
Ilustración 4.10 Sistema de drenaje paralelo en cuenca La Cal.....	36
Ilustración 4.11 Orden de corriente en cuenca La Cal.....	38
Ilustración 5.1 Estaciones climatológicas utilizadas para el estudio en cuenca La Cal (Inc, 2021).....	40
Ilustración 5.2 Método de Polígonos de Thiessen de la cuenca La Cal (AutoCAD).....	52
Ilustración 5.3 Método de Polígonos de Thiessen de la cuenca La Cal (ArcGIS).....	52
Ilustración 5.4 Estaciones de influencia para el Método de Polígonos de Thiessen.....	53
Ilustración 6.1 Norma N-PRY-CAR-1-06-004/18. (SCT, Norma N-PRY-CAR-1-06-004/18, 2018).....	60
Ilustración 6.2 Grafica para 50 años tiempo de retorno.....	60
Ilustración 7.1 Coeficientes de las envolventes para las 37 regiones hidrológicas.....	64



Ilustración 7.2 Coeficientes de escurrimiento para el método Racional (SCT, Norma M-PROY-CAR-1-06-003/00 inciso C.3.2 2000)	68
Ilustración 7.3 Selección del número de escurrimiento n (SCT, Norma M-PRY-CAR-1-06-004/00, 2000).....	70
Ilustración 7.4 Gasto máximo con periodo de retorno de 50 años. Método Ven Te Chow .	74
Ilustración 8.1 Zona de estudio actual km 40+160.....	75



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Distribución de clima en cuenca La Cal.....	16
Tabla 3.2 Distribución del suelo en cuenca La Cal	17
Tabla 3.3 Distribución de vegetación en cuenca La Cal	19
Tabla 4.1 Calculo de Intersecciones de la Cuenca	28
Tabla 4.2 Longitud total de las curvas de nivel dentro de la Cuenca	30
Tabla 4.3 Tramos de longitud variable del cauce principal.....	33
Tabla 4.4 Longitudes de las corrientes de la cuenca	39
Tabla 5.1 Datos de las estaciones climatológicas cercanas a la cuenca	41
Tabla 5.2 PRECIPITACIÓN ORIGINAL ANUAL DE LA ESTACIÓN “NONOAVA – 8183”	42
Tabla 5.3 PRECIPITACIÓN ORIGINAL ANUAL DE LA ESTACIÓN “EL SITIO - 8057”	43
Tabla 5.4 PRECIPITACIÓN ORIGINAL ANUAL DE LA ESTACIÓN “EL MAGUEY - 8050”	44
Tabla 5.5 PRECIPITACIÓN ORIGINAL ANUAL DE LA ESTACIÓN “VALLE DE ZARAGOZA - 8153”	45
Tabla 5.6 Precipitación mensual estimada en las estaciones climatológicas por el Método de la Relación Normalizada	47
Tabla 5.7 Precipitación anual estimada en las estaciones climatológicas por el Método de la Relación Normalizada	48
Tabla 5.8 Precipitación mensual estimada en las estaciones climatológicas por el Método U.S. National Weather.....	49
Tabla 5.9 Precipitación anual estimada en las estaciones climatológicas por el Método U.S. National Weather	49
Tabla 5.10 Estaciones de influencia de la cuenca mediante Polígonos de Thiessen.....	53
Tabla 5.11 Datos necesarios para el cálculo de precipitación media de la cuenca, obtenido con la Relación Normalizada.....	54
Tabla 5.12 Datos necesarios para el cálculo de precipitación media de la cuenca, obtenido el método U.S. National Weather.....	54
Tabla 6.1 Valor de I para la cuenca en estudio.....	56



Tabla 6.2 Valores obtenidos para el sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas.....	57
Tabla 7.1 Datos para obtener gasto mediante método Ven Te Chow	72
Tabla 7.2 Resumen de caudales de los diferentes métodos.....	74
Tabla 10.1 PRECIPITACIÓN ORIGINAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN “NONOAVA – 8183”	80
Tabla 10.2 PRECIPITACIÓN ORIGINAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN “EL SITIO - 8057”	81
Tabla 10.3 PRECIPITACIÓN ORIGINAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN “EL MAGUEY – 8050”	82
Tabla 10.4 PRECIPITACIÓN ORIGINAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN “VALLE DE ZARAGOZA – 8153”	83
Tabla 10.5 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación Nonoava.....	86
Tabla 10.6 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Sitio.....	86
Tabla 10.7 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Sitio.....	87
Tabla 10.8 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Sitio.....	87
Tabla 10.9 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Sitio.....	88
Tabla 10.10 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Sitio.....	88
Tabla 10.11 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey	88
Tabla 10.12 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey	89
Tabla 10.13 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey	89
Tabla 10.14 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey	90
Tabla 10.15 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey	90
Tabla 10.16 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey	90
Tabla 10.17 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey	91
Tabla 10.18 Datos estimados de la estación Nonoava.....	92
Tabla 10.19 Datos estimados de la estación El Sitio.....	93
Tabla 10.20 Datos estimados de la estación El Maguey	94
Tabla 10.21 Datos estimados de la estación Valle de Zaragoza.....	95
Tabla 10.22 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación Nonoava.....	96
Tabla 10.23 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Sitio	96
Tabla 10.24 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Sitio	97



Tabla 10.25 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Sitio	97
Tabla 10.26 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Sitio	98
Tabla 10.27 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Sitio	98
Tabla 10.28 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey	98
Tabla 10.29 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey	99
Tabla 10.30 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey	99
Tabla 10.31 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey	100
Tabla 10.32 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey	100
Tabla 10.33 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey	100
Tabla 10.34 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación Valle de Zaragoza	101
Tabla 10.35 Datos estimados de la estación Nonoava.....	102
Tabla 10.36 Datos estimados de la estación El Sitio	103
Tabla 10.37 Datos estimados de la estación El Maguey	104
Tabla 10.38 Datos estimados de la estación Valle de Zaragoza.....	105



1. INTRODUCCIÓN

“La Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades y su relación con el ambiente, incluyendo a los seres vivos”. (Chow, 1964)

Acorde a la definición de Hidrología, esta se aplicará para estudiar las características y propiedades del cauce que se describirá a continuación. Por lo tanto, necesitamos conocer la definición de cuenca y todo lo que conlleva a su análisis.

Una cuenca es una zona de la superficie de la tierra que, si se supone impermeable, al caer alguna precipitación (agua, granizo o nieve) escurrirá o será drenada por un sistema de corrientes a un mismo punto de salida con determinada velocidad y tiempo de escurrimiento. Está delimitada por el parteaguas, que es la línea imaginaria que une los puntos con mayor altitud de la cuenca. (Porrás Velásquez & Serrano Pacheco, 2013)

El lugar de estudio se encuentra a una distancia de 158 km de la ciudad de Chihuahua. Para llegar es necesario tomar la carretera Chihuahua – Cuauhtemoc y en el entronque Palomas (km 37+000), se da vuelta a la izquierda con dirección a la Ciudad de Parral; al llegar al km 80+500 de la carretera Chihuahua – Parral (Vía corta), esta el entronque a Valerio, donde se da vuelta a la derecha y se recorren 40.16 km del tramo: Valerio – San José de Sitio – Valle del Rosario, y es ahí donde se construirá el Puente denominado “El Chilis II”. (Inc, 2021).



Ilustración 1.1 Croquis de la ubicación de la zona de estudio (Google Earth)



Se plantearán las características principales de la cuenca, para así poder obtener el gasto máximo del cauce que cruza por camino.



2. ANTECEDENTES

Cuando se realizan trabajos sobre una carretera, difícilmente se puede cerrar por completo el tránsito sobre ésta, creando zonas con un alto riesgo tanto para trabajadores como para usuarios. Para evitar que un vehículo llegue a invadir en el área de trabajo se requiere un plan de manejo de tránsito temporal bien diseñado, así como señalización oportuna que advierta sobre la proximidad de la zona en obras (señales de protección de obra).

Para minimizar el riesgo que se presenta en una carretera con trabajos en desarrollo, la desviación del tránsito es la mejor opción. (Cadengo, Casanova, & Mendoza, Mayo - Junio 2019)

En caso de la zona de estudio, se cruza el arroyo a través de un camino de desviación, por lo que disminuye el tiempo de recorrido del usuario. Por tal motivo es importante realizar una estructura que dé continuidad y al mismo tiempo fluya el cauce que pasa transversalmente por el camino. Para la elaboración de una estructura hidráulica, el estudio hidrológico es esencial, ya que es donde se determina el gasto máximo y así, poder proponer dimensiones para una estructura hidráulica eficiente, y así mismo nos da una idea de los posibles problemas de socavación que pudiera tener el puente.



3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La corriente que pasa por el cruce del camino, es parte del Río San José, el cual es un tributario del Río Conchos, pertenece a la Región Hidrológica No. 24 Bravo – Conchos. En la zona de cruce, la vegetación se puede clasificar como matorrales y arbustos (Atlas del Agua en Mexico, 2014); y su territorio se encuentra dentro de una de las quince provincias fisiográficas que dividen al país, que es la Provincia Sierra Madre Occidental, y al mismo tiempo, ésta se divide en cinco, de las cuales, la que se encuentra en la zona de estudio, es la Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango, presentando relieve lomerío, suelo con rocas calizas, lutitas y pizarras. (Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación del Estado de Chihuahua, 2012)

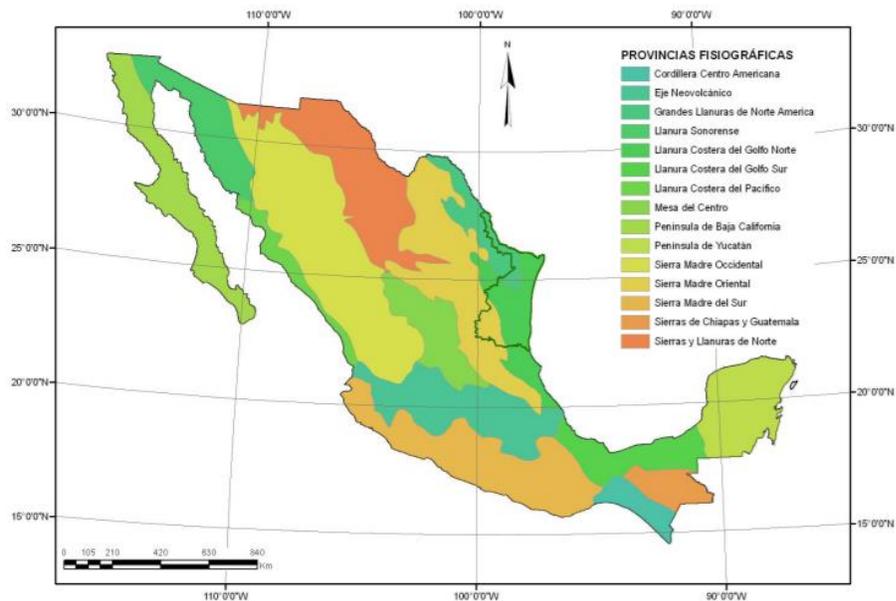


Ilustración 3.1 Providencias Fisiográficas de la República Mexicana (INEGI, 1983)

La cuenca hidrográfica denominada “La Cal” se encuentra a una distancia de 5.16 km de la Comunidad San José del Sitio, Municipio de Satevo, Estado de Chihuahua.

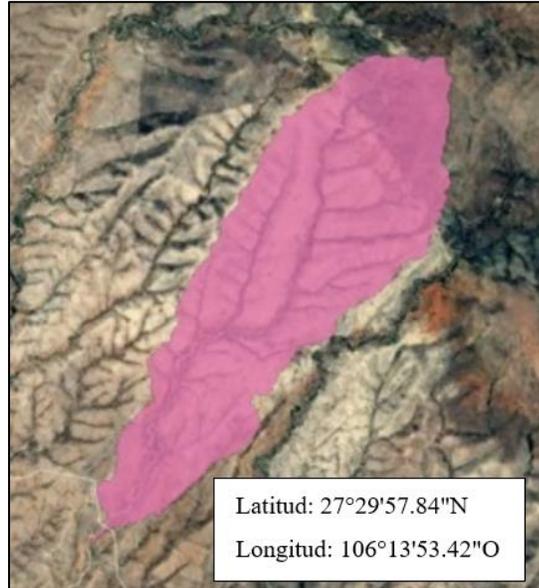


Ilustración 3.2 Localización de la Cuenca La Cal (Google Earth)

3.1 CLIMA

El tipo de clima existente en la zona, corresponde al:

- **BS1kw** *Semiárido, templado*: temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
- **BS1hw** *Semiárido, semicálido*: temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. (García, 1998).

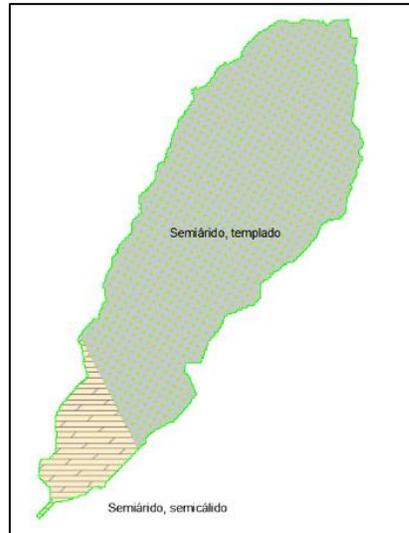


Ilustración 3.3 Clima en la cuenca La Cal

Tabla 3.1 Distribución de clima en cuenca La Cal

CLIMA	CUENCA
SEMIARIDO TEMPLADO	88.5 %
SEMIARIDO SEMICÁLIDO	11.5 %
	100 %

3.2 SUELO

El tipo de suelo que existe en la cuenca, se obtuvo de la carta Edafológica G1301e, descargada de la página INEGI, y se muestra a continuación:

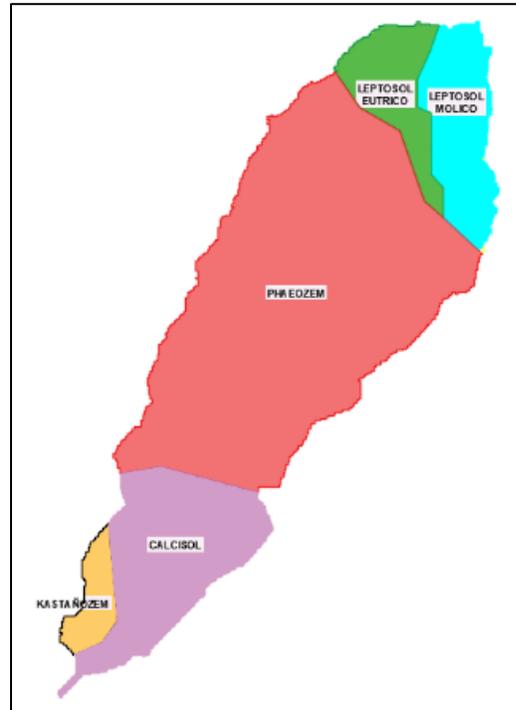


Ilustración 3.4 Tipo de suelo en la cuenca La Cal

Tabla 3.2 Distribución del suelo en cuenca La Cal

SUELO	CUENCA
KASTAÑOZEM	3.17 %
CALCISOL	16.77 %
PHAEZEM	63.02 %
LEPTOSOL EUTRICO	7.32 %
LEPTOSOL MOLICO	9.72 %
	100 %

- **KASTAÑOZEM (KS)**

Del latín castanea, castaño y del ruso zemlja, tierra.

Suelos de clima árido o semiárido, con una capa superficial gruesa de color pardo oscuro y rica en carbono orgánico, ricos en magnesio, potasio y carbonatos en el subsuelo. Requieren fertilizantes fosfatados y un buen programa de riego que



evite riesgos de salinización. Son susceptibles a la erosión hídrica y eólica especialmente si son terrenos agrícolas en descanso o tierras de sobrepastoreo.

- **CALCISOL (CL)**

Suelos con más del 15% de carbonato de calcio en por lo menos una capa de 15 cm de espesor, pueden presentar una capa cementada (petrocálcico). Muchos cultivos en Calcisoles tienen éxito si son fertilizados con nitrógeno, fósforo, hierro y zinc. Es uno de los grupos de suelo más extendidos en el país.

- **PHAEOZEM (PH)**

Del griego phaios, oscuro, y del ruso zemlja, tierra.

Suelos de clima semiseco y subhúmedo, de color superficial pardo a negro, fértiles en magnesio, potasio y sin carbonatos en el subsuelo. El relieve donde se desarrollan estos suelos es generalmente plano o ligeramente ondulado. En México constituyen los suelos más importantes para la agricultura, por ejemplo, en los Altos de Jalisco, las llanuras de Querétaro, Hidalgo y norte de Guanajuato, en la Gran Meseta Chihuahuense, al pie de la Sierra Madre Occidental y en numerosos valles del sur y sureste de México.

- **LEPTOSOL EUTRICO (Le)**

Del griego leptos, delgado.

Actualmente representan suelos con menos de 25 cm de espesor o con más de 80% de su volumen ocupado por piedras o gravas. Son muy susceptibles a la erosión.

Se localizan generalmente en las zonas montañosas con más de 40% de pendiente.

El uso principal de este suelo es para agostadero.

Suelos saturados con calcio, magnesio, sodio y potasio en la mayor parte de la solución. El estado éutrico puede considerarse un indicador adicional de buena fertilidad del suelo. Los suelos éutricos son característicos de clima seco o semiseco debido a la baja precipitación.



- **LEPTOSOL MOLICO (Lm)**

Actualmente representan suelos con menos de 25 cm de espesor o con más de 80% de su volumen ocupado por piedras o gravas. Son muy susceptibles a la erosión.

Se localizan generalmente en las zonas montañosas con más de 40% de pendiente. Suelo con un horizonte superficial oscuro, bien estructurado, buen contenido de carbono orgánico y fertilidad moderada o alta; 10 cm en el caso de Leptosoles, 20 cm o más, en los demás grupos. (INEGI, Edafología, Guía para la interpretación de cartografía, 2015).

3.3 VEGETACIÓN

Para conocer el tipo de vegetación en la zona de estudio, se descargó el conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. De la página de INEGI

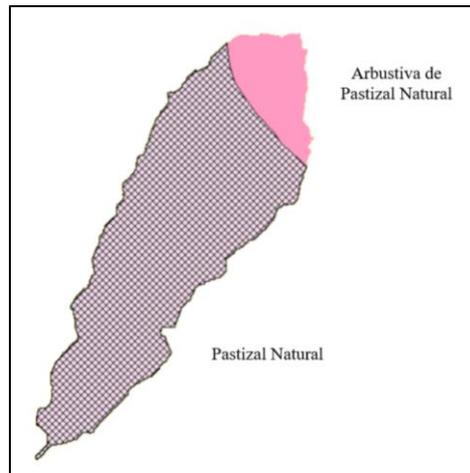


Ilustración 3.5 Tipo de vegetación en la cuenca La Cal

Tabla 3.3 Distribución de vegetación en cuenca La Cal

SUELO	CUENCA
Pastizal Natural	91.33 %
Arbustiva de Pastizal Natural	8.67 %
	100 %



- **Pastizal Natural (PN)**

El Pastizal Natural se desarrolla de preferencia en suelos medianamente profundos de mesetas, fondos de valles y laderas poco inclinadas, casi siempre de naturaleza ígnea, en altitudes entre 1 100 y 2 500 m, aunque en Sonora pueden descender hasta los 450 m. Las temperaturas medias anuales varían en la mayor parte de su extensión de 12 a 20 °C. Las fluctuaciones estacionales y diurnas son relativamente pronunciadas, todos los años se presentan heladas y en las partes altas de Chihuahua y Sonora ocurren nevadas con cierta frecuencia.

Los pastizales en cuestión son generalmente de altura media, de 20 a 70 cm, aunque a causa del intenso pastoreo se mantienen casi siempre más abajo. La coloración amarillenta pálida es característica durante la mayor parte del año y la comunidad sólo reverdece en la época más húmeda.

- **Arbustiva de pastizal natural (VSa/PN)**

Es una comunidad dominada por especies de gramíneas y graminoides, en ocasiones acompañadas por hierbas y arbustos de diferentes familias, como son: compuestas, leguminosas, etcétera. Su principal área de distribución se localiza en la zona de transición entre los matorrales xerófilos y los diversos tipos de bosques. (INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2016)

3.4 FAUNA

Se presentan datos de las especies de mamíferos, aves y reptiles, que se encuentra en la zona de estudio, obtenidos de la Página de SEMARNAT.

Grupo Faunístico	Nombre Común	Nombre Científico	NOM-059-SEMARNAT-2010
Mamíferos	Liebre cola negra	Lepus californicus	Ausente
	Conejo	Sylvilagus audubonii	Ausente
	Rata cambalachera mexicana	Neotoma mexicana	Ausente
	Gato montés	Lynx rufus	Ausente
	Coyote	Canis latrans	Ausente
	Zorra gris	Urocyon cinereoargenteus	Ausente
	Zorrillo listado norteño	Mephitis mephitis	Ausente
	Raton chapulinero	Onychomys arenicola	Ausente
	Venado cola blanca	Odocoileus virginianus	Ausente

Ilustración 3.6 Especies de mamíferos en la zona de estudio. (SEMARNAT, 2021)



Grupo Faunístico	Nombre Común	Nombre Científico	NOM-059-SEMARNAT-2010
Aves	Papamoscas llanero	Sayornis saya	Ausente
	Zopilote aura	Cathartes aura	Ausente
	Gavilán rastrero	Circus cyaneus	Ausente
	Correcaminos norteño	Geococcyx californianus	Ausente
	Tecolote llanero	Athene cunicularia	Ausente
	Tirano chibíu	Tyrannus vociferans	Ausente
	Alcaudon verdugo	Lanius ludovicianus	Ausente
	Cuervo llanero	Corvus cryptoleucus	Ausente
	Paloma de campo	Zenaida asiatica	Ausente
	Rascador de la cola verde	Papilo chlorurus	Ausente
	Cuillacoche pico curvo	Taxostoma curvirostre	Ausente
	Gorrion cola blanca	Poocetes gramineus	Ausente
	Zacatonero garganta negra	Amphispiza bilineata	Ausente
	Picogordo azul	Passerina caerulea	Ausente
	Zanate mayor	Quiscalus mexicanus	Ausente
Aguillilla de swainson	Buteo swainsoni	Presente	

Ilustración 3.7 Especies de aves en la zona de estudio (SEMARNAT, 2021)

Grupo Faunístico	Nombre Común	Nombre Científico	NOM-059-SEMARNAT-2010
Reptiles	Lagartija sorda menor	Holbrookia maculata	Ausente
	Lagartija	Aspidoscelis marmorata	Ausente
	Cascabel de diamante	Crotalus atrox	Presente
	Culebra parchada de cabestrillo	Salvadora hexalepis	Ausente
	Lagartija sorda mayor	Cophosaurus texanus scitulus	Ausente
	Sapo	Anaxyrus cognatus	Ausente
	Sapo texano	Anaxyrus speciosus	Ausente
	Lagartija sorda menor	Holbrookia maculata	Ausente
	Lagartija	Aspidoscelis marmorata	Ausente

Ilustración 3.8 Especies de reptiles en la zona de estudio (SEMARNAT, 2021)



4. CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS

Los procesos hidrológicos que se producen en la cuenca son el resultado de la interacción de varios factores climáticos, topográficos, ecológicos, además de aquellos que son producto de la intervención humana como ser el uso del suelo e infraestructura. Como punto de partida para la comprensión y análisis comparativo de estos procesos, es importante conocer las características físicas y morfométricas de las cuencas, las cuales influyen en la magnitud y variabilidad de dichos procesos.

Asimismo, estas características constituyen una base cuantitativa para predecir la respuesta de la cuenca en función de algunos parámetros que pueden agruparse en tres grandes categorías: parámetros asociados a la forma de la cuenca; parámetros relativos al relieve; y parámetros relativos al drenaje. Dentro de cada categoría existen parámetros básicos determinados por medio de la utilización de Sistemas de Información Geográfica a partir de datos del Modelo Digital del Terreno y la red hidrográfica. (Brieva, 2018)

4.1 Parámetros asociados a la forma de la cuenca

La forma de la cuenca condiciona de manera importante la velocidad del escurrimiento superficial y las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, y es particularmente importante, junto con las características del relieve, en los eventos de crecidas máximas. En general, las cuencas de igual área pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes.

Área (A).

Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa habitualmente en km² o hectáreas. (Brieva, 2018)

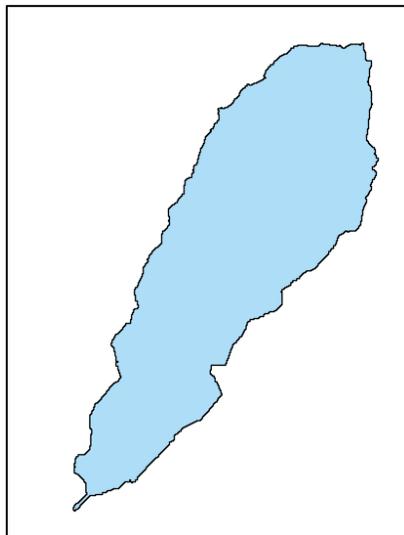


Ilustración 4.1 Área de la Cuenca La Cal

Se obtuvo el área de la cuenca mediante la herramienta Global Mapper, la cual es de 5.744 km².

Utilizando la clasificación de Campos Aranda (1992) (Ilustración 4.2), la cuenca La Cal, se clasifica como microcuenca.

Rangos de áreas (km²)	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia- pequeña
500 a 2500	Intermedia-grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Ilustración 4.2 Clasificación de tamaños de cuencas



Perímetro (P)

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en kilómetros.

Perímetro de la cueca: 16.767 km²

Longitud de la cuenca (L)

Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (estación de aforo) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca. Se expresa normalmente en kilómetros. (Brieva, 2018)

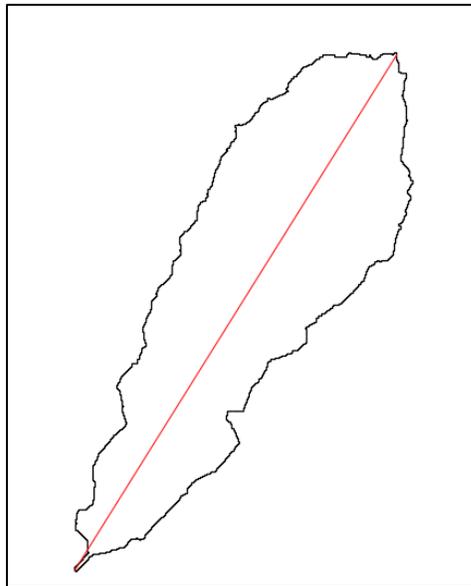


Ilustración 4.3 Longitud de la Cuenca La Cal

Longitud de la Cuenca: 5.408 km

Coefficiente de compacidad (kc)

Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas o divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia. Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación



de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua. (Cardona, 2015)

$$k_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R} = \frac{16.767}{8.496} = 1.974$$

k_c = Coeficiente de compacidad

P = Perímetro de la cuenca (16.767 km)

P_c = Perímetro de un círculo de área igual (8.496 km)

Kc	Clasificación
1 a 1,25	Casi redonda a oval-redonda
1,25 a 1,5	Oval redonda a oval-oblonga
1,5 a 1,75	oval oblonga a rectangular oblonga
>1,75	Rectangular

Ilustración 4.4 Clasificación del Índice de Compacidad de Gravelius (Cardona, 2015)

Observando el Índice de Compacidad obtenido (1.974), la cuenca se clasifica como rectangular, según en la Ilustración 4.4.

Relación de elongación (Re) (Schum 1956)

Se define como la relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la cuenca y la longitud de la cuenca. Su formulación matemática es la siguiente:

$$Re = \frac{1.1284 * \sqrt{A}}{Lc}$$

Donde A es el área de la cuenca y L la longitud de la cuenca. El valor de la relación de elongación se acerca a la unidad cuando la cuenca es muy plana y circular, cuando la



cuenca es plana con porciones accidentales, la relación de elongación está entre 0.5 y 0.8. (Brieva, 2018).

$$Re = \frac{1.1284 * \sqrt{A}}{Lc}$$

$$Re = \frac{1.1284 * \sqrt{5.744}}{5.408} = 0.500$$

Área de la Cuenca: 5.744 km²

Longitud de la Cuenca: 5.408 km

Como el valor obtenido es 0.5, se determina que la cuenca es plana con porciones accidentales.

Longitud del cauce principal (Lc)

Corresponde a la longitud del cuerpo de agua que le da nombre a la cuenca de estudio, en este parámetro se tienen en cuenta la sinuosidad cauce.

Lc = 5,593.08 m, medido mediante el programa Autocad.

4.2 Parámetros relativos al relieve

Pendiente media de la cuenca (S)

Es el valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca. (Brieva, 2018)

Para la obtención de la pendiente media de la cuenca “La Cal” se consideran los datos como la inclinación o declive promedio de su topografía. Para obtener la pendiente media de la cuenca se cuenta con 2 métodos, Horton y Alvord. El de mayor aplicación es el Horton.

Se utilizó ambos métodos para realizar una comparativa de ambas pendientes.



Método de Horton

Este método requiere trazar una malla de cuadros sobre el plano topográfico que comprende el área de la cuenca en estudio, la cual se orienta en el sentido de la corriente principal. El tamaño de los cuadros de la malla estará en función del tamaño de la cuenca, puesto que si la cuenca es mediana (entre 50 y 150 km²) se requiere al menos de una malla de cuatro cuadros por lado, si la cuenca es mayor, el número de cuadros de la malla deberá incrementarse según el criterio del que analiza.

Una vez determinada la malla, se enumeran las líneas de cuadrícula, ubicando el cero en la parte inferior izquierda, luego se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea de la malla con las curvas de nivel en dirección de X y en dirección de Y, igualmente se mide la longitud de cada línea de la cuadrícula que queda comprendida dentro de la cuenca en ambas direcciones. (Morales, 2009)

Para este caso se realizó una malla de 16 x 10:

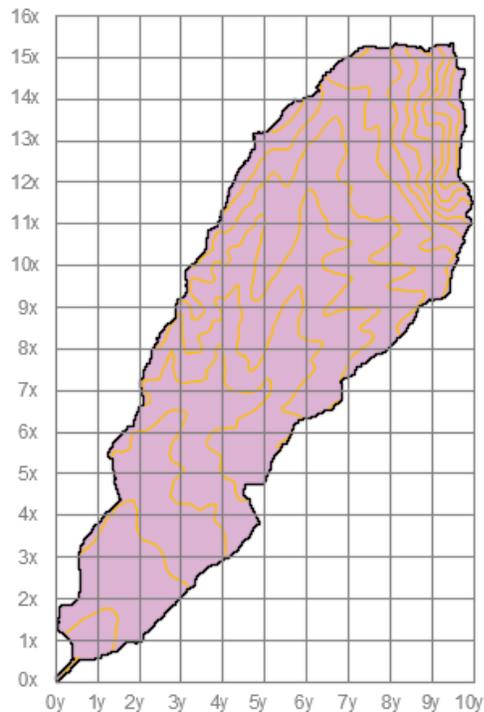


Ilustración 4.5 Malla de cuadros en la Cuenca



Se realiza una tabla de cálculo de las intersecciones y longitudes de las líneas comprendidas dentro de la cuenca para ambas direcciones:

Tabla 4.1 Cálculo de Intersecciones de la Cuenca

LÍNEA	Intersecciones (nx)	Longitud (L)	LÍNEA	Intersecciones (ny)	Longitud (L)
0	0	0	0	0	0.00
1	1	512.90	1	2	963.12
2	0	734.16	2	2	1688.06
3	1	1086.15	3	7	2154.08
4	3	1086.15	4	8	2526.91
5	2	1096.21	5	8	2516.55
6	3	1216.89	6	5	2319.78
7	5	1438.14	7	8	2299.07
8	8	1699.62	8	8	2154.08
9	8	1739.85	9	14	1822.69
10	8	1900.76	10	0	0
11	9	1810.25			
12	12	1649.34			
13	10	1488.43			
14	8	1126.38			
15	5	774.38			
16	0	0			
Σ	66	17,549.36		62	18,444.34

Luego se calcula la pendiente en las dos direcciones (X, Y) de la siguiente manera:

$$S_x = \frac{(nx)(D)}{\Sigma(Lx)} \quad S_y = \frac{(ny)(D)}{\Sigma(Ly)} \quad S_c = \frac{(S_x + S_y)}{2}$$



Donde:

Sx : pendiente de la cuenca en la dirección X

Sy : pendiente de la cuenca en la dirección Y

Nx : número total de intersecciones y tangencias de las líneas de la malla en la dirección X, con las curvas de nivel. (66)

Ny : número total de intersecciones y tangencias de las líneas de la malla en la dirección Y, con las curvas de nivel. (62)

D : desnivel constante entre curvas de nivel. (20m)

Lx : longitud total, que tendrían en el terreno las líneas de la malla en la dirección de X, comprendida dentro de la cuenca. (17,549.36m)

Ly : longitud total, que tendrían en el terreno de las líneas de la malla en la dirección de Y, comprendida dentro de la cuenca. (18,444.34)

$$S_x = \frac{(66)(20)}{17,549.36} = 0.0752$$

$$S_y = \frac{(62)(20)}{18,444.34} = 0.0672$$

$$S_c = \frac{0.0752 + 0.0672}{2} = 0.0712$$

Pendiente de la cuenca es 0.0712, equivalente a 7.12%

En orden de magnitud se pueden admitir los siguientes valores de clasificación de los tipos de terrenos en función de la pendiente media:

Pendiente media, %	Tipo de terreno
[0-2]	Plano
[2-5]	Suave
[5-10]	Accidentado medio
[10-15]	Accidentado
[15-25]	Fuertemente accidentado
[25-50]	Escarpado
>50	Muy escarpado

Ilustración 4.6 Clasificación del tipo de terreno (Morales, 2009)



Observamos que el tipo de terreno en la cuenca es accidentado medio, según la Ilustración 4.5, ya que la pendiente calculada es de 7.12 %

Método de Alvord

Con este método se analiza la pendiente existente entre las curvas de nivel, trabajando con la franja definida por las líneas medias que pasan entre dichas curvas. (Morales, 2009)

Para obtener la pendiente media de la cuenca se tiene:

$$Sc = \frac{(d)(L)}{A}$$

Siendo:

Sc: Pendiente media de la cuenca

L: Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca (35.104 km)

A: Área de la cuenca (5.744 km²)

d: Equidistancia entre curvas (0.02 km)

Con ayuda del programa AutoCad, se mide la longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca, descritas a continuación:

Tabla 4.2 Longitud total de las curvas de nivel dentro de la Cuenca

Cota	Longitud (km)	Cota	Longitud (km)
1520	0.254	1680	3.751
1540	0.727	1700	2.175
1560	1.389	1720	1.645
1580	2.227	1740	1.677
1600	3.293	1760	1.552
1620	4.204	1780	1.252
1640	5.62	1800	0.826
1660	4.512		
		Suma (km)	35.104



$$S_c = \frac{(.02)(35.104)}{5.744} = 0.122$$

Pendiente de la cuenca S_c por el método de Alvord es de: 0.122 equivalente al 12.2%

Según la ilustración 4.5, el tipo de terreno en la cuenca es accidentado.

Pendiente media del cauce (S_m)

La pendiente de un tramo de río o cauce de una cuenca, es la relación que existe entre las elevaciones de los extremos (inicial y final) y la distancia horizontal de dicho tramo en análisis de la pendiente media.

$$S_m = \frac{H}{L}$$

A través del programa Global Mapper se obtuvo el perfil, tal como se muestra en la siguiente imagen:

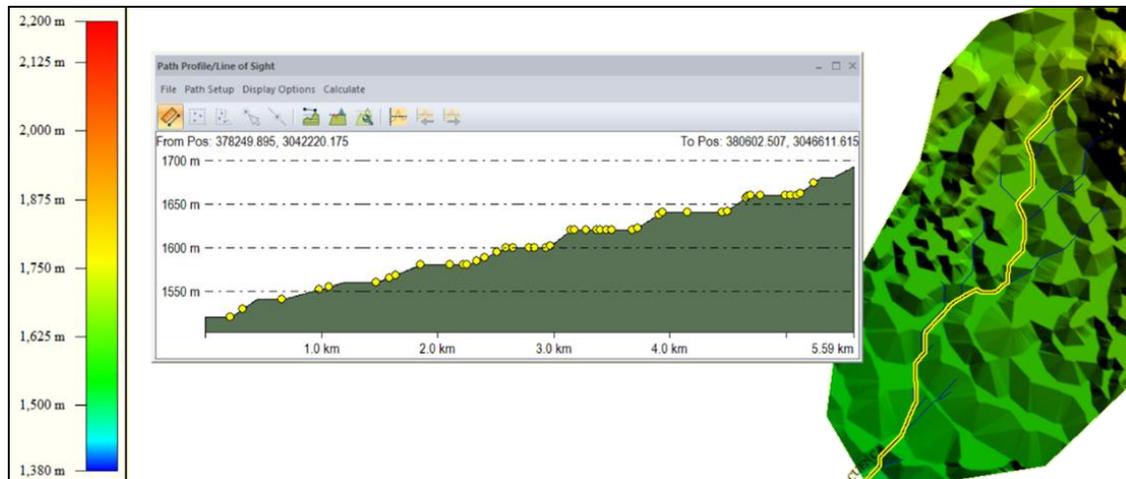


Ilustración 4.7 Perfil del Cauce principal

También se adquirieron los siguientes datos:

- Longitud cauce principal: 5,593.08 m
- Elevación más alta: 1520.00 m
- Elevación más baja: 1689.57 m
- Diferencia de elevación: 169.57 m



Sustituyendo la formula donde implica la relación que existe entre las elevaciones de los extremos, tenemos:

$$S_m = \frac{H}{L} \qquad S_m = \frac{1689.57 - 1520.0}{5593.08} = 0.0303$$

La pendiente media del cauce principal (S_m) es de $0.0303 = 3.03\%$

Ahora bien, la pendiente de la corriente principal, representa un valor medio, ya que cada tramo de río tiene una pendiente propia. En consecuencia, la pendiente media del cauce principal se aproximará más al real, mientras mayor sea el número de tramos seleccionados a lo largo del cauce que cuenten con una misma pendiente aproximada. (Ángel, 2017)

De acuerdo con el criterio de Taylor y Schwarz, se considera que el río puede estar formado por una serie de tramos de igual longitud o bien por tramos de longitud variable.

La pendiente media para tramos de igual longitud se determina con la siguiente fórmula:

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{2}{\sqrt{S_2}} + \frac{3}{\sqrt{S_3}} + \dots + \frac{m}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Dónde:

S = pendiente media del cauce.

n = es el número de tramos de igual longitud

S_n = es la pendiente del tramo.

La pendiente media para tramos de longitud variable se calcula con la siguiente fórmula:



$$S = \left[\frac{L}{\frac{L1}{\sqrt{S1}} + \frac{L2}{\sqrt{S2}} + \frac{L3}{\sqrt{S3}} + \dots + \frac{Ln}{\sqrt{Sn}}} \right]^2$$

Dónde:

S = pendiente media del cauce.

L = es la longitud del cauce principal

Ln = es la longitud del tramo n.

Sn = es la pendiente del tramo n.

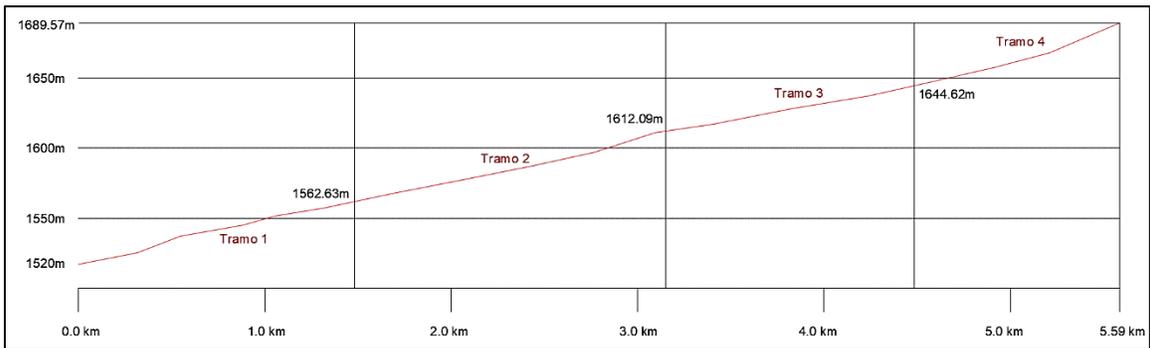


Ilustración 4.8 Tramos de longitud variable del cauce principal

Tabla 4.3 Tramos de longitud variable del cauce principal

Tramo	Desnivel (m)	Longitud (m)	Pendiente (Si)	\sqrt{Si}	L / \sqrt{Si}
1	42.63	1,446.5202	0.02947073	0.1716704	8,426.15
2	49.46	1,674.9177	0.02952981	0.1718424	9,746.82
3	32.53	1,286.0255	0.02529499	0.15904398	8,085.97
4	44.95	1,185.6166	0.03791276	0.194712	6,089.08
Suma	169.57	5,593.08			32,348.03



Datos requeridos:

Longitud del cauce principal (L): 5,593.08 m

Li/raíz Si: 32,348.03

$$S = \left[\frac{L}{\frac{L1}{\sqrt{S1}} + \frac{L2}{\sqrt{S2}} + \frac{L3}{\sqrt{S3}} + \dots + \frac{Lm}{\sqrt{Sn}}} \right]^2 \qquad S = \left[\frac{5,593.08}{32,348.03} \right]^2 = 0.029$$

La Pendiente del Cauce Principal por el método de Taylor y Schwarz es de **0.029 equivalente al 2.99 %**

4.3 Parámetros relativos al drenaje

Red de drenaje

Una característica importante de cualquier cuenca y que interviene enormemente en la magnitud de los escurrimientos es la red de drenaje o sistema de drenaje, consistente en el número y trayectoria de los escurrimientos y su importancia radica en la eficiencia del drenaje de la cuenca, además la forma de drenaje es un indicador de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca.

La red de drenaje se puede definir como la trayectoria, disposición o arreglo de los cauces y lechos por donde de manera superficial y aparente corre el agua excedente, producto de la precipitación hacia un depósito natural o artificial.

La red de drenaje, consta de una corriente principal y un sistema de corrientes tributarias de menor importancia. La configuración de las redes fluviales, es el producto de las influencias que tienen sobre ellas los suelos, las rocas, el grado de fracturación, estratificación y topografía. (Morales, 2009)

Las seis formas más comunes de los sistemas de drenaje son:

- a. Dendrítico.
- b. En enrejado.
- c. Radial



d. Paralelo.

e. Anular.

f. Rectangular

a. Sistema dendrítico. Se forma este patrón normalmente en materiales y formaciones con las siguientes características: granulación fina, material homogéneo, permeabilidad relativamente baja, topografía horizontal con pendientes muy leves, roca dura homogénea con resistencia uniforme a la erosión y el drenaje corre en todas direcciones, como por ejemplo en las lutitas, arcillas, limonitas, granito y toba volcánica.

b. Sistema enrejado o rastrillo. Este patrón de drenaje es controlado por la estructura y estratificación de las rocas. Se desarrolla principalmente en rocas plegadas inclinadas, donde hay una serie de fallas paralelas. Los afluentes más largos siguen el paso débil de las rocas, como por ejemplo en areniscas, pizarras, calizas y rocas sedimentarias inclinadas.

c. Sistema radial. Ocurre exclusivamente en aquellas zonas en donde los fenómenos geológicos han formado elevaciones cónicas, como el caso de volcanes y extrusiones ígneas.

d. Sistema paralelo. Se desarrolla generalmente en formaciones con pendientes fuertes y uniformes o con sistemas de fallas paralelas y también en terrenos uniformemente inclinados, constituidos por materiales de grano grueso.

Un drenaje paralelo implica una pendiente regional pronunciada, como por ejemplo en rocas sedimentarias, interestratificadas inclinadas, valles de relleno y llanuras costeras bajas.

e. Sistema anular. Se forma exclusivamente en estructuras anulares. Es resultado de intrusiones ígneas que han causado el levantamiento periférico de las formaciones sedimentarias o metamórficas, que en un principio cubrían la zona. La disposición de las rocas sedimentarias originalmente en un plano horizontal, se vuelve anticlinal, lo cual hace que las aguas de escorrentía corran hacia afuera del núcleo ígneo que forma la parte central del anticlinal.

f. Sistema rectangular. Es resultado exclusivamente de la estructura de la formación rocosa sobre la cual corren las aguas de escorrentía. Los elementos estructurales que intervienen son las fallas, las fracturas y las diclasas. Un drenaje rectangular manifiesta influencia de la angularidad de las fracturas de las rocas y consiguientemente son distintivos los cambios bruscos de dirección, o buzamiento tanto en los ríos como en sus tributarios



primarios y secundarios. Por depender de la estructura de la roca, este patrón de drenaje es menos indicativo del tipo de material en que se ha formado. Sin embargo, se puede anticipar que no puede ocurrir más que en rocas con materiales consolidados. (Morales, 2009)

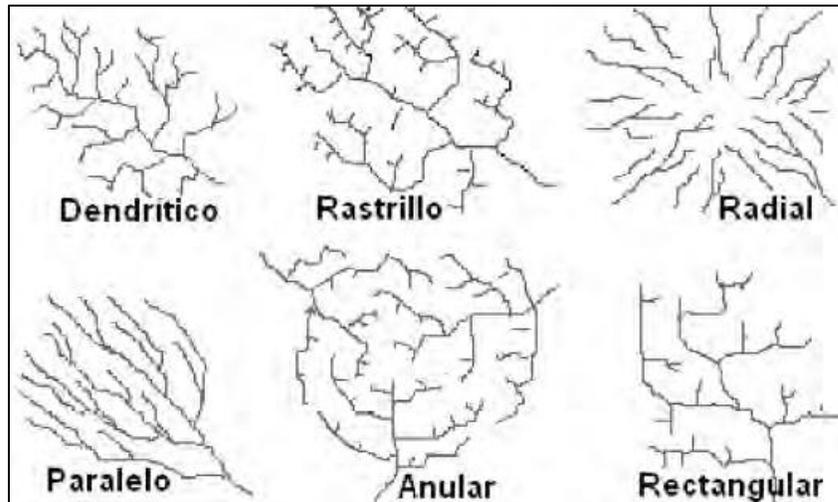


Ilustración 4.9 Formas de sistema de drenaje (Morales, 2009)

En caso de la Cuenca La Cal, entra dentro de las características de sistema de drenaje paralelo.

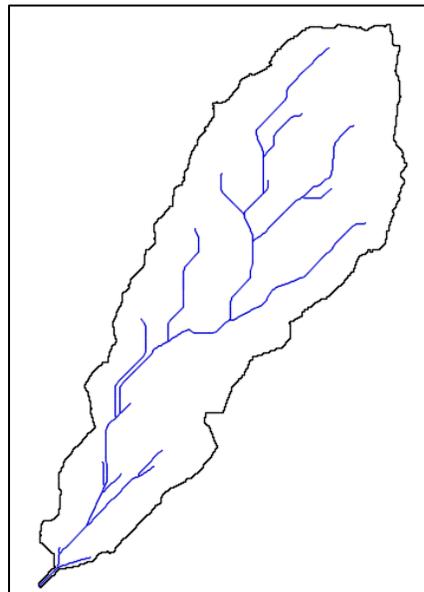


Ilustración 4.10 Sistema de drenaje paralelo en cuenca La Cal



Las clases de corrientes.

Todas las corrientes se clasifican en tres clases dependiendo del tipo de escurrimiento, el cual involucra las características y condiciones climáticas de la cuenca; así las corrientes pueden ser: efímeras, intermitentes o perennes.

- Corrientes efímeras. Son aquellas que sólo conducen agua cuando llueve e inmediatamente después, es decir sólo capta escurrimiento o Flujo Superficial (F.S.). En estas el nivel freático está siempre por debajo del fondo del cauce.
- Corrientes intermitentes. Son aquellas que conducen agua la mayor parte del tiempo, principalmente en la época de lluvias, su aportación cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce. Este tipo de corrientes capta, además del Flujo Superficial (F.S.) y las precipitaciones, el Flujo Subsuperficial (F.Ss.).
- Corrientes perennes. Son aquellas que conducen agua todo el tiempo, ya que en la época de estiaje son abastecidas por las aguas subterráneas debido a que el Nivel Freático (N.F.) de éstas, permanece por encima del fondo del cauce todo el año. (Morales, 2009)

En caso de la Cuenca La Cal, entra dentro de las características de corrientes intermitentes.

El orden de las corrientes.

El orden de los cursos de agua es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se unen, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden i se unen, resulta una corriente de orden $i+1$. Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden. (Cardona, 2015).

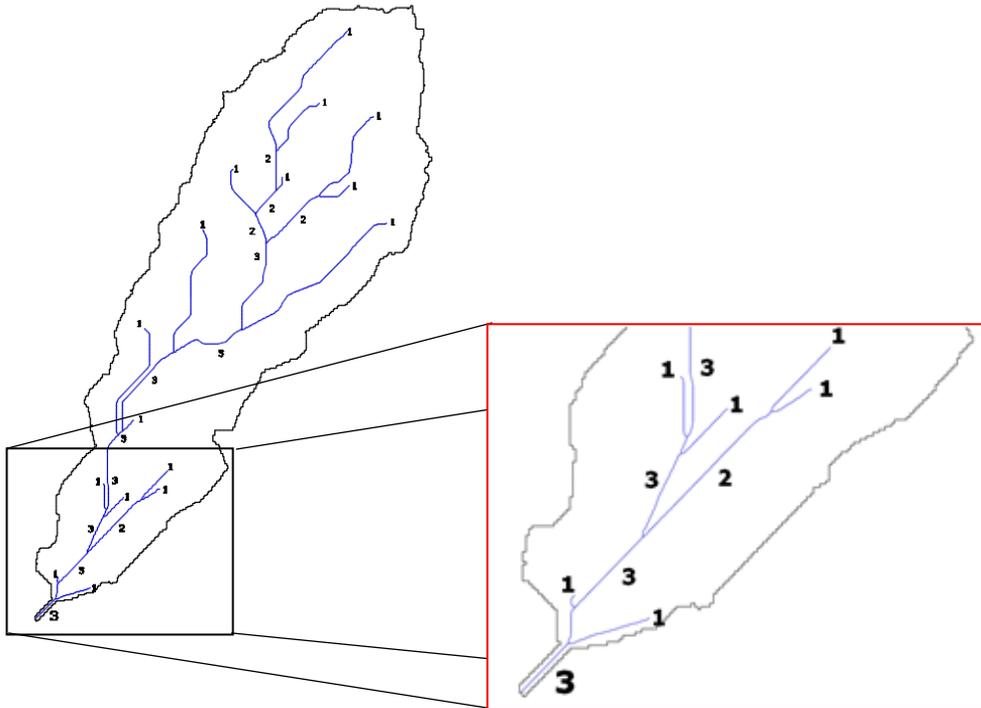


Ilustración 4.11 Orden de corriente en cuenca La Cal

Con ayuda del programa Autocad, se numeraron las corrientes, se observa que la cuenca La Cal es de corriente 3.

Densidad de drenaje

La densidad de drenaje es la mayor o menor facilidad que presenta una cuenca hidrográfica para evacuar las aguas que provenientes de las precipitaciones quedan sobre la superficie de la tierra, debido al grado de saturación de las capas del subsuelo. Si el suelo se encuentra saturado y la lluvia continúa almacenándose sobre la superficie, llegará un momento en que las aguas allí contenidas escurrirán hacia el cauce natural, produciéndose así el drenaje de la cuenca. (Cardona, 2015)

Se expresa la longitud de las corrientes por unidad de área:

$$Dd = \frac{\Sigma L}{A}$$

Dd: densidad de drenaje, en km/ km².

Lc: longitud total de las corrientes, en km.

A: área total de la cuenca, en km².



Se muestra las longitudes de las corrientes de la cuenca en la siguiente tabla:

Tabla 4.4 Longitudes de las corrientes de la cuenca

Cauce	Longitud (km)	Cauce	Longitud (km)
1	0.217	17	0.761
2	0.276	18	1.008
3	0.119	19	0.568
4	0.047	20	1.407
5	0.318	21	0.707
6	0.580	22	0.545
7	0.153	23	0.266
8	0.284	24	0.777
9	0.297	28	0.000
10	0.211	29	0.001
11	0.056	30	0.002
12	0.203	25	0.232
13	0.000	26	0.419
14	0.000	27	0.236
15	0.001	28	0.119
13	0.594	29	0.300
14	0.910	30	0.508
15	0.043	31	1.135
16	0.124	Suma	13.424

$$Dd = \frac{13,424}{5.744} = 2.337 \text{ km/km}^2$$

La Densidad de Drenaje (Dd) por el método de Horton es de 2.337 km/km².



5. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN

El análisis hidrológico consiste de manera general en la estimación de ciertas variables como lluvia, escurrimiento o crecientes, que son necesarias para el dimensionamiento y diseño mismo de diversas obras hidráulicas. Así como para la demarcación de planicies de inundación; las áreas de riesgo o factibilidad de zonas de aprovechamiento; el pronóstico de niveles o gastos a tiempo real, etc. Este proceso de eventos hidrológicos en sistemas urbanos y naturales se apoya en los registros climáticos e hidrométricos, que se han recabado a lo largo de los años. (Molina, Metodología para el análisis hidrológico de cuencas rurales de pequeñas dimensiones, 2007)

Para conocer la precipitación media en una cuenca, es necesario analizar los registros pluviométricos de las estaciones climatológicas dentro de la zona de estudio y su vecindad.

De la página del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Agua, 2021), se descargó el KMZ de las estaciones existentes en el país de México, a través de la herramienta Google Earth, se localizaron 4 estaciones climatológicas cerca de la zona de estudio, las cuales son: 8183 Nonoava, 8057 El Sitio, 8050 El Maguey, 8153 Valle de Zaragoza.

Su distribución se observan en la ilustración 5.1.



Ilustración 5.1 Estaciones climatológicas utilizadas para el estudio en cuenca La Cal (Inc, 2021)



Se cuenta con diferentes periodos de registro en las cuatro estaciones, por lo que se decidió utilizar el periodo de 1971 a 1986, (tabla 5.1), sin embargo, los datos obtenidos se encuentran incompletos en algunos periodos, por lo tanto, es necesario realizar el cálculo para obtener los datos faltantes.

Los datos totales originales de la precipitación mensual de las estaciones, se muestran en el Anexo 1.

Tabla 5.1 Datos de las estaciones climatológicas cercanas a la cuenca

Código	Nombre estación	Años de registro	Periodo de registro	Periodo utilizado	Distancia a la cuenca
8183	Nonoava	17	1971 – 1987	1971 – 1986	49.71 km
8057	El Sitio	33	1955 – 1987	1971 – 1986	9.64 km
8050	El Maguey	33	1955 – 1987	1971 – 1986	12.56 km
8153	Valle de Zaragoza	43	1971 – 2013	1971 – 1986	41.85 km

5.1 MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE REGISTROS FALTANTES

Dado que no se cuenta con los datos de las estaciones completas del periodo 1971 – 1986,

A continuación, se muestran los datos originales de la precipitación anual de las estaciones Nonoava 8183 (tabla 5.2), El Sitio 8057 (tabla 5.3), El Maguey 8050 (tabla 5.4), Valle de Zaragoza 8153 (tabla 5.5), resaltando las fechas faltantes de registro.

Para la estimación de los registros faltantes se utilizarán los métodos de la “Relación Normalizada” y el “Método U.S. National Weather”.



Tabla 5.2 PRECIPITACIÓN ORIGINAL ANUAL DE LA ESTACIÓN “NONOAVA – 8183”

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	8	173.5	102	37.5	100	0	5	426	35.5	12
	1972	9	0	6	0	35	29	94	77	124	23	64	3	464	38.7	12
	1973	6	43	3	6	0	9	156	133	35	3	0	0	394	32.8	12
	1974	0	0	1	0	36	0	129.5	108.5	93	32	28	15	443	36.9	12
	1975	2	9	0	0	0	48	228	147.8	45	13.5	0	0	493.3	41.1	12
	1976	0	0	0	0	8	76	108	39	116	25	31	6	409	34.1	12
	1977	14	0	6	1	13	65	193	17.5	65	0	0	0	374.5	34	11
	1978	0	11	3	3	4	26.5	87	139.5	152	27	0	17	470	39.2	12
	1979	35	3	7	1.5	29	30	99	155	60	0	5	6	430.5	35.9	12
	1980	2	1	0	0	0	21	40	143	65	2	16	12	302	25.2	12
	1981	23	13	13	24	8	64	131	160	164	66	0	10	676	56.3	12
	1982	23	1	0	12	0	2	93	77	27	2	45	33	315	26.3	12
	1983	25	17	73	1	4	14	50	115	56	44	20	8	427	35.6	12
	1984	39	0	0	0	7	333	59	118	0	25	18	50	649	54.1	12
	1985	54	7	0	21	0	22	86	102	135	31	12	0	470	39.2	12
	1986	0	7	0	16	19	65	186	140	70	55	3	29	590	49.2	12
	MINIMA	0	0	0	0	0	0	40	39	0	0	0	0	302	25.2	
	MAXIMA	54	43	73	24	36	333	228	160	164	100	64	50	676	56.3	
	MEDIA	14.50	7.00	7.00	5.34	10.19	50.78	119.56	117.12	74.81	32.09	15.13	12.13	458.33	38.38	
	DESV. ESTANDAR	16.94	11.06	17.99	8.20	12.76	79.15	54.75	33.83	50.14	27.99	18.91	14.16	104.63	8.59	



Tabla 5.3 PRECIPITACIÓN ORIGINAL ANUAL DE LA ESTACIÓN “EL SITIO - 8057”

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	23	143	118	53	106	0	4	447	37.3	12
	1972	4	0	9	0	14	27	113	115	152	2	39	1	476	39.7	12
	1973	5	37	5	10	13	6	146	158	39	0	0	32	451	37.6	12
	1974	0	0	2	0	0	0	57	94	134	8	24	11	330	27.5	12
	1975	0	4	0	0	0	20	230	136	31	0	0	0.5	421.5	35.1	12
	1976	0	0	0	0	4	130	142	42	76	27	13	12	446	37.2	12
	1977	0	0	0	0	0	83	145	56	10	72.5	0	0	366.5	30.5	12
	1978	4	0	4	0	13	17	65	211	246	30	0	4	594	49.5	12
	1979	20	6		8	27	12	117	128	45	0	2	3	368	33.5	11
	1980	0	0	0	0	0	32	30	144	202	38	14	0	460	38.3	12
	1981	24	6	5	33	15	55	88	199	85	79	0	1	590	49.2	12
	1982	22	2	0	13		0	62	36	8	0	7	28	178	16.2	11
	1983	20	0	45	5	8	11	46	143			5	0	283	28.3	10
	1984	27	0	0	0	29	106.5	125	167	26	12	12	37	541.5	45.1	12
	1985	38	20	4	11	12	55	76	38		45	2	0	301	27.4	11
	1986	3	9	9	1.5	9	71	155	237	100	16	26	32.5	669	55.8	12
	MINIMA	0	0	0	0	0	0	30	36	8	0	0	0	178	16.2	
	MAXIMA	38	37	45	33	29	130	230	237	246	79	39	37	669	55.8	
	MEDIA	10.44	5.25	5.53	5.09	9.60	40.53	108.75	126.38	86.21	29.03	9.00	10.38	432.66	36.76	
	DESV. ESTANDAR	12.53	10.00	11.38	8.78	9.46	39.34	52.02	61.81	73.10	33.44	11.74	13.71	127.97	9.94	



Tabla 5.4 PRECIPITACIÓN ORIGINAL ANUAL DE LA ESTACIÓN “EL MAGUEY - 8050”

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	31.5	84	148	70	115	0	2	450.5	37.5	12
	1972	1	0	4	0	12	41	89	124	112	7	58	2	450	37.5	12
	1973	0	43	0	10	8.5	0	86	106	37	0	0	5.5	296	24.7	12
	1974	0	0	3	0	0	0	77	104	196	0	15	15	410	34.2	12
	1975	0	0	0	0	0	36	148	105	64	0	0	0.5	353.5	29.5	12
	1976	0	0	0	0	9		145	29	68	31	29	17	328	32.8	10
	1977	4	0	0	4	0	94.5	148	45	12	34.5	0	0	342	28.5	12
	1978	0	0	8	11	22	24	50	170.5	288	13	0	1	587.5	49	12
	1979	17	6	3	6	25	26	102	99	62	0			346	34.6	10
	1980	0	0	0	0	0	25	76	107	148	32	6	5	399	33.3	12
	1981	46	5	18	56	15	41	115	197	92	119	0	0	704	58.7	12
	1982	5	2	0	13	0	0	63	63	20	0	13	29	208	17.3	12
	1983	29	0	42.5	5	2.9	33	48	123			12	0	295.4	29.5	10
	1984	34	0	0	0	48	164	96	127.5	18.5	13	10	30	541	45.1	12
	1985	68	28	1	11	4	63	51	58		55	13	0	352	32	11
	1986	14	11	7	0	38	59	119	160.5	127	18	18	52	623.5	52	12
	MINIMA	0	0	0	0	0	0	48	29	12	0	0	0	208	17.3	
	MAXIMA	68	43	42.5	56	48	164	148	197	288	119	58	52	704	58.7	
	MEDIA	13.63	5.94	5.41	7.73	11.53	42.53	93.56	110.41	93.89	29.17	11.60	10.60	417.90	36.01	
	DESV. ESTANDAR	20.48	12.26	10.99	14.21	14.78	42.05	33.89	46.04	76.81	39.22	15.48	15.44	134.66	10.60	



Tabla 5.5 PRECIPITACIÓN ORIGINAL ANUAL DE LA ESTACIÓN “VALLE DE ZARAGOZA - 8153”

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
1971	0	0	0	0	0		97	177.3	17.8	90.8	0	1.5	384.4	64.1	6
1972	5	0	0	0	4	4	26	47.7	22.4	1	0	0	110.1	9.2	12
1973	3	24.5	0	9.8	1.5	2	88	40.2	13.7	0	0	5.5	188.2	15.7	12
1974	0	0	0	0	9.4	0	61.8	25	46.3	0	0	12	154.5	12.9	12
1975	0.5	0	0	0	0	0	20.9	3.8	69	0	0	0	94.2	7.9	12
1976	0	0	0	0	22.5	70.5	109.5	35.5	78.3	27.5	28	8	379.8	31.7	12
1977	5	0	0	2.5	2	96	118.3	65	26.5	32.5	0	0	347.8	29	12
1978	2	4	0	13	33	37.5	53	198	231.5	14	0	1	587	48.9	12
1979	11.5	1	8.5	6	26	56	111	150.5	41	0	4	1	416.5	34.7	12
1980	0	0	0	0	0	15.5	40	76.5	188	29.5	20	0	369.5	30.8	12
1981	55.5	4.5	3.5	35.5	19.5	74	104.5	143.5	93.5	113.5	0	1	648.5	54	12
1982	19	0	0	3.5	3	10	62	73	29.5	0	0	8	208	17.3	12
1983	16.3	2	20	0	30.5	8	21	117	176.5	39.5	0	5	435.8	36.3	12
1984	48	0	0	0	56	233.5	94	156.5	24	17	0	29.5	658.5	54.9	12
1985	44	38	1	20.5	11	68.5	77.3	48.5	91	14.5	0	0	414.3	34.5	12
1986	13	13	1.5	5	24.5	126	120.5	164.5	137.5	21.5	37.5	27.5	692	57.7	12
MINIMA	0	0	0	0	0	0	21	3.8	13.7	0	0	0	94.2	7.9	
MAXIMA	55.5	38	20	35.5	56	233.5	120.5	177.3	231.5	113.5	37.5	29.5	658.5	64.1	
MEDIA	14.85	5.80	2.30	6.39	16.19	53.43	75.30	95.16	80.41	25.08	5.59	6.25	380.57	33.73	
DESV. ESTANDAR	18.90	11.18	5.40	10.05	16.09	63.75	35.23	62.07	68.53	33.13	11.85	9.43	194.66	18.12	

A continuación, se detallan los métodos de la “Relación Normalizada” y el “Método U.S. National Weather”.



Métodos de la Relación Normalizada

En este método la lluvia anual (o mensual) faltante en una cierta estación pluviométrica, se estima a partir de los valores observados en tres estaciones cercanas, situadas uniformemente alrededor de la estación incompleta y que contengan los registros faltantes. Si la precipitación media anual (o media mensual) de cada una de las estaciones auxiliares está dentro del 10% de la registrada en la estación incompleta, se usará el promedio aritmético de las tres estaciones para estimar el dato anual (o mensual) faltante. Si la precipitación media anual (o media mensual) de cualquiera de las estaciones auxiliares difiere en más de un 10% de la medida de la estación incompleta, el dato faltante será determinado por el método de la relación normalizada, el cual los valores observados en las estaciones auxiliares son ponderados mediante las relaciones o cocientes de precipitación media anual (o media mensual) correspondiente (Velarde, 2014). Es decir, el dato faltante anual (o mensual) P_x será igual a:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{N_x}{N_a} P_a + \frac{N_x}{N_b} P_b + \frac{N_x}{N_c} P_c \right]$$

Donde:

N_x : Precipitación media anual (o media mensual) en la estación incompleta, en mm.

N_a, N_b, N_c : Precipitación media anual (o media mensual) en las estaciones auxiliares a, b, c, en mm.

P_a, P_b, P_c : Precipitación anual (o mensual) observada en las estaciones a, b, c para la misma fecha que la faltante, en mm.

Con este método vamos a completar los datos de las series faltantes de las estaciones, las cuales presentan un alto grado de correlación con la serie a complementar, ya que son los mismos periodos y las 4 se encuentran aproximadamente a la misma distancia de la cuenca en análisis.

A continuación, se presentan los resultados de las fechas faltantes de datos mediante el método de la Relación Normalizada:



Tabla 5.6 Precipitación mensual estimada en las estaciones climatológicas por el Método de la Relación Normalizada

Nombre de Estación	Fecha de la estación sin datos	Precipitación Mensual Estimada
Nonoava	Agosto 1977	60.13
El Sitio	Marzo 1979	6.34
	Mayo 1982	10.35
	Septiembre 1983	123
	Octubre 1983	42.6
	Septiembre 1985	114.24
El Maguey	Junio 1976	94.11
	Noviembre 1979	3.73
	Diciembre 1979	3.3
	Septiembre 1983	120.49
	Octubre 1983	41.73
	Septiembre 1985	111.91
Valle De Zaragoza	Junio 1971	19.21

En el Anexo II, se detalla el análisis de la estimación de datos faltantes para cada una de las estaciones climatológicas.

Con los datos obtenidos anteriormente se calcula la precipitación media anual de cada una de las estaciones, las cuales se muestran en la tabla 5.7.

En el Anexo III, se presentan los datos resultantes de las 4 estaciones climatológicas del periodo del 1971 al 1986, Método de la Relación Normalizada.



Tabla 5.7 Precipitación anual estimada en las estaciones climatológicas por el Método de la Relación Normalizada

CLAVE	ESTACIÓN	PERIODO	AÑOS DE REGISTRO	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
8183	NONOAVA	1971 - 1986	15	38.51
8057	EL SITIO	1971 - 1986	15	37.60
8050	EL MAGUEY	1971 - 1986	15	36.79
8153	VALLE DE ZARAGOZA	1971 - 1986	15	31.82

Método U.S. National Weather

Este procedimiento ha sido verificado tanto teórica como empíricamente y considera que el dato faltante en una cierta estación A, puede ser estimado en base a los datos observados en las estaciones circundantes. El método puede ser aplicado para estimar valores diarios, mensuales o anuales faltantes. El método consiste en ponderar los valores observados en una cantidad W, igual al recíproco del cuadrado de la distancia (D) entre cada estación vecina y la estación A. (Velarde, 2014).

La lluvia buscada Px será igual a:

$$P_x = \frac{\sum(P_i W_i)}{\sum W_i}$$

Dónde:

Pi = Precipitación observada para la fecha de la faltante, en las estaciones auxiliares circundantes.

$W_i = \frac{1}{D_i^2}$, siendo Di la distancia entre cada estación circundante y la estación incompleta, en km.



Tabla 5.8 Precipitación mensual estimada en las estaciones climatológicas por el Método U.S. National Weather

Nombre de Estación	Fecha de la estación sin datos	Precipitación Mensual Estimada
Nonoava	Agosto 1977	53.63
El Sitio	Marzo 1979	3.64
	Mayo 1982	17.04
	Septiembre 1983	111.44
	Octubre 1983	41.93
	Septiembre 1985	114.76
El Maguey	Junio 1976	121.38
	Noviembre 1979	2.34
	Diciembre 1979	2.92
	Septiembre 1983	141.36
	Octubre 1983	40.81
	Septiembre 1985	103.83
Valle De Zaragoza	Junio 1971	26.40

En el Anexo IV, se detalla el análisis de la estimación de datos faltantes para cada una de las estaciones climatológicas.

Con los datos obtenidos anteriormente se calcula la precipitación media anual de cada una de las estaciones, las cuales se muestran en la tabla 5.9. En el Anexo V, se presentan los datos de las 4 estaciones climatológicas del periodo del 1971 al 1986.

Tabla 5.9 Precipitación anual estimada en las estaciones climatológicas por el Método U.S. National Weather

CLAVE	ESTACIÓN	PERIODO	AÑOS DE REGISTRO	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
8183	NONOAVA	1971 - 1986	15	38.49
8057	EL SITIO	1971 - 1986	15	37.57
8050	EL MAGUEY	1971 - 1986	15	37.52
8153	VALLE DE ZARAGOZA	1971 - 1986	15	31.90



5.2 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL ACUMULADA

Conociendo la precipitación media es posible estimar la cantidad de agua que lloverá en cierta zona en promedio, sin embargo para conocer como se comporta una tormenta en particular a lo largo del tiempo es necesario saber la intensidad y duración de la misma, y de ésta manera trazar gráficos que representen la intensidad de la lluvia a lo largo del tiempo, y el gasto que generan en cierto tiempo. (Molina, Metodología para el análisis hidrológico de cuencas rurales de pequeñas dimensiones, 2007)

Una vez obtenido los valores faltantes de las 4 estaciones climatológicas, se calcula la precipitación media anual del periodo del 1977 al 1986, por los métodos:

- Media Aritmética.
- Polígonos de Thiessen.

5.2.1 Media Aritmética

Este método nos permite calcular la precipitación media de la cuenca simplemente obteniendo el promedio de las precipitaciones registradas en las 4 estaciones climatológicas cercanas a la cuenca “La Cal”. (Mariles & Franco, 1999). Se utiliza la siguiente formula:

$$\overline{hp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n hpi$$

Dónde:

hpi = es la precipitación puntual de la estación i

n = es el número de estaciones cercanas a la cuenca

\overline{hp} = precipitación media anual de la cuenca

Se presenta la precipitación media anual, utilizando los datos obtenidos de los métodos de la Relación Normalizada, tanto como el Método U.S. National Weather.

Utilizando los datos de la tabla 5.7 “Precipitación anual estimada en las estaciones climatológicas por el Método de la Relación Normalizada”, obtenemos lo siguiente:



$$\overline{hp} = \frac{1}{4} [38.51 + 37.60 + 36.79 + 31.82] = 36.18 \text{ mm}$$

Utilizando los datos de la tabla 5.9 “Precipitación anual estimada en las estaciones climatológicas por el Método U.S. National Weather”, obtenemos lo siguiente:

$$\overline{hp} = \frac{1}{4} [38.49 + 37.57 + 37.52 + 31.90] = 36.37 \text{ mm}$$

5.2.2 Polígonos de Thiessen

Es uno de los métodos más empleados en la obtención de precipitaciones medias sobre una cuenca. Se basa en ponderar las precipitaciones en cada estación en función de un área de influencia.

Es más exacto que el método de la media aritmética. Un aspecto fundamental de este método es que no tiene en cuenta las influencias de la orografía en la lluvia.

Para la determinación de las zonas de influencia de las estaciones se unen trazando las mediatrices de los triángulos y uniéndolas convenientemente se forman unos polígonos, limitados exteriormente por los límites de la cuenca, cuyas superficies se corresponden a las zonas de influencia de cada estación. (Martínez, 2007)

Se aplica la siguiente fórmula:

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

Donde:

A_i = i ésima área del polígono dentro de los límites del parteaguas.



P_i = precipitación de la i ésima estación.

Por lo tanto, solo se asigna a cada estación un peso proporcional a su área de influencia. A continuación se muestra los polígonos de Thiessen de la cuenca, con la influencia de las 4 estaciones, elaborados mediante el programa AutoCad (Ilustración 5.2).

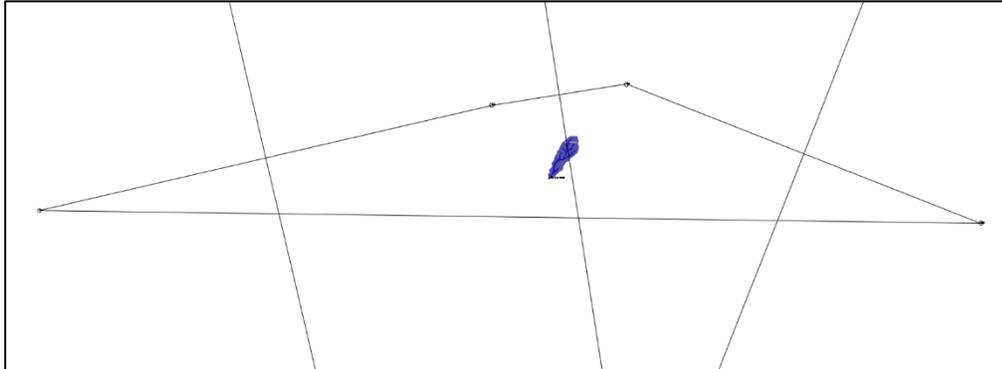


Ilustración 5.2 Método de Polígonos de Thiessen de la cuenca La Cal (AutoCAD)

Se corroboró la información mediante el Programa Arcgis, teniendo como resultado la ilustración 5.3.

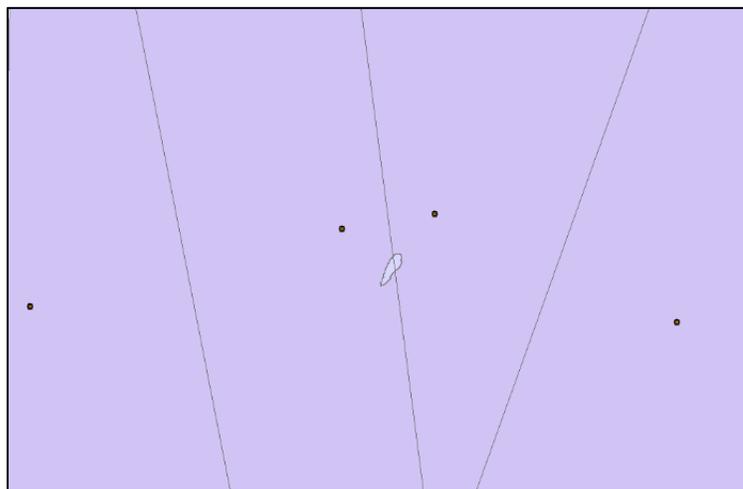


Ilustración 5.3 Método de Polígonos de Thiessen de la cuenca La Cal (ArcGIS)



Como observamos en las dos imágenes la cuenca tiene influencia solo de dos de las estaciones climatológicas “El Sitio” y “El Maguey”, teniendo como áreas de influencia las descritas en la tabla 5.10.

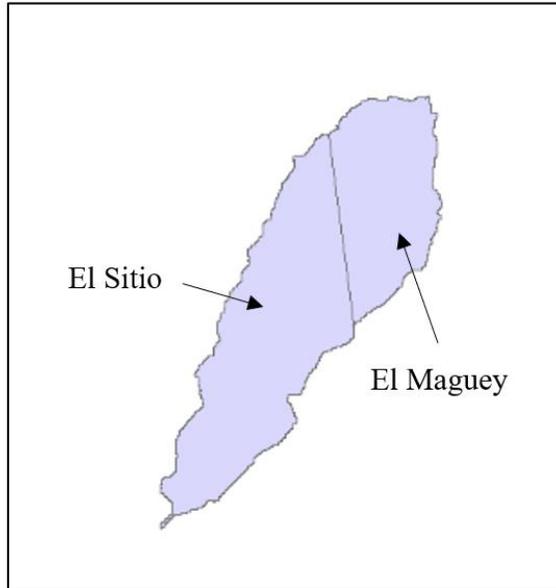


Ilustración 5.4 Estaciones de influencia para el Método de Polígonos de Thiessen

Tabla 5.10 Estaciones de influencia de la cuenca mediante Polígonos de Thiessen.

ESTACION	AREA (KM2)
EL SITIO	3.687
EL MAGUEY	2.057
SUMA	5.744

Considerando el polígono de Thiessen y las áreas de influencia de cada una de las estaciones con la cuenca “La Cal”, se procede a realizar el cálculo para la precipitación media de la cuenca, tomando en cuenta el valor obtenido con la Relación Normalizada.



Tabla 5.11 Datos necesarios para el cálculo de precipitación media de la cuenca, obtenido con la Relación Normalizada

CLAVE	ESTACIÓN	PERIODO	AÑOS DE REGISTRO	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (hpi)	AREA DE INFLUENCIA (Ai)	(hpi*Ai)
8057	EL SITIO	1971 - 1986	15	37.60	3.687	138.52
8050	EL MAGUEY	1971 - 1986	15	36.79	2.057	77.18
					5.744	215.70

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

$$\bar{hp} = 1/5.744 [(37.60*3.687) + (36.79*2.057)] = 37.31 \text{ mm}$$

A continuación, se realiza el mismo procedimiento con los datos obtenidos con el método U.S. National Weather.

Tabla 5.12 Datos necesarios para el cálculo de precipitación media de la cuenca, obtenido el método U.S. National Weather.

CLAVE	ESTACIÓN	PERIODO	AÑOS DE REGISTRO	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (hpi)	AREA DE INFLUENCIA (Ai)	(hpi*Ai)
8057	EL SITIO	1971 - 1986	15	37.57	3.687	138.56
8050	EL MAGUEY	1971 - 1986	15	37.52	2.057	77.18
					5.744	215.74

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

$$\bar{hp} = 1/5.744 [(37.58*3.687) + (37.52*2.057)] = 37.56 \text{ mm}$$



6. CONSTRUCCIÓN DE CURVAS $i - d - Tr$.

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (T_r , V_r , P_r , & A_r , 2017).

Junto con la definición de las curvas, surgen otros elementos a considerar, como son la intensidad de precipitación, la frecuencia o la probabilidad de excedencia de un determinado evento. Por ello, es de suma importancia tener claro el concepto de cada una de estas variables, de modo de tener una visión más clara de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.

En este sentido, se debe destacar que la intensidad, según Chow et al (1994), se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/hr), y ésta (1) se expresa como:

$$i = \frac{P}{Td}$$

Donde P es la profundidad de lluvia en mm o pulg, y Td es la duración, dada usualmente en hr.

La construcción de curvas $i - d - Tr$, es conocido como el método de regresión lineal múltiple, ya que no ayuda a calcular el valor de la intensidad máxima de lluvia (i) en función de su duración (d) y del periodo de retorno (Tr), realizando un ajuste simultáneo de las tres variables ($i - d - Tr$) por medio de una regresión múltiple.

Para lo cual se utiliza la expresión matemática siguiente:

$$i = \frac{kTr^m}{d^n}$$

Donde k , m y n son constantes de regresión lineal múltiple, donde T es el período de retorno en años, D la duración en minutos u horas, e I la intensidad de precipitación en mm/hr.

Luego, aplicando los logaritmos a la ecuación propuesta se pretende llegar a la forma de un modelo de regresión lineal múltiple y cuyo modelo se expresa en la ecuación (T_r , V_r , P_r , & A_r , 2017):



$$\log(i) = \log(k) + (m) \log(Tr) - (n) \log(d)$$

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

Dónde:

y = log (i)	a0 = log (k)
x1 = log (Tr)	a1 = m
x2 = log (d+c)	a2 = -n

Por lo tanto, para la correlación lineal múltiple para la resolución del sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas, tenemos lo siguiente:

$$\sum Y = Na_0 + a_1 \sum X_1 + a_2 \sum X_2$$

$$\sum (X_1 * Y) = a_0 \sum X_1 + a_1 \sum X_1^2 + a_2 \sum (X_1 * X_2)$$

$$\sum (X_2 * Y) = a_0 \sum X_2 + a_1 \sum (X_1 * X_2) + a_2 \sum X_2^2$$

Se obtienen los valores de las Isoyetas de Intensidad de lluvia para distintos periodos de retorno en la cuenca de estudio, ubicada en el estado de Chihuahua, tal como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 6.1 Valor de I para la cuenca en estudio

d	i	Tr
min	mm/hr	años
5	108	10
10	87	10
15	78	10
20	66	10
30	53	10

40	45	10
60	37	10
90	26	10
120	22	10
150	18	10
180	16	10
210	14	10
240	11.5	10



5	120	25
10	105	25
15	90	25
20	80	25
30	65	25
40	55	25
60	45	25
90	32	25
120	25	25
150	22	25
180	18	25
210	15	25
240	14	25
5	140	50
10	120	50
15	105	50
20	90	50
30	70	50
40	60	50
60	45	50

90	35	50
120	28	50
150	23	50
180	20	50
210	18	50
240	15	50
5	155	100
10	120	100
15	115	100
20	100	100
30	77	100
40	70	100
60	53	100
90	38	100
120	30	100
150	25	100
180	23	100
210	20	100
240	18	100

Con las ecuaciones anteriores se obtienen los valores descritos en la siguiente tabla:

Tabla 6.2 Valores obtenidos para el sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas

X1	X2	y	X1Y	X2Y	X1al cua	X2 al cua	X1X2
log Tr	log d +c	log i					
1.0000	0.6990	2.0334	2.0334	1.4213	1.0000	0.4886	0.6990
1.0000	1.0000	1.9395	1.9395	1.9395	1.0000	1.0000	1.0000
1.0000	1.1761	1.8921	1.8921	2.2253	1.0000	1.3832	1.1761
1.0000	1.3010	1.8195	1.8195	2.3673	1.0000	1.6927	1.3010



1.0000	1.4771	1.7243	1.7243	2.5470	1.0000	2.1819	1.4771
1.0000	1.6021	1.6532	1.6532	2.6485	1.0000	2.5666	1.6021
1.0000	1.7782	1.5682	1.5682	2.7885	1.0000	3.1618	1.7782
1.0000	1.9542	1.4150	1.4150	2.7652	1.0000	3.8191	1.9542
1.0000	2.0792	1.3424	1.3424	2.7911	1.0000	4.3230	2.0792
1.0000	2.1761	1.2553	1.2553	2.7316	1.0000	4.7354	2.1761
1.0000	2.2553	1.2041	1.2041	2.7156	1.0000	5.0863	2.2553
1.0000	2.3222	1.1461	1.1461	2.6616	1.0000	5.3927	2.3222
1.0000	2.3802	1.0607	1.0607	2.5247	1.0000	5.6654	2.3802
1.3979	0.6990	2.0792	2.9066	1.4533	1.9542	0.4886	0.9771
1.3979	1.0000	2.0212	2.8255	2.0212	1.9542	1.0000	1.3979
1.3979	1.1761	1.9542	2.7319	2.2984	1.9542	1.3832	1.6441
1.3979	1.3010	1.9031	2.6604	2.4760	1.9542	1.6927	1.8188
1.3979	1.4771	1.8129	2.5343	2.6779	1.9542	2.1819	2.0649
1.3979	1.6021	1.7404	2.4329	2.7882	1.9542	2.5666	2.2396
1.3979	1.7782	1.6532	2.3111	2.9397	1.9542	3.1618	2.4857
1.3979	1.9542	1.5051	2.1041	2.9414	1.9542	3.8191	2.7319
1.3979	2.0792	1.3979	1.9542	2.9066	1.9542	4.3230	2.9066
1.3979	2.1761	1.3424	1.8766	2.9212	1.9542	4.7354	3.0420
1.3979	2.2553	1.2553	1.7548	2.8310	1.9542	5.0863	3.1527
1.3979	2.3222	1.1761	1.6441	2.7311	1.9542	5.3927	3.2463
1.3979	2.3802	1.1461	1.6022	2.7280	1.9542	5.6654	3.3274
1.6990	0.6990	2.1461	3.6462	1.5001	2.8865	0.4886	1.1875
1.6990	1.0000	2.0792	3.5325	2.0792	2.8865	1.0000	1.6990
1.6990	1.1761	2.0212	3.4339	2.3771	2.8865	1.3832	1.9981
1.6990	1.3010	1.9542	3.3202	2.5425	2.8865	1.6927	2.2104
1.6990	1.4771	1.8451	3.1348	2.7254	2.8865	2.1819	2.5096
1.6990	1.6021	1.7782	3.0210	2.8487	2.8865	2.5666	2.7219
1.6990	1.7782	1.6532	2.8088	2.9397	2.8865	3.1618	3.0210
1.6990	1.9542	1.5441	2.6233	3.0175	2.8865	3.8191	3.3202



D.2. PERIODO DE RETORNO PARA EL GASTO TEÓRICO DE DISEÑO

El gasto teórico de diseño (Q_{TD}), que hidrológicamente es el máximo que ha de esperarse durante la etapa de operación del puente por proyectar, se calculará para el periodo de retorno que se determine considerando el tipo, la vida útil y el costo de la estructura, el costo de sus posibles reparaciones y el riesgo que se puede aceptar de que la obra falle, así como las consecuencias de su colapso. Sin embargo, en términos generales, se seguirán los siguientes criterios:

- D.2.1.** Para puentes con longitud hasta de cien (100) metros en carreteras tipos "C" y "D", según la clasificación del *Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal*, el periodo de retorno será de cincuenta (50) años.

Ilustración 6.1 Norma N-PRY-CAR-1-06-004/18. (SCT, Norma N-PRY-CAR-1-06-004/18, 2018)

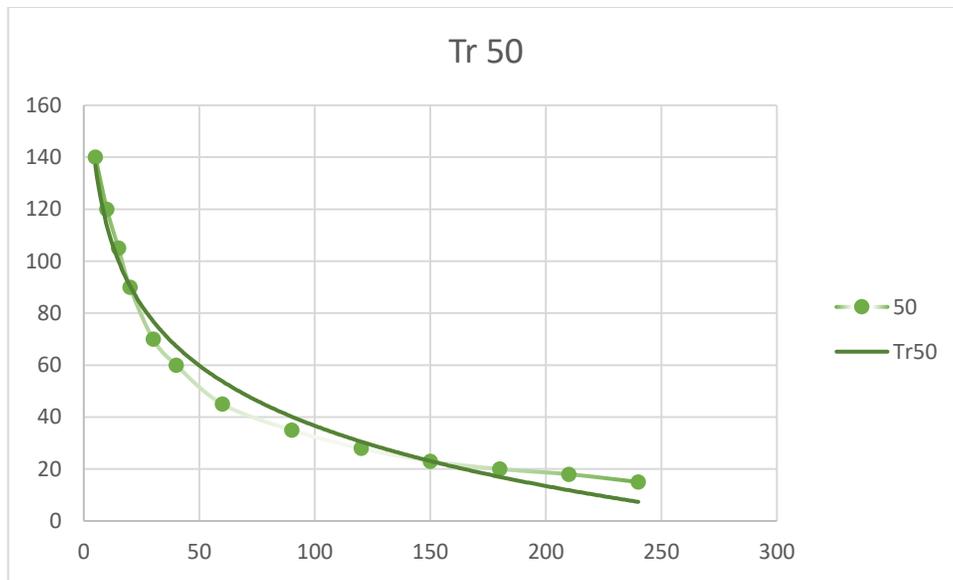


Ilustración 6.2 Gráfica para 50 años tiempo de retorno



Resolviendo el sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas, tenemos lo siguiente:

$$\sum Y = Na_0 + a_1 \sum X_1 + a_2 \sum X_2 \qquad \sum (X_1 * Y) = a_0 \sum X_1 + a_1 \sum X_1^2 + a_2 \sum (X_1 * X_2)$$

$$\sum (X_2 * Y) = a_0 \sum X_2 + a_1 \sum (X_1 * X_2) + a_2 \sum X_2^2$$

$$\sum y = Na_0 + a_1 \sum X_1 + a_2 \sum X_2 \qquad = \qquad 84.76 \qquad = (52a_0) + a_1(79.26) + a_2(88.8) = \quad 2.3983$$

$$\sum (X_1 Y) = a_0 \sum X_1 + a_1 \sum (X_1^2) + a_2 \sum (X_1 X_2) = 130.34 = a_0(79.26) + a_1(127.93) + a_2(135.36) = \quad 0.1617$$

$$\sum (X_2 Y) = a_0 \sum X_2 + a_1 \sum (X_1 X_2) + a_2 \sum (X_2^2) = 136.22 = a_0(88.8) + a_1(135.36) + a_2(165.99) = \quad -0.5942$$

$$a_0 = \qquad 2.3983$$

$$a_1 = \qquad m = 0.1617$$

$$a_2 = \qquad -n = -0.5942$$

$$i = \frac{kTr^m}{d^n}$$

$$K = 10^{a_0} = 10^{2.3983} = 250.2119$$

Para la obtención de la intensidad de lluvia, se requiere obtener el tiempo de concentración por Kirpich y Rowe, ya que es necesario conocer el tiempo de recorrido desde el punto hidráulicamente más alejado hasta el punto de salida de la cuenca, ya que el área de la cuenca contribuye al escurrimiento. (Rivera Molina, 2007)

Kirpich

Rowe

$$T_c = 0.0003245 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

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



Donde:

Tc: Tiempo de concentración

L: Longitud del cauce..... 5.59 km ---- 5,593.08m

\sqrt{S} : Pendiente cauce principal 2.99% ---- 0.0299

H: L * S..... (5,593.08 m) * (0.0299) = 167.23 m

$$T_c = 0.0003245 \left(\frac{5593.08}{\sqrt{0.0299}} \right)^{0.77} = 0.9633$$

$$T_c = \left(\frac{0.86(5.59)^3}{(5593.08) * (0.0299)} \right)^{0.385} = 0.9595$$

$$T_c = 0.9633 \text{ hrs} = 57.798 \text{ min}$$

$$T_c = 0.9595 \text{ hrs} = 57.570 \text{ min}$$

Una vez tenemos los tiempos de concentración por ambos métodos (Kirpich y Rowe) procedemos a obtener un promedio de ambos.

$$T_c \text{ promedio} = 57.684 \text{ min}$$

Después de conocer el tiempo de concentración, se continúa resolviendo la ecuación para determinar la intensidad máxima de lluvia

$$i = \frac{kTr^m}{d^n} \quad i = \frac{250.2119(50)^{0.1617}}{57.684^{0.5942}} = 42.33 \text{ mm/hr}$$

Después de conocer todos los parámetros de la cuenca, se procede a calcular el caudal del cauce.



7. GASTO

“Se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo, que transita por la sección transversal de un río.” (Rivera Molina, 2007)

Para conocer y recopilar toda la información hidrológica es conveniente tener una idea aproximada de la magnitud de la creciente que se estima. El primer acercamiento a la magnitud del gasto de la avenida que se desea conocer es a partir del tamaño de la cuenca, que por sí sólo conduce a una apreciación del problema. (Rivera Molina, 2007)

Los escurrimientos máximos en pequeñas cuencas o áreas de drenaje pueden estimarse mediante métodos empíricos o métodos semiempíricos.

7.1 Metodos Empíricos

A partir de relaciones de precipitación – escurrimiento conocidas en algunas cuencas se han propuesto ecuaciones que hacen intervenir algunas de las características fisiográficas de la cuenca, así como información sobre el uso de la tierra, condiciones del suelo, pendiente del terreno, longitud o pendiente del cauce principal y la intensidad o altura de precipitación total que provoco el gasto máximo. Estos metodos solo proporcionan el gasto pico. (Fuentes Mariles & Franco, 1999)

7.1.1 Método de Creager

El Método de Creager es el método empírico más utilizado, que se basa en la asociación gráfica de los gastos máximos por unidad de área con diferentes periodos de retorno, medidos en cuencas hidrológicas de todo el mundo. Los puntos graficados quedan comprendidos abajo de una curva envolvente de todos ellos, cuya ecuación es la siguiente (SCT, Norma M-PRY-CAR-1-06-004/00 inciso D, 2000):

$$q = 0,2075 CA^{1,048}$$

Donde:

q = Gasto unitario $q = Q/AC$ [(m³/s)/km²]

A = Área de la cuenca (km²)

C = Parámetro adimensional que depende de la región hidrológica en que se encuentre la cuenca en estudio



Región hidrológica	Parámetros de las envolventes							
	Matthai		Creager	Lowry	Crippen			Francou-Rodier
	α	β	C_c	C_L	K_1	K_2	K_3	K
1	22	-0.45	15	500	450	1.1	-1.85	3.86
2 a 7	Datos insuficientes							
8	4	-0.24	18	700	400	1.50	-2.60	3.86
9	16	-0.30	35	1,800	220	1.10	-1.43	4.50
10	85	-0.32	130	4,700	728.51	1.39	-1.89	5.93
11	85	-0.38	115	4,500	250	1.30	-1.58	5.82
12	17.5	-0.30	30	1,500	133	1.28	-1.72	4.18
13 a 15	70	-0.41	60	2,300	300	1.16	-1.50	5.52
16	50	-0.32	120	5,300	800	1.42	-2.10	5.76
17	Datos insuficientes							
18	35	-0.32	70	2,400	692.71	1.52	-2.40	5.07
19	140	-0.35	180	5,600	550	1.18	-1.39	6.21
20	45	-0.34	60	2,200	152.52	1.40	-1.77	5.27
21 a 23	50	-0.27	85	2,456	658.92	1.36	-1.98	5.41
24	19.33	-0.23	50	2,000	250	1.12	-1.45	4.86
25	60	-0.32	100	3,000	1,241.79	1.41	-2.22	5.45
26	52	-0.35	75	2,500	200	1.07	-1.10	5.19
27	60	-0.33	70	2,300	200	1.05	-1.10	5.95
28	57.52	-0.32	100	2,600	400	1.15	-1.45	5.38
29	62	-0.47	50	2,200	200	1.13	-1.45	4.73
30	145	-0.28	250	7,200	800	1.31	-1.65	5.59
31 a 35	Datos insuficientes							
36	1.369	-0.15	15	600	130	1.07	-1.45	3.65
37	Datos insuficientes							

Ilustración 7.1 Coeficientes de las envolventes para las 37 regiones hidrológicas

Área de la cuenca es de 5.744 km²

$$q = 0,2075 CA^{1,048}$$

$$q = 0.2075 * 50 * 5.744^{1.48} = 137.92 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$$

Formula para determinar el gasto maximo, es la siguiente:

$$Q = q * A$$

$$Q = 137.92 * 5.744$$

$$Q = \underline{792.21 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Utilizando el método de la envolvente por Creager, tenemos la ecuación siguiente:

$$q = 1.303 C_c (0.386 A)^{0.936 (A^{-0.048})} A^{-1}$$



Sustituyendo, tenemos:

$$q = 1.303 * 50(0.386 * 5.744)^{0.936(5.744^{-0.048})} 5.744^{-1}$$

$$q = 1.303 * 50(2.2172)^{0.936(0.9195)} 0.1741$$

$$q = 1.303 * 50(2.2172)^{0.8607} 0.1741$$

$$q = 1.303 * 50 * 1.9844 * 0.1741$$

$$q = 22.508 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$$

$$Q = qA$$

$$Q = 22.508 * 5.744$$

$$Q = 129.286 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Gasto pico utilizando el valor de la envolvente de Creager

7.1.2 Fórmula de Lowry

El método se basa en el mismo procedimiento de Creager, diferenciándose de éste en la ecuación que define a la envolvente de gastos máximos, la cual es más sencilla en el método de Lowry. (SCT, Metodos Hidrologicos para prevision de escurrimientos, 1992)

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

Dónde:

q = es el gasto máximo por unidad de área, $q = Q/AC$

C_L = es el coeficiente empírico, depende de la región hidrológica

AC = es el área de la cuenca, en Km^2



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

$$q = \frac{2,000}{(5.744 + 259)^{0.85}}$$

C = Valor obtenido de la ilustración 7.1

$$q = \frac{2,000}{114.657}$$

$$q = 17.443 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$$

$$QTr = qA$$

$$QTr = 17.443 * 5.744$$

$$QTr = 100.193 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Gasto pico utilizando el valor de la envolvente de Lowry

7.2 Métodos Semiempíricos

Los métodos semiempíricos se aplican cuando se dispone de información que caracterice la precipitación, la que relacionada con las características fisiográficas de la cuenca en estudio, permite calcular la magnitud de los escurrimientos en el sitio donde se proyecte la nueva estructura, para los periodos de retorno que se establezcan. (SCT, Norma N-PRY-CAR-1-06-004/00 Inciso C.1., 2000)



7.2.1 Método Racional

Este método requiere de datos pluviográficos para obtener escurrimientos máximos en una cuenca pequeña y se basa en la aplicación de la siguiente fórmula (Gámez Morales, 2009):

$$Q = 0.278 CIA$$

Donde:

Q = Escurrimiento máximo m³/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento, que varia de 0.1 – 1.0 de acuerdo con las características propias de la cuenca.

I = Intensidad de la lluvia para una frecuencia o período de retorno dado. Este valor se expresa en mm/hora.

A = Área de la cuenca en km².

0.028 = constante numérica resultante de las unidades en que se expresan las variables.

Para aplicar este método, es necesario, determinar cada uno de los factores que intervienen en la fórmula:

- 1.- Área de la cuenca en km²: 5.744 km²
- 2.- Se obtiene el valor del coeficiente de escurrimiento (C)

Cuando la cuenca o área de drenaje presenta diferentes tipos de suelos, vegetación y pendiente media, el coeficiente de escurrimiento (C), se obtendrá para cada área parcial y posteriormente se calculará el promedio ponderado de C para aplicarlo en la fórmula.

Para este caso se cuenta con pastizal en toda la cuenca.



Tipo de superficie por drenar	Pendiente (%)	Coeficiente de escurrimiento (C)	
		Mínimo	Máximo
A) Praderas:			
1. Suelo arenoso plano	< 2	0,05	0,10
2. Suelo arenoso medio	2 a 7	0,10	0,15
3. Suelo arenoso empinado	> 7	0,15	0,20
4. Suelo arcilloso plano	< 2	0,13	0,17
5. Suelo arcilloso medio	2 a 7	0,18	0,22
6. Suelo arcilloso empinado	> 7	0,25	0,35
B) Zonas pavimentadas:			
1. Pavimento asfáltico	---	0,70	0,95
2. Pavimento de concreto hidráulico	---	0,80	0,95
3. Pavimento adoquinado	---	0,70	0,85
4. Estacionamientos	---	0,75	0,85
5. Patios de ferrocarril	---	0,20	0,40
C) Zonas residenciales:			
1. Unifamiliares	---	0,30	0,50
2. Multifamiliares, espaciados	---	0,40	0,60
3. Multifamiliares, juntos	---	0,60	0,75
4. Suburbanas	---	0,25	0,40
5. Casas habitación	---	0,50	0,70
D) Zonas comerciales:			
1. Zona comercial (áreas céntricas)	---	0,70	0,95
2. Áreas vecinas	---	0,50	0,70
E) Zonas industriales:			
1. Construcciones espaciadas	---	0,50	0,80
2. Construcciones juntas	---	0,60	0,90
F) Campos cultivados	---	0,20	0,40
G) Zonas forestadas	---	0,10	0,30
H) Parques y cementerios	---	0,10	0,25
I) Áreas de recreo y campos de juego	---	0,20	0,35
J) Azoteas y techados	---	0,75	0,95

Ilustración 7.2 Coeficientes de escurrimiento para el método Racional (SCT, Norma M-PROY-CAR-1-06-003/00 inciso C.3.2 2000)

Valor de C: 0.30 “Campos cultivados”

La intensidad se obtuvo anteriormente:

$$i = \frac{250.2119(50)^{0.1617}}{57.684^{0.5942}} = 42.33 \text{ mm/hr}$$

Por lo que sustituimos la fórmula:

$$Q = 0.278 \text{ CIA}$$

$$Q = 0.278(0.30)(42.33)(5.744) = 20.278 \text{ m}^3/\text{s}$$



7.2.2 Método de Ven Te Chow

Este método fue deducido basándose en el concepto de hidrogramas unitarios e hidrogramas unitarios sintéticos, es probablemente el más confiable de los métodos semiempíricos, por lo que debe aplicarse siempre que sea posible, particularmente para cuencas hasta 25 Km², aunque también se puede aplicar en cuencas con áreas hasta 250 Km², considerando que a mayores dimensiones los resultados serán menos confiables. Para cuencas más grandes, cuyas corrientes no estén aforadas, es necesario comparar los resultados que se obtengan con los que se determinen mediante métodos estadísticos para otra cuenca aforada dentro de la misma región hidrológica. (SCT, Norma N-PROY-CAR-1-06-004/18 inciso C.1.2, 2018)

Necesitamos gasto máximo para un periodo de retorno de 50 años

Para dicho método, es importante conocer los siguientes datos de la cuenca en análisis:

Área de cuenca = 5.744 km²
Longitud cauce principal = 5,593.08 m = 5.59 km
Pendiente cauce principal = 0.0299 = 2.99%
Tiempo de retorno = 50 años

La expresión para obtener el gasto máximo es:

$$Q_m = 2.78 A X Z$$

Dónde:

Q_m = gasto máximo, m³/s

2.78 = factor de homogeneidad de unidades

A = área de cuenca, km²

X = P_e/t = factor de escurrimiento, cm/hr

Z = factor de reducción pico, adimensional



Se obtiene el valor del tiempo de retraso T_r

$$tr = 0.00505 \left(\frac{L}{\sqrt{Sc}} \right)^{0.64}$$

$$tr = 0.00505 \left(\frac{5,593.08}{\sqrt{2.99}} \right)^{0.64}$$

$$tr = 0.00505 \left(\frac{5,593.08}{\sqrt{2.99}} \right)^{0.64} = 0.8904 \text{ hrs} = 53.42 \text{ min}$$

Una vez obtenido el tiempo de retraso, se debe obtener el valor de N , de la tabla de la normativa SCT para el número de escurrimiento según el tipo de terreno o superficie con la cuenca en análisis.

Uso de la tierra o cobertura	Condición de la superficie	Tipo de suelo			
		A	B	C	D
Bosques sembrados y cultivados	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, transpiración media	36	60	73	79
	Espeso o alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De tierra	72	82	87	89
	De superficie dura	72	84	90	92
Bosques naturales	Muy ralo o baja transpiración	56	75	86	91
	Ralo, baja transpiración	46	68	78	84
	Normal, transpiración media	36	60	70	76
	Espeso o alta transpiración	26	52	62	69
Descanso (sin cultivo)	Surcos rectos	77	86	91	94
	Surcos en curvas de nivel	70	80	87	90
Cultivos de surco	Surcos en curvas de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
	Surcos rectos	64	76	84	88
Cereales	Surcos en curvas de nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
	Surcos rectos	62	75	83	87
Leguminosas (sembradas con maquinaria al voleo) o potrero de rotación	Surcos en curvas de nivel	60	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
	Pobre	68	79	86	89
Pastizal	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curvas de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel, normal	25	59	75	83
	Curvas de nivel, bueno	6	35	70	79
Potreo (permanente)	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable		100	100	100	100

Ilustración 7.3 Selección del número de escurrimiento n (SCT, Norma M-PRY-CAR-1-06-004/00, 2000)

Pastizal, superficie normal, tipo de suelo C = N “79”



Una vez que tenemos los valores de Tr y N ponderados por áreas, procedemos a proponer intensidades y tiempos correspondientes a nuestro periodo de retorno de 50 años. Se utiliza nuestra formula obtenida $i - d - Tr$

$$i = \frac{172.504Tr^{0.1988}}{d^{0.5487}}$$

Dichos valores se obtienen de las fórmulas para dicho método, las cuales se describen a continuación.

$$X = \frac{Pe}{t}$$

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

$$P = \frac{Pa}{Pab} Pb$$

$$Pb = D * i$$

Se calcula la relación d/t_p a fin de determinar el valor de Z :

$$\text{Para } d/t_p \text{ entre } 0.05 \text{ y } 0.4 \quad Z = 0.73 \left(\frac{d}{t_p} \right)^{0.97}$$

$$\text{Para } 0.4 \leq d/t_p \leq 2 \quad Z = 1.89 \left(\frac{d}{t_p} \right)^{0.23} - 1.23$$

$$\text{Para } d/t_p > 2 \quad Z = 1$$



Tabla 7.1 Datos para obtener gasto mediante método Ven Te Chow

Qm	Z	t/tr	X	Pe	Pb (mm)	d (min)	t (hr)	i (mm/hr)
0.4250	0.0782	0.1000	0.3403	0.0567	1.9982	10	0.1667	119.8903
2.7541	0.1532	0.2000	1.1257	0.3752	3.1407	20	0.3333	94.2205
5.3125	0.2271	0.3000	1.4653	0.7326	3.9708	30	0.5000	79.4152
7.7539	0.3009	0.4000	1.6140	1.0760	4.6369	40	0.6667	69.5532
10.2225	0.3815	0.5000	1.6781	1.3984	5.2010	50	0.8333	62.4116
12.2361	0.4505	0.6000	1.7010	1.7010	5.6949	60	1.0000	56.9487
13.8928	0.5111	0.7000	1.7021	1.9858	6.1372	70	1.1667	52.6045
15.2721	0.5654	0.8000	1.6914	2.2552	6.5398	80	1.3333	49.0486
16.4339	0.6148	0.9000	1.6741	2.5112	6.9108	90	1.5000	46.0719
17.4229	0.6600	1.0000	1.6532	2.7553	7.2559	100	1.6667	43.5351
18.2728	0.7019	1.1000	1.6303	2.9889	7.5792	110	1.8333	41.3414
19.0091	0.7409	1.2000	1.6066	3.2133	7.8842	120	2.0000	39.4210
19.6519	0.7776	1.3000	1.5827	3.4293	8.1733	130	2.1667	37.7227
20.2165	0.8121	1.4000	1.5590	3.6377	8.4484	140	2.3333	36.2075
20.7152	0.8447	1.5000	1.5357	3.8393	8.7113	150	2.5000	34.8452
21.1581	0.8758	1.6000	1.5130	4.0346	8.9633	160	2.6667	33.6122
21.5530	0.9053	1.7000	1.4909	4.2241	9.2054	170	2.8333	32.4897
21.9065	0.9336	1.8000	1.4695	4.4084	9.4387	180	3.0000	31.4625
22.2242	0.9607	1.9000	1.4488	4.5877	9.6640	190	3.1667	30.5180
22.5105	0.9867	2.0000	1.4288	4.7625	9.8820	200	3.3333	29.6459
22.5065	1.0000	2.1000	1.4094	4.9331	10.0932	210	3.5000	28.8376
22.2089	1.0000	2.2000	1.3908	5.0996	10.2981	220	3.6667	28.0858
21.9216	1.0000	2.3000	1.3728	5.2625	10.4974	230	3.8333	27.3845
21.6443	1.0000	2.4000	1.3555	5.4218	10.6913	240	4.0000	26.7282
21.3766	1.0000	2.5000	1.3387	5.5779	10.8802	250	4.1667	26.1124
21.1180	1.0000	2.6000	1.3225	5.7308	11.0645	260	4.3333	25.5334
20.8681	1.0000	2.7000	1.3068	5.8808	11.2444	270	4.5000	24.9875



20.6265	1.0000	2.8000	1.2917	6.0280	11.4202	280	4.6667	24.4718
20.3928	1.0000	2.9000	1.2771	6.1725	11.5922	290	4.8333	23.9838
20.1666	1.0000	3.0000	1.2629	6.3146	11.7605	300	5.0000	23.5210
19.9475	1.0000	3.1000	1.2492	6.4542	11.9254	310	5.1667	23.0814
19.7353	1.0000	3.2000	1.2359	6.5915	12.0870	320	5.3333	22.6632
19.5296	1.0000	3.3000	1.2230	6.7266	12.2456	330	5.5000	22.2647
19.3301	1.0000	3.4000	1.2105	6.8597	12.4012	340	5.6667	21.8845
19.1365	1.0000	3.5000	1.1984	6.9907	12.5540	350	5.8333	21.5212
18.9485	1.0000	3.6000	1.1866	7.1198	12.7042	360	6.0000	21.1736
18.7659	1.0000	3.7000	1.1752	7.2470	12.8518	370	6.1667	20.8407
18.5884	1.0000	3.8000	1.1641	7.3725	12.9970	380	6.3333	20.5215
18.4158	1.0000	3.9000	1.1533	7.4963	13.1398	390	6.5000	20.2151
18.2479	1.0000	4.0000	1.1428	7.6184	13.2804	400	6.6667	19.9206
18.0844	1.0000	4.1000	1.1325	7.7389	13.4189	410	6.8333	19.6374
17.9253	1.0000	4.2000	1.1226	7.8579	13.5553	420	7.0000	19.3647
17.7703	1.0000	4.3000	1.1128	7.9754	13.6898	430	7.1667	19.1020
17.6192	1.0000	4.4000	1.1034	8.0915	13.8223	440	7.3333	18.8486
17.4718	1.0000	4.5000	1.0942	8.2062	13.9530	450	7.5000	18.6040
17.3281	1.0000	4.6000	1.0852	8.3195	14.0820	460	7.6667	18.3678
17.1879	1.0000	4.7000	1.0764	8.4316	14.2092	470	7.8333	18.1394
17.0510	1.0000	4.8000	1.0678	8.5424	14.3348	480	8.0000	17.9185
16.9173	1.0000	4.9000	1.0594	8.6520	14.4588	490	8.1667	17.7047
16.7867	1.0000	5.0000	1.0512	8.7604	14.5813	500	8.3333	17.4976

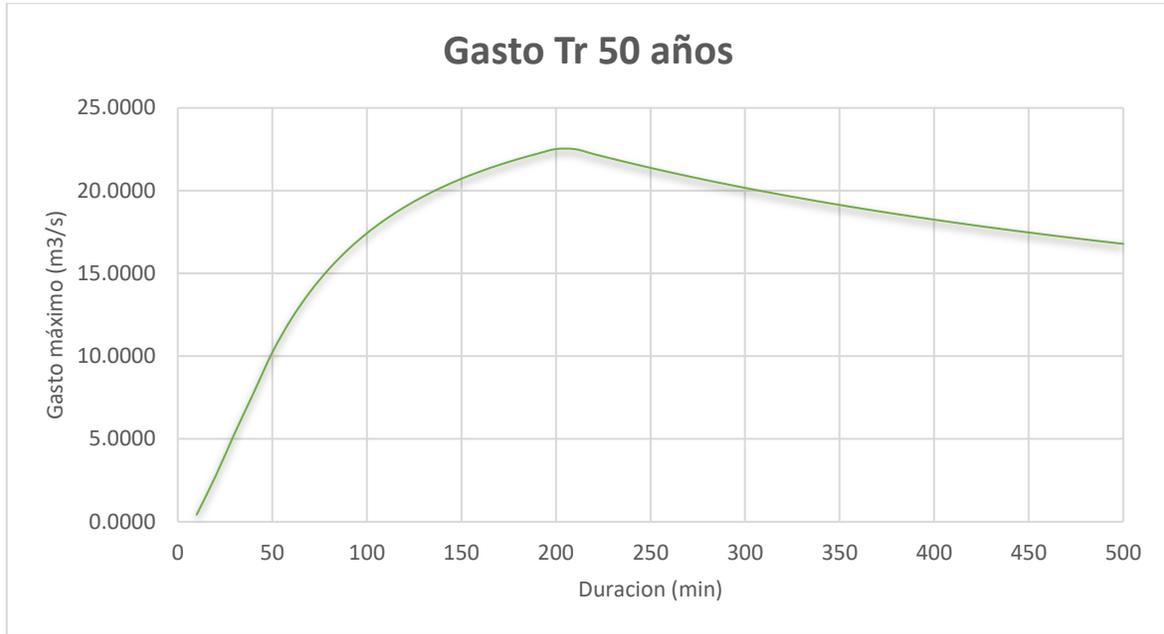


Ilustración 7.4 Gasto máximo con periodo de retorno de 50 años. Método Ven Te Chow

El gasto máximo obtenido y graficado anteriormente para un periodo de retorno de 50 años es de **$Q_{\text{máx}} = 22.51 \text{ m}^3/\text{s}$**

Resumen de los caudales:

Tabla 7.2 Resumen de caudales de los diferentes métodos

Clasificación	Método	Q m³/s
Empírico	Creager	129.286
	Lowry	100.193
Semiempírico	Racional Americano	20.278
	Chow	22.511



8. CONCLUSION

La carretera que conecta las comunidades de Valerio – San José del Sitio – Valle del Rosario, está construida a nivel pavimento, del km 0+000 al km 47+500, contando con diversas obras de drenaje y puentes a lo largo del camino.

En el tramo descrito, se presenta una interrupción en el pavimento de un ancho de 20 m, donde pasa el flujo del agua mediante el Rio La Cal.



Ilustración 8.1 Zona de estudio actual km 40+160

Se obtuvo información meteorológica, geomorfológica e hidrológica suficiente y detallada para toda la zona de estudio.

Con base a las características fisiográficas se tiene una Microcuenca, cuenta con relieve plano o ligeramente ondulado. Se tiene vegetación de pastizal con drenaje medianamente pobre. Su río principal es corto con una longitud de 5.59 km.

Se ha realizado un estudio de precipitación media y diarias en la cuenca, mediante la obtención de información histórica de la base de datos de CONAGUA. Para la falta de información en las estaciones meteorológicas, se realizaron estimaciones de datos mediante los métodos de “Relación Normalizada” y el “Método U.S. National Weather”.

Con las precipitaciones calculadas se obtuvieron las curvas de intensidad – duración – periodo de retorno, considerando los ajustes por duración y por área. Se obtuvo una precipitación media anual de 36.3 mm, para un periodo de retorno de 50 años.



Después de realizados los estudios hidráulico e hidrológico, se concluye que el gasto que deberá tomarse como de diseño es el obtenido por medio del método Racional Americano, el cual resultó de un $Q = 20.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con este cálculo se concluye que, con la elaboración de un puente con la longitud existente de 20 m, es suficiente para dejar pasar el gasto máximo de la cuenca La Cal, para un periodo de retorno de 50 años.



9. REFERENCIAS

- Agua, C. N. (2021). *Servicio Meteorológico Nacional*. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
- Ángel, J. E. (2017). *Hidrología Superficial*. El Salvador: Escuela Especializada en Ingeniería ITCA.
- Aranda, D. C. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis de Potosí: Editorial Universitaria Potosina.
- Brieva, A. C. (2018). *Caracterización de Cuencas, PNAGUA – PE 1133022*. San Rafael, Mendoza: INTA EEA Rama Caída.
- Cadengo, M., Casanova, W., & Mendoza, A. (2019). Recomendaciones de seguridad para zonas de obra. *NOTAS núm. 178*, Artículo 4.
- Cardona, B. L. (2015). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. *Repositorio Institucional USAC*.
- Chow, V. T. (1964). *Handbook of applied hydrology*. New York: Mc Graw-Hill.
- CONAGUA. (2014). *Atlas del Agua en Mexico*. Mexico: Territorios de Mexico.
- Fuentes Mariles, Ó. A., & Franco, V. (1999). *Estudio Hidrológico para obras de protección*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gámez Morales, W. R. (2009). *Texto básico de hidrología*. Managua: Universidad Nacional Agraria.
- García, E. (1998). *Climas*. Mexico: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Gobierno del Estado de Chihuahua. (2012). *Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación del Estado de Chihuahua*. Chihuahua: Gobierno del Estado de Chihuahua.
- Inc, K. (Agosto de 2021). *Google Earth*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/@28.14254362,-104.58599025,1787.17140004a,2001419.4097665d,35y,0.00000008h,20.02814772t,0r/data=C1waWhJUCiUweDg2OTU0ZjVhMjI1MDJhNzE6MHg1MzllNzMzZTJiYjk1OGEWGSQVfllnhTtAISlcj8L1kFrAKhlTYW4gSm9zw6kgZGVsIFNpdGlvLCBDbGloGAIgAQ>
- INEGI. (2015). *Edafología, Guía para la interpretación de cartografía*. México: INEGI.



- INEGI. (Junio de 2016). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Recuperado el
Noviembre de 2021, de
https://www.snieg.mx/DocumentacionPortal/geografico/sesiones/doc_12016/5_Catálogo_de_Tipos_de_VegetaciónNatural_e_Inducida_de_Mex.pdf
- INEGI. (2021). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de
<https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Descargas>
- Mariles, Ó. A., & Franco, V. (1999). *Estudio Hidrológico para obras de protección*. México:
UNAM.
- Martínez, F. J. (2007). *Cálculo de la precipitación areal mediante sistemas de información
Geográfica*.
- Molina, S. D. (2007). *Metodología para el análisis hidrológico de cuencas rurales de
pequeñas dimensiones*. México: UNAM.
- Molina, S. D. (2007). *Metodología para el análisis hidrológico de cuencas rurales de
pequeñas dimensiones*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morales, I. W. (2009). *Texto Básico de Hidrología*. Managua, Nicaragua: Universidad
Nacional Agraria.
- Porras Velázquez, J. P., & Serrano Pacheco, A. (2013). *Estudio Hidrológico - Hidráulico
para el diseño del puente sobre la quebrada Padre José*. San José, Costa Rica.
- Rivera Molina, S. D. (2007). *Metodología para el análisis hidrológico de cuencas rurales de
pequeñas dimensiones*. Cd. de Mexico: UNAM.
- SCT. (1992). *Metodos Hidrologicos para prevision de escurrimientos*. México: SCT.
- SCT. (2000). *Norma M-PROY-CAR-1-06-003/00 inciso C.3.2*. Obtenido de Secretaría de
Comunicaciones y Transportes: <https://normas.imt.mx/normativa/M-PRY-CAR-1-06-003-00.pdf>
- SCT. (2000). *Norma M-PRY-CAR-1-06-004/00*. Mexico: IMT.
- SCT. (2000). *Norma M-PRY-CAR-1-06-004/00 inciso D*. Obtenido de Secretaría de
Comunicaciones y Transportes: <https://normas.imt.mx/normativa/M-PRY-CAR-1-06-004-00.pdf>
- SCT. (2000). *Norma N-PRY-CAR-1-06-004/00 Inciso C.1*. Obtenido de Secretaria de
Comunicaciones y Transportes: <https://normas.imt.mx/normativa/N-PRY-CAR-1-06-004-00.pdf>



SCT. (2018). *Norma N-PROY-CAR-1-06-004/18 inciso C.1.2*. Obtenido de Secretaría de Comunicaciones y Transportes: <https://normas.imt.mx/normativa/N-PRY-CAR-1-06-004-18.pdf>

SCT. (2018). *Norma N-PRY-CAR-1-06-004/18*. México: IMT.

SEMARNAT. (29 de Noviembre de 2021). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/chih/estudios/2019/08CI2019VD103.pdf>

T., R. P., V., J. P., P., C. S., & A., E. M. (2017). *SOCIEDAD ESTÁNDARES DE INGENIERÍA PARA AGUAS Y SUELOS LTDA*. México.

Velarde, E. A. (2014). *Precipitación*. La Molina, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.



10. ANEXOS

ANEXO I DATOS TOTALES ORIGINALES DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

Tabla 10.1 PRECIPITACIÓN ORIGINAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN “NONOAVA – 8183”

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	8	173.5	102	37.5	100	0	5	426	35.5	12
	1972	9	0	6	0	35	29	94	77	124	23	64	3	464	38.7	12
	1973	6	43	3	6	0	9	156	133	35	3	0	0	394	32.8	12
	1974	0	0	1	0	36	0	129.5	108.5	93	32	28	15	443	36.9	12
	1975	2	9	0	0	0	48	228	147.8	45	13.5	0	0	493.3	41.1	12
	1976	0	0	0	0	8	76	108	39	116	25	31	6	409	34.1	12
	1977	14	0	6	1	13	65	193		17.5	65	0	0	374.5	34	11
	1978	0	11	3	3	4	26.5	87	139.5	152	27	0	17	470	39.2	12
	1979	35	3	7	1.5	29	30	99	155	60	0	5	6	430.5	35.9	12
	1980	2	1	0	0	0	21	40	143	65	2	16	12	302	25.2	12
	1981	23	13	13	24	8	64	131	160	164	66	0	10	676	56.3	12
	1982	23	1	0	12	0	2	93	77	27	2	45	33	315	26.3	12
	1983	25	17	73	1	4	14	50	115	56	44	20	8	427	35.6	12
	1984	39	0	0	0	7	333	59	118	0	25	18	50	649	54.1	12
	1985	54	7	0	21	0	22	86	102	135	31	12	0	470	39.2	12
	1986	0	7	0	16	19	65	186	140	70	55	3	29	590	49.2	12
MINIMA		0	0	0	0	0	0	40	39	0	0	0	0	302	25.2	
MAXIMA		54	43	73	24	36	333	228	160	164	100	64	50	676	56.3	
MEDIA		14.50	7.00	7.00	5.34	10.19	50.78	119.56	117.12	74.81	32.09	15.13	12.13	458.33	38.38	
DESV. ESTANDAR		16.94	11.06	17.99	8.20	12.76	79.15	54.75	33.83	50.14	27.99	18.91	14.16	104.63	8.59	



Tabla 10.2 PRECIPITACIÓN ORIGINAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN “EL SITIO - 8057”

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	23	143	118	53	106	0	4	447	37.3	12
	1972	4	0	9	0	14	27	113	115	152	2	39	1	476	39.7	12
	1973	5	37	5	10	13	6	146	158	39	0	0	32	451	37.6	12
	1974	0	0	2	0	0	0	57	94	134	8	24	11	330	27.5	12
	1975	0	4	0	0	0	20	230	136	31	0	0	0.5	421.5	35.1	12
	1976	0	0	0	0	4	130	142	42	76	27	13	12	446	37.2	12
	1977	0	0	0	0	0	83	145	56	10	72.5	0	0	366.5	30.5	12
	1978	4	0	4	0	13	17	65	211	246	30	0	4	594	49.5	12
	1979	20	6		8	27	12	117	128	45	0	2	3	368	33.5	11
	1980	0	0	0	0	0	32	30	144	202	38	14	0	460	38.3	12
	1981	24	6	5	33	15	55	88	199	85	79	0	1	590	49.2	12
	1982	22	2	0	13		0	62	36	8	0	7	28	178	16.2	11
	1983	20	0	45	5	8	11	46	143			5	0	283	28.3	10
	1984	27	0	0	0	29	106.5	125	167	26	12	12	37	541.5	45.1	12
	1985	38	20	4	11	12	55	76	38		45	2	0	301	27.4	11
	1986	3	9	9	1.5	9	71	155	237	100	16	26	32.5	669	55.8	12
	MINIMA	0	0	0	0	0	0	30	36	8	0	0	0	178	16.2	
	MAXIMA	38	37	45	33	29	130	230	237	246	79	39	37	669	55.8	
	MEDIA	10.44	5.25	5.53	5.09	9.60	40.53	108.75	126.38	86.21	29.03	9.00	10.38	432.66	36.76	
	DESV. ESTANDAR	12.53	10.00	11.38	8.78	9.46	39.34	52.02	61.81	73.10	33.44	11.74	13.71	127.97	9.94	



Tabla 10.3 PRECIPITACIÓN ORIGINAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN “EL MAGUEY – 8050”

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1955						26	202.5	157	56.5	17	0	0	459	65.6	7
	1956	4.5	0	0	0	0	46	59	21.5	85.5	0	12.5	3	232	19.3	12
	1957	4.5	2.5	6.5	1.5	23.5	13.5	123.5	102.5	56.5	6	0	2	342.5	28.5	12
	1958	11	5	6.5	0.5	9.5	42	76	111.5	253.5	123.5	3	1	643	53.6	12
	1959	1	0	0	34	0	26.5	32.5	166	44	9.5	10	32.5	356	29.7	12
	1960	26.5	3.5	0	0	0	5.5	116	140.5	11	5.5	0		308.5	28	11
	1961	38	3	0	7	4	112	77	78.5	44.5	22	8	7.5	401.5	33.5	12
	1962	4	0	0	0	0	0	90	28.5	117	37	1.5	9	287	23.9	12
	1963	1	4.5	0	0	55	48.5	126	126.5	73	46	10	2	492.5	41	12
	1964	0	0	11	13	11	37.5	125.5	63.5	139.5	5.5	0	23	429.5	35.8	12
	1965	2	13	0	0	0	22	54	79	94.5	0.5	0	33	298	24.8	12
	1966	1.5	15	0	0	99.5	163.5	53	136	105	6	3	0	582.5	48.5	12
	1967	0	4	8	0	0	51	83	65	72	7	2	0	292	24.3	12
	1968	8	35	18	5	0	7	202.5	94	134	11	4	0	518.5	43.2	12
	1969	2	12	0	0	0	0	79	74	3	3	11	4	188	15.7	12
	1970	0	40.5	2	2	0	8	16	104	170	0	0	0	342.5	28.5	12
	1971	0	0	0	0	0	31.5	84	148	70	115	0	2	450.5	37.5	12
	1972	1	0	4	0	12	41	89	124	112	7	58	2	450	37.5	12
	1973	0	43	0	10	8.5	0	86	106	37	0	0	5.5	296	24.7	12
	1974	0	0	3	0	0	0	77	104	196	0	15	15	410	34.2	12
	1975	0	0	0	0	0	36	148	105	64	0	0	0.5	353.5	29.5	12
	1976	0	0	0		9		145	29	68	31	29	17	328	32.8	10
	1977	4	0	0	4	0	94.5	148	45	12	34.5	0	0	342	28.5	12
	1978	0	0	8	11	22	24	50	170.5	288	13	0	1	587.5	49	12
	1979	17	6	3	6	25	26	102	99	62	0			346	34.6	10
	1980	0	0	0	0	0	25	76	107	148	32	6	5	399	33.3	12
	1981	46	5	18	56	15	41	115	197	92	119	0	0	704	58.7	12
	1982	5	2	0	13	0	0	63	63	20	0	13	29	208	17.3	12
	1983	29	0	42.5	5	2.9	33	48	123			12	0	295.4	29.5	10
	1984	34	0	0	0	48	164	96	127.5	18.5	13	10	30	541	45.1	12
	1985	68	28	1	11	4	63	51	58		55	13	0	352	32	11



	1986	14	11	7	0	38	59	119	160.5	127	18	18	52	623.5	52	12
	1987	1	1	0	34.5									36.5	9.1	4
MINIMA		0	0	0	0	0	0	16	21.5	3	0	0	0	36.5	9.1	
MAXIMA		68	43	42.5	56	99.5	164	202.5	197	288	123.5	58	52	704	65.6	
MEDIA		10.093	7.3125	4.3281	6.8871	12.48	40.225	94.14	103.57	92.466	23.774	7.7096	9.2	390.8	34.2	
DESV. ESTANDAR		16.465	12.182	8.569	12.714	21.817	42.203	43.807	43.981	68.504	34.97	11.706	13.556	142.6	12.5	

Tabla 10.4 PRECIPITACIÓN ORIGINAL MENSUAL DE LA ESTACIÓN “VALLE DE ZARAGOZA – 8153”

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
1971							97	177.3	17.8	90.8	0	1.5	384.4	64.1	6
1972	5	0	0	0	4	4	26	47.7	22.4	1	0	0	110.1	9.2	12
1973	3	24.5	0	9.8	1.5	2	88	40.2	13.7	0	0	5.5	188.2	15.7	12
1974	0	0	0	0	9.4	0	61.8	25	46.3	0	0	12	154.5	12.9	12
1975	0.5	0	0	0	0	0	20.9	3.8	69	0	0	0	94.2	7.9	12
1976	0	0	0	0	22.5	70.5	109.5	35.5	78.3	27.5	28	8	379.8	31.7	12
1977	5	0	0	2.5	2	96	118.3	65	26.5	32.5	0	0	347.8	29	12
1978	2	4	0	13	33	37.5	53	198	231.5	14	0	1	587	48.9	12
1979	11.5	1	8.5	6	26	56	111	150.5	41	0	4	1	416.5	34.7	12
1980	0	0	0	0	0	15.5	40	76.5	188	29.5	20	0	369.5	30.8	12
1981	55.5	4.5	3.5	35.5	19.5	74	104.5	143.5	93.5	113.5	0	1	648.5	54	12
1982	19	0	0	3.5	3	10	62	73	29.5	0	0	8	208	17.3	12
1983	16.3	2	20	0	30.5	8	21	117	176.5	39.5	0	5	435.8	36.3	12
1984	48	0	0	0	56	233.5	94	156.5	24	17	0	29.5	658.5	54.9	12
1985	44	38	1	20.5	11	68.5	77.3	48.5	91	14.5	0	0	414.3	34.5	12
1986	13	13	1.5	5	24.5	126	120.5	164.5	137.5	21.5	37.5	27.5	692	57.7	12
1987	3	1	0	46.5	51	22.5	183	102	57.5	2.5	0	0	469	39.1	12
1988	0	4.5	1.5	13	0	64.5	131.5	181.5	21	59.5	0	3.5	480.5	40	12



1989	3	14.5	0	0	0	0	32.5	125.5	0	0	5	15	195.5	16.3	12
1990	1	0	0	3	2	0	192	0	0	0	0	0	198	16.5	12
1991		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
1992		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
1993		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
1994		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
1995		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
1996		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
1997		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
1998		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
1999		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
2001	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.2	12
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
2003	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.4	12
2004	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.5	2.9	12
2005	20.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.5	1.7	12
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
2007	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	1.7	12
2008	0	0	0	0	0	7	73	55	39	39	1	0	214	17.8	12
2009	0	0	0	0.5	3.1	69.5	0	0	0	0	0	2	75.1	6.3	12
2010	9	14.2	0	5.3	0	0	199.2	58.2	181.7	0	0	9	476.6	39.7	12
2011	0	0.1	0	0	0	0.02	0	16.04	14.52	0.5	8	0.1	39.3	3.3	12
2012	0	0	0	3	3.5	25	201.5	66.5	102	12	0	0	413.5	34.5	12
2013	23	2	0	0	16.5	17.5	296.5	59.5	235	1.5	77		728.5	66.2	11
MINIMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MAXIMA	55.5	38	20	46.5	56	233.5	296.5	198	235	113.5	77	29.5	728.5	66.2	
MEDIA	10.418	2.9357	0.8571	3.9785	7.5952	23.988	58.465	50.854	45.051	12.007	4.1976	3.0857	220	19.2	
DESV. ESTANDAR	15.205	7.538	3.3464	9.5481	13.999	45.806	73.124	62.715	67.389	24.661	13.686	6.7739	234.83	21	



ANEXO II



ANEXO II

Análisis de la estimación de datos faltantes para cada una de las estaciones climatológicas por el método de la Relación Normalizada.

1.- Estación Nonoava agosto 1977:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{38.38}{36.76} 56 + \frac{38.38}{36.01} 45 + \frac{38.38}{33.73} 65 \right] = 60.13$$

Tabla 10.5 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación Nonoava

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
Nonoava Nx =	38.38	Nonoava Px =	Px
El Sitio Na =	36.76	El Sitio Pa =	56
El Maguey Nb =	36.01	El Maguey Pb =	45
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	65

2.- Estación El Sitio marzo 1979:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{36.76}{38.38} 7 + \frac{36.76}{36.01} 3 + \frac{36.76}{33.73} 8.5 \right] = 6.34$$

Tabla 10.6 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Sitio

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Sitio Nx =	36.76	El Sitio Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	7
El Maguey Nb =	36.01	El Maguey Pb =	3
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	8.5



3.- Estación El Sitio mayo 1982:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{36.76}{38.38} 29 + \frac{36.76}{36.01} 0 + \frac{36.76}{33.73} 3 \right] = 10.35$$

Tabla 10.7 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Sitio

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Sitio Nx =	36.76	El Sitio Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	29
El Maguey Nb =	36.01	El Maguey Pb =	0
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	3

4.- Estación El Sitio septiembre 1983:

$$P_x = \frac{1}{2} \left[\frac{36.76}{38.38} 56 + \frac{36.76}{33.73} 176.5 \right] = 123$$

Tabla 10.8 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Sitio

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Sitio Nx =	36.76	El Sitio Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	56
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	176.5

5.- Estación El Sitio octubre 1983:

$$P_x = \frac{1}{2} \left[\frac{36.76}{38.38} 44 + \frac{36.76}{33.73} 39.5 \right] = 42.6$$



Tabla 10.9 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Sitio

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Sitio Nx =	36.76	El Sitio Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	44
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	39.5

6.- Estación El Sitio septiembre 1985:

$$P_x = \frac{1}{2} \left[\frac{36.76}{38.38} 135 + \frac{36.76}{33.73} 91 \right] = 114.24$$

Tabla 10.10 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Sitio

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Sitio Nx =	36.76	El Sitio Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	135
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	91

7.- Estación El Maguey junio 1976:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{36.01}{38.38} 76 + \frac{36.01}{36.76} 130 + \frac{36.01}{33.73} 70.5 \right] = 94.11$$

Tabla 10.11 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Maguey Nx =	36.01	El Maguey Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	76
El Sitio Nb =	36.76	El Sitio Pb =	130
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	70.5



8.- Estación El Maguey noviembre 1979:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{36.01}{38.38} 5 + \frac{36.01}{36.76} 2 + \frac{36.01}{33.73} 4 \right] = 3.73$$

Tabla 10.12 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Maguey Nx =	36.01	El Maguey Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	5
El Sitio Nb =	36.76	El Sitio Pb =	2
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	4

9.- Estación El Maguey diciembre 1979:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{36.01}{38.38} 6 + \frac{36.01}{36.76} 3 + \frac{36.01}{33.73} 1 \right] = 3.3$$

Tabla 10.13 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Maguey Nx =	36.01	El Maguey Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	6
El Sitio Nb =	36.76	El Sitio Pb =	3
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	1

10.- Estación El Maguey septiembre 1983:

$$P_x = \frac{1}{2} \left[\frac{36.01}{38.38} 56 + \frac{36.01}{33.73} 176.5 \right] = 120.49$$



Tabla 10.14 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Maguey Nx =	36.01	El Maguey Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	56
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	176.5

11.- Estación El Maguey octubre 1983:

$$P_x = \frac{1}{2} \left[\frac{36.01}{38.38} 44 + \frac{36.01}{33.73} 39.5 \right] = 41.73$$

Tabla 10.15 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Maguey Nx =	36.01	El Maguey Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	44
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	39.5

12.- Estación El Maguey septiembre 1985:

$$P_x = \frac{1}{2} \left[\frac{36.01}{38.38} 135 + \frac{36.01}{33.73} 91 \right] = 111.91$$

Tabla 10.16 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
El Maguey Nx =	36.01	El Maguey Px =	Px
Nonoava Na =	38.38	Nonoava Pa =	135
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	91



13.- Estación Valle de Zaragoza junio 1971:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{33.73}{38.38} 8 + \frac{33.73}{36.76} 23 + \frac{33.73}{36.01} 31.5 \right] = 19.21$$

Tabla 10.17 Valores de las precipitaciones en el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Precipitación media anual	Nombre de estación	Precipitación mensual
Valle de Zaragoza Nc =	33.73	Valle de Zaragoza Pc =	Px
Nonoava Nx =	38.38	Nonoava Px =	8
El Sitio Na =	36.76	El Sitio Pa =	23
El Maguey Nb =	36.01	El Maguey Pb =	31.5



Anexo III

Datos estimados de las 4 estaciones climatológicas del periodo del 1971 al 1986, por el Método de la Relación Normalizada.

Tabla 10.18 Datos estimados de la estación Nonoava

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	8	173.5	102	37.5	100	0	5	426	35.50	12
	1972	9	0	6	0	35	29	94	77	124	23	64	3	464	38.67	12
	1973	6	43	3	6	0	9	156	133	35	3	0	0	394	32.83	12
	1974	0	0	1	0	36	0	129.5	108.5	93	32	28	15	443	36.92	12
	1975	2	9	0	0	0	48	228	147.8	45	13.5	0	0	493.3	41.11	12
	1976	0	0	0	0	8	76	108	39	116	25	31	6	409	34.08	12
	1977	14	0	6	1	13	65	193	60.13	17.5	65	0	0	434.63	36.22	12
	1978	0	11	3	3	4	26.5	87	139.5	152	27	0	17	470	39.17	12
	1979	35	3	7	1.5	29	30	99	155	60	0	5	6	430.5	35.88	12
	1980	2	1	0	0	0	21	40	143	65	2	16	12	302	25.17	12
	1981	23	13	13	24	8	64	131	160	164	66	0	10	676	56.33	12
	1982	23	1	0	12	0	2	93	77	27	2	45	33	315	26.25	12
	1983	25	17	73	1	4	14	50	115	56	44	20	8	427	35.58	12
	1984	39	0	0	0	7	333	59	118	0	25	18	50	649	54.08	12
	1985	54	7	0	21	0	22	86	102	135	31	12	0	470	39.17	12
	1986	0	7	0	16	19	65	186	140	70	55	3	29	590	49.17	12
	MINIMA	0	0	0	0	0	0	40	39	0	0	0	0	79	25.2	
	MAXIMA	54	43	73	24	36	333	228	160	164	100	64	50	1329	56.3	
	MEDIA	14.50	7.00	7.00	5.34	10.19	50.78	119.56	113.56	74.81	32.09	15.13	12.13	462.09	38.51	
	DESV. ESTANDAR	16.94	11.06	17.99	8.20	12.76	79.15	54.75	35.65	50.14	27.99	18.91	14.16	347.69	8.54	



Tabla 10.19 Datos estimados de la estación El Sitio

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	23	143	118	53	106	0	4	447	37.25	12
	1972	4	0	9	0	14	27	113	115	152	2	39	1	476	39.67	12
	1973	5	37	5	10	13	6	146	158	39	0	0	32	451	37.58	12
	1974	0	0	2	0	0	0	57	94	134	8	24	11	330	27.50	12
	1975	0	4	0	0	0	20	230	136	31	0	0	0.5	421.5	35.13	12
	1976	0	0	0	0	4	130	142	42	76	27	13	12	446	37.17	12
	1977	0	0	0	0	0	83	145	56	10	72.5	0	0	366.5	30.54	12
	1978	4	0	4	0	13	17	65	211	246	30	0	4	594	49.50	12
	1979	20	6	6.34	8	27	12	117	128	45	0	2	3	374.34	31.20	12
	1980	0	0	0	0	0	32	30	144	202	38	14	0	460	38.33	12
	1981	24	6	5	33	15	55	88	199	85	79	0	1	590	49.17	12
	1982	22	2	0	13	10.35	0	62	36	8	0	7	28	188.35	15.70	12
	1983	20	0	45	5	8	11	46	143	123	42.6	5	0	448.6	37.38	12
	1984	27	0	0	0	29	106.5	125	167	26	12	12	37	541.5	45.13	12
	1985	38	20	4	11	12	55	76	38	114.24	45	2	0	415.24	34.60	12
	1986	3	9	9	1.5	9	71	155	237	100	16	26	32.5	669	55.75	12
MINIMA		0	0	0	0	0	0	30	36	8	0	0	0	178	16.2	
MAXIMA		38	37	45	33	29	130	230	237	246	79	39	37	669	55.8	
MEDIA		10.4	5.3	5.6	5.1	9.6	40.5	108.8	126.4	90.3	29.9	9.0	10.4	451.19	37.60	
DESV. ESTANDAR		12.53	10.00	11.00	8.78	9.14	39.34	52.02	61.81	68.97	32.48	11.74	13.71	114.03	9.50	



Tabla 10.20 Datos estimados de la estación El Maguey

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	31.5	84	148	70	115	0	2	450.5	37.5	12
	1972	1	0	4	0	12	41	89	124	112	7	58	2	450	37.5	12
	1973	0	43	0	10	8.5	0	86	106	37	0	0	5.5	296	24.7	12
	1974	0	0	3	0	0	0	77	104	196	0	15	15	410	34.2	12
	1975	0	0	0	0	0	36	148	105	64	0	0	0.5	353.5	29.5	12
	1976	0	0	0	0	9	94.11	145	29	68	31	29	17	328	35.18	12
	1977	4	0	0	4	0	94.5	148	45	12	34.5	0	0	342	28.5	12
	1978	0	0	8	11	22	24	50	170.5	288	13	0	1	587.5	49	12
	1979	17	6	3	6	25	26	102	99	62	0	3.73	3.3	346	29.42	12
	1980	0	0	0	0	0	25	76	107	148	32	6	5	399	33.3	12
	1981	46	5	18	56	15	41	115	197	92	119	0	0	704	58.7	12
	1982	5	2	0	13	0	0	63	63	20	0	13	29	208	17.3	12
	1983	29	0	42.5	5	2.9	33	48	123	120.49	41.73	12	0	295.4	38.14	12
	1984	34	0	0	0	48	164	96	127.5	18.5	13	10	30	541	45.1	12
	1985	68	28	1	11	4	63	51	58	111.91	55	13	0	352	38.66	12
	1986	14	11	7	0	38	59	119	160.5	127	18	18	52	623.5	52	12
MINIMA		0	0	0	0	0	0	48	29	12	0	0	0	208	17.3	
MAXIMA		68	43	42.5	56	48	164	148	197	288	119	58	52	704	58.7	
MEDIA		13.63	5.94	5.41	7.25	11.53	45.76	93.56	110.41	96.68	29.95	11.11	10.14	417.90	36.79	
DESV. ESTANDAR		20.48	12.26	10.99	13.86	14.78	42.62	33.89	46.04	71.93	38.02	15.08	15.03	134.66	10.52	



Tabla 10.21 Datos estimados de la estación Valle de Zaragoza

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
1971	0	0	0	0	0	19.21	97	177.3	17.8	90.8	0	1.5	384.4	33.63	12
1972	5	0	0	0	4	4	26	47.7	22.4	1	0	0	110.1	9.2	12
1973	3	24.5	0	9.8	1.5	2	88	40.2	13.7	0	0	5.5	188.2	15.7	12
1974	0	0	0	0	9.4	0	61.8	25	46.3	0	0	12	154.5	12.9	12
1975	0.5	0	0	0	0	0	20.9	3.8	69	0	0	0	94.2	7.9	12
1976	0	0	0	0	22.5	70.5	109.5	35.5	78.3	27.5	28	8	379.8	31.7	12
1977	5	0	0	2.5	2	96	118.3	65	26.5	32.5	0	0	347.8	29	12
1978	2	4	0	13	33	37.5	53	198	231.5	14	0	1	587	48.9	12
1979	11.5	1	8.5	6	26	56	111	150.5	41	0	4	1	416.5	34.7	12
1980	0	0	0	0	0	15.5	40	76.5	188	29.5	20	0	369.5	30.8	12
1981	55.5	4.5	3.5	35.5	19.5	74	104.5	143.5	93.5	113.5	0	1	648.5	54	12
1982	19	0	0	3.5	3	10	62	73	29.5	0	0	8	208	17.3	12
1983	16.3	2	20	0	30.5	8	21	117	176.5	39.5	0	5	435.8	36.3	12
1984	48	0	0	0	56	233.5	94	156.5	24	17	0	29.5	658.5	54.9	12
1985	44	38	1	20.5	11	68.5	77.3	48.5	91	14.5	0	0	414.3	34.5	12
1986	13	13	1.5	5	24.5	126	120.5	164.5	137.5	21.5	37.5	27.5	692	57.7	12
MINIMA	0	0	0	0	0	0	21	3.8	13.7	0	0	0	94.2	7.9	
MAXIMA	55.5	38	20	35.5	56	233.5	120.5	177.3	231.5	113.5	37.5	29.5	658.5	64.1	
MEDIA	14.85	5.8	2.3	6.39	16.19	51.29	75.3	95.16	80.41	25.08	5.59	6.25	32.05	31.82	
DESV. ESTANDAR	18.9	11.18	5.4	10.05	16.09	62.18	35.23	62.07	68.53	33.13	11.85	9.43	194.66	16.22	



Anexo IV

Análisis de la estimación de datos faltantes para cada una de las estaciones climatológicas por el Método U.S. National Weather.

1.- Estación Nonoava agosto 1977:

$$P_x = \frac{\sum(P_i W_i)}{\sum W_i}$$

$$P_x = \frac{0.0479}{0.0009} = 53.63 \text{ mm}$$

Tabla 10.22 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación Nonoava

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	$P_i * W_i$
Nonoava		P_x		
El Sitio	45.46	56	0.0005	0.0271
El Maguey	58.69	45	0.0003	0.0131
Valle de Zaragoza	91.54	65	0.0001	0.0078
		Suma Σ	0.0009	0.0479

2.- Estación El Sitio marzo 1979:

$$P_x = \frac{0.0240}{0.0066} = 3.64 \text{ mm}$$

Tabla 10.23 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Sitio

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	$P_i * W_i$
El Sitio		3.64		
Nonoava	45.46	7	0.0005	0.0034
El Maguey	13.26	3	0.0057	0.0171
Valle de Zaragoza	49.25	8.5	0.0004	0.0035
		SUMA	0.0066	0.0240



3.- Estación El Sitio mayo 1982:

$$P_x = \frac{0.0153}{0.0009} = 17.04 \text{ mm}$$

Tabla 10.24 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Sitio

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	$P_i * W_i$
El Sitio		17.04		
Nonoava	45.46	29	0.0005	0.0140
El Maguey	13.26	0	0.0000	0.0000
Valle de Zaragoza	49.25	3	0.0004	0.0012
		SUMA	0.0009	0.0153

4.- Estación El Sitio septiembre 1983:

$$P_x = \frac{0.0999}{0.0009} = 111.44 \text{ mm}$$

Tabla 10.25 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Sitio

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	$P_i * W_i$
El Sitio		111.44		
Nonoava	45.46	56	0.0005	0.0271
Valle de Zaragoza	49.25	176.5	0.0004	0.0728
		SUMA	0.0009	0.0999

5.- Estación El Sitio octubre 1983:

$$P_x = \frac{0.0376}{0.0009} = 41.93 \text{ mm}$$



Tabla 10.26 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Sitio

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	$P_i * W_i$
El Sitio		41.93		
Nonoava	45.46	44	0.0005	0.0213
Valle de Zaragoza	49.25	39.5	0.0004	0.0163
		SUMA	0.0009	0.0376

6.- Estación El Sitio septiembre 1985:

$$P_x = \frac{0.1028}{0.0009} = 114.76 \text{ mm}$$

Tabla 10.27 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Sitio

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	$P_i * W_i$
El Sitio		114.76		
Nonoava	45.46	135	0.0005	0.0653
Valle de Zaragoza	49.25	91	0.0004	0.0375
		SUMA	0.0009	0.1028

7.- Estación El Maguey junio 1976:

$$P_x = \frac{0.8111}{0.0067} = 121.38 \text{ mm}$$

Tabla 10.28 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual (P_i)	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	$P_i * W_i$
El Maguey		121.38		
Nonoava	58.69	76	0.0003	0.0221
El Sitio	13.26	130	0.0057	0.7394
Valle de Zaragoza	37.66	70.5	0.0007	0.0497
		SUMA	0.0067	0.8111



8.- Estación El Maguey noviembre 1979:

$$P_x = \frac{0.0156}{0.0067} = 2.34 \text{ mm}$$

Tabla 10.29 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual (Pi)	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	Pi * Wi
El Maguey		2.34		
Nonoava	58.69	5	0.0003	0.0015
El Sitio	13.26	2	0.0057	0.0114
Valle de Zaragoza	37.66	4	0.0007	0.0028
		SUMA	0.0067	0.0156

9.- Estación El Maguey diciembre 1979:

$$P_x = \frac{0.0195}{0.0067} = 2.92 \text{ mm}$$

Tabla 10.30 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual (Pi)	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	Pi * Wi
El Maguey		2.92		
Nonoava	58.69	6	0.0003	0.0017
El Sitio	13.26	3	0.0057	0.0171
Valle de Zaragoza	37.66	1	0.0007	0.0007
		SUMA	0.0067	0.0195

10.- Estación El Maguey septiembre 1983:

$$P_x = \frac{0.1407}{0.0010} = 141.36 \text{ mm}$$



Tabla 10.31 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual (Pi)	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	Pi * Wi
El Maguey		141.36		
Nonoava	58.69	56	0.0003	0.0163
Valle de Zaragoza	37.66	176.5	0.0007	0.1244
		SUMA	0.0010	0.1407

11.- Estación El Maguey octubre 1983:

$$P_x = \frac{0.0406}{0.0010} = 40.81 \text{ mm}$$

Tabla 10.32 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual (Pi)	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	Pi * Wi
El Maguey		40.81		
Nonoava	58.69	44	0.0003	0.0128
Valle de Zaragoza	37.66	39.5	0.0007	0.0279
		SUMA	0.0010	0.0406

12.- Estación El Maguey septiembre 1985:

$$P_x = \frac{0.1034}{0.0010} = 103.83 \text{ mm}$$

Tabla 10.33 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación El Maguey

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual (Pi)	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	Pi * Wi
El Maguey		103.83		
Nonoava	58.69	135	0.0003	0.0392
Valle de Zaragoza	37.66	91	0.0007	0.0642
		SUMA	0.0010	0.1034



13.- Estación Valle de Zaragoza junio 1971:

$$P_x = \frac{0.0326}{0.0012} = 26.40 \text{ mm}$$

Tabla 10.34 Datos necesarios para calcular el año faltante de la estación Valle de Zaragoza

Nombre de estación	Distancia (Km)	Precipitación mensual (Pi)	$W_i = \left(\frac{1}{D_i^2}\right)$	Pi * Wi
Valle de Zaragoza		26.40		
Nonoava	91.54	8	0.0001	0.0010
El Sitio	49.25	23	0.0004	0.0095
El Maguey	37.66	31.5	0.0007	0.0222
		SUMA	0.0012	0.0326



Anexo V

Datos estimados de las 4 estaciones climatológicas del periodo del 1971 al 1986, por el Método U.S. National Weather.

Tabla 10.35 Datos estimados de la estación Nonoava

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	8	173.5	102	37.5	100	0	5	426	35.5	12
	1972	9	0	6	0	35	29	94	77	124	23	64	3	464	38.7	12
	1973	6	43	3	6	0	9	156	133	35	3	0	0	394	32.8	12
	1974	0	0	1	0	36	0	129.5	108.5	93	32	28	15	443	36.9	12
	1975	2	9	0	0	0	48	228	147.8	45	13.5	0	0	493.3	41.1	12
	1976	0	0	0	0	8	76	108	39	116	25	31	6	409	34.1	12
	1977	14	0	6	1	13	65	193	53.63	17.5	65	0	0	428.13	35.68	12
	1978	0	11	3	3	4	26.5	87	139.5	152	27	0	17	470	39.2	12
	1979	35	3	7	1.5	29	30	99	155	60	0	5	6	430.5	35.9	12
	1980	2	1	0	0	0	21	40	143	65	2	16	12	302	25.2	12
	1981	23	13	13	24	8	64	131	160	164	66	0	10	676	56.3	12
	1982	23	1	0	12	0	2	93	77	27	2	45	33	315	26.3	12
	1983	25	17	73	1	4	14	50	115	56	44	20	8	427	35.6	12
	1984	39	0	0	0	7	333	59	118	0	25	18	50	649	54.1	12
	1985	54	7	0	21	0	22	86	102	135	31	12	0	470	39.2	12
	1986	0	7	0	16	19	65	186	140	70	55	3	29	590	49.2	12
MINIMA		0	0	0	0	0	0	40	39	0	0	0	0	302	25.2	
MAXIMA		54	43	73	24	36	333	228	160	164	100	64	50	676	56.3	
MEDIA		14.5	7	7	5.34	10.19	50.78	119.56	113.15	74.81	32.09	15.13	12.13	461.68	38.49	
DESV. ESTANDAR		16.94	11.06	17.99	8.2	12.76	79.15	54.75	36.33	50.14	27.99	18.91	14.16	8.54	8.59	



Tabla 10.36 Datos estimados de la estación El Sitio

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	23	143	118	53	106	0	4	447	37.3	12
	1972	4	0	9	0	14	27	113	115	152	2	39	1	476	39.7	12
	1973	5	37	5	10	13	6	146	158	39	0	0	32	451	37.6	12
	1974	0	0	2	0	0	0	57	94	134	8	24	11	330	27.5	12
	1975	0	4	0	0	0	20	230	136	31	0	0	0.5	421.5	35.1	12
	1976	0	0	0	0	4	130	142	42	76	27	13	12	446	37.2	12
	1977	0	0	0	0	0	83	145	56	10	72.5	0	0	366.5	30.5	12
	1978	4	0	4	0	13	17	65	211	246	30	0	4	594	49.50	12
	1979	20	6	3.64	8	27	12	117	128	45	0	2	3	371.64	30.97	11
	1980	0	0	0	0	0	32	30	144	202	38	14	0	460	38.33	12
	1981	24	6	5	33	15	55	88	199	85	79	0	1	590	49.17	12
	1982	22	2	0	13	17.04	0	62	36	8	0	7	28	195.04	16.25	11
	1983	20	0	45	5	8	11	46	143	111.4	41.93	5	0	436.37	36.36	10
	1984	27	0	0	0	29	106.5	125	167	26	12	12	37	541.5	45.13	12
	1985	38	20	4	11	12	55	76	38	114.8	45	2	0	415.76	34.65	11
	1986	3	9	9	1.5	9	71	155	237	100	16	26	32.5	669	55.8	12
MINIMA		0	0	0	0	0	0	30	36	8	0	0	0	178	16.2	
MAXIMA		38	37	45	33	29	130	230	237	246	79	39	37	669	55.8	
MEDIA		10.44	5.25	5.42	5.09	10.07	40.53	108.75	126.38	89.58	29.84	9.00	10.38	450.71	37.57	
DESV. ESTANDAR		12.53	10	11.0	8.8	9.3	39.3	52.0	61.8	68.7	32.5	11.7	13.7	113.2	9.4	



Tabla 10.37 Datos estimados de la estación El Maguey

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
	1971	0	0	0	0	0	31.5	84	148	70	115	0	2	450.5	37.5	12
	1972	1	0	4	0	12	41	89	124	112	7	58	2	450	37.5	12
	1973	0	43	0	10	8.5	0	86	106	37	0	0	5.5	296	24.7	12
	1974	0	0	3	0	0	0	77	104	196	0	15	15	410	34.2	12
	1975	0	0	0	0	0	36	148	105	64	0	0	0.5	353.5	29.5	12
	1976	0	0	0	0	9	121.4	145	29	68	31	29	17	449.38	37.4	10
	1977	4	0	0	4	0	94.5	148	45	12	34.5	0	0	342	28.5	12
	1978	0	0	8	11	22	24	50	170.5	288	13	0	1	587.5	49.0	12
	1979	17	6	3	6	25	26	102	99	62	0	103.9	2.92	452.86	37.7	10
	1980	0	0	0	0	0	25	76	107	148	32	6	5	399	33.3	12
	1981	46	5	18	56	15	41	115	197	92	119	0	0	704	58.7	12
	1982	5	2	0	13	0	0	63	63	20	0	13	29	208	17.3	12
	1983	29	0	42.5	5	2.9	33	48	123	141.4	40.81	12	0	477.57	39.8	10
	1984	34	0	0	0	48	164	96	127.5	18.5	13	10	30	541	45.1	12
	1985	68	28	1	11	4	63	51	58	103.8	55	13	0	455.83	38.0	11
	1986	14	11	7	0	38	59	119	160.5	127	18	18	52	623.5	52.0	12
MINIMA		0	0	0	0	0	0	48	29	12	0	0	0	208	17.30	
MAXIMA		68	43	42.5	56	48	164	148	197	288	119	58	52	704	58.70	
MEDIA		13.63	5.938	5.406	7.25	11.53	47.46	93.56	110.41	97.48	29.89	17.37	10.12	450.04	37.52	
DESV. ESTANDAR		20.48	12.26	10.99	13.86	14.78	45.15	33.89	46.04	72.5	38	27.5	15.04	123.85	10.33	



Tabla 10.38 Datos estimados de la estación Valle de Zaragoza

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADO	MEDIA	MESES
1971	0	0	0	0	0	26.4	97	177.3	17.8	90.8	0	1.5	410.8	34.2333	6
1972	5	0	0	0	4	4	26	47.7	22.4	1	0	0	110.1	9.2	12
1973	3	24.5	0	9.8	1.5	2	88	40.2	13.7	0	0	5.5	188.2	15.7	12
1974	0	0	0	0	9.4	0	61.8	25	46.3	0	0	12	154.5	12.9	12
1975	0.5	0	0	0	0	0	20.9	3.8	69	0	0	0	94.2	7.9	12
1976	0	0	0	0	22.5	70.5	109.5	35.5	78.3	27.5	28	8	379.8	31.7	12
1977	5	0	0	2.5	2	96	118.3	65	26.5	32.5	0	0	347.8	29	12
1978	2	4	0	13	33	37.5	53	198	231.5	14	0	1	587	48.9	12
1979	11.5	1	8.5	6	26	56	111	150.5	41	0	4	1	416.5	34.7	12
1980	0	0	0	0	0	15.5	40	76.5	188	29.5	20	0	369.5	30.8	12
1981	55.5	4.5	3.5	35.5	19.5	74	104.5	143.5	93.5	113.5	0	1	648.5	54	12
1982	19	0	0	3.5	3	10	62	73	29.5	0	0	8	208	17.3	12
1983	16.3	2	20	0	30.5	8	21	117	176.5	39.5	0	5	435.8	36.3	12
1984	48	0	0	0	56	233.5	94	156.5	24	17	0	29.5	658.5	54.9	12
1985	44	38	1	20.5	11	68.5	77.3	48.5	91	14.5	0	0	414.3	34.5	12
1986	13	13	1.5	5	24.5	126	120.5	164.5	137.5	21.5	37.5	27.5	692	57.7	12
MINIMA	0	0	0	0	0	0	21	3.8	13.7	0	0	0	94.2	7.9	
MAXIMA	55.5	38	20	35.5	56	233.5	120.5	177.3	231.5	113.5	37.5	29.5	658.5	64.1	
MEDIA	14.85	5.8	2.3	6.39	16.19	51.74	75.3	95.16	80.41	25.08	5.59	6.25	382.2	31.9	
DESV. ESTANDAR	18.9	11.18	5.4	10.05	16.09	61.96	35.23	62.07	68.53	33.13	11.85	9.43	194.81	16.23	