

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil



REGIONALIZACIÓN DE SEQUÍAS EN CUENCAS NO AFORADAS

Por:

Ricardo Alberto Cavazos González

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con especialidad en
Ingeniería Ambiental**

Enero, 2008

AGRADECIMIENTOS

Gracias por el apoyo económico brindado durante mis estudios de Maestría, al Departamento de Hidráulica del Instituto de Ingeniería Civil de la UANL y a la Subdirección de posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL, y muy especialmente a:

M.C. Adrián Leonardo Ferriño Fierro
M.I. Justino César González Álvarez

Quienes también me apoyaron en la revisión, realización, asesoría y buen término de esta tesis.

Gracias por el apoyo otorgado en la revisión, realización y asesoría del la presente tesis a el Dr. Gerardo De Lira Reyes.

Gracias a la Ing. Alma Delia Rodríguez Zamarrita, por el apoyo brindado al presente trabajo con el sistema de información geográfica.

Gracias a mis amigos y compañeros de trabajo: Ing. Gloria Rangel Rodríguez, Ing. José Luís Bruster Flores, Ing. Renato Alejandro Alanís, Ing. Alejandro Morales Campos, Ing. Daniel Alejandro Rodríguez Rodríguez y a la Sra. Magdalena Muñoz Falcón, por su apoyo durante el desarrollo de la presente tesis.

Gracias a mi familia, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, primero, en mi licenciatura y posteriormente en la maestría. Principalmente a mi esposa por su paciencia y comprensión durante mis estudios.

A todas aquellas personas que de alguna forma, voluntaria o involuntariamente, contribuyeron a la realización de la presente investigación.

DEDICATORIA

A mi compañera y amor de mi vida, mi esposa: M.I. María del Roble González Ríos.

A mi futura hija: Monserrat Cavazos González.

INDICE

Capítulo	Página
ÍNDICE.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	ii
LISTA DE TABLAS.....	iii
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Algunas definiciones de sequías.....	2
1.2. Tipos de sequías.....	3
1.3. Regionalización.....	5
1.4. Justificación.....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Objetivos de esta investigación.....	7
1.6.1. Objetivo general.....	7
1.6.2. Objetivo específico.....	7
1.7. Marco Teórico.....	7
1.7.1. Delimitación de regiones homogéneas.....	7
1.7.2. Método del coeficiente de variación.....	8
1.7.3. Características de la serie de tiempo hidrológica.....	8
1.7.4. Modelación puntual de las características que definen una sequía.....	11
1.7.5. Distribuciones de probabilidad aplicadas a la hidrología.....	12
1.7.5.1. Funciones de probabilidad.....	12
1.7.5.2. Funciones continuas de probabilidad.....	13
1.7.5.3. Periodo de retorno.....	14
1.7.5.4. Funciones de distribución de probabilidad más usadas en hidrología.....	15
1.7.5.5. Distribución normal.....	15
1.7.5.6. Distribución Lognormal.....	17
1.7.5.7. Distribución Gumbel.....	18
1.7.6. Técnicas de regresión lineal múltiple.....	21
1.7.6.1. Estimación de los parámetros por mínimos cuadrados.....	23
1.7.6.2. Enfoque matricial para la regresión lineal múltiple.....	25
1.7.6.3. Medidas de adecuación del modelo.....	27
1.7.6.4. Coeficiente de determinación múltiple.....	28
1.7.7. Técnica de correlación y regresión múltiple.....	28

2. MÉTODO.....	33
2.1. Zona en estudio.....	33
2.2. Obtención de datos hidrométricos.....	33
2.2.1. Datos extraídos del programa de Bandas.....	36
2.2.2. Elaboración de gráficas de caudal contra tiempo...	37
2.2.3. Justificación de la eliminación de varias estaciones.....	38
2.3. Obtención de parámetros físicos de la cuenca.....	40
2.4. Obtención de la precipitación media anual.....	42
2.5. Cálculo del número de curva para la cuenca del río San Juan	44
2.5.1. Algoritmo de cálculo.....	44
2.5.2. Información vectorial.....	45
2.5.3. Utilización de la carta de uso de suelo.....	47
2.5.4. Procesamiento de la Información en ArcView.....	48
2.5.5. Asignación de los valores de número de curva.....	49
2.5.6. Obtención de los valores del número de curva.....	50
2.6. Desarrollo del modelo matemático para la determinación de los coeficientes de la ecuación para determinar el déficit en cuencas no aforadas.....	52
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
3.1. Datos obtenidos para el modelo.....	59
3.2. Aplicación del modelo en cuencas no aforadas	60
3.2.1. Fisiografía del arroyo Los Cárdenas, hasta la carretera Monterrey – Saltillo.....	61
3.2.2. Memoria de cálculo para determinar el déficit de una cuenca no aforada, en el arroyo Los Cárdenas, en Ramos Arizpe, Coahuila	65
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
4.1. Conclusiones.....	69
4.2. Recomendaciones.....	70
5. BIBLIOGRAFÍA.....	71
APÉNDICE.....	73
APÉNDICE A: DATOS HIDROMÉTRICOS.....	74

APÉNDICE B:		
	DATOS DE PRECIPITACIÓN.....	84
APÉNDICE C:		
	DETERMINACIÓN DE LOS DATOS FISIOGRÁFICOS.....	86
APÉNDICE D:		
	DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL DÉFICIT.....	143
APÉNDICE E:		
	PLANOS.....	183

LISTA DE FIGURAS

Figura:	Página:
1.1. Efecto de la sequía (Foro de meteorología y naturaleza).....	1
1.2. Distribución de los tipos de sequía en México.....	4
1.3. Cuenca del río San Juan (PLANO 2).....	6
1.4. Características que definen un período de escasez en una serie hidrológica.....	10
2.1. Mapa de ubicación de la zona en estudio (PLANO 1).....	33
2.2. Obtención de datos con el sistema de información de agua superficial.....	34
2.3. Consulta de los datos hidrométricas de las estaciones, de parte de la región del río Bravo.....	34
2.4. Caudales contra tiempo de la estación Icamole.....	37
2.5. Gráfica del caudal contra el tiempo del año 1984, de la estación Icamole.....	37
2.6. Gráfica en autocad, donde se determinaron los déficit de cada estación.....	38
2.7. Planos del INEGI, Escala 1:250,000 y el trazo de las cuencas a estudiar (PLANOS 3).....	42
2.8. Plano de Isoyetas del INEGI, donde se ilustra la precipitación media anual (PLANO 4).....	43
2.9. Cobertura de las cartas vectoriales en escala 1: 250,000 en la cuenca del Río Bravo – San Juan.....	45
2.10. Distribución de los grupos hidrológicos de suelos en la cuenca del río Bravo–San Juan.....	46
2.11. Distribución de los tipos de uso de suelo en la cuenca del río Bravo-San Juan.....	48
2.12. Selección de las clases, mediante fórmulas, para la manipulación de los polígonos.....	48
2.13. Unión de las cartas vectoriales utilizadas para obtener la cobertura total de la cuenca del río Bravo-San Juan.....	49
3.1. Ubicación de la cuenca del arroyo Los Cárdenas, en Ramos Arizpe Coahuila.....	60

LISTA DE TABLAS

Tablas:	Página:
1.1. Parámetros para muestras pequeñas de la distribución Gumbel....	18
1.2. Datos para la regresión lineal múltiple.....	24
2.1. Registro de datos de las estaciones hidrométricas.....	35
2.2. Ejemplo de extracción de datos de la estación Icamole.....	36
2.3. Estaciones Hidrométricas utilizadas.....	38
2.4. Datos de déficit de todas las estaciones de la cuenca del río San Juan.....	39
2.5. Descripción de los grupos hidrológicos de suelos.....	46
2.6. Grupos de suelos de la cuenca del río Bravo-San Juan con su correspondiente GHS.....	47
2.7. Asignación del valor estimado de número de curva obtenido de las tablas de referencia del USSCS (1986) para cada grupo hidrológico de suelos y tipo de uso de suelo.....	50
2.8. Ejemplo de la obtención del valor del número de curva para la cuenca hidrológica de Monterrey.....	51
2.9. Valores de número de curva calculados para las sub-cuencas de la cuenca Río Bravo-San Juan.....	51
2.10. Información hidrométrica y fisiográfica de la cuenca del Río San Juan, en función de la ubicación geográfica de 13 estaciones.....	53
2.11. Valores del déficit obtenido para distintos periodos de retorno.....	53
3.1. Coeficientes de la ecuación que representa el déficit.....	59
3.2. Valores de los coeficientes de correlación de la ecuación del déficit obtenido para distintos periodos de retorno.....	59
3.3. Déficit de la cuenca no aforada, relacionada en distintos periodos de retorno.....	68

RESUMEN

Fecha de obtención de grado: Enero, 2008

Ricardo Alberto Cavazos González

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil

Título de la Tesis: REGIONALIZACIÓN DE SEQUÍAS EN CUENCAS NO AFORADAS.

Numero de Paginas: 72

**Candidato para el grado de Maestría
en Ciencias, con especialidad en
Ingeniería Ambiental**

En la presente investigación, se determinó un modelo matemático que permite estimar la severidad de las sequías en cuencas no aforadas, mediante la regionalización hidrológica, determinando una ecuación partiendo de los parámetros fisiográficos del área, la pendiente del cauce, la longitud del cauce, la precipitación media anual y el número de curva; se pueden determinar los volúmenes faltantes por debajo de la media, en una cuenca no aforada. Los resultados de esta investigación ayudarán a tomar decisiones preventivas para jerarquizar acciones y, potencialmente, la construcción de obras hidráulicas.

El método utilizado para el desarrollo de esta investigación consistió principalmente en: ubicar la zona en estudio, obtener y adecuar la información hidrométrica disponible dentro de la zona en estudio, utilizando los datos hidrométricos del Banco Nacional de datos de aguas Superficiales (BANDAS), información Obtenida por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Además, se realizó el trazo de las cuencas hasta el punto de las estaciones hidrométricas, el cálculo de los parámetros fisiográficos de las cuencas, la obtención del déficit anual de las estaciones seleccionadas, el desarrollo de un modelo matemático que represente la severidad de la sequía, proponiendo una ecuación del tipo logarítmica para la determinación de los coeficientes, y finalmente establecer un modelo matemático para determinar la severidad de las sequías en cuencas no aforadas.

El modelo fue probado para distintos periodos de retorno, desde dos hasta mil años, mostrando valores de R^2 de 0.55 hasta 0.94. Adicionalmente, también se presenta la aplicación del modelo a una cuenca no aforada, con resultados positivos.

ABSTRACT

In this investigation, a mathematical model was determined to estimate drought severity in watersheds where gaged data is not available. The model is based on hydrological regionalizing and it was obtained from these watershed physiographic information: area, slope of the bed, longitude of the bed, mean annual precipitation and the curve number. It can determine the volumes below the mean in a not gaged watershed. This research is intended to be a contribution toward the eventual goal of better hydrologic practice such as preventive decisions and construction of hydraulic structures.

The methodology used for the development of this investigation focused on: locating the study area, obtaining and adapting the hydrometric information available and using the hydrometric data of the Banco Nacional de datos de aguas Superficiales (BANDAS). The BANDAS data was generated by the Comisión Nacional del Agua (CNA) and the Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Additionally, trace of the river basins until point of the hydrometric stations, measurement of physiographic parameters and calculation of the annual deficit of selected stations were used for the development of a mathematical model that estimates drought severity through a logarithmic type equation.

The end result of the modeling process was tested to determine the severity of the droughts in not gaged basins considering return periods from two years to one thousand years. The R^2 values varied from 0.55 to 0.94.

1.- INTRODUCCIÓN.

Debido al gran problema de falta de información hidrométrica de escurrimientos superficiales dentro de nuestro país y también a la falta de información climatológica con datos históricos, se hace difícil predecir el déficit de caudales en cuencas o zonas donde no se cuentan con dichos datos o registros de lluvias o caudales. Las corrientes comúnmente se clasifican en tres tipos: perenes, intermitentes y efímeras, con base en la constancia de su escurrimiento o flujo, el cual está relacionado con las características físicas y climáticas de la cuenca. Las corrientes perenes conducen agua todo el tiempo, excepto durante las sequías extremas. Una corriente intermitente lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en las épocas de lluvias y, por último, la corriente efímera sólo conduce agua durante las lluvias o inmediatamente después de éstas. En la zona noreste del país muchos de los escurrimientos son intermitentes y efímeros, debido a que solamente llevan agua durante y después de una lluvia; claro, existen corrientes perenes pero se podría decir que son muy pocas.

No se debe confundir aridez con sequía. La aridez es una condición permanente y las sociedades que viven en los desiertos se han adaptado a ella, realizando las obras necesarias para suplir la falta de agua ver figura 1.1. En cambio, la sequía es un fenómeno circunstancial o esporádico que provoca un desastre.



Figura 1.1. Efecto de la sequía (Foro de meteorología y naturaleza).

1.1.- Algunas definiciones de sequía.

Aunque no existe una definición universal para el fenómeno de sequía, este fenómeno siempre está asociado con las deficiencias hídricas, pudiendo ser evaluado en términos de la duración, la intensidad y la variación espacial.

Una sequía es un fenómeno climático que ocurre en una región cuando la precipitación, para determinado período de tiempo, representa valores muy por debajo de lo normal climatológico.

Se define sequía como la disponibilidad insuficiente de agua durante periodos prolongados de tiempo, en áreas extensas, ocasionando privaciones y tensiones severas.

Según el Servicio Meteorológico Nacional (1988) la sequía "en términos generales puede ser considerada como la insuficiente disponibilidad de agua en una región, por un período prolongado, para satisfacer las necesidades de los elementos bióticos locales. Estas necesidades dependen de la distribución de las poblaciones de plantas, animales y seres humanos, de su modo de vida y del uso de la tierra".

Se considera a la sequía como un fenómeno climático cíclico, provocado por una reducción en la precipitación pluvial, que se manifiesta en forma lenta y afecta a personas, actividades económicas, al ambiente, e incluso puede interferir en el desarrollo social y económico de los pueblos. Existen varias definiciones de sequía, las cuales se sustentan en los tipos de impactos que este fenómeno trae como consecuencia.

Desde el punto de vista meteorológico, la sequía puede definirse como una condición anormal y recurrente del clima, que ocurre en todas las regiones climáticas de la Tierra. Este fenómeno se caracteriza por una marcada reducción de la cantidad de precipitación que se presenta en una zona, y puede producir serios desbalances hidrológicos. (National Drought Mitigation Center, 2002).

Por otra parte, Ramírez y Brenes (2001) definen la sequía como un desastre natural lento, que no presenta trayectorias definidas y que tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio. La severidad de una sequía depende no solamente del grado de reducción de la lluvia, de su duración o de su extensión geográfica, sino también de las demandas del recurso hídrico para la permanencia de los sistemas naturales y para el desarrollo de las actividades humanas, razón por la cual es posible expresar el grado de severidad de la sequía en términos de sus impactos sociales y económicos.

La sequía es un fenómeno hidrológico del que no hay un acuerdo generalizado entre los especialistas para su definición. Se caracteriza en términos de precipitación o de aportación fluvial, en determinados periodos de tiempo, o en función de las reservas almacenadas en embalses. Por otra parte, el fenómeno de la sequía se sustituye y confunde con otros conceptos con los que presenta una cierta relación, como son la aridez o la escasez de agua.

1.2.- Tipos de sequías.

- a) **Meteorológica:** involucra una reducción en la precipitación en algún período (día, mes, temporada, año) por debajo de una cantidad determinada, normalmente definida como alguna proporción del promedio a largo plazo para un período de tiempo específico. su definición sólo comprende datos de precipitación.
- b) **Hidrológica:** se refiere a una reducción en los recursos acuáticos (flujo en ríos nivel de lagos, agua subterránea, mantos acuíferos) por debajo de un nivel determinado para un período dado de tiempo. su definición sólo incorpora datos de disponibilidad y tasas de consumo basadas en el suministro normal del sistema (uso doméstico, industrial y agrícola)
- c) **Agrícola:** es el impacto que las sequías meteorológicas e hidrológicas tienen sobre esta esfera particular de la actividad humana. Los cultivos requieren condiciones muy particulares de temperatura, humedad y nutrientes durante su crecimiento, para alcanzar su desarrollo máximo. Si la disponibilidad de humedad (o de cualquier otro factor) es inferior al nivel óptimo requerido durante el desarrollo, entonces el crecimiento será menor y la producción se reducirá.

Las sequías agrícolas son causadas por una inadecuada cantidad de agua disponible en el suelo, coincidente con un período de mayor sensibilidad para la planta; esta condición depende del ambiente del cultivo y del tipo de suelo.

La sequía agrícola ocurre cuando la cantidad de precipitación, su distribución, las reservas de agua en el suelo y las pérdidas producidas por la evapotranspiración se combinan para causar una disminución considerable de los rendimientos del cultivo y el ganado como se puede observar en la figura 1.2. (WMO, 1975).



Figura 1.2. Distribución de los tipos de sequía en México.

Una técnica ampliamente usada para valuar las sequías está basada en los índices de sequías.

Éstos están basados en ecuaciones con variables climáticas y procedimientos estadísticos, para definir la intensidad y la duración asociadas con la frecuencia con que se presenta este fenómeno. Uno de los más usados es el índice de severidad de sequías de Palmer.

Las sequías, de todos los desastres causados por fenómenos naturales, son las que tienen mayor impacto económico y pueden afectar al mayor número de personas. Los terremotos y ciclones pueden tener una gran intensidad física pero son de duración corta y su impacto geográfico es limitado. El número de muertes ocasionadas por dichos desastres puede ser muy alto si resultan afectadas áreas densamente pobladas. En contraste, las sequías afectan grandes extensiones geográficas, llegando a cubrir países enteros o regiones de continentes, y pueden durar varios meses o, en algunos casos, hasta varios años. Invariablemente, tienen un impacto directo y significativo sobre la producción alimenticia y la economía en general.

Tradicionalmente, la sequía y, en general, los desastres ocasionados por fenómenos naturales no han sido considerados como dignos de atención especial para los formuladores de las políticas gubernamentales de desarrollo. Los efectos negativos de la sequía son atendidos mayormente a través de medidas de contingencia, tales como el control de precios y la importación de granos básicos, lo cual parece sugerir que sus efectos son de tipo coyuntural y,

por ende, no son un elemento a considerar para la elaboración de los planes de desarrollo.

En las últimas décadas se ha registrado un mayor ritmo de deterioro de los recursos naturales; lo cual, a su vez, ha creado las condiciones para un incremento de la vulnerabilidad de la población ante fenómenos naturales como las sequías y en las inundaciones. El deterioro de los recursos naturales y del medio ambiente presenta dimensiones e implicaciones mundiales.

Una de las resultantes de estas es el llamado fenómeno de "El Niño", al cual se le atribuyen desastres de diferente índole, tales como inundaciones, sequías, deslizamientos, derrumbes, incendios forestales, etc. Este fenómeno, a su vez, es resultante de la eliminación de la capa de ozono por emisión de gases que contienen dióxido de carbono (CO₂), lo que provoca una mayor radiación solar y el calentamiento del agua del Océano Pacífico sur, generando diferentes fenómenos meteorológicos, climáticos y oceánicos.

Se debe diferenciar entre la sequía hidrológica, como "permanencia del déficit hídrico" de una sequía "aparente", y la sequía agrícola (cuando el agua no coincide con las épocas en que las necesidades agropecuarias lo exigen).

1.3.- Regionalización.

Una regionalización implica la división de una zona en áreas menores con características y comportamientos similares.

Se dice que una región es hidrológicamente homogénea cuando las características fisiográficas y climatológicas que intervienen en la relación precipitación-escurrimiento son similares.

En el caso de los recursos hidrológicos, se tienen como antecedentes los estudios de clasificación de regiones hidrológicas de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Prueba de ello son: las envolventes regionales que se sustentaron en las envolventes de Creager, en fecha posterior destacó la regionalización hidrológica de la CPNH de la extinta S.R.H. y ya recientemente las modificaciones que realizó el IMTA. Un estudio de regionalización y predicción de tormentas y avenidas de diseño por el Dr. Fernando J. González Villarreal para la S.R.H. en 1971.

Se han realizado estudios de regionalización para obtener parámetros regionales. Ejemplos de ello son: la predicción de la altura, la duración y la frecuencia de las lluvias en zonas no aforadas; la predicción del pico de una avenida máxima, mediante el gasto observado, la precipitación y el área de drenaje.

Para la presente investigación se propone como zona de estudio la cuenca del Río San Juan R.HPar. # 24, como se muestra en la figura 1.3.

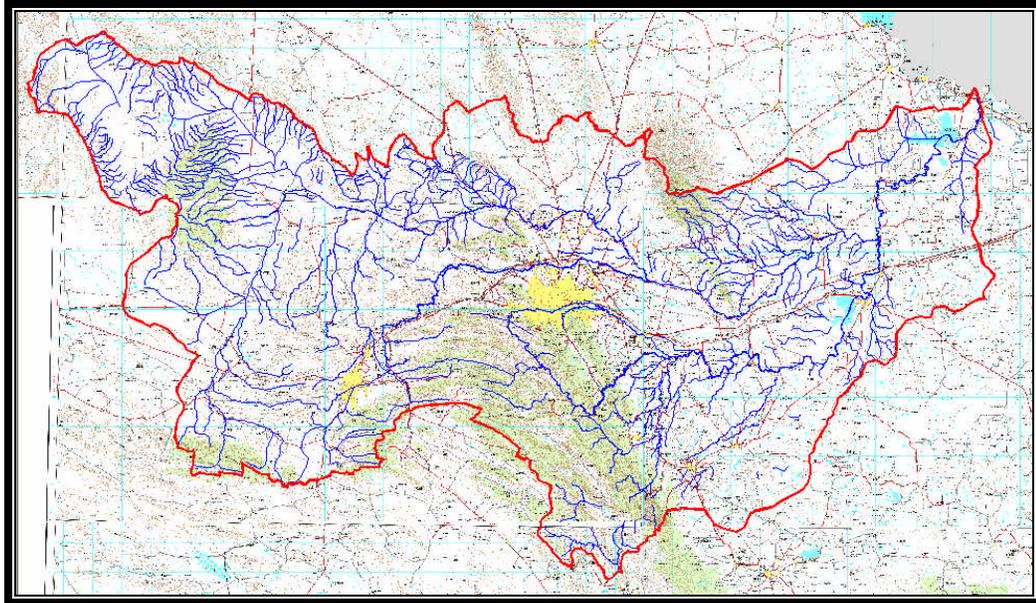


Figura 1.3. Cuenca del río San Juan (PLANO 2).

1.4.- Justificación.

Debido a las características climáticas y, por lo tanto, hidrológicas del norte de la República Mexicana, así como a la falta de instrumentación hidrométrica en las cuencas hidrológicas, es de útil importancia generar modelos de predicción de los componentes hidrológicos, que nos permitan conocer el comportamiento de las sequías que impactan en la disponibilidad del agua para el consumo humano, el agrícola, el industrial y el ecológico.

Por tal razón, esta investigación, presenta el desarrollo de un modelo de predicción del déficit hídrico para cuencas no aforadas, a partir de los datos hidrométricos de sus cuencas vecinas. Con la aplicación de este modelo de predicción del déficit hídrico es posible generalizar el estudio del comportamiento de las sequías, para una mejor administración del recurso hídrico.

1.5.-Hipótesis.

Existe una relación matemática entre las cuantificaciones de las sequías, el periodo de retorno y escurrimientos mínimos, y las variables de la fisiografía, el clima y los datos hidrométricos en cuencas no aforadas.

1.6.- Objetivos de esta investigación.

1.6.1.- Objetivo general.

Desarrollar un modelo matemático que permita estimar la severidad de las sequías en ciertas cuencas no aforadas, mediante regionalización hidrológica, con el propósito de obtener los coeficientes adecuados para determinar la estimación del déficit en cuencas no aforadas en el noreste de México, a fin de tomar decisiones racionales para el uso adecuado de los recursos hídricos y evitar o mitigar los daños que se dan en el abasto de agua en todos sus géneros.

1.6.2.- Objetivos específicos.

- Seleccionar la o las cuencas hidrológicas representativas de características fisiográficas y climatológicas diferentes para efectuar la investigación.
- Recabar, ordenar, procesar una base de datos y analizar la información topográfica, cartográfica, hidrometeorológica disponible en la zona de estudio para con base en el uso de sistemas SIG, generar la base de datos espaciales y obtener la información fisiográfica y de uso del suelo.

1.7.- Marco Teórico.

1.7.1.- Delimitación de regiones homogéneas.

En general, la delimitación regional hidrológica se sustenta en considerar áreas geográficamente de comportamiento climático y fisiografía similar. En cuencas hidrológicas, cuencas vecinas, etc. Sin embargo, si la variabilidad espacial de las características fisiográficas o hidrológicas es grande, la consideración de homogeneidad no se puede garantizar.

El problema inicial en las técnicas de regionalización, es el relacionado con la selección de las variables para evaluar el grado de similitud entre las diferentes cuencas.

Algunas cuencas son similares con respecto a cierta variable, como los parámetros climatológicos (régimen de precipitaciones), las características fisiográficas, o la cubierta forestal, pero no coinciden en todas. Lo verdaderamente importante es poder seleccionar las variables, de acuerdo con la importancia del problema.

Si se miden dichas variables a partir de longitudes de registros grandes, esto contribuirá a obtener una mayor similitud de aquellas características que se obtienen a partir de registros cortos.

Puede pensarse que la selección de la región es un problema trivial, sin embargo, la inclusión o exclusión de información dentro del modelo regional puede producir índices estimadores poco confiables como criterios que pueden emplearse para la identificación de regiones homogéneas, o técnicas que no son excluyentes entre sí, sino que al ser usadas adecuadamente pueden ser complementarias y definir de manera más confiable la región.

1.7.2.- Método del coeficiente de variación.

Esta técnica también hace uso de una comparación gráfica entre los atributos estadísticos de los registros analizados.

Para cada una de las series j , por ejemplo, de gastos máximos anuales, se obtienen los estadísticos muestrales x_j y Cv_j . Posteriormente, se construye una gráfica situando en el eje de las ordenadas los coeficientes Cv_j y en las abscisas las relaciones (x_j/A_j) , donde A_j son las áreas drenadas de cada uno de los sitios j . Los grupos se forman por la concentración de puntos alrededor de determinado valor del coeficiente de variación.

Es importante considerar que la técnica requiere que los estadísticos x_j y Cv_j se estimen de registros con distribución Normal, de tal manera que ninguna de las dos variables tenga tal influencia que pueda desproporcionar a la otra. Como esta condición no siempre se cumple, será necesario transformar las series originales.

Dado que no todas las estaciones se incluyen en la región de influencia, se propone una función ponderada que refleje la importancia relativa de cada estación en la estimación de los gastos extremos en el sitio base.

1.7.3.- Características de la serie de tiempo hidrológica.

Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones $\{x_t\}$ realizadas de forma secuencial, normalmente a intervalos iguales.

La serie de tiempo para el análisis de las sequías hidrológicas está formada por los gastos medios diarios Q_t medidos en una estación hidrométrica.

Para iniciar el estudio de las sequías se requiere un parámetro que pueda separar los flujos que pueden considerarse como mínimos. Este parámetro se conoce como umbral, nivel de truncamiento o gasto de referencia Q_r ; así, para gastos menores que dicho nivel se puede considerar la presencia de un déficit.

Existen dos criterios para determinar el nivel de truncamiento (Zelenhasic y Salvai, 1987). Un primer criterio es el de considerar a Q_r como el promedio a largo plazo de los gastos medios diarios, o bien, como un porcentaje de éste, por ejemplo, el 70 ó 75%. Sin embargo, debido a que generalmente la serie así caracterizada no representa los flujos mínimos, se emplea el criterio de seleccionar Q_r como aquel valor para el cual cierto porcentaje de los gastos lo exceden.

Por ejemplo, un nivel Q_r (90%) significa que el 90 por ciento de los gastos en el registro lo igualan o lo exceden.

Una vez que se selecciona el valor adecuado de Q_r , se pueden determinar las características que definen la escasez de agua en un cierto período de tiempo, el cual generalmente se toma como un año calendario.

Cada período de escasez se compone de seis parámetros.

Déficit $D(v)$

El déficit o severidad, expresado en volumen, es el área comprendida entre el hidrograma y el nivel de truncamiento Q_r .

$$D(v) = Q_r [\tau_e(v) - \tau_b(v)] - \int_{\tau_b(v)}^{\tau_e(v)} Q_t dt \dots\dots\dots (1.1)$$

Para todo $Q_t < Q_r (p\%)$

Donde:

- $D(v)$ = v-ésimo déficit registrado en un año particular
- Q_t = gastos medios diarios
- $Q_r(p\%)$ = nivel de truncamiento para cierto porcentaje p
- $\tau_b(v)$ = tiempo de inicio del v-ésimo déficit
- $\tau_e(v)$ = tiempo de terminación del v-ésimo déficit

Duración $T(v)$

La duración del déficit $D(v)$ es el número de días consecutivos para los cuales el gasto Q_t es menor que el gasto de referencia Q_r es menor que el gasto de referencia $Q_r(p\%)$

$$T(v) = TF(v) - TI(v) \dots\dots\dots (1.2)$$

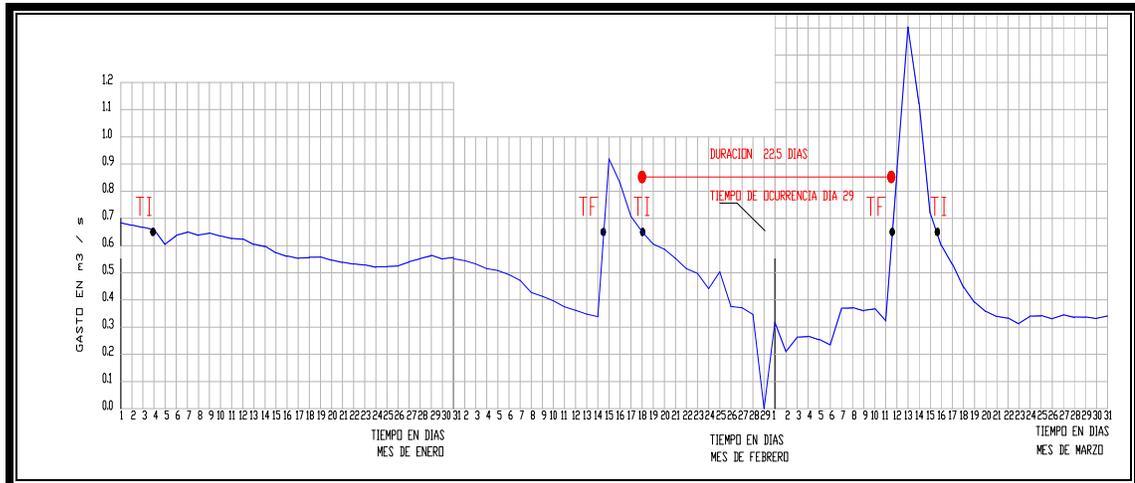


Figura 1.4. Características que definen un período de escasez en una serie hidrológica.

Tiempo de inicio del déficit TI(v)

El inicio del déficit $D(v)$ se determina por el momento en que el gasto Q_t cruza con el gasto de referencia y se tiene $Q_t (p\%)$.

Tiempo de terminación del déficit TF(v)

La terminación del déficit $D(v)$ se define por el momento en que el gasto Q_t cruza con el gasto de referencia y se tiene $Q_t > Q_r (p\%)$.

Tiempo de ocurrencia TO(v)

Por simplicidad se acepta que el tiempo de ocurrencia del déficit $D(v)$ se puede expresar como:

$$TO(v) = \frac{1}{2} [TF(v) - TI(v)] \dots\dots\dots (1.3)$$

Número de sequías por año k (V)

Debido a que se tiene un conjunto de déficits $D(v)$ a lo largo del período analizado, es conveniente asignarle un número de orden.

En el proceso anterior se pueden obtener condiciones de déficit o superávit tan pequeños, que para propósitos prácticos son insignificantes. Para tales casos, se les puede tratar con las hipótesis simplificadoras siguientes:

Todos aquellos déficits observados que satisfagan la condición $D(v) < 0.01$ (Déficit máximo registrado) son rechazados y se consideran sólo como una breve interrupción del período con superávit.

En ocasiones, dentro de un déficit considerable, el gasto Q_t puede exceder el nivel de truncamiento Q_r (p%) durante un período de tiempo muy corto, por lo que se pudieran considerar dos períodos de déficit; sin embargo, si el período de tiempo en que ocurre esto, es relativamente pequeño, además, el volumen acumulado por encima del umbral también lo es, entonces, sólo se trata de una breve interrupción del período con déficit y se pueden considerar las siguientes condiciones que definen un solo período seco.

$$D(v) = D(v) + D(v + 1) \dots\dots\dots(1.4)$$

$$T(v) = T(v) + T(v + 1) \dots\dots\dots(1.5)$$

Una vez que se determinan estas características en todo el registro, es conveniente definir las condiciones de déficit más extremas para cada año.

1.7.4.- Modelación puntual de las características que definen una sequía.

Las componentes que se modelan son los déficits máximos, los cuales se encuentran asociados a cierta duración y tiempo de ocurrencia, además del número de sequías que pueden ocurrir en un año.

Las tres primeras componentes, de acuerdo con su naturaleza, se analizan mediante funciones de distribución de probabilidad para máximos; mientras que para el número de sequías k , se utiliza la función de distribución de Poisson:

$$f(x) = P(X = x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \dots\dots\dots(1.6)$$

Donde
 $\lambda = x$

Para el análisis de las frecuencias de eventos extremos máximos se pueden utilizar, métodos estadísticos para determinar déficits máximos, asociados a períodos de retorno.

En general, los métodos estadísticos consisten en suponer que los déficits máximos anuales, aforados en una cuenca o bien los déficits mayores que tienen un valor limite, son una muestra aleatoria de una población de déficits máximos.

El primer paso consiste en suponer una función teórica de distribución de probabilidad, para posteriormente estimar los parámetros de esa distribución, tratando de lograr el mejor ajuste entre los datos observados y los obtenidos a partir de la estimación teórica. Desde luego, la aproximación de los déficits

máximos que se predicen, para cada periodo de retorno, dependen de la longitud del periodo histórico de registro.

Dentro de las distribuciones de probabilidad más usadas en la estimación de eventos extremos hidrológicos, pueden destacarse: la distribución de Gumbel tipo II, la de Pearson III o la gama de tres parámetros, la log Pearson y la distribución Gumbel. Para cada estación de aforos considerada, deben probarse todas para encontrar la distribución que mejor se apegue a los datos observados.

Una vez establecido lo anterior, se procede a estimar los parámetros de la distribución. Esto puede hacerse mediante el método de momentos, el método de la máxima verosimilitud o minimizado el error cuadrático medio, en la estimación de la función de distribución.

En general, cualquiera que sea la distribución utilizada, los métodos estadísticos aplicados en forma individual en una estación de aforo pueden conducir a grandes errores cuando se usan para hacer inferencias para periodos de retorno muchas veces mayores que el periodo de registro disponible.

Con el objeto de aumentar la confiabilidad de los métodos estadísticos, se recomienda que se hagan análisis regionales de déficits máximos anuales en regiones homogéneas a la cuenca en estudio. Dependiendo del número de estaciones año disponibles, las inferencias resultan mucho más confiables.

Dado el estado actual de la técnica relativa al tema, parece ser más importante que el desarrollo de nuevos métodos, tratar de ordenar lo hecho hasta la fecha, para facilitar su comprensión y con ello su uso.

1.7.5.- Distribuciones de Probabilidad aplicadas a la hidrología.

Uso de funciones de probabilidad para estimar la magnitud de eventos extremos asociados con períodos de retorno, con base en la información disponible en las estaciones climatológicas o hidrométricas.

1.7.5.1.- Funciones de probabilidad.

Hay dos tipos de funciones de probabilidad:

Funciones discretas: cuando el número de valores x que puede tomar una variable aleatoria x es finito, se dice que la variable aleatorias x es discreta (por ejemplo, el arrojar un dado).

Funciones continuas: cuando el número de valores x que puede tomar una variable aleatoria x es infinito se dice que dicha variable aleatoria es continua.

Por su naturaleza, a la hidrología le interesa estudiar a las funciones continuas de probabilidad, ya que los eventos ocurrentes no tienen un intervalo finito. (por ejemplo los volúmenes de escurrimiento mensual de un río.)

1.7.5.2.- Funciones continuas de probabilidad.

Cuando el número de valores que puede tomar una variable aleatoria x es infinito, se dice que dicha variable aleatoria es continua, y la función que describe su comportamiento se llama función de densidad de probabilidad.

En la función densidad, la probabilidad de que una variable aleatoria continua tome un valor exacto es cero. $p(x = x) = 0$. Sólo es posible hablar de probabilidades diferentes a cero para intervalos finitos.

$$P(a \leq X \leq b) \neq 0,$$

$$a < b,$$

$$a > x_0,$$

$$b < x_1$$

(x_1, x_0) es el intervalo de definición de la variable aleatoria x . Si se desea conocer la probabilidad de que una variable aleatoria continua x tome un valor menor o igual que x se tiene:

$$F(x) = P(X \leq x)$$

En términos de densidad de probabilidad $f(x)$:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$$

Sin embargo se debe cumplir que

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

Y para encontrar la probabilidad de que una variable aleatoria continua x tome un valor entre a y b :

$$P(a \leq X \leq b) = P(X \leq b) - P(X \leq a)$$

$$P(a \leq X \leq b) = \int_{-\infty}^b f(x)dx - \int_{-\infty}^a f(x)dx = F(b) - F(a) \dots\dots\dots(1.7)$$

1.7.5.3.- Periodo de retorno.

Cada espacio muestral tiene su propia función de distribución o de densidad de probabilidad, que normalmente no se conoce a priori. Cuando de ese espacio se extrae un grupo de datos (muestra) al azar, es razonable esperar que su función de distribución de probabilidad sea similar a la del espacio completo; en particular, si la muestra es grande. Además, lo más razonable que se puede suponer, en cuanto a la frecuencia de cada dato del grupo, es que ésta sea, dentro del espacio muestral, igual a la observada.

El período de retorno o intervalo de recurrencia, t , se define como el tiempo promedio en el cual un evento de cierta magnitud va a ser igualado o superado por lo menos en una ocasión.

Si p es la probabilidad, entonces:

$$T = \frac{1}{P}$$

La probabilidad de que el evento no ocurra sería entonces:

$$(1 - P) = 1 - \frac{1}{T}$$

La probabilidad de que no ocurra en n años de la vida útil del proyecto sería

$$\left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Y la probabilidad de que ocurra el evento en n años o el riesgo de que se presente es:

$$\left\{1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n\right\}$$

Cuando se tiene una lista de datos ordenados en forma decreciente con respecto al evento, el período de retorno se puede calcular como:

$$T = \frac{n + 1}{m} \dots\dots\dots(1.8)$$

donde:

n = número de datos.

m = número consecutivo de la lista para dicho evento.

Una vez que se asigna un período de retorno al evento extremo que se está analizando, es necesario hacer extrapolaciones a partir de los datos extremos anuales que se hayan registrado.

Esas extrapolaciones se logran mediante el uso de funciones de distribución de probabilidad, aquellas que más se ajusten a los registros con los que se cuenta.

1.7.5.4.- Funciones de Distribución de Probabilidad más usadas en hidrología.

1. Normal
2. Lognormal
3. Pearson III
4. Gumbel
5. Exponencial con parámetros β y X_0
6. Gamma

1.7.5.5.- Distribución normal.

Esta función es muy utilizada, debido a que numéricamente es muy sencilla de manejar. Sin embargo, en los fenómenos hidrológicos, las variables más comunes tienen una función de distribución asimétrica y con límite inferior acotado por lo que la distribución normal pocas veces se ajusta a los datos históricos. Otra ventaja de esta función de distribución es que el resultado de cualquier combinación lineal de variables independientes, con distribución normal, resulta en otra distribución del mismo tipo.

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

y la función de distribución de probabilidad normal como::

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$$

Donde:

x = variable aleatoria.

μ = media de la población.

σ = desviación estándar de la población.

μ = parámetro de ubicación

σ = parámetro de escala

Estimadores por momentos y máxima verosimilitud

$$\mu = \bar{x}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Estimación de eventos

$$x_t = \mu + \sigma U_T \dots\dots\dots(1.9)$$

Donde:

U_T es la variable definida de acuerdo con la expresión.

Para resolver esta función se recurren a métodos numéricos para evaluarla, y para hacer esto más sencillo se ha asignado como variable estandarizada:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

que está normalmente distribuida con media cero y desviación estándar unitaria. así la función principal queda como:

$$F(x) = F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{2\Pi} e^{-z^2/2} dz \dots\dots\dots(1.10)$$

hay dos maneras de estimar $f(z)$, una es mediante una tabla que se ha publicado de dicha ecuación. y la segunda es mediante fórmulas aproximadas, la función de densidad $f(z)$ se aproxima como:

$$f(z) = (a_0 + a_1 z^2 + a_2 z^4 + a_3 z^6)^{-1}$$

donde:

- $a_0 = 2.490895$
- $a_1 = 1.466003$
- $a_2 = -0.024393$
- $a_3 = 0.178257$

Y la función de distribución sería la siguiente

$$f(z) = h(z), \quad z > 0$$

$$f(z) = 1 - h(z), \quad z < 0$$

donde:

$$H(z) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} (b_1 q + b_2 q^2 + b_3 q^3) \dots \dots \dots (1.11)$$

Siendo:
$$q = \frac{1}{1 + b_0 |z|}$$

$b_0 = 0.33267, b_1 = 0.43618, b_2 = -0.12017, b_3 = 0.93730$

1.7.5.6.- Distribución Lognormal.

Si los logaritmos de una variable tienen distribución normal, entonces la variable tiene distribución log normal. Esta función es también fácil de manejar numéricamente y, además, es asimétrica y acotada inferiormente, por lo que se ajusta a muchas variables asociadas a fenómenos hidrológicos. La principal desventaja en su utilización es que la suma de variables aleatorias con distribución log normal tiene una función de distribución que no es log normal.

En esta función, los logaritmos naturales de la variable aleatoria se distribuyen normalmente.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta} \right)^2} \dots \dots \dots (1.12)$$

donde α y β son parámetros de la distribución, y por lo tanto son la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria. la función de distribución de probabilidad es:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n}$$

$$\beta = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (1.13)$$

la distribución de probabilidad:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{2\pi} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta} \right)^2} dx \dots \dots \dots (1.14)$$

al igual que en la distribución normal, se le asigna a "z" los siguientes valores:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta} \dots \dots \dots (1.15)$$

1.7.5.7.- Distribución Gumbel.

Supóngase que se tienen n muestras, cada una con n eventos. Si se selecciona el máximo x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que aumenta n, la función de probabilidad de x tiende a:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-v}{\alpha}}}$$

la función de densidad de probabilidad es entonces:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-v}{\alpha}} e^{-\frac{x-v}{\alpha}} \quad -\infty < x < \infty, \alpha > 0$$

donde:

- v parámetro de ubicación
- α parámetro de escala

La variable reducida Gumbel es:

$$y_i = \frac{x_i - v}{\alpha}$$

Estimadores por momentos:

$$\begin{aligned} v &= x - 0.45 S \\ \alpha &= \frac{\sqrt{6}}{\pi} S = 0.78 S \dots\dots\dots(1.16) \end{aligned}$$

para muestras relativamente pequeñas

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S} \qquad \beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

donde σ_y y μ_y se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Parámetros para muestras pequeñas de la distribución Gumbel.

n	μ_y	σ_y		n	μ_y	σ_y
10	0.4952	0.9496		60	0.5521	1.1747
15	0.5128	1.0206		65	0.5535	1.1803
20	0.5236	1.0628		70	0.5548	1.1854
25	0.5309	1.0914		75	0.5559	1.1898
30	0.5362	1.1124		80	0.5569	1.1938
35	0.5403	1.1285		85	0.5578	1.1974
40	0.5436	1.1413		90	0.5586	1.2007
45	0.5463	1.1518		95	0.5593	1.2037
50	0.5485	1.1607		100	0.5600	1.2065
55	0.5504	1.1682				

Distribución exponencial con parámetros β y X_0

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)}$$

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)}$$

donde:

X_0 parámetro de ubicación
 β parámetro de escala

Estimados por momentos.

$$\beta = S$$

$$x_0 = x - S$$

Estimadores por máxima verosimilitud.

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{(1)})}{n - 1} \dots\dots\dots(1.17)$$

$$x_0 = x_{(1)} - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{(1)})}{n - 1} \dots\dots\dots(1.18)$$

donde:

$x_{(1)}$ primer valor de la muestra ordenada de menor a mayor.

Distribución Gamma con dos parámetros

$$F(x) = \int_0^x \frac{x^{\beta-1} e^{-x/\alpha}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} dx \dots\dots\dots(1.20)$$

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1} e^{-x/\alpha}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)}$$

$0 \leq x < \infty$
 si $\alpha > 0 \rightarrow \gamma > 0$
 $\gamma > 0$

donde:

- α parámetro de escala
- β parámetro de forma
- $T(\beta)$ función Gamma completa

Estimadores por momentos.

$$\alpha = \frac{S^2}{X}$$

$$\beta = \left(\frac{X}{S}\right)^2$$

Estimadores por máxima verosimilitud.

$$\alpha = \frac{x}{\beta}$$

El estimador β se obtiene al resolver.

$$F(\beta) = \mu_y - \ln(\mu_x) + \ln(\beta) - \psi(\beta) = 0$$

Empleado como valor inicial del parámetro β

$$\beta = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3}C}}{4C}$$

$$C = \ln(x) - y$$

La derivada de la ecuación es:

$$F'(\beta) = \frac{1}{\beta} - \psi'(\beta)$$

La aproximación de la función digamma de β es:

$$\psi(\beta) = \ln(\beta + 2) - \frac{1}{2(\beta + 2)} - \frac{1}{12(\beta + 2)^3} + \frac{1}{120(\beta + 2)^5} - \frac{1}{252(\beta + 2)^7} - \frac{1}{(\beta + 1)} - \frac{1}{\beta} \dots (1.20)$$

La aproximación de la función trigamma de β es

$$\psi(\beta) = \frac{1}{(\beta+2)} + \frac{1}{2(\beta+2)^2} + \frac{1}{6(\beta+2)^3} - \frac{1}{30(\beta+2)^5} + \frac{1}{42(\beta+2)^7} - \frac{1}{30(\beta+2)^9} + \frac{1}{(\beta+1)^2} + \frac{1}{\beta^2} \dots (1.21)$$

Estimación de eventos

$$X_T \approx \alpha\beta \left\{ 1 - \frac{1}{9\beta} + U_T \sqrt{\frac{1}{9\beta}} \right\}^3 \dots (1.22)$$

donde:

U_T es la variable definida de acuerdo con la expresión

1.7.6.- Técnicas de regresión lineal múltiple.

Múltiples aplicaciones del análisis de regresión involucran situaciones donde se tiene más de una variable de regresión. Un modelo de regresión que contiene más de una variable aleatoria recibe el nombre de modelo de regresión múltiple.

Como ejemplo, supóngase que la variable dependiente “y” depende de las v.a. “ x_1, x_2 ” Un modelo de regresión múltiple que puede describir esta relación es el siguiente.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \epsilon \dots (1.23)$$

Donde Y representa la v.a. dependiente; x_1 , y x_2 , las variables independientes, y ϵ es un término de error aleatorio. Éste es un modelo de regresión lineal múltiple con dos regresores. Se utiliza el término lineal porque la ecuación 1.23 es una función lineal de los parámetros desconocidos β_0 , β_1 y β_2 .

El modelo de regresión de la ecuación 1.24 describe un plano en el espacio tridimensional formado por Y, x_1 y x_2 , el parámetro β_0 es la intersección del plano. En ocasiones, los parámetros β_1 y β_2 se conocen como coeficientes de regresión parciales, ya que β_1 mide el cambio esperado en Y por unidad de cambio en x_1 cuando x_2 se mantiene constante, y β_2 mide el cambio esperado en Y por unidad de cambio en x_2 cuando x_1 se mantiene constante.

En general, la variable dependiente o respuesta “y” puede estar relacionada con k variable independientes o regresores. El modelo se observa en la ecuación 1.24.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \dots (1.24)$$

Recibe el nombre de modelo de regresión lineal múltiple con k variables de regresión. Los parámetros β_j , $j = 0, 1, \dots, k$, se conocen como coeficientes de regresión. Este modelo describe un hiperplano en el espacio de dimensión k formado por las variables de regresión $\{x_j\}$. El parámetro β_j representa el cambio esperado en la respuesta Y por unidad de cambio en x_j cuando todos los demás regresores x_i ($i \neq j$) se mantienen constantes.

Frecuentemente los modelos de regresión lineal múltiple se emplean como funciones de aproximación. Esto es, se desconoce la verdadera relación funcional entre Y y x_1, x_2, \dots, x_k , pero sobre ciertos niveles de las variables independientes el modelo de regresión lineal constituye una aproximación adecuada.

Los modelos que tienen una estructura más compleja que la dada por la ecuación 1.25 con frecuencia pueden analizarse con las técnicas de la regresión lineal múltiple. Por ejemplo, considérese el modelo polinomial cúbico con una variable de regresión.

$$Y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \epsilon \dots\dots\dots(1.25)$$

Si se hace $x_1 = x$, $x_2 = x^2$, $x_3 = x^3$, entonces la ecuación 1.25 puede escribirse como

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \epsilon \dots\dots\dots(1.26)$$

Que es un modelo de regresión lineal múltiple con tres variables de regresión.

Los modelos que incluyen efectos de interacción también pueden analizarse con los métodos de la regresión lineal múltiple. Una interacción entre dos variables puede representarse en el modelo por un término formado por un producto cruzado, tal como

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2 + \epsilon \dots\dots\dots(1.27)$$

Si se hace $x_3 = x_1 x_2$ y $\beta_3 = \beta_{12}$, entonces la ecuación 1.27 puede escribirse como

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \epsilon \dots \dots \dots (1.28)$$

Que es un modelo de regresión lineal.

Cualquier modelo de regresión que es lineal en los parámetros (β) es un modelo de regresión lineal, sin importar la forma de la superficie que éste genera.

Como ejemplo, considérese el modelo de segundo grado con interacción

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \epsilon \dots \dots \dots (1.29)$$

Si se hace:

$$x_3 = x_1^2, x_4 = x_2^2, x_5 = x_1 x_2, \beta_3 = \beta_{11}, \beta_4 = \beta_{22} \text{ y } \beta_5 = \beta_{12},$$

Entonces la ecuación 1.29 puede escribirse como un modelo de regresión lineal múltiple de la siguiente manera ecuación 1.30 :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \epsilon \dots \dots \dots (1.30)$$

1.7.6.1.- Estimación de los parámetros por mínimos cuadrados.

El método de mínimo cuadrados puede emplearse para estimar los coeficientes de regresión del modelo lineal múltiple de la ecuación. Supóngase que se tienen disponibles $n > k$ observaciones, y sea x_{ij} la i -ésima observación o nivel de la variable x_j . Las observaciones son

$$(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, y_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{y} \quad n > k$$

Se acostumbra presentar los datos de una regresión múltiple en una tabla tal 1.2.

Cada observación $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, y_i)$, satisface el modelo de la ecuación, es decir

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i$$

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \epsilon_i \dots\dots\dots(1.31)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

La función de mínimos cuadrados es

$$L = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2$$

$$Y = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij})^2 \dots\dots\dots(1.32)$$

El siguiente paso es minimizar L con respecto a $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$. Las estimaciones de mínimos cuadrados de $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ deben satisfacer

$$\left. \frac{\partial L}{\partial \beta_0} \right|_{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_j x_{ij}) = 0 \dots\dots\dots(1.33)$$

Tabla 1.2. Datos para la regresión lineal múltiple.

y	x ₁	x ₂	...	x _k
y ₁	x ₁₁	x ₁₂	...	x _{1k}
y ₂	x ₂₁	x ₂₂	...	x _{2k}
⋮	⋮	⋮		⋮
y _n	x _{n1}	x _{n2}	...	x _{nk}

y

$$\left. \frac{\partial L}{\partial \beta_j} \right|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_j x_{ij}) x_{ij} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, k \dots\dots\dots(1.34)$$

Después de simplificar las ecuaciones 1.33 Y 1.34, se obtiene las ecuaciones normales de mínimos cuadrados.

$$\begin{aligned}
 n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ik} &= \sum_{i=1}^n y_i \\
 \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n x_{i1} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik} &= \sum_{i=1}^n x_{i1}y_i \\
 \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n x_{ik} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ik}^2 &= \sum_{i=1}^n x_{ik}y_i \dots\dots(1.35)
 \end{aligned}$$

Nótese que existe $p = k + 1$ ecuaciones normales, una para cada coeficiente de regresión desconocido. La solución de las ecuaciones normales son los estimadores de mínimos cuadrados de los coeficientes de regresión $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$. La solución de las ecuaciones 11 normales puede obtenerse con cualquier método apropiado para la solución de las ecuaciones normales puede obtenerse con cualquier método apropiado para la solución de sistemas de ecuaciones lineales.

1.7.6.2.- Enfoque matricial para la regresión lineal múltiple.

Al ajustar un modelo de regresión múltiple es mucho conveniente expresar las operaciones matemáticas en forma matricial. Supóngase que existen k variables de regresión y n observaciones $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, y_i), i = 1, 2, \dots, n$, y que el modelo que relaciona los regresores con la respuesta es la ecuación 1.36:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i, \quad i=1,2,\dots,n \dots\dots\dots(1.36)$$

Este modelo es un sistema de n ecuaciones que puede expresarse en notación matricial como

$$\begin{aligned}
 Y &= X\beta + \epsilon \dots\dots\dots(1.37) \\
 y &= \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad y \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$

En general, y es un vector de observaciones de $(n \times 1)$, X es una matriz $(n \times p)$ de los niveles de las variables independientes, β es un vector de $(p \times 1)$ formado por los coeficientes de regresión y ϵ es un vector de $(n \times 1)$ de errores aleatorios.

Se desean encontrar el vector de estimadores de mínimos cuadrados, $\hat{\beta}$, que minimiza:

$$L = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \epsilon' \epsilon = (y - X\beta)'(y - X\beta) \dots\dots\dots(1.38)$$

El estimador de mínimos cuadrados $\hat{\beta}$ es la solución para en las ecuaciones:

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} = 0$$

las ecuaciones resultantes que es necesario resolver son:

$$X' X \hat{\beta} = X' y \dots\dots\dots(1.39)$$

Las ecuaciones 1.39 son las ecuaciones normales de mínimos cuadrados en forma matricial, y son idénticas a la forma escalar que se dio para ellas en las ecuaciones 1.35.

Para resolver las ecuaciones normales se multiplican ambos miembros de las ecuaciones 1.39 por la inversa de $X' X$. Por consiguientes, el estimador de mínimos cuadrados de β es:

$$\hat{\beta} = (X' X)^{-1} X' y \dots\dots\dots(1.40)$$

Nótese que existen $p = k + 1$ ecuaciones normales y $p = k + 1$ incógnitas (los valores de $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$). Por otra parte, a menudo la matriz $X' X$ es no singular, tal como se supuso anteriormente, de modo que pueden emplearse los métodos para invertir matrices descritos en los textos sobre determinantes y matrices al hallar $(X' X)^{-1}$. En la práctica, los cálculos de la regresión lineal múltiple siempre se realizan con el empleo de una computadora.

Es fácil ver que la forma matricial de las ecuaciones normales es idéntica a la forma escalar. Al escribir la ecuación 1.41 con detalle, se obtiene.

$$R^2 = \frac{SS_R}{S_{yy}} = 1 - \frac{SS_E}{S_{yy}} \dots\dots\dots(1.41)$$

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ik} \\ \sum_{i=1}^n x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ik} & \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ik}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{i1}y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ik}y_i \end{bmatrix}$$

Si se efectúa la multiplicación matricial indicada, se obtiene la forma escalar de las ecuaciones normales (esto es, la ecuación 1.35). De esta manera es fácil ver que $X'X$ es una matriz simétrica de $(p \times p)$, y que $X'y$ es un vector columna de $(p \times 1)$. Nótese la estructura especial que tiene la matriz $X'X$. Los elementos de la diagonal de $X'X$ son las sumas de los cuadrados de los elementos en las columnas de X , mientras que los elementos que están fuera de la diagonal son las sumas de los elementos de $X'y$ son las sumas de los productos cruzados de las columnas de X y las observaciones $\{y_i\}$.

El modelo de regresión ajustado es

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_j x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(1.42)$$

La forma matricial de este modelo es

$$\hat{y} = X\hat{\beta} \dots\dots\dots(1.43)$$

La diferencia entre la observación y_i es un residuo, $e_i = y_i - \hat{y}_i$. El vector de residuos de $(n \times 1)$ se denota como

$$e = y - \hat{y} \dots\dots\dots(1.44)$$

1.7.6.3.- Medidas de adecuación del modelo.

Pueden emplearse varias técnicas para medir la adecuación de un modelo de regresión lineal múltiple. En esta sección se presentan varias de estas técnicas.

1.7.6.4.- Coeficiente de determinación múltiple.

El coeficiente de determinación múltiple R^2 está definido como R^2 , y es una medida de la magnitud de la reducción en la variabilidad de y obtenida mediante el ejemplo de las variables de regresión x_1, x_2, \dots, x_k . Al igual que en el caso de la regresión lineal simple, se tiene que $0 \leq R^2 \leq 1$. Sin embargo, un valor grande de R^2 no necesariamente implica que el modelo de regresión sea bueno. La adición de una variable al modelo siempre aumenta R^2 , sin importar si la variable es o no estadísticamente significativa. Es así como los modelos que tienen valores de R^2 grandes pueden proporcionar predicciones pobres de nuevas observaciones o estimaciones de la respuesta promedio.

La raíz cuadrada positiva de R^2 recibe el nombre de coeficiente de correlación múltiple entre “ y ” y el conjunto de variables de regresión x_1, x_2, \dots, x_k . Esto es, R es una medida de la asociación lineal que existe entre “ y ” y x_1, x_2, \dots, x_k . Cuando $k = 1$, éste se convierte en la correlación simple entre “ y ” y “ x ”.

1.7.7.- Técnica de correlación y regresión múltiple.

Las características en la frecuencia de los eventos máximos anuales pueden expresarse en términos de algunos índices geomorfológicos y/o factores climatológicos de la cuenca. La dependencia o independencia de las variables se estima para cada sitio aforado mediante un proceso de correlación y regresión discriminante, donde la aportación de cada variable independiente se prueba hasta lograr un modelo de regresión, en el cual todas las variables que en él intervengan sean estadísticamente significativas para la estimación de la variable dependiente analizada. En la práctica, el número de variables independientes no debe exceder aproximadamente un tercio del número de observaciones. Por lo tanto, se debe tener cuidado de no arriesgar la confiabilidad de la estimación de los coeficientes, por incluir variables de más.

El modelo de regresión puede ser del tipo

$$Y = a + b_1X_1 + \dots + b_sX_s$$

o también

$$Y = aX_1^{b_1}, X_2^{b_2}, \dots, X_s^{b_s}$$

Donde:

Y variable dependiente
 X_k características fisiográficas y/o climatológicas ($k = 1, \dots, s$)
 a, b_k conjunto de parámetros a estimarse de los datos

La secuencia de cálculo es la siguiente:

Paso 1. Recabar la información sobre los eventos por ser analizados en cada una de las estaciones de la región, así como la determinación de sus características fisiográficas y climatológicas.

Paso 2. Probar dentro de la región analizada la homogeneidad de las series de datos. Para este propósito se emplean las pruebas estadísticas:

- de homogeneidad.
- de Helmer.
- “t” de Students
- de Cramer.

Paso 3. Se obtienen los estadísticos muestrales de las series para $j = 1, \dots, ms$.

Media.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots(1.45)$$

Varianza sesgada.

$$S_{sesg}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \dots\dots\dots(1.46)$$

Coefficiente de asimetría sesgado.

$$g_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(S_{sesg}^2)^{(3/2)}} \dots\dots\dots(1.47)$$

Coefficiente de curtosis sesgado.

$$k_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(S_{sesg}^2)^2} \dots\dots\dots(1.48)$$

Desviación estándar.

$$S = \sqrt{S^2} \dots\dots\dots(1.49)$$

Coefficiente de variación.

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} \dots\dots\dots(1.50)$$

Paso 4. Para cada serie j , se verifica mediante la prueba de Anderson, la independencia de eventos.

Paso 5. Para cada una de las series Q_i^j se ajustan las diferentes distribuciones de probabilidad para el análisis de máximos (Normal, Log normal con 2 y 3 parámetros, Gamma con 2 y 3 parámetros, LogPearson tipo III, Gumbel, General de Valores Extremos, Valores Extremos de dos Componentes y Gumbel Mixta), y se selecciona aquél que proporcione el mínimo error estándar de ajuste.

Paso 6. Una vez que se obtiene la distribución de mejor ajuste para cada uno de los sitios $j=1, \dots, m$, es posible calcular eventos Q_T^j para los períodos de retorno $T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500$ y 1000 años.

Paso 7. Para cada período de retorno analizado se plantea un sistema de ecuaciones.

$$Q_T = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4$$

Por ejemplo, si $T = 50$ años y se tienen seis sitios aforados y cuatro características fisiográficas el sistema es

$$\begin{aligned} Q_{50}^1 &= a + b_1A^1 + b_2E_c^1 + b_3L_{cp}^1 + b_4D_d^1 \\ Q_{50}^2 &= a + b_1A^2 + b_2E_c^2 + b_3L_{cp}^2 + b_4D_d^2 \\ Q_{50}^3 &= a + b_1A^3 + b_2E_c^3 + b_3L_{cp}^3 + b_4D_d^3 \\ Q_{50}^4 &= a + b_1A^4 + b_2E_c^4 + b_3L_{cp}^4 + b_4D_d^4 \\ Q_{50}^5 &= a + b_1A^5 + b_2E_c^5 + b_3L_{cp}^5 + b_4D_d^5 \\ Q_{50}^6 &= a + b_1A^6 + b_2E_c^6 + b_3L_{cp}^6 + b_4D_d^6 \end{aligned}$$

Paso 8. Para resolver el sistema de ecuaciones se debe recordar que las series involucradas deben ser Normales. Para probar esto se deberán obtener los estadísticos muestrales para cada una de las series del sistema. Si esto no se cumple se debe proceder a transformarlas, por ejemplo por Box-Cox.

Paso 9. Una vez que se plantea el sistema de ecuaciones normales, se debe realizar un análisis discriminatorio para determinar cuántas variables independientes deben incluirse finalmente en el modelo de regresión. Así, se podría tener una ecuación regional donde una de las cuatro variables iniciales no fue significativa para la estimación del evento para $T=50$ años.

$$Q_{50}^R = a + b_1A + b_2E_c + b_3D_d \dots \dots \dots (1.51)$$

Paso 10. Si se quiere obtener un evento Q_{50}^j en un sitio j que tiene escasa información, basta sustituir las características fisiográficas A^j , E_c^j y D_d^j en la ecuación regional obtenida en el paso anterior. Por el contrario, si se desea calcular el evento Q_{50}^e en un sitio no aforado (e) que esté dentro de la región, se deben obtener las características A^e , E_c^e y D_d^e y sustituirla en la misma ecuación.

Este procedimiento se deberá realizar tantas veces como períodos de retorno se analicen.

Una forma de simplificar el método consiste en considerar como variables dependientes los parámetros de la distribución característica de la región. Por ejemplo, si se tienen los mismos seis sitios y la distribución característica es del tipo Gumbel con parámetro de ubicación ν y escala α , entonces se tendrían que resolver los siguientes dos sistemas de ecuaciones normales.

$$\nu^1 = a + b_1 A^1 + b_2 E_c^1 + b_3 L_{cp}^1 + b_4 D_d^1$$

$$\nu^2 = a + b_1 A^2 + b_2 E_c^2 + b_3 L_{cp}^2 + b_4 D_d^2$$

$$\nu^3 = a + b_1 A^3 + b_2 E_c^3 + b_3 L_{cp}^3 + b_4 D_d^3$$

$$\nu^4 = a + b_1 A^4 + b_2 E_c^4 + b_3 L_{cp}^4 + b_4 D_d^4$$

$$\nu^5 = a + b_1 A^5 + b_2 E_c^5 + b_3 L_{cp}^5 + b_4 D_d^5$$

$$\nu^6 = a + b_1 A^6 + b_2 E_c^6 + b_3 L_{cp}^6 + b_4 D_d^6$$

$$\alpha^1 = a + b_1 A^1 + b_2 E_c^1 + b_3 L_{cp}^1 + b_4 D_d^1$$

$$\alpha^2 = a + b_1 A^2 + b_2 E_c^2 + b_3 L_{cp}^2 + b_4 D_d^2$$

$$\alpha^3 = a + b_1 A^3 + b_2 E_c^3 + b_3 L_{cp}^3 + b_4 D_d^3$$

$$\alpha^4 = a + b_1 A^4 + b_2 E_c^4 + b_3 L_{cp}^4 + b_4 D_d^4$$

$$\alpha^5 = a + b_1 A^5 + b_2 E_c^5 + b_3 L_{cp}^5 + b_4 D_d^5$$

$$\alpha^6 = a + b_1 A^6 + b_2 E_c^6 + b_3 L_{cp}^6 + b_4 D_d^6$$

Al resolver el sistema y verificando que las cuatro características son significativas para la estimación de la variable dependiente, en este caso los parámetros ν y α , se tendrían las ecuaciones regionales

$$\nu_R = a + b_1 A + b_2 E_c + b_3 L_{cp} + b_4 D_d$$

$$\alpha_R = a + b_1 A + b_2 E_c + b_3 L_{cp} + b_4 D_d$$

Así, ya sea que se requiera estimar un evento de diseño en una cuenca con escasa o nula información, solo será necesario sustituir las características fisiográficas y/o climatológicas en las ecuaciones regionales para obtener los parámetros de ubicación y escala de la distribución Gumbel.

Finalmente, basta sustituir estos valores en la expresión.

$$\bar{X}_T = \bar{\nu} - \bar{\alpha} \ln(-\ln(1 - 1/T)) \dots \dots \dots (1.52)$$

Para obtener un evento de cierto período de retorno.

2.- MÉTODO.

2.1.- Zona en estudio.

La región noreste del país, situada entre los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, tal como se muestra en la Figura 2.1.

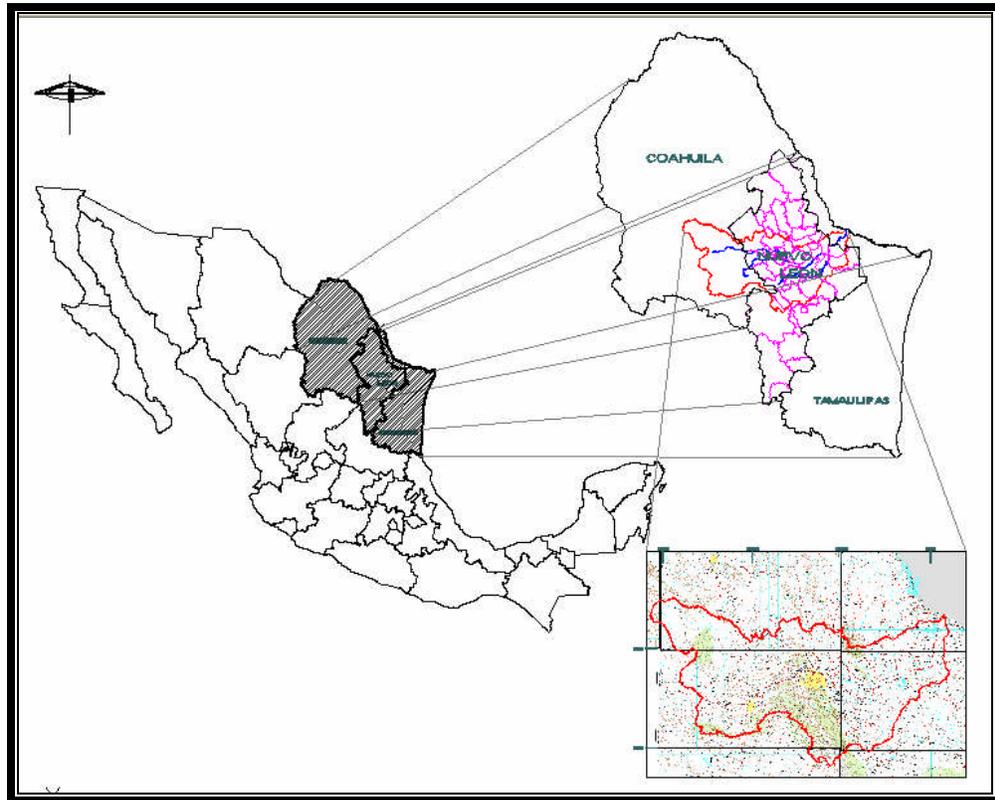


Figura 2.1. Mapa de ubicación de la zona en estudio (PLANO 1).

2.2.-Obtención de datos hidrométricos.

Para la obtención de los datos de hidrométrica, se buscó la información más cercana y oficial registrada en la zona de la cuenca del río San Juan. Se decidió usar los datos hidrométricos de Banco Nacional de datos de aguas Superficiales (BANDAS) información obtenida por la Comisión Nacional del agua (CNA) y El Instituto mexicano de tecnología del agua (IMTA), en esta base de datos se encuentra todos los datos del país tanto de hidrometría y arrastre se sedimentos hasta el año 1999.



Figura 2.2. Obtención de datos con el sistema de información de agua superficial.

Primeramente se ubicaron las estaciones hidrométricas involucradas en el área de estudio, región del río Bravo y específicamente la cuenca del río San Juan, encontrando 18 estaciones dentro de la cuenca, tales como: Icamole, Ciénega de Flores, El Canadá, Los Lermas, Monterrey, Cadereyta, La Arena, La Boca, La Boca II (Planta De Tratamiento), Los Herrera, Los Aldama, El Cuchillo, Las Enramadas, Las Brisas, Tepehuaje, Congregación Calles, Montemorelos y Raíces. Ubicándose cada una de estas estaciones en diferentes cauces principales de la cuenca del río San Juan, tales como los ríos: Río Salinas, Río Pesquería, Río San Juan, Río La silla, Río Santa Catarina, Río Pilón, Río el Blanquillo y Río Ramos.

Clave	Estación	Corriente	Cuenca
24026	SABINAS COAHUILA	RIO SABINAS	RIO SALADO
24378	PLANTA LA BOCA	APORTACIONES PRESA LA BOCA AGUA POTABLE CIUDAD DE MON	
24380	TUNEL TOPO CHICO	ACUEDUCTO MINA MONTERREY	RIO SAN JUAN
24383	LOS HERRERAS III	RIO PESQUERIA	RIO SAN JUAN
24384	MONTERREY II	RIO SANTA CATARINA	RIO SAN JUAN
24385	CALLES (CONGREGACION)	RIO BLANQUILLO	RIO RAMOS
24387	LOS LERMAS	RIO DE LA SILLA	RIO SANTA CATARINA
24388	PEGUIS	RIO CONCHOS	RIO BRAVO
24399	CANADA	RIO PESQUERIA	RIO SAN JUAN

Figura 2.3. Consulta de los datos hidrométricas de las estaciones de parte de la región del río Bravo.

Ya ubicadas las estaciones hidrométricas, se revisó el número de registros que tenía cada una de las estaciones, elaborando una tabla para visualizar los datos de cada una de ellas, tal como se muestra en la tabla 2.1.

Los datos obtenidos de la tabla son: el nombre de la estación, la clave de BANDAS, corriente, a que la sub-cuenca pertenece, las coordenadas, el número de datos registrados en cada estación, el área de la cuenca, el caudal máximo aforado y la profundidad en la zona de la estación.

Tabla 2.1. Registro de datos de las estaciones hidrométricas.

No. DE ESTACIONES	NOMBRE DE LA ESTACION	CLAVE	CORRIENTE	CUENCA	COORDENADAS (Grados)		COORDENADAS (NAD27)		PERIODOS DE DATOS	AREA DE LA CUENCA (Km ²)	CAUDAL MAXIMO AFORADO (M ³ /S)	PROFUNDIDAD MAXIMA (M)	CAUDAL PROMEDIO DE LOS DIAS AFORADOS (M ³ /S)
					LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE					
1	ICAMOLE	24291	RIO SALINAS	RIO PESQUERA	25°55'00"	100°44'00"	326390.23	2867642.751	de 01/02/1955 a 16/07/1955, de 19/07/1955 a 29/07/1955, de 02/08/1955 a 05/08/1955, de 13/08/1955 a 09/09/1955, de 01/10/1955 a 31/12/1956, de 01/03/1957 a 31/03/1957, de 01/07/1957 a 16/06/1958, de 21/06/1958 a 31/12/1988, de 02/03/1990 a 02/12/1998, de 01/01/1999 a 31/12/1999.	11438	291	3.45	0.977
2	CIENEGA DE FLORES	24087	RIO SALINAS	RIO PESQUERA	25°57'15"	100°10'25"	382494.978	2870972.426	de 01/01/1930 a 04/09/1933, de 14/11/1933 a 16/06/1983, de 01/07/1983 a 28/02/2000, de 01/03/2000 a 31/12/2000.	14653	2138	7.5	2.333
3	EL CANADA	24399	RIO PESQUERA	RIO SAN JUAN	25°48'00"	100°16'18"	372511.007	2853989.549	de 13/06/1975 a 30/07/1993, de 05/10/1994 a 31/12/1999.	1248	-	-	0.694
4	LOS LERMAS	24387	RIO LA SILLA	RIO SANTA CATARINA	25°40'48"	100°11'18"	38746.521	2840621.482	de 01/02/1973 a 31/12/1994.	169.4	251	3.62	2.085
5	MONTERREY	24198	RIO SANTA CATARINA	RIO SAN JUAN	25°40'15"	100°22'00"	362837.639	2839779.204	de 01/11/1940 a 31/12/1971.	1333	174	3.08	0.22
6	CADEREYTA	24327	RIO SANTA CATARINA	RIO SAN JUAN	25°35'25"	99°58'30"	402083.56	2830510.156	de 01/01/1982 a 30/10/1986, de 02/12/1986 a 02/12/1986, de 01/01/1986 a 30/11/1988, de 01/01/1989 a 28/02/1999, de 02/04/1999 a 31/12/1999.	1871	1082	5.7	2.891
7	LA ARENA	24326	RIO PESQUERA	RIO SAN JUAN	25°46'00"	99°58'00"	403063.325	2850038.029	de 01/01/1981 a 31/12/1994, de 02/06/1994 a 31/12/1996.	16505	623	5.46	3.588
8	LA BOCA	24271	RIO SAN JUAN	RIO BRAVO	25°26'30"	100°07'10"	387437.803	2811029.037	de 09/12/1954 a 31/12/1977, de 01/04/1978 a 31/12/1978, de 01/01/1980 a 16/09/1988, de 05/10/1988 a 31/12/1992, de 28/05/1995 a 31/12/1999.	269	116	8.4	3.899
9	LA BOCA II (Planta de tratamiento)	24378	RIO SAN JUAN	RIO BRAVO	25°24'48"	100°08'24"	385343.919	2811046.534	31/01/1972, 28/02/1972, de 15/03/1972 a 19/03/1972, de 22/03/1972 a 11/06/1972, 15/06/1972, de 20/06/1972 a 22/07/1972, de 24/07/1972 a 26/07/1972, de 31/07/1972 a 23/09/1974, de 01/10/1974 a 31/12/1974, de 01/01/1977 a 31/12/1977.	descarga de presa	-	canal de aforo de 2x1.3 con pendiente cero	0.435
10	LOS HERRERA	24196	RIO PESQUERA	RIO SAN JUAN	25°54'45"	99°21'05"	464807.039	2865878.764	de 01/01/1942 a 31/03/1957, de 01/01/1986 a 30/06/1986, de 19/07/1986 a 31/07/1988, de 02/10/1988 a 29/09/1990, de 02/08/1992 a 31/12/1992, de 09/08/1993 a 30/01/1994, de 02/06/1994 a 29/11/1995, de 01/01/1996 a 29/04/1999, de 14/07/1999 a 31/12/1999.	20023	1316	10.77	4.035
11	LOS ALDAMA	24351	RIO SAN JUAN	RIO BRAVO	26°01'25"	99°11'45"	480404.999	2878150.572	de 21/02/1967 a 31/12/1978, de 01/01/1980 a 16/04/1986, de 30/04/1986 a 02/07/1988, de 19/07/1988 a 01/12/1991, de 01/01/1992 a 10/03/1993, de 02/04/1993 a 31/12/1999.	30100	6749	23.75	34.385
12	CUCHILLO	24088	RIO SAN JUAN	RIO BRAVO	25°43'00"	99°15'30"	474084.382	2844171.134	de 01/01/1928 a 30/08/1932, de 01/01/1933 a 30/08/1933.	8794	6645	15	20.865
13	LAS ENRAMADAS	24335	RIO SAN JUAN	RIO BRAVO	-	-	-	-	de 16/05/1995 a 26/07/1995, de 12/10/1995 a 31/12/1999.	-	-	-	4.323
14	LAS BRISAS	24506	RIO PILON	RIO SAN JUAN	-	-	-	-	de 19/02/1981 a 30/11/1982, de 01/01/1983 a 31/12/1984, de 01/03/1985 a 30/11/1997, de 01/01/1998 a 01/12/1998, de 01/01/1999 a 04/12/1999.	-	-	-	3.735
15	TEPEHUAJE	24301	RIO SAN JUAN	RIO BRAVO	25°29'45"	99°46'00"	422946.425	2819914.177	de 23/06/1957 a 14/02/1967, de 17/05/1967 a 16/06/1981, de 01/07/1981 a 30/05/1987, de 07/06/1987 a 03/06/1988, de 23/06/1988 a 31/12/1999.	3594	2.18	10.05	11.452
16	CONGREGACION CALLES	24385	RIO BLANQUILLO	RIO RAMOS	25°13'12"	99°56'24"	416055.551	2789409.608	de 01/09/1972 a 09/09/1988, de 01/10/1988 a 04/12/1994, de 01/01/1995 a 17/05/1995, de 02/06/1995 a 04/12/1995, de 01/01/1996 a 01/12/1997, de 01/01/1998 a 05/12/1999.	176.9	317	-	1.376
17	MONTEMORE LOS	24192	RIO PILON	RIO SAN JUAN	25°10'45"	99°50'00"	416027.548	2784887.96	de 27/02/1940 a 20/03/1970, de 01/04/1970 a 31/12/1975, de 01/01/1979 a 30/08/1991, de 16/10/1991 a 17/08/1995, de 01/01/1996 a 30/10/1998, de 02/12/1998 a 31/12/1999.	1691	281	2.3	3.535
18	RAICES	24330	RIO RAMOS	RIO SAN JUAN	-	-	-	-	de 01/01/1967 a 13/03/1967, de 24/08/1967 a 31/12/1967, de 01/01/1969 a 09/02/1969, de 30/08/1969 a 25/04/1970, de 28/06/1970 a 04/07/1970, de 16/07/1970 a 20/12/1971, de 01/01/1972 a 28/02/1980, de 01/03/1980 a 30/05/1987, de 02/04/1988 a 29/04/1994.	-	-	-	3.071

2.2.1.- Datos extraídos del programa de Bandas.

Con los datos obtenidos se realizó un manejo de información, para extraer los caudales medios diarios de cada estación. Por ejemplo, se lista parte de la extracción de los datos de la estación Icamole, únicamente de 29 de junio de 1954 al 26 de julio de 1954. Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Ejemplo de extracción de datos de la estación Icamole.

ESTACION: ICAMOLE
CORRIENTE: RIO SALINAS
ESTADO: NUEVO LEON
24-500-106-0-00-H-550-19-0
CLAVES: (24291)
CUENCA: RIO BRAVO
REGION: BRAVO

QMD= CAUDAL MEDIO DIARIO

FECHA	CAUDAL MEDIO DIARIO M ³ /S
29 Jun 1954	18.08
30 Jun 1954	43.32
01 Jul 1954	0.713
02 Jul 1954	0.200
03 Jul 1954	0.058
04 Jul 1954	0.000
05 Jul 1954	0.000
06 Jul 1954	4.413
07 Jul 1954	0.378
08 Jul 1954	3.801
09 Jul 1954	3.468
10 Jul 1954	0.217
11 Jul 1954	0.000
12 Jul 1954	0.000
13 Jul 1954	0.030
14 Jul 1954	0.030
15 Jul 1954	0.297
16 Jul 1954	4.077
17 Jul 1954	0.351
18 Jul 1954	0.034
19 Jul 1954	0.000
20 Jul 1954	0.002
21 Jul 1954	0.275
22 Jul 1954	0.080
23 Jul 1954	0.740

También se realizó una gráfica por estación, de todos los datos obtenidos de las estaciones hidrométricas. Como ejemplo se muestra la gráfica de la estación Icamole, en la figura 2.4.

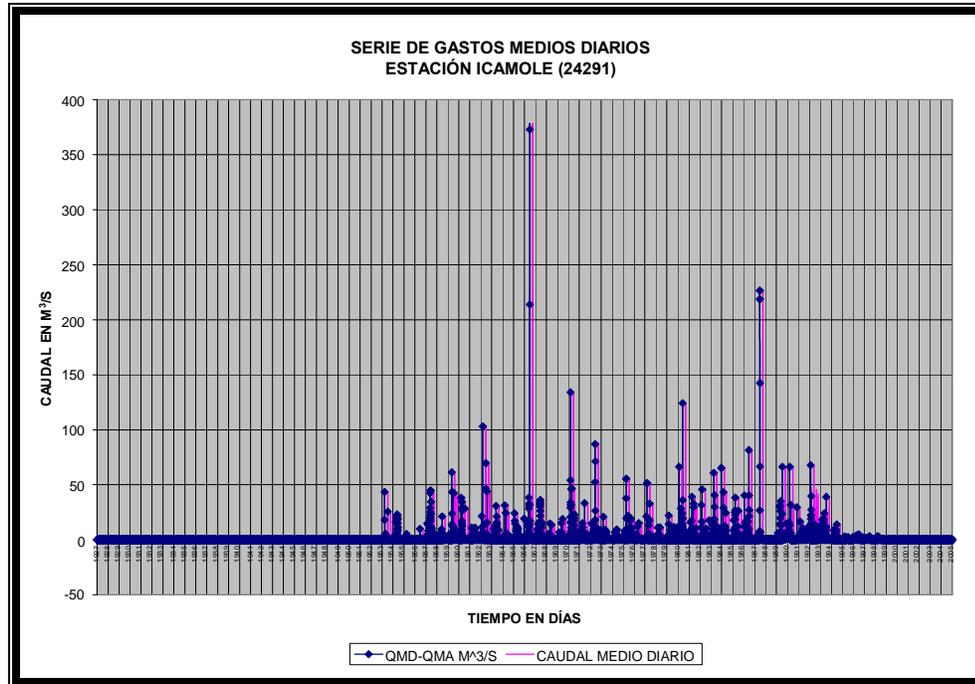


Figura 2.4. Caudales contra tiempo, de la estación Icamole.

2.2.2.- Elaboración de gráficas de caudal contra tiempo.

De cada estación se realizó la extracción de los datos para posteriormente realizar un promedio anual y determinar el déficit anual de cada una de las estaciones hidrométricas, graficando y obteniendo el volumen del déficit anual de cada estación como se observa en la figura 2.5.

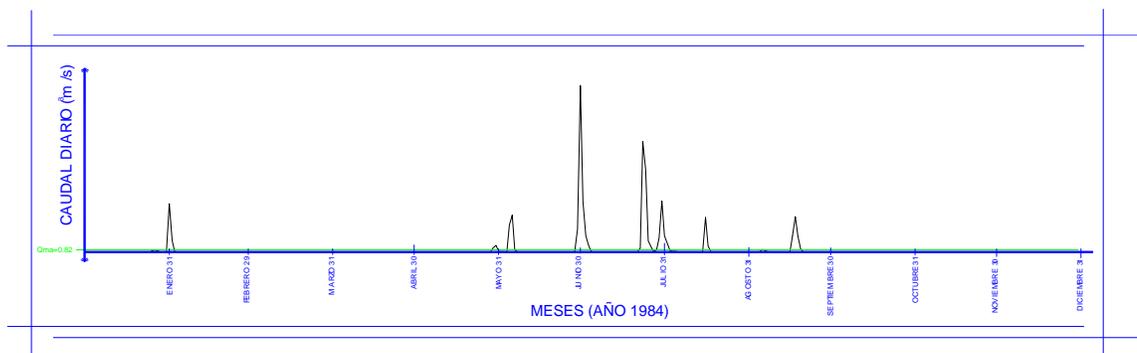


Figura 2.5. Gráfica del caudal contra el tiempo, del año 1984, de la estación Icamole.

2.2.3.- Justificación de la eliminación de varias estaciones.

Observando los registros de déficit de todas las estaciones hidrométricas se decidió eliminar algunas estaciones debido a que no tenía los suficientes años de registro, quedando únicamente con 13 estaciones, las cuales se listan en la tabla 2.3 a continuación.

Tabla 2.3. Estaciones Hidrométricas utilizadas.

- Estación Icamole
- Estación Ciénega de Flores
- Estación El Canadá
- Estación Los Lermas
- Estación Monterrey
- Estación Cadereyta
- Estación La Arena
- Estación La Boca
- Estación Los Herrera
- Estación Los Aldama
- Estación El Cuchillo
- Estación Tepehuaje
- Estación Montemorelos

Determinando el déficit de cada estación utilizada, partiendo del promedio anual de los datos obtenidos del programa del bandas, para posteriormente graficar por años cada estación y determinar el déficit en una forma gráfica directamente con el Autocad, en la figura 2.6 se muestra cómo se determinaron los datos.

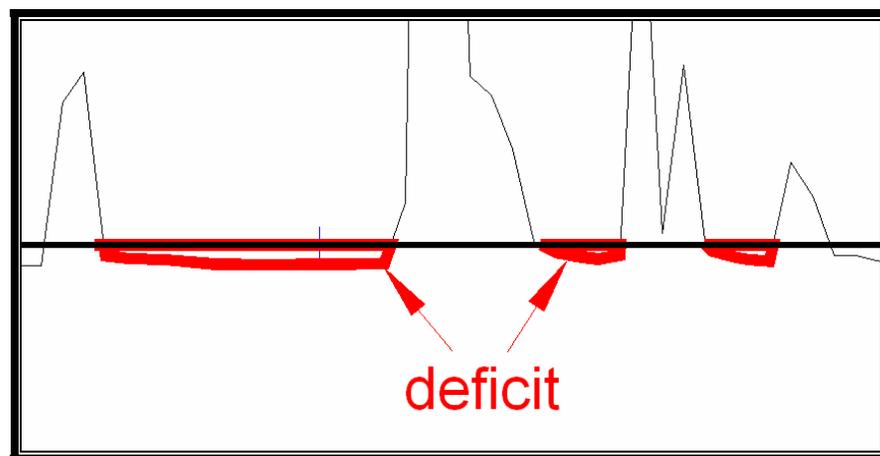


Figura 2.6. Gráfica en Autocad, donde se determinaron los déficits de cada estación.

Enseguida se muestra el listado de déficit obtenido de las estaciones hidrométricas utilizadas. Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Datos de déficit de todas las estaciones de la cuenca del San Juan.

1. ICAMOLE					2. CENEGA DE FLORES					3. EL CANADA					4. LOS LERMAS					5. MONTERREY				
M	Año	M'	LOG	TB	M	Año	M'	LOG	TB	M	Año	M'	LOG	TB	M	Año	M'	LOG	TB	M	Año	M'	LOG	TB
1	1963	182.89	2.30	23.00	1	1963	182.89	2.30	23.00	1	1963	182.89	2.30	23.00	1	1963	182.89	2.30	23.00	1	1963	182.89	2.30	23.00

6. CADEREYTA					7. LA ABASCA					8. LA BOCA					9. LOS HERREÑAS					10. LOS ALDAMAS				
M	Año	M'	LOG	TB	M	Año	M'	LOG	TB	M	Año	M'	LOG	TB	M	Año	M'	LOG	TB	M	Año	M'	LOG	TB
1	1963	182.89	2.30	23.00	1	1963	182.89	2.30	23.00	1	1963	182.89	2.30	23.00	1	1963	182.89	2.30	23.00	1	1963	182.89	2.30	23.00

11. CUCHILLO					12. TEPEHUAJE					13. MONTEMORELOS				
M	ANO	M	L	PP	M	ANO	M	L	PP	M	ANO	M	L	PP
1	1967	1983.21	3.20	47.00	1	1967	1983.73	3.19	44.00	1	1967	1983.01	3.18	48.00
2	1963	1954.03	3.28	33.50	2	1978	1897.45	3.55	22.00	2	1958	1903.63	3.12	29.00
3	1976	16616.22	4.20	22.31	3	1968	2344.87	3.52	14.02	3	1944	1627.59	3.05	16.33
4	1950	1170.77	4.06	16.75	4	1973	5659.13	3.75	11.00	4	1950	893.2	2.95	14.50
5	1973	10645.14	4.03	13.40	5	1988	4850.91	3.69	8.80	5	1981	809.26	2.91	11.60
6	1946	3626.05	3.85	13.47	6	1976	4266.76	3.68	2.53	6	1964	755.65	2.88	8.60
7	1955	1885	3.85	13.51	7	1983	3315.4	3.65	4.89	7	1971	655.99	2.81	6.50
8	1938	8463.31	3.83	8.38	8	1975	3144.05	3.60	5.50	8	1951	613.18	2.79	7.45
9	1950	7454.49	3.87	7.45	9	1981	3268.81	3.65	4.89	9	1947	579.01	2.76	6.44
10	1988	7270.36	3.86	6.70	10	1986	2584.02	3.47	4.50	10	1941	577.53	2.76	5.80
11	1951	3722.80	3.78	4.05	11	1989	2888.16	3.48	4.89	11	1976	625.42	2.76	2.81
12	1950	3750.00	3.78	4.05	12	1972	2875.02	3.48	4.89	12	1976	625.42	2.76	2.81
13	1975	5667.68	3.75	5.15	13	1985	2711.61	3.43	3.38	13	1965	548.79	2.74	4.48
14	1986	6364.60	3.73	4.75	14	1984	2842.01	3.43	3.14	14	1986	617.20	2.74	4.14
15	1951	6341.10	3.73	4.47	15	1970	2485.5	3.40	2.83	15	1948	615.08	2.71	3.87
16	1971	5364.23	3.72	4.19	16	1989	2490.84	3.40	2.75	16	1942	513.78	2.71	3.63
17	1980	4687.81	3.65	3.38	17	1968	2466	3.39	2.68	17	1968	512.1	2.71	3.41
18	1945	4401.36	3.64	3.72	18	1993	2163.4	3.32	2.24	18	1972	487.1	2.69	3.22
19	1972	1581.80	3.64	3.35	19	1984	2023.78	3.31	2.20	19	1998	483.58	2.68	3.05
20	1942	6360.80	3.64	3.38	20	1987	1979.97	3.30	2.30	20	1973	486.78	2.66	2.80
21	1968	4188.41	3.62	3.18	21	1977	1845.98	3.28	2.10	21	1974	488.75	2.65	2.78
22	1948	4158.01	3.62	3.05	22	1974	1917.68	3.28	2.00	22	1987	451.79	2.64	1.84
23	1936	4120.87	3.61	2.81	23	1978	1320.2	3.12	1.31	23	1984	408.2	2.63	2.52
24	193	4861.80	3.61	2.75	24	1988	1203.01	3.08	1.83	24	198	417.80	2.62	2.42
25	1983	4211.23	3.60	2.65	25	1990	990.16	3.05	1.78	25	1959	115.19	2.62	1.52
26	1981	3841.66	3.60	2.59	26	1999	978.31	2.99	1.69	26	1943	388.43	2.59	2.23
27	1947	3786.60	3.57	2.48	27	1986	978.29	2.99	1.63	27	1946	385.28	2.60	2.16
28	1987	3863.60	3.56	2.38	28	1984	864.41	2.94	1.67	28	1979	388.87	2.47	2.07
29	1977	3483.38	3.54	2.31	29	1991	850.05	2.93	1.52	29	1980	388.37	2.57	2.00
30	1946	3188.70	3.50	2.23	30	1987	843.18	2.93	1.47	30	1948	385.11	2.56	1.93
31	1960	3173.80	3.50	2.18	31	1987	806.72	2.93	1.42	31	1983	318.24	2.50	1.87
32	1980	3142.81	3.49	2.05	32	1982	758.5	2.87	1.48	32	198	417.80	2.62	1.81
33	1963	2897.77	3.48	2.05	33	1980	758	2.85	1.33	33	1954	326.28	2.48	1.78
34	1986	2882.66	3.47	1.97	34	1982	758.5	2.87	1.29	34	1986	270.1	2.43	1.71
35	1974	2866.60	3.47	1.88	35	1986	758.5	2.87	1.26	35	1946	385.28	2.60	2.16
36	1970	2879.78	3.46	1.86	36	1960	709.2	2.85	1.22	36	1992	257.7	2.41	1.61
37	1957	2813.62	3.45	1.81	37	1992	707.72	2.85	1.19	37	1982	288.13	2.39	1.57
38	1960	2618.60	3.42	1.79	38	1984	651.53	2.81	1.14	38	1988	277.2	2.39	1.53
39	1964	2424.18	3.38	1.72	39	1982	626.02	2.80	1.13	39	1960	247.17	2.39	1.49
40	1981	2188.61	3.34	1.68	40	1989	564.83	2.77	1.10	40	1987	233.88	2.30	1.45
41	1991	2150.69	3.33	1.63	41	1989	465.21	2.67	1.07	41	1996	480.5	2.38	1.41
42	1984	2052.81	3.31	1.60	42	1984	396.5	2.44	1.05	42	1940	340.25	2.38	1.38
43	1943	2051.18	3.31	1.56	43	1981	271.5	2.43	1.02	43	1989	250.13	2.38	1.35
44	1962	1903.87	3.29	1.50						44	1994	203.41	2.31	1.32
45	1993	1818.41	3.28	1.45						45	1986	80.69	2.30	1.28
46	1979	1742.58	3.28	1.45						46	1991	192.38	2.29	1.27
47	1955	1867.32	3.27	1.43						47	1963	196.54	2.29	1.23
48	1994	1820.80	3.26	1.42						48	1988	187.81	2.28	1.21
49	1984	1788.41	3.24	1.37						48	1981	182.38	2.26	1.14
50	1993	1742.07	3.24	1.34						50	1999	173.55	2.24	1.18
51	1998	1678.70	3.22	1.31						51	1965	168.20	2.22	1.14
52	1930	1608.87	3.14	1.29						52	1967	166.20	2.22	1.12
53	1980	1562.61	3.12	1.28						53	1964	162.80	2.21	1.12
54	1949	1214.37	3.08	1.23						54	1962	153.3	2.19	1.07
55	1980	1508.11	3.08	1.22						55	1950	143.80	2.16	1.05
56	1950	1173.80	3.07	1.20						56	1951	139.51	2.15	1.04
57	1992	1163.22	3.07	1.18						57	1949	137.18	2.14	1.02
58	1947	1147.84	3.06	1.16										
59	1950	1013.76	3.01	1.12										
60	1950	1013.76	3.01	1.12										
61	1950	982.70	2.98	1.09										
62	1985	940.71	2.97	1.08										
63	1952	736.85	2.87	1.06										
64	1982	708.74	2.86	1.05										
65	1956	521.31	2.72	1.03										
66	1950	200.98	2.48	1.06										

2.3.- Obtención de parámetros físicos de la cuenca.

Ubicadas las estaciones hidrométricas, se determinaron los parámetros físicos de la cuenca, tales como: área, longitud del cauce principal y la pendiente del cauce principal.

Se determinó primeramente el “parteaguas” que es la línea imaginaria del contorno de una cuenca hidrográfica, que la separa de las adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, en el sistema de cauces que fluyen hacia la salida de tal cuenca. Hasta el punto de todas las estaciones hidrométricas.

Se calculó el área de las cuencas, hasta el punto de cada estación hidrométrica, siendo esta área plana en proyección horizontal, encerrada por su parteaguas. Usualmente, el área se determino con un planímetro, o con apoyos cartográficos digitales y software de dibujo como Autocad o Arcview y se reporta en kilómetros cuadrados; excepto para las cuencas pequeñas, las cuales se expresan en hectáreas.

También se determinó la longitud o desarrollo longitudinal del cauce principal, que es también una magnitud característica útil y de efecto importante en la respuesta hidrológica, ya que en un río corto los efectos de la precipitación en la cuenca se hacen sentir más rápidamente que en un río largo. Este parámetro se determinó con apoyo de planos cartográficos digitales y software de dibujo como Autocad o Arcview.

Para la obtención de la pendiente del colector principal, también se utilizó apoyo de planos cartográficos digitales y software de dibujo como Autocad o Arcview. Para determinar dicho parámetro se utilizaron tres criterios para calcularlo: la pendiente, que se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de las ondas de la avenida y con la capacidad para el transporte de sedimentos. Los criterios que se analizaron fueron los siguientes y donde se utilizaron las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3:

- **CRITERIO SIMPLIFICADO.-** Este consiste en dividir el desnivel del cauce principal entre su longitud, esto es:

$$S = H / L \dots\dots\dots(2.1)$$

- **PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE.-** En este criterio, la pendiente promedio del cauce principal se obtiene por la pendiente de una línea recta que se apoya en el inicio o salida de la cuenca y tiene igual área arriba y abajo, respecto al perfil del cauce. Entonces la fórmula de este criterio será:

$$S = \overline{H} / L \dots\dots\dots(2.2)$$

- **FORMULA DE A.B. TAYLOR Y H.E. SCHWARZ.-** Estos autores desarrollaron una fórmula que permite obtener la pendiente promedio del cauce principal, como la pendiente de un canal uniforme que tiene igual longitud y tiempo de viaje, que el colector-principal de la cuenca. A continuación se deduce la ecuación.

$$S = \left(\frac{m}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_m}}} \right)^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

A continuación se muestra la figura 2.7 plano de INEGI donde se trabajo con los parámetros antes mencionados.

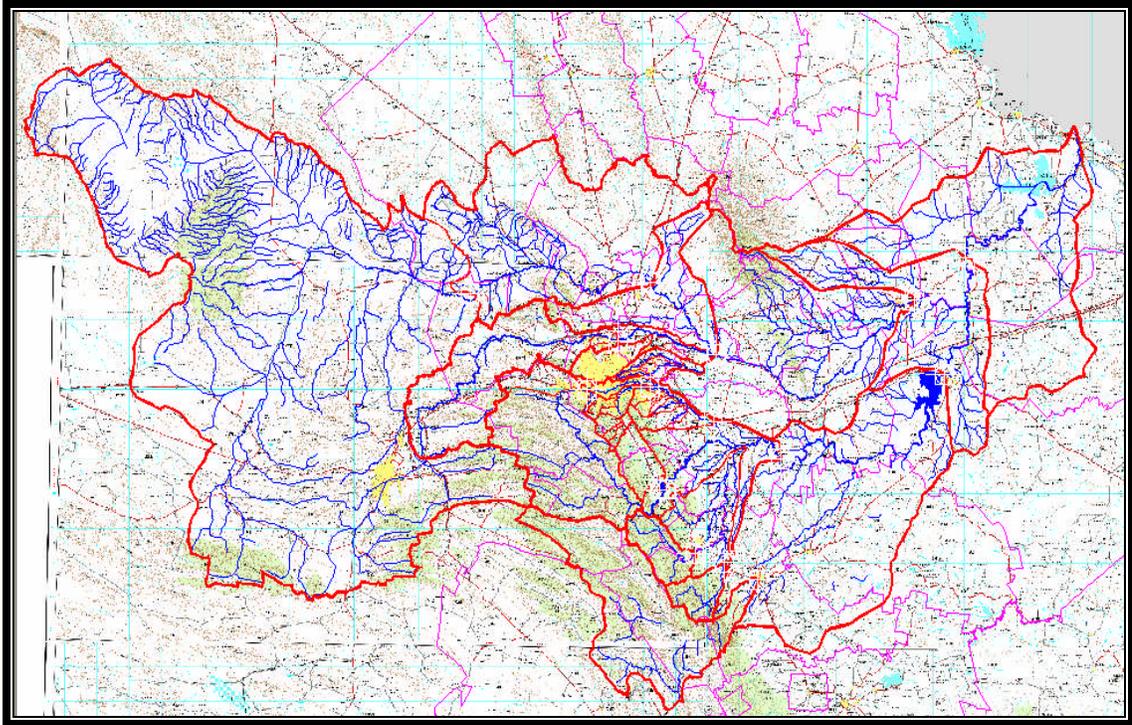


Figura 2.7. Planos de INEGI Escala 1:250,000 y el trazo de las cuencas a estudiar (PLANOS 3).

2.4.-Obtención de la precipitación media anual.

Para determinar el parámetro de la precipitación media anual de toda la cuenca del río San Juan, se utilizaron las Isoyetas de la República Mexicana, del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Se trazó la cuenca del río San Juan, sobre el plano de Isoyetas del INEGI, para poder determinar la precipitación media anual de cada una de las estaciones hidrométricas ver figura 2.8.

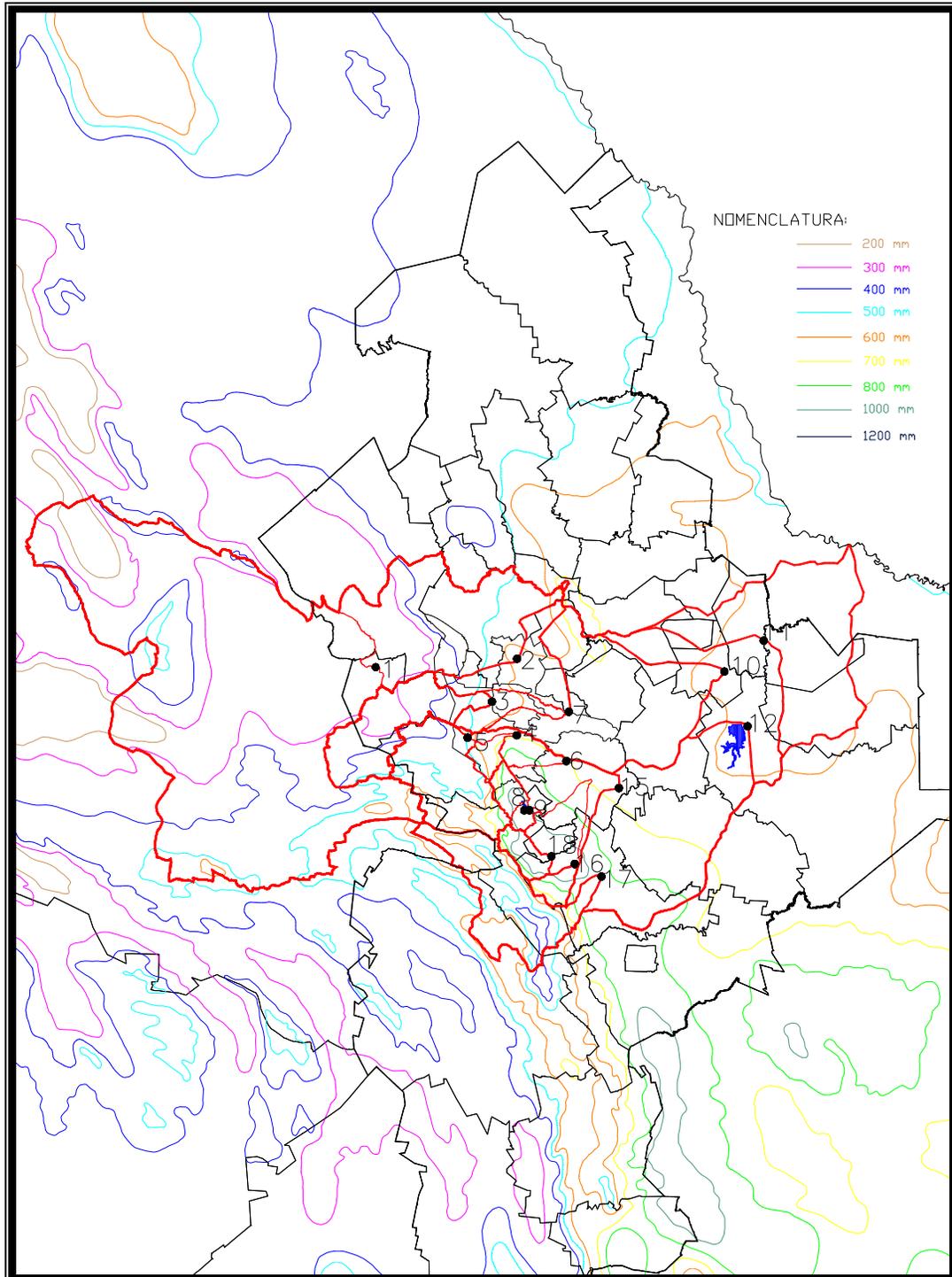


Figura 2.8. Plano de Isoyetas del INEGI, donde se ilustra la precipitación media anual (PLANO 4).

2.5.- Cálculo del número de curva para la cuenca del río San Juan.

El proceso de infiltración se define como el movimiento del agua a través de su superficie y hacia su profundidad. La razón de este movimiento son las fuerzas de capilaridad del suelo y la fuerza de gravedad. La infiltración es un componente importante del ciclo hidrológico, porque representa la porción mas considerable que reduce la diferencia entre el volumen que llueve y el que se escurre (Aparicio, 2006). En el presente estudio se utilizó el método del número de curva, desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS, 1986; Haan, *et. al.*, 1994) para estimar las características de escurrimiento de las sub-cuencas de la cuenca del Río Bravo-San Juan. La de referencia para la delimitación de la subcuenca fue la ubicación de la estación hidrométrica.

Este método fue propuesto para cuencas no aforadas y considera las características de la cuenca, particularmente sus variaciones edafológicas y de uso del suelo. El procedimiento de cálculo se inició con la delimitación de las sub-cuencas. En AutoCad se realizó esta delimitación de las cuencas hidrológicas utilizando la información de las curvas de nivel de la cartografía del INEGI. Los polígonos de las cuencas ya delimitadas se importaron a ArcView como punto de inicio para realizar el cálculo de número de curva (CN, por sus siglas en inglés), de cada una de las cuencas hidrológicas consideradas. En la presente sección se describe el procedimiento para este cálculo. (ecuación 2.4)

2.5.1.- Algoritmo de cálculo.

En términos generales, este método estima las características de infiltración-escurrimiento de la superficie, dependiendo de las características edafológicas del suelo y el tipo de uso sobre ese suelo. Este método considera el peso ponderado de cada combinación edafología-uso de suelo para una determinada área utilizando la siguiente relación:

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i * A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots(2.4)$$

donde:

- CN es el valor de número curva ponderado para cada cuenca.
- CN_i es el número de curva para cada polígono por uso y grupo de suelo.
- A_i es el área de cada polígono por uso y grupo de suelo.
- N es el número de polígonos de uso y grupo de suelo en la cuenca considerada.

2.5.2.- Información vectorial.

Para realizar la estimación del CN de la cuenca del Río Bravo – San Juan se utilizaron las siguientes cartas vectoriales de INEGI:

1. Carta edafológica 1:250,000 serie I. Esta carta se basa en la clasificación mundial de suelos FAO/UNESCO de 1968 la cual fue modificada y adaptada para el país por el CETENAL en 1970. La última actualización de esta carta se realizó en 1998.
2. Carta de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie II con captura en campo en el año 1998.

Para cubrir la totalidad de la cuenca del Río Bravo-San Juan se utilizaron siete cartas vectoriales para cada una de las coberturas. Estas cartas fueron las identificadas como G1306, G1404, G1405, G1407, G1408, G1410 y G1411 como se muestra en la figura 2.9.

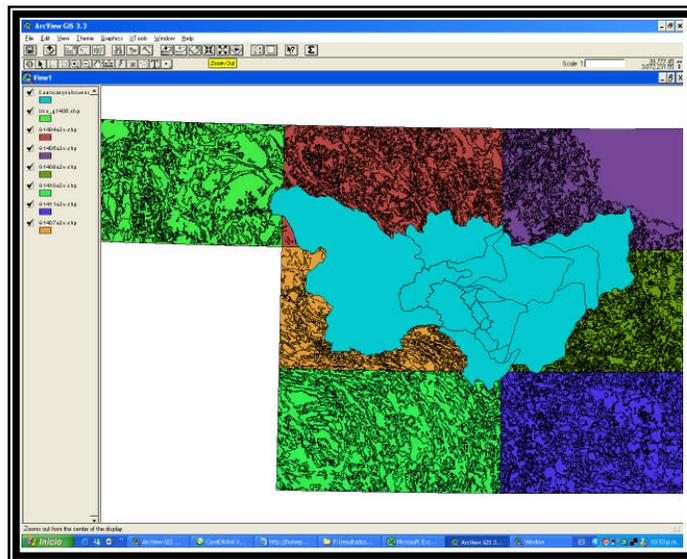


Figura. 2.9. Cobertura de las cartas vectoriales en escala 1: 250,000 en la cuenca del río Bravo – San Juan.

Estas cartas fueron utilizadas para alimentar un sistema de información geográfica el cual fue procesado utilizando el software ArcView 3.3 (ESRI, 2002).

Utilización de la carta edafológica.

La utilización del método inicia con la asignación de cada tipo de suelo presente en la cuenca a un grupo hidrológico de suelo (GHS). Esta asignación de tipo de suelo a GHS se base en función de las características de infiltración de cada suelo (SCS, 1986).

Tabla 2.5. Descripción de los grupos hidrológicos de suelos.

HGS	Características por Grupo de Suelo
A	Suelos con alto grado de infiltración aún cuando están inundados. Son suelos arenosos o gravosos profundos con de excelente a excesivo drenaje. Estos suelos presentan un alto grado de infiltración.
B	Suelos con un moderado grado de infiltración cuando están inundados. Son suelos de textura fina a media. Presentan un moderado grado de infiltración.
C	Suelos con un bajo grado de infiltración cuando están inundados. Son suelos que presentan capas impermeables o suelos de textura fina a muy fina.
D	Suelos con un grado de infiltración muy bajo cuando están inundados. Son suelos con alto contenido de arcilla y/o alto potencial de expansión, suelos con alto nivel freático de manera permanente, suelos con capas endurecidas de arcilla cerca de la superficie o suelos muy superficiales sobre un material rocoso. Estos suelos presentan muy bajo grado de infiltración.

A partir de las definiciones de los GHS presentadas en la tabla 2.5, se procedió a identificar y categorizar todos los suelos encontrados en la cuenca del Río Bravo-San Juan asignándoles el valor de GHS correspondiente. El resultado de esta categorización se presenta en la tabla 2.6 y su distribución en la cuenca en la figura. 2.10.

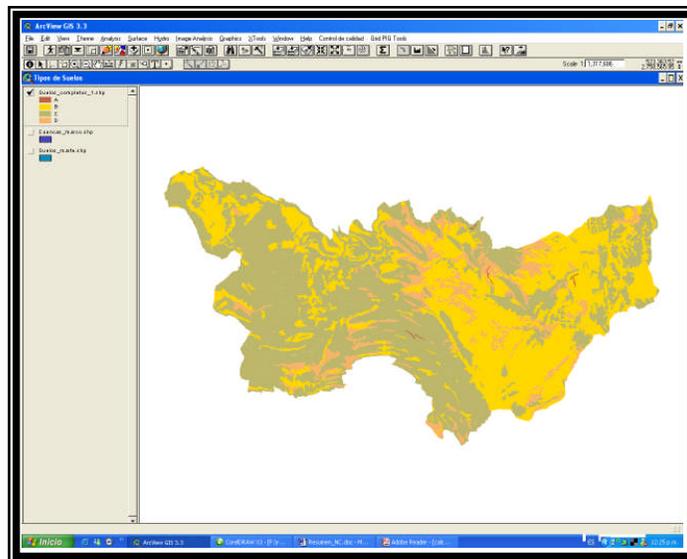


Figura 2.10. Distribución de los grupos hidrológicos de suelos en la cuenca del río Bravo–San Juan

Tabla 2.6. Grupos de suelos de la cuenca del río Bravo-San Juan con su correspondiente GHS.

GRUPO DE SUELO	UNIDAD	GHS
Rendzina	N/A	D
Vertisol	pelico	B
Vertisol	cromico	B
Chernozem	luvico	B
Cambisol	calcico	B
Cambisol	vértico	B
Luvisol	órtico	C
Luvisol	cromico	B
Luvisol	calcico	C
N/A	N/A	D
Feozem	haplico	B
Feozem	calcarico	B
Feozem	luvico	B
Xerosol	calcico	C
Xerosol	haplico	C
Xerosol	luvico	B
Xerosol	gypsico	C
Regosol	calcarico	B
Regosol	eutrico	C
Castañozem	calcico	B
Castañozem	haplico	B
Castañozem	luvico	B
Yermosol	luvico	B
Yermosol	gypsico	B
Yermosol	haplico	B
Yermosol	calcico	B
Litosol	N/A	C
Solonchak	órtico	C
Solonchak	takyrico	D
Acrisol	órtico	C
Fluvisol	calcarico	A

2.5.3.-Utilización de la carta de uso de suelo.

A partir de las cartas vectoriales de uso del suelo generadas por el INEGI, al igual que con la carta edafológica, se identificaron todas las clases de uso de suelo para la cuenca del Río Bravo-San Juan como se presenta en la figura 2.12. En total se ubicaron 26 polígonos de tipo de uso de suelo predominando los del tipo de matorral desértico, agricultura de temporal y pastizales. Para la clase de uso urbano se calculó un área total de 586 Km², aproximadamente.

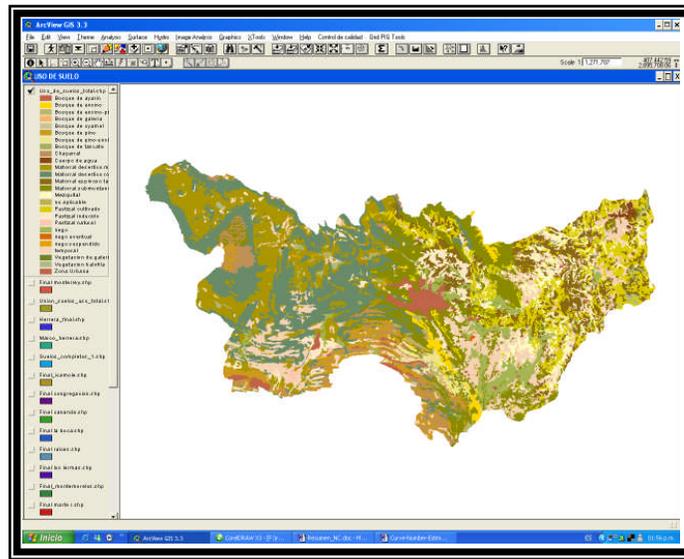


Figura. 2.11. Distribución de los tipos de uso de suelo en la cuenca del río Bravo-San Juan.

2.5.4.- Procesamiento de la información en ArcView.

La utilización de un software como ArcView es determinante para realizar el análisis de datos espaciales como los que se realizan para calcular el número de curva de una cuenca hidrológica. Entre las ventajas sobresalientes de los sistemas de información geográfica están su capacidad de presentar la información espacial georeferenciada, la información tabular de estos datos espaciales y la capacidad de realizar cálculos y procesamientos del conjunto de la información como se ilustra en la figura 2.12.



([Entidad] = "AREA AGRICOLA") and ([Tipo]= "temporal")

Vemos que se seleccionaron 456 renglones...

Figura 2.12. Selección de las clases, mediante fórmulas para la manipulación de los polígonos.

Como se ha resaltado, a partir de la información vectorial que se utilizó para delimitar las cuencas hidrológicas y una vez que ellas se incorporaron a ArcView. Además de la plataforma básica de este software se utilizaron las extensiones CadReader y Xtools, las cuales permitieron el manejo de la información procedente de las cartas vectoriales digitalizadas de Edafología y Uso del Suelo generadas por el INEGI. De manera general, se puede resumir el manejo de las cartas vectoriales como acciones de cortar y unir (merge) las áreas de interés en cada carta para posteriormente realizar la unión de polígonos individuales de cada clase, figura 2.13. A partir de este momento, con la utilización del SIG se pueden realizar los cálculos de las áreas de cada clase edafológica por clase de uso del suelo que se utilizaron en el cálculo ponderado del número de curva.

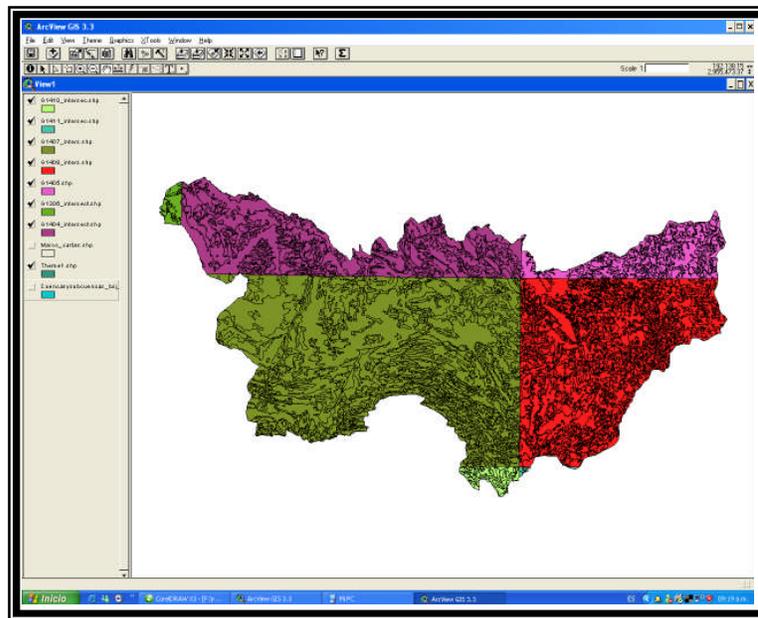


Figura. 2.13. Unión de las cartas vectoriales utilizadas para obtener la cobertura total de la cuenca del río Bravo-San Juan.

2.5.5.- Asignación de los valores de número de curva.

Una importante fuente de variación en el cálculo del número de curva por este método, es el éxito de asignar correctamente el grupo hidrológico de suelo a los tipos de suelos y el valor inicial de número de curva a estos tipos de suelos y a las diversas clases de uso de suelo. En la tabla 2.7 se presentan los valores iniciales obtenidos de las tablas de referencia del U.S. Soil Conservation Service (1986) y de los valores presentados por Becerra, 1999. Los valores de referencia fueron obtenidos a partir de la experimentación que realizó el "U.S. Soil Conservation Service" en cada una de las condiciones reportadas. Sin

embargo, dado que en la literatura consultada no existe una total similitud con los encontrados en la cuenca del Río Bravo-San Juan. De ahí que fue necesario aplicar un criterio de asignación de valores, de acuerdo con la descripción detallada de nuestras condiciones de tipo de suelos y clases de uso de suelo.

Tabla 2.7. Asignación del valor estimado de número de curva obtenido de las tablas de referencia del USSCS (1986) para cada grupo hidrológico de suelos y tipo de uso de suelo.

TABLA DE VALORES DE NUMERO DE CURVA					
TIPO	ENTIDAD	CII			
		A	B	C	D
riego	AREA AGRICOLA	62	71	78	81
riego eventual	AREA AGRICOLA	65	75	82	86
riego suspendido	AREA AGRICOLA	62	71	78	81
temporal	AREA AGRICOLA	72	81	88	91
no aplicable	AREA SIN VEGETACION	77	86	91	94
Cuerpo de agua	CUERPO DE AGUA	100	100	100	100
Zona Urbana	LOCALIDAD	77	85	90	92
Matorral crasicaule	MATORRAL	49	68	79	84
Matorral desértico microfilo	MATORRAL	49	69	79	84
Matorral desértico rosetofo	MATORRAL	63	77	85	88
Matorral submontano	MATORRAL	30	58	71	78
Matorral espinoso tamaulipeco	MATORRAL	35	56	70	77
Chaparral	OTROS TIPOS DE VEGETACION	55	72	81	86
Mezquital	OTROS TIPOS DE VEGETACION	49	68	79	84
Matorral de coníferas	OTROS TIPOS DE VEGETACION	35	58	73	80
Vegetación de desiertos arenosos	OTROS TIPOS DE VEGETACION	63	77	85	88
Vegetación de galería	OTROS TIPOS DE VEGETACION	43	65	76	82
Vegetación gipsofila	OTROS TIPOS DE VEGETACION	49	68	79	84
Vegetación halofila	OTROS TIPOS DE VEGETACION	35	56	70	77
Pastizal halofo	PASTIZAL	68	79	86	89
Pastizal gipsofo	PASTIZAL	68	79	86	89
Pradera de alta montaña	PASTIZAL	30	58	71	78
Pastizal cultivado	PASTIZAL	39	61	74	80
Pastizal inducido	PASTIZAL	39	61	74	80
Pastizal natural	PASTIZAL	49	69	79	84
Bosque de tascate	BOSQUE	43	65	76	82
Bosque de encino	BOSQUE	36	60	73	79
Bosque de encino-pino	BOSQUE	36	48	57	63
Bosque de galería	BOSQUE	36	60	73	79
Bosque de oyamel	BOSQUE	25	55	70	77
Bosque de ayarín	BOSQUE	25	55	70	77
Bosque de pino	BOSQUE	36	60	73	79
Bosque de pino-encino	BOSQUE	36	60	73	79
Bosque mesofo de montaña	BOSQUE	36	60	73	79
Selva baja caducifolia	SELVA	25	59	75	83
Selva baja espinosa	SELVA	25	59	75	83

2.5.6.- Obtención de los valores del número de curva.

Como lo describe el algoritmo de cálculo, el método consiste en hacer una ponderación de los valores iniciales del número de curva con el área de cada uno de los polígonos de tipo y uso de suelo. En la tabla 2.8 se ejemplifica la ponderación de valores iniciales con la superficie para cada uno de los polígonos de interés. Este procedimiento fue el que se realizó para todas las sub-cuencas de la cuenca del Río Bravo-San Juan. Estos resultados se presentan en la tabla 2.9.

Tabla 2.8. Ejemplo de la obtención del valor del número de curva para la cuenca hidrológica Monterrey.

CUENCA ESTACION MONTERREY						
HSG	EHTIDAD	TIPO	AREA	HECTAREAS	CI	CI/Ha
D	AREA SIN VEGETACION	no aplicable	2406159.329	240.616	94	22617.904
A	BOSQUE	Bosque de encino-pino	449.668	0.045	36	1.62
A	BOSQUE	Bosque de pino	48407.438	4.841	36	174.276
A	OTROS TIPOS DE VEGETACION	Chaparral	3033738.304	303.374	55	16685.57
A	MATORRAL	Matorral desertico rosetoñilo	837803.017	83.780	63	5278.14
B	LOCALIDAD	Zona Urbana	16155135.271	1615.514	85	137318.69
C	LOCALIDAD	Zona Urbana	56325038.978	5632.504	90	506925.36
D	LOCALIDAD	Zona Urbana	14370040.653	1437.004	92	132204.368
A	AREA AGRICOLA	temporal	1167791.491	116.779	72	8408.088
B	AREA AGRICOLA	temporal	12864225.929	1286.423	81	104200.263
C	AREA AGRICOLA	temporal	21976326.899	2197.633	88	193391.704
C	AREA SIN VEGETACION	no aplicable	392914.792	39.291	91	3575.481
A	MATORRAL	Matorral submontano	5271985.241	527.199	30	15815.97
B	MATORRAL	Matorral submontano	12397858.866	1239.786	58	71907.588
C	MATORRAL	Matorral submontano	302132698.958	30213.270	71	2145142.17
D	MATORRAL	Matorral submontano	41826821.929	4182.682	78	326249.196
B	PASTIZAL	Pastizal inducido	1432945.826	143.295	61	8740.995
C	PASTIZAL	Pastizal inducido	14117133.411	1411.713	74	104466.762
D	PASTIZAL	Pastizal inducido	1664407.507	166.441	80	13315.28
B	AREA AGRICOLA	riego	5530897.681	553.090	71	39269.39
C	AREA AGRICOLA	riego	2750744.308	275.074	78	21455.772
B	OTROS TIPOS DE VEGETACION	Chaparral	1380917.440	138.092	72	9942.624
C	OTROS TIPOS DE VEGETACION	Chaparral	123569536.792	12356.954	81	1000913.27
B	BOSQUE	Bosque de pino	10106287.284	1010.629	60	60637.74
C	BOSQUE	Bosque de pino	182504909.243	18250.491	73	1332285.84
D	BOSQUE	Bosque de pino	4892005.664	489.201	79	38646.879
B	MATORRAL	Matorral desertico rosetoñilo	3128721.472	312.872	77	24091.144
C	MATORRAL	Matorral desertico rosetoñilo	172099488.819	17209.949	85	1462845.67
D	MATORRAL	Matorral desertico rosetoñilo	7970565.121	797.057	88	70141.016
C	MATORRAL	Matorral desertico microñilo	17654631.931	1765.463	79	139471.577
D	MATORRAL	Matorral desertico microñilo	93939.297	9.394	84	789.096
B	BOSQUE	Bosque de encino-pino	109809.386	10.991	48	527.568
C	BOSQUE	Bosque de encino-pino	63761467.344	6376.147	57	363440.379
B	BOSQUE	Bosque de encino	50480.780	5.048	60	302.88
B	BOSQUE	Bosque de pino-encino	3708392.346	370.839	60	22250.34
C	BOSQUE	Bosque de pino-encino	133883802.146	13388.380	73	977351.74
C	BOSQUE	Bosque de ayarín	43930188.659	4393.019	70	30751.133
C	BOSQUE	Bosque de encino	53963905.352	5396.391	73	393936.543
			TOTAL:	133951.271		10082230.2

CI PONDERADA: 75.2678952

Tabla 2.9. Valores de numero de curva calculados para las sub-cuencas de la cuenca río Bravo-San Juan.

CUENCA	NOMBRE	AREA (MTS)	HECTAREAS	KM2	NC
1	EST. ICAMOLE	12211478126.26	1221147.813	12211.48	79.583
2	EST. CIENEGA DE FLORES	14876975171.23	1487697.517	14876.98	78.573
3	EST. EL CANADA	1234235488.64	123423.549	1234.24	79.603
4	EST. LOS LERMAS	157197196.72	15719.720	157.20	73.568
5	EST. MONTERREY	1339462193.80	133946.219	1339.46	75.268
6	EST. CADEREYTA	1802536888.10	180253.689	1802.54	75.149
7	EST. LA ARENA	17233512017.51	1723351.202	17233.51	78.116
8	EST. LA BOCA	185179849.17	18517.985	185.18	70.792
9	EST. LOS HERRERA	20088157084.54	2008815.708	20088.16	77.174
10	EST. LOS ALDAMA	30215889773.50	3021588.977	30215.89	75.457
11	EST. EL CUCHILLO	8535588376.20	853558.838	8335.59	73.077
12	EST. TEPEHUAJE	3568657584.38	356865.758	3568.66	73.640
13	EST. MONTEMORELOS	1520339142.72	152033.914	1520.34	75.414

2.6.-Desarrollo del modelo matemático para la determinación de los coeficientes de la ecuación para determinar el deficit en cuencas no aforadas.

Procedimiento para determinar una ecuación que represente en una región la severidad de sequía a partir de tomar en cuenta los parámetros de precipitación media anual y aspectos fisiográficos de la cuenca, específicamente, área de la cuenca, longitud y pendiente del cauce principal, numero de curva según el "Soil Conservation Service" (SCS), esto asociado a distintos periodos de retorno, para utilizarse en cuencas semejantes no aforadas.

Dando por aceptado que la severidad de una sequía depende del déficit del volumen de agua escurrido por debajo de la media anual, se plantea la evaluación de dicho déficit de la siguiente manera:

$$Dtr := K + \alpha \cdot A + \beta \cdot Lcp + \gamma \cdot Scp + \delta \cdot N + \varepsilon \cdot Pma + \mu \cdot TR \dots\dots\dots(2.5)$$

En donde:

- Dtr = Déficit en volumen escurrido en la cuenca en m³.
 - A = Área de la cuenca hasta el sitio donde se evalúa la sequía, en km².
 - Lcp = Longitud del cauce principal de la cuenca hasta el sitio donde se evalúa la sequía, en km.
 - Scp = Pendiente del cauce principal de la cuenca hasta el sitio donde se evalúa la sequía, en km.
 - N = Numero de curva según el SCS, el cual toma en cuenta el tipo y uso de suelo en la cuenca, adimensional.
 - Pma= Precipitación media anual en la cuenca obtenida de registros históricos, en milímetros.
 - TR = Periodo de retorno al que se asocia la sequía, en años.
- K, α , β , γ , δ , ε , μ = Coeficientes a determinar en el proceso de obtención de la ecuación, adimensionales.

Aplicando las leyes de los logaritmos a la ecuación 1 se tiene que:

$$\log(Dtr) = \alpha \cdot \log(A) + \beta \cdot \log(Lcp) + \gamma \cdot \log(Scp) + \delta \cdot \log(N) + \varepsilon \cdot \log(Pma) + \mu \cdot \log(TR) \dots\dots(2.6)$$

Por lo tanto la ecuación 2.6 representara la forma como se realizará el trato matemático para llegar a determinar una familia de ecuaciones que predecirán la severidad de una sequía asociado con un periodo de retorno o recurrencia de este tipo de eventos.

Como ya se comentó, la ecuación que se obtendrá será la que representará la región de la cuenca del río San Juan, ya que es una cuenca

que cuenta con estaciones hidrométricas, de las cuales se obtuvieron los datos de caudales aforados sobre sus principales corrientes usando la información oficial de la CONAGUA. La determinación de la precipitación media anual se obtuvo de registros históricos del INEGI y utilizando cartas topográficas vectorizadas del INEGI se obtuvieron las cuencas de aportación y sus características fisiográficas. El número de curva se obtuvo mediante cartas de geológicas y de uso de suelo.

A continuación se presenta la tabla 2.10, en la cual se concentra la información fisiográfica e hidrométrica recavada que se utiliza para la obtención de la familia de curvas:

Tabla 2.10. Información hidrométrica y fisiográfica de la cuenca del Río San Juan, en función de la ubicación geográfica de 13 estaciones.

ID	NOMBRE DE ESTACION HIDROMETRICA	AREA (KM ²)	Lcp (KM)	Scp (ADIM.)	N (ADIM)	Pma (MM)
1	Icamole	12211.42	193.77	0.0106	79.58341	290
2	Ciénega de Flores	14874.97	198.56	0.0102	78.57287	605
3	El Canadá	1234.13	120.29	0.0169	79.60286	550
4	Los Lermas	157.21	32.54	0.094	73.56791	700
5	Monterrey	1340.19	71.24	0.018	75.2679	500
6	Cadereyta	1774.50	121.38	0.013	75.14926	700
7	La Arena	17233.45	159.12	0.0099	78.11598	650
8	La Boca	185.13	23.30	0.1065	70.7916	1010
10	Los Herrera	20088.41	192.64	0.0083	77.17357	590
11	Los Aldama	30215.89	289.38	0.00726	75.45661	580
12	Cuchillo	8535.00	165.87	0.0088	73.07728	585
15	Tepehuaje	3569.78	192.64	0.0108	73.64046	690
17	Montemorelos	1519.67	112.10	0.0112	75.41386	900

Posteriormente, a través del trato estadístico de la información hidrométrica de la CONAGUA, se obtuvieron los siguientes déficit de volumen, registrado en las 13 estaciones, tal como se presenta en la tabla 2.11.

Tabla 2.11. Valores del déficit obtenido para distintos periodos de retorno.

ESTACIONES	DEFICIT DE VOLUMEN ESCURRIDO RESPECTO A LA MEDIA EN M3								
	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS								
	2	5	10	20	25	50	100	500	1000
E1 Estación Icamole	165.5100	342.2791	671.6235	841.2778	847.4526	897.3189	1034.9806	1353.09588	1489.85801
E2 Estación Ciénega de Flores	388.6500	755.8833	1069.0567	1849.8300	2208.6558	3564.4722	2801.11283	3691.5226	4074.32201
E3 Estación El Canadá	71.2160	122.4855	178.1565	211.7808	213.9418	266.9246	305.784232	395.582818	434.188465
E4 Estación Los Lermas	248.8382	485.7291	770.8948	880.0883	1479.1000	1047.6242	1198.51496	1547.2006	1697.10535
E5 Estación Monterrey	8.7355	68.5427	134.3518	241.2952	336.5739	323.6834	381.755892	515.952625	573.645646
E6 Estación Cadereyta	317.6538	494.5390	642.2685	680.3500	719.7500	2041.3691	2353.71703	3075.50547	3385.81225
E7 Estación La Arena	358.7929	589.6500	727.0557	900.3443	914.3529	1654.4066	1883.9109	2414.2603	2642.2648
E8 Estación La Boca	108.6328	609.4806	1322.1600	1626.6436	1823.3670	6261.2707	7438.83851	10160.0179	11329.8904
E9 Estación Los Herrera	556.0000	1537.2700	1723.2000	2621.2367	2981.7733	3091.3210	3560.00358	4643.05757	5108.67738
E10 Estación Los Aldama	4706.9000	7920.3929	14916.9571	24477.1000	28517.6000	25958.3366	30019.421	39403.9669	43438.5123
E11 Estación Cuchillo	2990.1022	5478.6110	8871.9163	14100.4603	16663.0627	19288.8799	17648.9494	23051.2955	25373.8384
E12 Estación Tepehuaje	1917.6800	3105.3991	5355.2118	8404.9282	8998.8750	9651.1463	11165.0922	14663.59	16167.6424
E13 Estación Montemorelos	368.3700	561.9472	762.4259	1046.3745	1189.2831	1460.1976	1375.17815	1756.92551	1921.04396

Con la información anterior se realizó un trato a través de mínimos cuadrados, para hacer un ajuste con el menor error posible. Para facilitar el trato matricial de la información y minimizar el tiempo de cálculo y así poder tener resultados prácticamente instantáneos al modificar valores, se utilizó el software “Mathcad 2001i Profesional”, el cual es una herramienta altamente potencial desde el punto de vista matemático.

Para fines explicativos de la modelación realizada, se van a tomar los cálculos realizados para obtener la ecuación que representa el déficit de volumen, asociado en un periodo de retorno de 2 años. Para obtener las ecuaciones para los demás periodos estudiados, se realizó el mismo procedimiento.

A continuación se presenta la matriz en la que se involucran las variables fisiográficas y hidrometeorológicas y el vector de términos independientes que involucra el déficit asociado en un periodo de retorno específico, en este caso a.

$$\text{MTR5} := \begin{pmatrix} 12211.42 & 193.77 & 0.0106 & 79.58341 & 290 & 2 \\ 14874.97 & 198.56 & 0.0102 & 78.57287 & 605 & 2 \\ 1234.13 & 120.29 & 0.0169 & 79.60286 & 550 & 2 \\ 157.21 & 32.54 & 0.0940 & 73.56791 & 700 & 2 \\ 1340.19 & 71.24 & 0.0180 & 75.26790 & 500 & 2 \\ 1774.50 & 121.38 & 0.0130 & 75.14926 & 700 & 2 \\ 17233.45 & 159.12 & 0.0099 & 78.11598 & 650 & 2 \\ 185.13 & 23.30 & 0.1065 & 70.79160 & 1010 & 2 \\ 20088.41 & 192.64 & 0.0083 & 77.17357 & 590 & 2 \\ 30215.89 & 289.38 & 0.0073 & 75.45661 & 580 & 2 \\ 8535.00 & 165.87 & 0.0088 & 73.07728 & 585 & 2 \\ 3569.78 & 192.64 & 0.0108 & 73.64046 & 690 & 2 \\ 1519.67 & 112.10 & 0.0112 & 75.41386 & 900 & 2 \end{pmatrix} \quad \text{VTR5} := \begin{pmatrix} 165.510000 \\ 388.650000 \\ 71.216000 \\ 248.838178 \\ 8.735455 \\ 317.653846 \\ 358.792857 \\ 108.632766 \\ 556.000000 \\ 4706.900000 \\ 2990.102239 \\ 1917.680000 \\ 368.370000 \end{pmatrix}$$

Ya conjuntados los datos fisiográficos e hidrométricos asociados en distintos periodos de retorno, se procedió a la extracción de las columnas de la matriz anterior los valores para asociarlos en las variables de área (A), la longitud del cauce principal (Lcp), la pendiente del cauce principal (Scp), el número de curva (N), la precipitación media anual (Pma) y el periodo de retorno (TR), tal como se presenta en las siguientes asignaciones:

$$\begin{aligned}
 A &:= \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 0, 0)) \\
 Lcp &:= \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 1, 1)) \\
 Scp &:= \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 2, 2)) \\
 N &:= \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 3, 3)) \\
 Pma &:= \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 4, 4)) \\
 TR &:= \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 5, 5)) \\
 VTR5 &:= \log(\text{submatrix}(\text{VTR5}, 0, 12, 0, 0))
 \end{aligned}$$

Por ejemplo, lo anterior indica que a la variable A se le asigna el logaritmo base 10 de la sub-matriz de la matriz VTR5, ubicada desde el renglón cero hasta el renglón 12 y de la columna cero únicamente. Lo mismo se realiza para las demás variables y en el caso del vector de déficit VTR5, sólo se le asigna a cada valor el logaritmo base 10.

Ya asignados los datos a las variables el software Mathcad realizo toda la tarea matemática de sumatorias para utilizar en el ajuste mínimos cuadrados. A continuación se presenta la matriz de coeficientes y el vector de términos independientes, asociados con las variables MTR y VS, respectivamente.

$$\text{MTR} := \begin{pmatrix}
 n & \sum A & \sum Lcp & \sum Scp & \sum N & \sum Pma & \sum TR \\
 \sum A & A \cdot A & A \cdot Lcp & A \cdot Scp & A \cdot N & A \cdot Pma & A \cdot TR \\
 \sum Lcp & Lcp \cdot A & Lcp \cdot Lcp & Lcp \cdot Scp & Lcp \cdot N & Lcp \cdot Pma & Lcp \cdot TR \\
 \sum Scp & Scp \cdot A & Scp \cdot Lcp & Scp \cdot Scp & Scp \cdot N & Scp \cdot Pma & Scp \cdot TR \\
 \sum N & N \cdot A & N \cdot Lcp & N \cdot Scp & N \cdot N & N \cdot Pma & N \cdot TR \\
 \sum Pma & Pma \cdot A & Pma \cdot Lcp & Pma \cdot Scp & Pma \cdot N & Pma \cdot Pma & Pma \cdot TR \\
 \sum TR & TR \cdot A & TR \cdot Lcp & TR \cdot Scp & TR \cdot N & TR \cdot Pma & TR \cdot TR
 \end{pmatrix}$$

$$\text{VS} := \begin{pmatrix}
 \sum VTR5 \\
 A \cdot VTR5 \\
 Lcp \cdot VTR5 \\
 Scp \cdot VTR5 \\
 N \cdot VTR5 \\
 Pma \cdot VTR5 \\
 TR \cdot VTR5
 \end{pmatrix}$$

Ya signadas las variables, el modelo encuentra todas la sumatorias expresadas en la matriz anterior, la cual se presenta a continuación:

$$\text{MTR} = \begin{pmatrix} 13 & 45.876 & 26.984 & -23.563 & 24.432 & 36.285 & 3.913 \\ 45.876 & 168.703 & 97.905 & -86.195 & 86.297 & 127.47 & 13.81 \\ 26.984 & 97.905 & 57.247 & -50.306 & 50.749 & 75.076 & 8.123 \\ -23.563 & -86.195 & -50.306 & 44.419 & -44.324 & -65.519 & -7.093 \\ 24.432 & 86.297 & 50.749 & -44.324 & 45.922 & 68.18 & 7.355 \\ 36.285 & 127.47 & 75.076 & -65.519 & 68.18 & 101.481 & 10.923 \\ 3.913 & 13.81 & 8.123 & -7.093 & 7.355 & 10.923 & 1.178 \end{pmatrix} \quad \text{VS} = \begin{pmatrix} 32.833 \\ 119.133 \\ 69.658 \\ -60.91 \\ 61.684 \\ 91.797 \\ 9.884 \end{pmatrix}$$

Con la matriz ya desarrollada numéricamente, se emplea un comando interno del MathCad que resuelve el sistema de ecuaciones lineales llamado "Isolve", el cual sólo se asigna a una variable; en esta caso, la variable "S" y esto da como resultado los coeficientes de la ecuación, tal como se muestra en seguida:

$$\begin{array}{l}
 \text{S} := \text{Isolve}(\text{MTR}, \text{VS}) \\
 \text{S} = \begin{pmatrix} 29.234 \\ 0.194 \\ 5.106 \\ 2.809 \\ -27.895 \\ 1.806 \\ 48.127 \end{pmatrix} \\
 \begin{array}{l}
 \text{K} := \text{S}_0 \\
 \alpha := \text{S}_1 \\
 \beta := \text{S}_2 \\
 \gamma := \text{S}_3 \\
 \delta := \text{S}_4 \\
 \varepsilon := \text{S}_5 \\
 \mu := \text{S}_6
 \end{array}
 \end{array}$$

Por lo tanto la ecuación que representa el déficit en la cuenca del Río San Juan asociado a un periodo de retorno dado será la ecuación 2.7.

$$\text{Dtr} := \text{K} + \alpha \cdot \text{A} + \beta \cdot \text{Lcp} + \gamma \cdot \text{Scp} + \delta \cdot \text{N} + \varepsilon \cdot \text{Pma} + \mu \cdot \text{TR} \dots\dots\dots(2.7)$$

El modelo de cálculo de los parámetros está representado en la ecuación 2.7. Y debido a la condición logarítmica del modelo, para aplicarlo en otras cuencas no aforadas se aplica la ecuación 2.8.

$$\text{Dtr} = 10^{\text{K}} \cdot \text{A}^{\alpha} \cdot \text{Lcp}^{\beta} \cdot \text{Scp}^{\gamma} \cdot \text{N}^{\delta} \cdot \text{Pma}^{\varepsilon} \cdot \text{TR}^{\mu} \dots\dots\dots(2.8)$$

Ahora se presenta la comparación de los logaritmos de base 10 de los datos originales de déficit (VTR5) y los calculados (Dtr)

	0		0		
Dtr =	0	2.07	VTR5 =	0	2.219
	1	2.82		1	2.59
	2	1.89		2	1.853
	3	2.05		3	2.396
	4	1.41		4	0.941
	5	2.50		5	2.502
	6	2.43		6	2.555
	7	2.23		7	2.036
	8	2.73		8	2.745
	9	3.77		9	3.673
	10	3.05		10	3.476
	11	3.59		11	3.283
	12	2.29		12	2.566

Para saber si este modelo de regresión es aceptable se determinaron los coeficientes de correlación (R) y de determinación (R^2), este último representa el porcentaje de la incertidumbre original que se ha explicado mediante este modelo.

$$\text{VAR} := \text{Var}(10^{\text{VTR5}}) \quad \text{VAR} = 2.02 \times 10^6$$

$$\text{VARD} := \frac{1}{n-3} \sum (10^{\text{VTR5}} - 10^{\text{Dtr}})^2 \quad \text{VARD} = 8.98 \times 10^5$$

$$R := \left(1 - \frac{\text{VARD}}{\text{VAR}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad R = 0.745$$

$$R^2 = 0.556$$

A continuación se presenta la comparación de los valores obtenidos con la ecuación determinada y los datos originales, así como el diferencial entre ellos.

	0		0		0			
$10^{\text{VTR5}} =$	0	165.51	$10^{\text{Dtr}} =$	0	116.829	$10^{\text{VTR5}} - 10^{\text{Dtr}} =$	0	48.681
	1	388.65		1	665.395		1	-276.745
	2	71.216		2	76.906		2	-5.690
	3	248.838		3	112.563		3	136.275
	4	8.735		4	25.816		4	-17.080
	5	317.654		5	318.518		5	-0.864
	6	358.793		6	272.261		6	86.531
	7	108.633		7	170.016		7	-61.383
	8	556		8	534.278		8	21.722
	9	$4.707 \cdot 10^3$		9	$5.846 \cdot 10^3$		9	-1139.582
	10	$2.99 \cdot 10^3$		10	$1.121 \cdot 10^3$		10	1869.396
	11	$1.918 \cdot 10^3$		11	$3.929 \cdot 10^3$		11	-2011.521
	12	368.37		12	193.434		12	174.936

Por ultimo se presenta el porcentaje de diferencia de cada valor obtenido, recordando que cada renglón de las tabulaciones anteriores representa una estación hidrométrica.

$$i := 0.. \text{length}(\text{VTR5}) - 1$$

$$\frac{10^{\text{VTR5}_i} - 10^{\text{Dtr}_i}}{10^{\text{VTR5}_i}} \cdot 100 =$$

29.413
-71.207
-7.99
54.764
-195.53
-0.272
24.117
-56.505
3.907
-24.211
62.519
-104.893
47.489

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1.- Datos obtenidos para el modelo.

Como ya se comentó en capítulos anteriores, la recopilación y obtención de los datos para el modelo matemático que se realizó, a partir de la información fisiográfica, climatológica e hidrométrica, la cual se muestra en la tabla 2.9. También se obtuvieron los déficits de las cuencas analizadas en cada una de las estaciones hidrométricas, dentro de la cuenca del Río San Juan, como se lista en la tabla 2.10.

El procedimiento del apartado 2.6 se realizó para calcular los coeficientes de la ecuación asociada con distintos periodos de retorno, los cuales se presentan en la tabla 3.1, en la que se incluyen los coeficientes de correlación y de determinación.

Tabla 3.1. Coeficientes de la ecuación que representa el déficit.

TR AÑOS	COEFICIENTES DE LA ECUACION QUE REPRESENTA EL DEFICIT (ADIM)						
	κ	α	β	γ	δ	ϵ	μ
2	29.234	0.194	5.106	2.809	-27.895	1.806	48.127
5	-55.732	0.451	3.32	2.108	-31.501	1.03	157.761
10	0	0.44	3.439	2.257	-35.892	0.504	64.517
20	167.335	0.501	3.306	2.128	-38.245	0.403	-75.435
25	-66.705	0.507	3.241	2.162	-39.451	0.281	99.249
50	15.096	0.641	2.676	1.993	-36.659	1.097	29.386
100	69.73	0.627	2.697	2.038	-37.308	0.932	-1.449
500	419.63	0.634	2.672	2.035	-37.611	0.906	-130.426
1000	135.708	0.636	2.664	2.035	-37.702	0.898	22.619

Tabla 3.2. Valores de los coeficientes de correlación de la ecuación del déficit obtenido para distintos periodos de retorno.

TR AÑOS	COEFICIENTES DE CORRELACION	
	R ²	R
2	0.556	0.745
5	0.836	0.914
10	0.887	0.942
20	0.908	0.953
25	0.880	0.938
50	0.885	0.941
100	0.940	0.969
500	0.941	0.970
1000	0.942	0.971

La ecuación que se deberá utilizar para la determinación del déficit en cuencas no aforadas es la ecuación 3.1.

$$D_{tr} = 10^{\kappa} \cdot A^{\alpha} \cdot L_{cp}^{\beta} \cdot S_{cp}^{\gamma} \cdot N^{\delta} \cdot P_{ma}^{\epsilon} \cdot TR^{\mu} \dots \dots \dots (3.1)$$

3.2.- Aplicación del modelo en cuencas no aforadas.

Se realiza el ejemplo de escurrimiento no aforado, ubicado en la zona estudiada, dentro cuenca del río San Juan, la cual servirá de comprobación para el modelo matemático ya determinado.

La cuenca a estudiar es la del arroyo Los Cárdenas ubicada en Ramos Arizpe Coahuila. En la figura 3.1 se puede observar la ubicación de dicha cuenca.

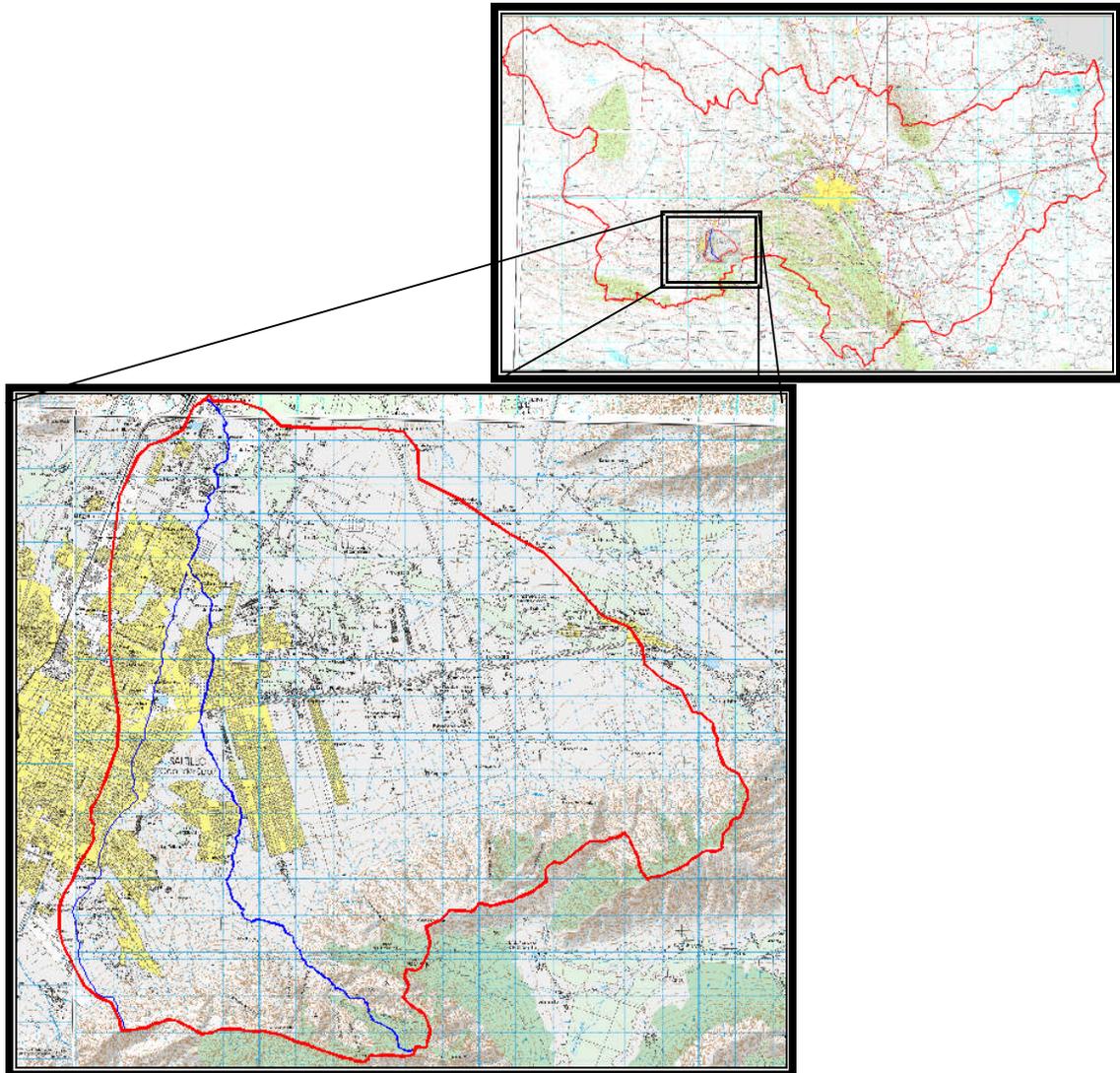


Figura 3.1. Ubicación de la cuenca del arroyo Los Cárdenas, en Ramos Arizpe Coahuila.

Los datos físicos de la cuenca, tales como la longitud del cauce principal, el área de la cuenca, el número de escurrimiento, la precipitación y los datos

de desnivel del cauce, se obtuvieron directamente en planos del INEGI y utilizando el Autocad; principalmente para la determinación, calculando la fisiografía de dicho cauce para determinar la pendiente del cauce principal como se muestra a continuación.

3.2.1.- Fisiografía del arroyo Los Cárdenas hasta la carretera Monterrey – Saltillo.

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 82$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

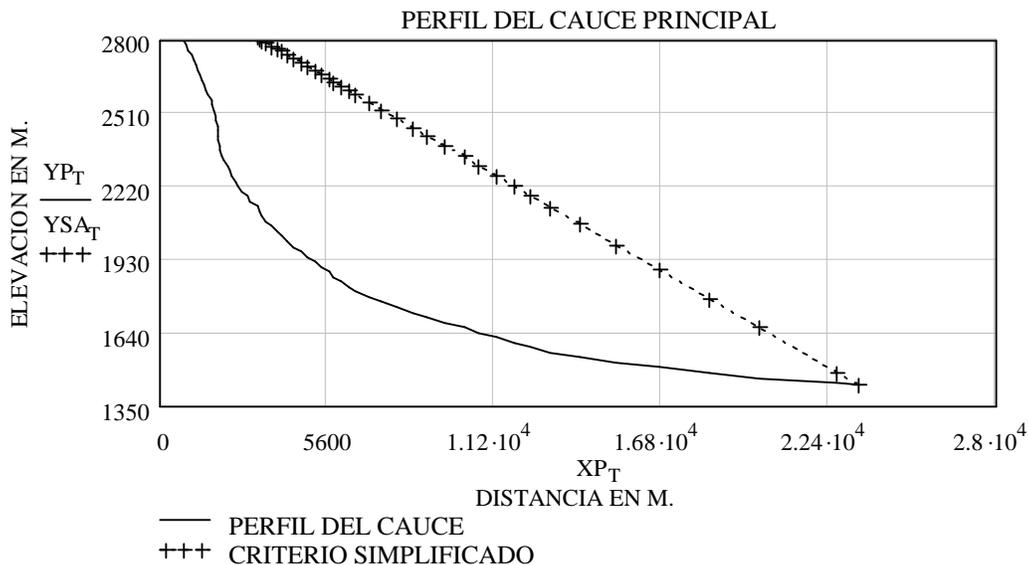
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1600$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.07$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 40938381.924$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 7520983.624$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

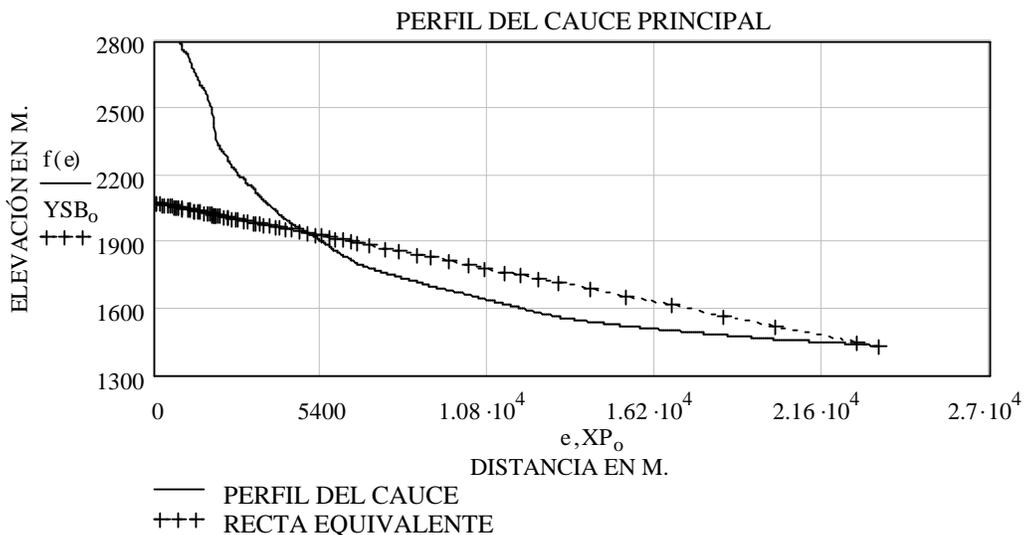
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 643.677$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.03$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO Z = 9 TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

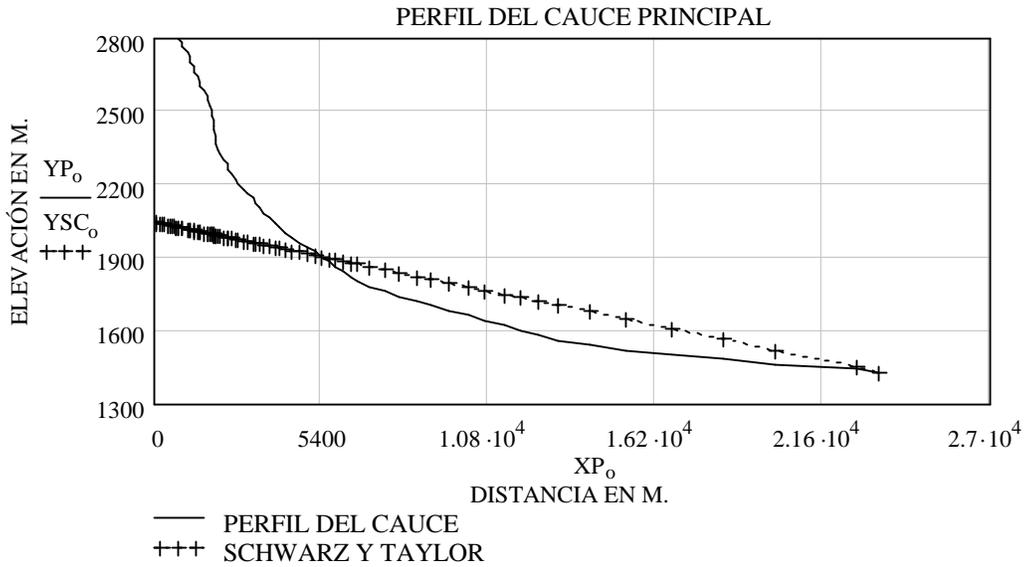
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.03$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	2030
34.66	2020
180.47	2000
229.13	1980
300.43	1960
392.83	1940
477.02	1920
534.93	1900
582.72	1880
652.47	1860
700.46	1840
724.67	1820
758.24	1800
854.56	1780
897.82	1760
1053.35	1740
1096.8	1720
1154.91	1700

3.2.2.- Memoria de cálculo para determinar el déficit de una cuenca no aforada; en el arroyo Los Cárdenas en Ramos Arizpe. Coahuila.

NOMENCLATURA:

A = ÁREA DE LA CUENCA, EN KM².

L_{cp} = LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL EN KM.

S_{cp} = PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIM.

N = NÚMERO DE CURVA, ADIM.

P_{ma} = PRESIPITACIÓN MEDIA ANUAL, EN MM.

TR = PERIODO DE RETORNO, EN AÑOS.

D_{tr} = DÉFICIT EN VOLUMEN, EN M³.

K, α, β, γ, δ, ε, μ = COEFICIENTES NECESARIOS PARA LA ECUACIÓN, ADIMENSIONALES.

VARIABLES DE LOS DATOS DE LA CUENCA DEL ARROYO LOS CÁRDENAS, LOS CAUDALES SON: ÁREA (A), LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (L_{cp}), PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (S_{cp}), NÚMRO DE ESCURRIMIENTO (N), PRESIPITACIÓN MEDIA ANUAL (P_{ma}), PERIODO DE RETORNO (Tr).

A := 209.93

L_{cp} := 23.37

S_{cp} := 0.026

N := 78

P_{ma} := 500

VALORES DE LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN DEL DÉFICIT OBTENIDO PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO.

TR AÑOS	COEFICIENTES DE LA ECUACION QUE REPRESENTA EL DEFICIT (ADIM)						
	K	α	β	γ	δ	ε	μ
2	29.234	0.194	5.106	2.809	-27.895	1.806	48.127
5	-55.732	0.451	3.32	2.108	-31.501	1.03	157.761
10	0	0.44	3.439	2.257	-35.892	0.504	64.517
20	167.335	0.501	3.306	2.128	-38.245	0.403	-75.435
25	-66.705	0.507	3.241	2.162	-39.451	0.281	99.249
50	15.096	0.641	2.676	1.993	-36.659	1.097	29.386
100	69.73	0.627	2.697	2.038	-37.308	0.932	-1.449
500	419.63	0.634	2.672	2.035	-37.611	0.906	-130.426
1000	135.708	0.636	2.664	2.035	-37.702	0.898	22.619

**ECUACIÓN PARA DETERMINAR EL DÉFICIT EN CUENCAS NO AFORADAS,
APLICANDO LOS COEFICIENTES ANTERIORMENTE DETERMINADOS.**

$$D_{tr} = 10^K \cdot A^\alpha \cdot Lcp^\beta \cdot Scp^\gamma \cdot N^\delta \cdot Pma^\varepsilon \cdot TR^\mu$$

TR := READPRN("TR.prn")

K := READPRN("K.prn")

α := READPRN("A.prn")

β := READPRN("B.prn")

γ := READPRN("G.prn")

δ := READPRN("D.prn")

ε := READPRN("E.prn")

μ := READPRN("M.prn")

DATOS DE LOS COEFICIENTES RELACIONADOS CON UN PERIODO DE RETORNO O.

TR =

	0
0	2
1	5
2	10
3	20
4	25
5	50
6	100
7	500
8	000

K =

	0
0	29.234
1	55.732
2	0
3	57.335
4	56.705
5	15.096
6	69.73
7	419.63
8	35.708

α =

	0
0	.194
1	.451
2	0.44
3	.501
4	.507
5	.641
6	.627
7	.634
8	.636

β =

	0
0	1.106
1	3.32
2	1.439
3	1.306
4	1.241
5	1.676
6	1.697
7	1.672
8	1.664

γ =

	0
0	.809
1	.108
2	.257
3	.128
4	.162
5	.993
6	.038
7	.035
8	.035

δ =

	0
0	27.895
1	31.501
2	35.892
3	38.245
4	39.451
5	36.659
6	37.308
7	37.611
8	37.702

ε =

	0
0	.806
1	1.03
2	.504
3	.403
4	.281
5	.097
6	.932
7	.906
8	.898

μ =

	0
0	48.127
1	57.761
2	64.517
3	75.435
4	99.249
5	29.386
6	-1.449
7	30.426
8	22.619

**CÁLCULO DEL DÉFICIT PARA LA CUENCA EN ESTUDIO. EN M³
PARA UN TR= 2 AÑOS**

$$D_{tr2} := 10^{K_0} \cdot A^{\alpha_0} \cdot Lcp^{\beta_0} \cdot Scp^{\gamma_0} \cdot N^{\delta_0} \cdot Pma^{\epsilon_0} \cdot (TR_0)^{\mu_0} \quad D_{tr2} = 0.06347$$

**CÁLCULO DEL DÉFICIT PARA LA CUENCA EN ESTUDIO. EN M³
PARA UN TR= 5 AÑOS**

$$D_{tr5} := 10^{K_1} \cdot A^{\alpha_1} \cdot Lcp^{\beta_1} \cdot Scp^{\gamma_1} \cdot N^{\delta_1} \cdot Pma^{\epsilon_1} \cdot (TR_1)^{\mu_1} \quad D_{tr5} = 0.92$$

**CÁLCULO DEL DÉFICIT PARA LA CUENCA EN ESTUDIO. EN M³
PARA UN TR= 10 AÑOS**

$$D_{tr10} := 10^{K_2} \cdot A^{\alpha_2} \cdot Lcp^{\beta_2} \cdot Scp^{\gamma_2} \cdot N^{\delta_2} \cdot Pma^{\epsilon_2} \cdot (TR_2)^{\mu_2} \quad D_{tr10} = 1.31$$

**CÁLCULO DEL DÉFICIT PARA LA CUENCA EN ESTUDIO. EN M³
PARA UN TR= 20 AÑOS**

$$D_{tr20} := 10^{K_3} \cdot A^{\alpha_3} \cdot Lcp^{\beta_3} \cdot Scp^{\gamma_3} \cdot N^{\delta_3} \cdot Pma^{\epsilon_3} \cdot (TR_3)^{\mu_3} \quad D_{tr20} = 1.7$$

**CÁLCULO DEL DÉFICIT PARA LA CUENCA EN ESTUDIO. EN M³
PARA UN TR= 25 AÑOS**

$$D_{tr25} := 10^{K_4} \cdot A^{\alpha_4} \cdot Lcp^{\beta_4} \cdot Scp^{\gamma_4} \cdot N^{\delta_4} \cdot Pma^{\epsilon_4} \cdot (TR_4)^{\mu_4} \quad D_{tr25} = 2.18$$

**CÁLCULO DEL DÉFICIT PARA LA CUENCA EN ESTUDIO. EN M³
PARA UN TR= 50 AÑOS**

$$D_{tr50} := 10^{K_5} \cdot A^{\alpha_5} \cdot Lcp^{\beta_5} \cdot Scp^{\gamma_5} \cdot N^{\delta_5} \cdot Pma^{\epsilon_5} \cdot (TR_5)^{\mu_5} \quad D_{tr50} = 4.1$$

**CÁLCULO DEL DÉFICIT PARA LA CUENCA EN ESTUDIO. EN M³
PARA UN TR= 100 AÑOS**

$$D_{tr100} := 10^{K_6} \cdot A^{\alpha_6} \cdot L_{cp}^{\beta_6} \cdot S_{cp}^{\gamma_6} \cdot N^{\delta_6} \cdot P_{ma}^{\varepsilon_6} \cdot (TR_6)^{\mu_6} \quad D_{tr100} = 4.72$$

**CÁLCULO DEL DÉFICIT PARA LA CUENCA EN ESTUDIO. EN M³
PARA UN TR= 500 AÑOS**

$$D_{tr500} := 10^{K_7} \cdot A^{\alpha_7} \cdot L_{cp}^{\beta_7} \cdot S_{cp}^{\gamma_7} \cdot N^{\delta_7} \cdot P_{ma}^{\varepsilon_7} \cdot (TR_7)^{\mu_7} \quad D_{tr500} = \text{Too long to display}$$

**CÁLCULO DEL DÉFICIT PARA LA CUENCA EN ESTUDIO. EN M³
PARA UN TR= 1000 AÑOS**

$$D_{tr1000} := 10^{K_8} \cdot A^{\alpha_8} \cdot L_{cp}^{\beta_8} \cdot S_{cp}^{\gamma_8} \cdot N^{\delta_8} \cdot P_{ma}^{\varepsilon_8} \cdot (TR_8)^{\mu_8} \quad D_{tr1000} = \text{Too long to display}$$

Resumen de resultados de la cuenca del arroyo Los Cárdenas, representado en déficit y relacionados con distintos periodos de retorno tabla 3.3.

Tabla 3.3 Deficit de la cuenca no aforada, relacionada con distintos periodos de retorno.

TR (AÑOS)	DEFICIT (M ³)
2	0.06
5	0.92
10	1.31
20	1.7
25	2.18
50	4.1
100	4.72
500	-
1000	-

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1.- Conclusiones.

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede concluir que es posible determinar un modelo matemático que permita estimar la severidad de las sequías en cuencas no aforadas mediante regionalización hidrológica, al determinar una ecuación que a través de los parámetros de: área, pendiente del cauce, longitud del cauce, precipitación media anual y número de curva, se pueden determinar los volúmenes faltantes, por debajo de la media, en una cuenca no aforada.

Una aplicación importante del modelo desarrollado en esta investigación, es que permite la estimación de la magnitud de la sequía en cuencas no aforadas. Esta investigación permitió la utilización de herramientas de estudio para el análisis hidrológico, como es la base de datos hidrométricos que se utilizó para este desarrollo, obteniéndolos de la base de datos hidrométricos del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) información obtenida por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). La información topográfica que se utilizó para determinar las características fisiográficas de las cuencas estudiadas, en el punto donde se ubican las estaciones hidrométricas procedio de los planos topográficos de INEGI a escala 1:250,000, integrados en herramientas para sistemas geográficos tales como ArcView y Autocad.

Adicionalmente a esta investigación resultó una completa descripción fisiográfica de la cuenca del Río San Juan, presentando los valores de los coeficientes para el desarrollo del modelo matemático de una ecuación que represente la severidad de la sequía, proponiendo una ecuación de tipo logarítmico para la determinación de los coeficientes. Se realizó un trato a través de mínimos cuadrados para realizar el ajuste con el menor error posible, utilizando el Software Mathcad, determinando con éxito los coeficientes adecuados para determinar la estimación del déficit en cuencas no aforadas (tabla 3.1).

Se logró determinar un modelo matemático en el que se puede predecir el déficit en volumen de cuencas no aforadas, partiendo de sus valores fisiográficos, cumpliendo así el objetivo de esta investigación, debido a que se logró el desarrollo del modelo matemático (ecuación 2.8).

También se presenta la aplicación del modelo a una cuenca no aforada, siendo esta la del arroyo Los Cárdenas, ubicado en Ramos Arizpe, Coahuila, dando como resultado los valores positivos mostrados en la tabla 3.3.

4.2.- Recomendaciones.

Es importante mencionar que con un mayor número de estaciones y datos hidrométricos, el modelo matemático realizado se podría mejorar, obteniendo mayor precisión y exactitud en los resultados.

Con un mejor modelo topográfico, actualizado en planimetría y altimetría, se puede determinar una fisiografía más semejante al terreno natural; es decir mayor predicción en la determinación del área, la pendiente del cauce, la longitud del cauce y el número de curva; los cuales fueron de vital importancia para la determinación de este modelo.

Al inicio se planteo utilizar 18 estaciones hidrométricas, debido a que están dentro de la cuenca en estudio; pero se eliminaron 5 de ellas, debido a que dichas estaciones no contaban con la información hidrométrica suficiente para poder realizar una distribución de probabilidad adecuada. Para esta etapa de la investigación se utilizó la distribución de Gumbel, para determinar los valores futuros de volumen de las estaciones hidrométricas con mayor número de años registrados.

Como el número de datos de las estaciones hidrométricas era muy extenso, se tomo la decisión de manejar promedios por año de cada una de las estaciones para poder determinar el déficit anual. Por esta razón también se utilizaron los valores de la precipitaciones medias anuales para que dichos datos pudieran tener una relación directa.

Una limitante importante en el modelo, consiste en que dicha ecuación no se puede utilizar para periodos de retorno mayores que 100 años, debido a la condición logarítmica del modelo matemático para aplicarla en cuencas no aforadas.

Esta investigación va a permitir realizar la toma decisiones preventivas para jerarquizar acciones y, potencialmente, la construcción de obras hidráulicas.

5.- BIBLIOGRAFIA.

Aparicio, M.F.J., (2006). Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa Mexico.

Becerra, M.A. (1999). Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Mexico, Universidad Autónoma de Chapingo.

Campos Aranda, (1998), Procesos del Ciclo hidrológico. San Luís Potosí, México, Universidad Autónoma de San Luís Potosí, Facultad de Ingeniería.

González J, Valdes J.B., Bivariate drought recurrence analysis using tree ring reconstructions. ASCE. Of Hydrol.

Griffitha G.a. (1989), Rainfall deficits: distribution of monthly runs, Canterbury Regional Council, Christchurch, New Zeland.

Haan, C.T., Barfield, B.J., Hayes, J.C. (1994). Design hidrology and sedimentology for small catchments. Academic Press.

Kroll Chuck, Luz Joana, Allen Brad and Vogel R.M., Developing a watershed characteristics database to improve low streamflow prediction.

Moyiasha L.A., Kapadia S, (1994), Predictions of drought length extreme order statistics using run theory. University of Texas School of Public Health, Houston, Tx.

Rao A.R., Voller T.L., (1996). Development and testing of drought indicators. School of Civil Engineering, Purdue University, W. Lafayette, IN.

Sen Zekai, (1979), Critical drought analysis of periodic-stochastic processes. Civil Engineering Faculty, Department of hydraulics and water power, University of Istambul, Turkey.

Shiau J. T., Shen W.S., Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity.

Smakhtin V.U., (2000), Review: low flow hydrology: CSIR, Environmentek, Pretoria, South Africa.

Soil Conservation Service, (1986), Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55 (TR-55).

Villarreal F. J. González, (1970), Contribución de análisis de frecuencia de los valores extremos de los gatos máximos de un río. UNAM, Instituto de Ingeniería.

Zamora Gómez José Luís, (1978), Un enfoque de análisis regional para la concentración de azolves, (Tesis profesional) Mexico, UNAM.

Zelenhasicz E., Yugoslavia, (2002), On the Extreme Streamflow drought analysis College of Civil Engineering, The University of Novi Sad, Subotica.

BANDAS, MathCad, AutoCad, ESRI, 2002. ArcView 3.3, ArcView CadReader y ArcView Xtools, USA.

<http://wikipedia.org/wiki/Sequ%C3%ADa>.

http://www.oni.escuelas.edu.ar/2001/cordoba/desastres/intro_sequias.htm

<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/informes/RiesgosNaturales06/sequia.htm>

http://www.crid.or.cr/crid/CD_EIRD_Informa/esp/revista/No4_2001/pagina8.htm

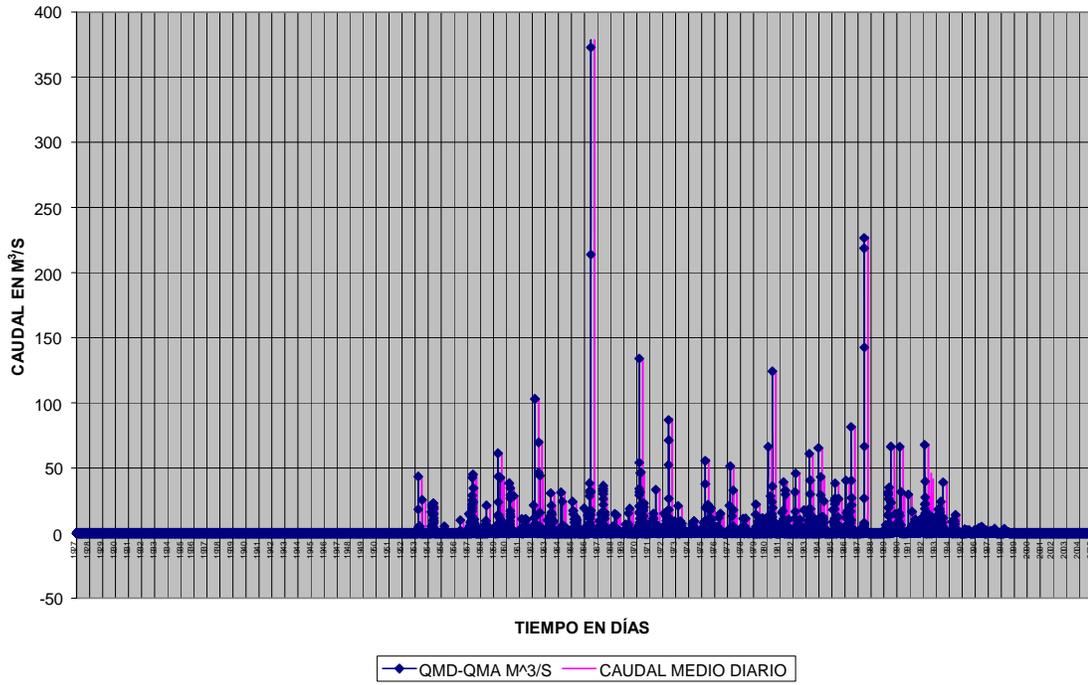
http://www.sequia.edu.mx/proyectos/monitoreo/acerca_de_la_sequia.htm

http://tresproblemas.sdsu.edu/tres_problemas_sequia04.html

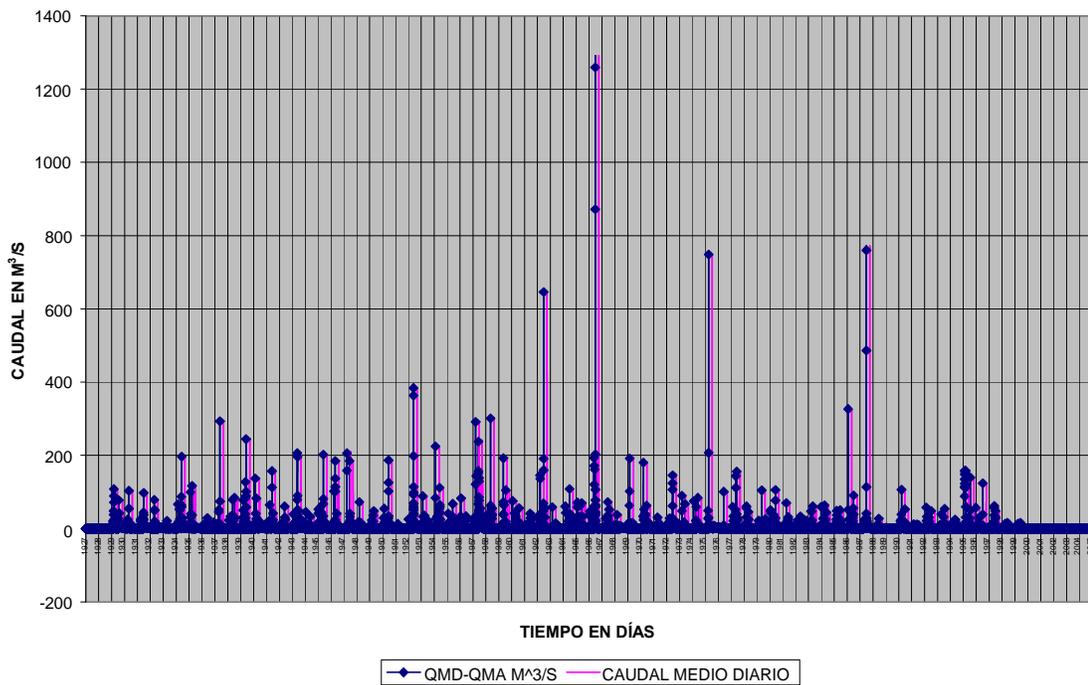
APÉNDICE

APÉNDICE A DATOS HIDROMETRICOS

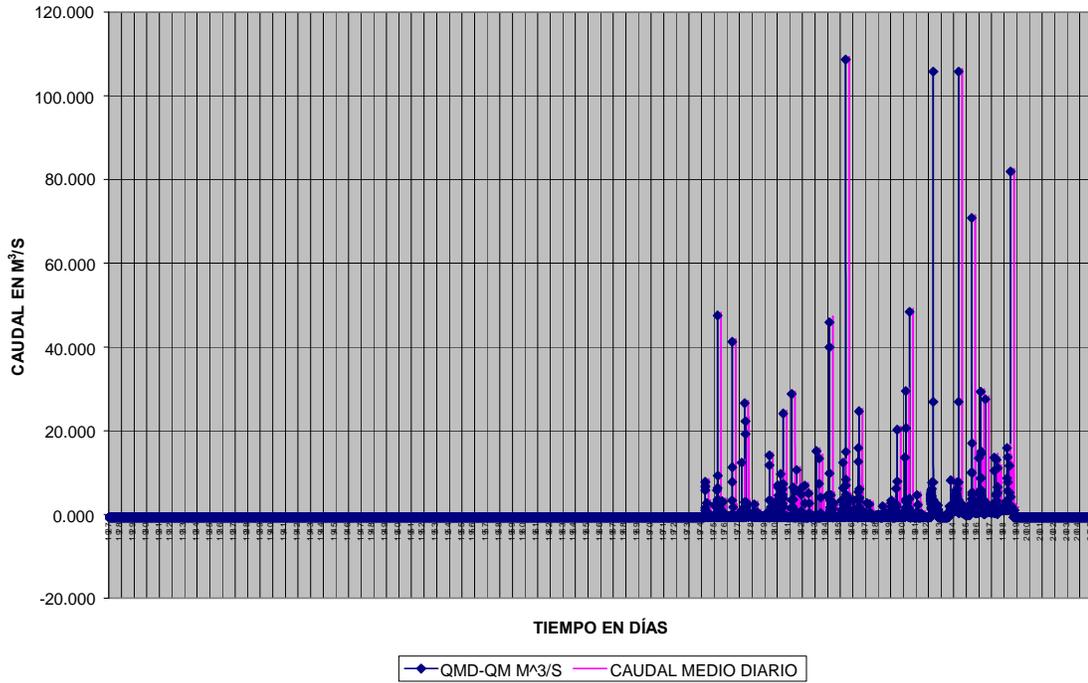
**SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN ICAMOLE (24291)**



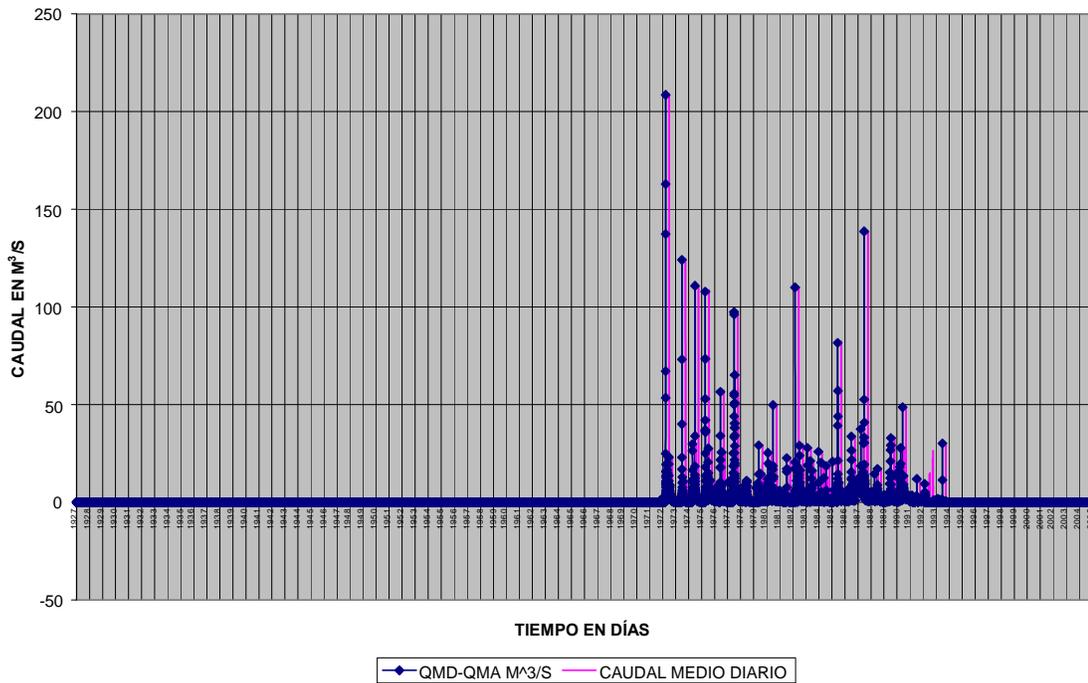
**SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN CIÉNEGA DE FLORES (24087)**



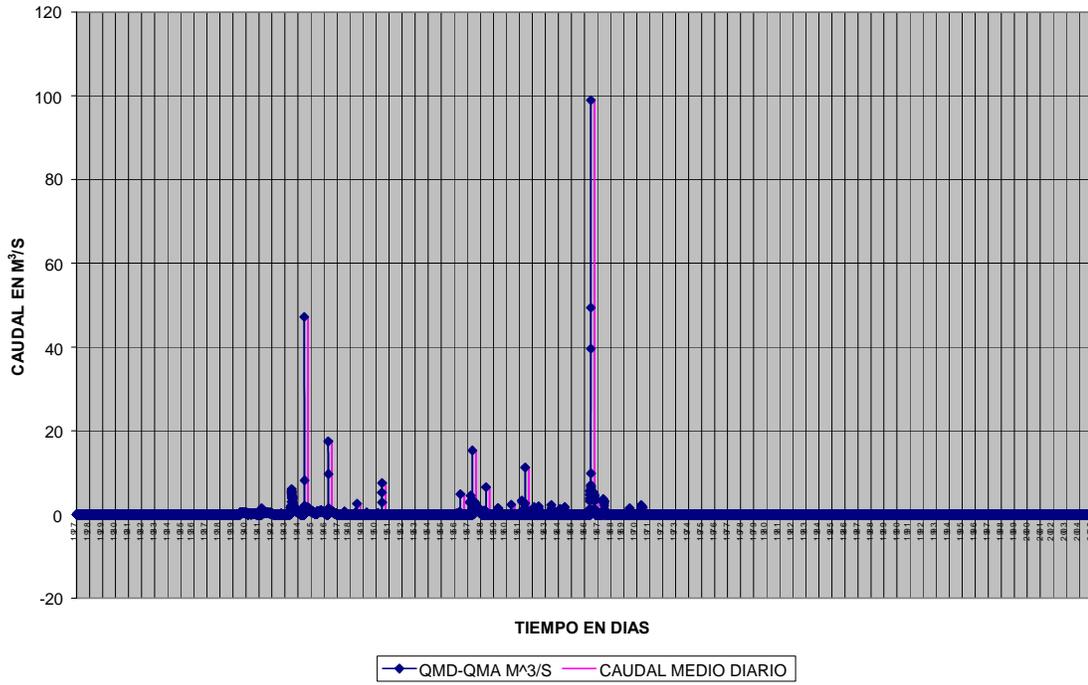
**SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN CANADÁ (24399)**



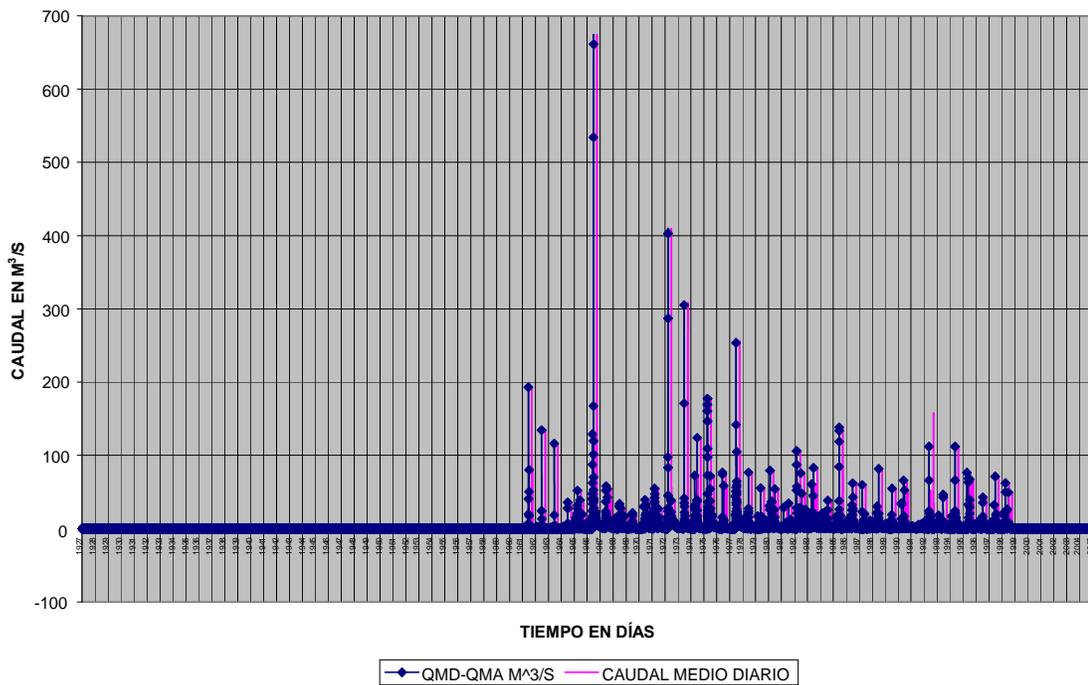
**SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN LOS LERMAS (24387)**



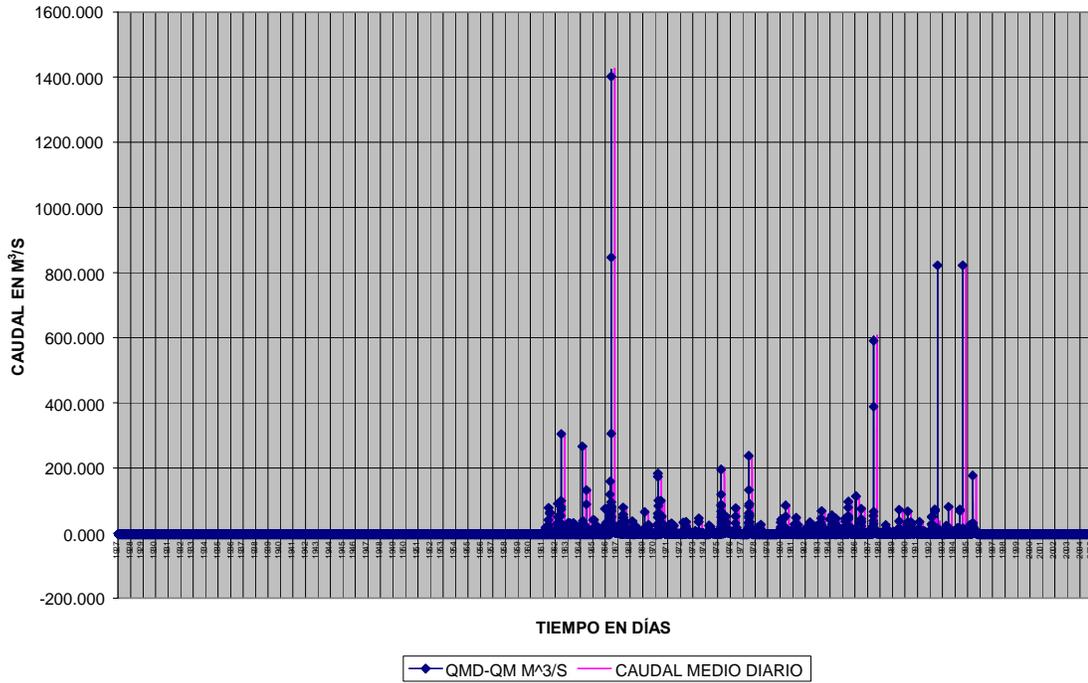
SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN MONTERREY (24198)



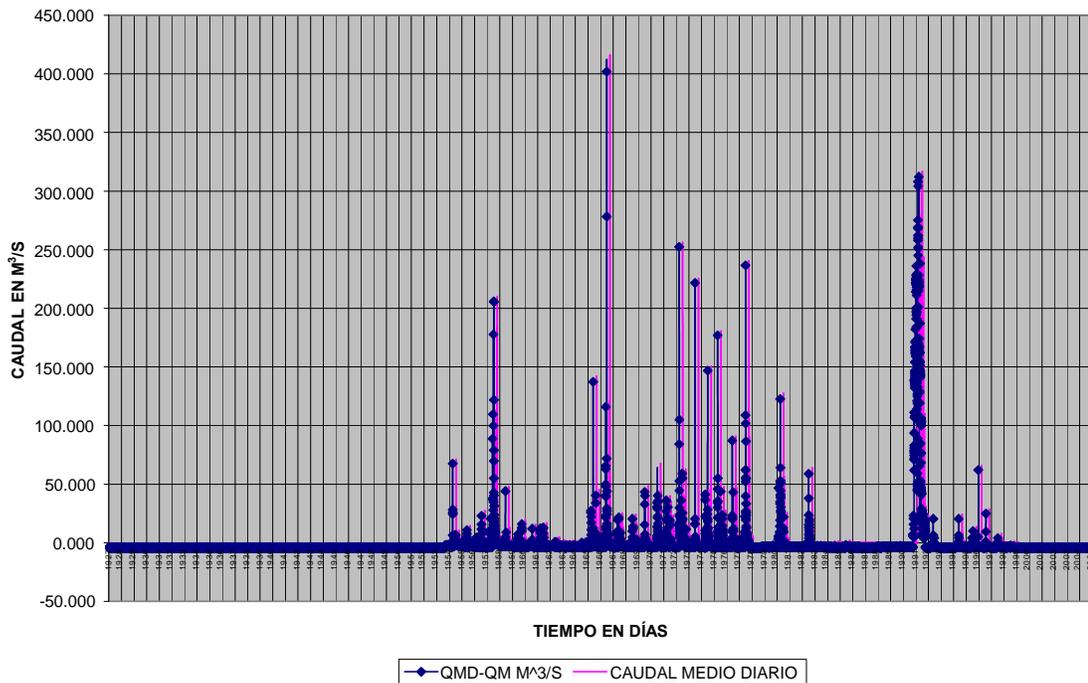
SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN CADEREYTA (24327)

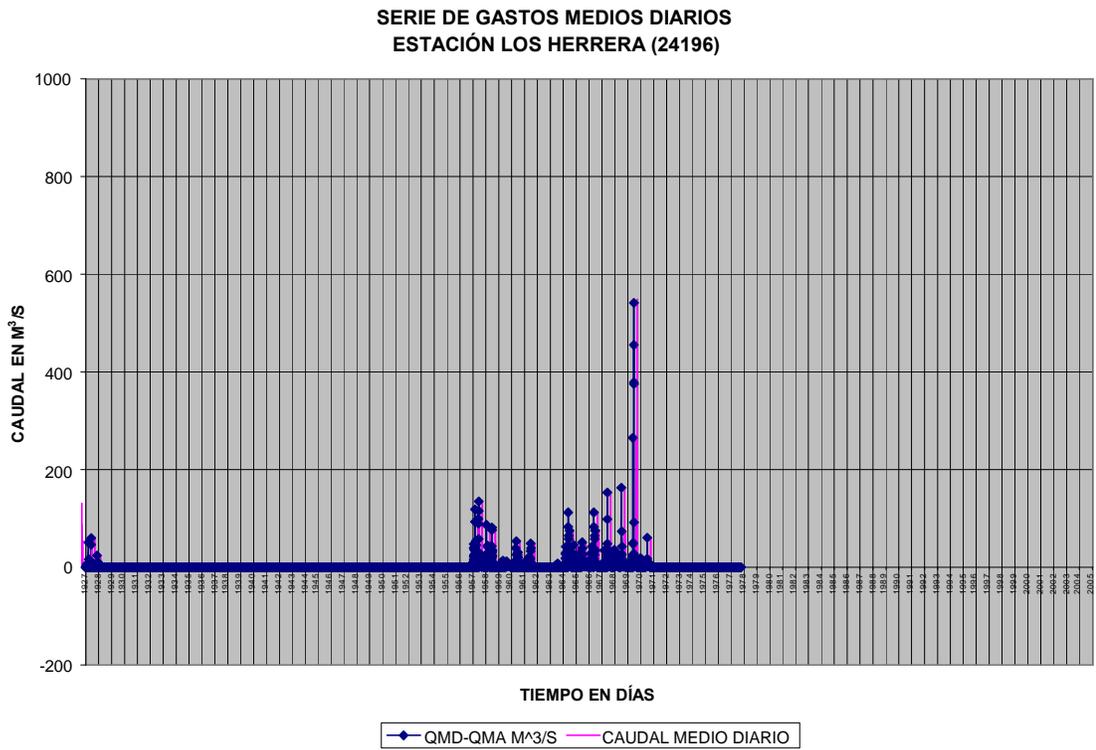
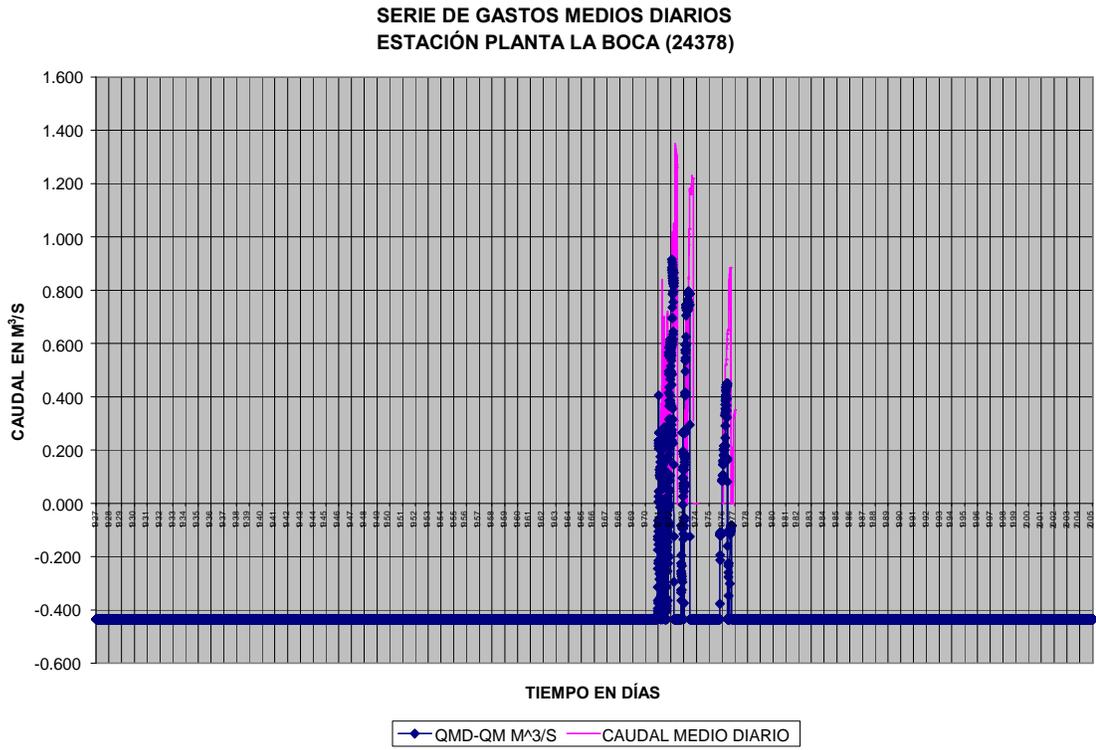


SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN LA AREANA (24326)

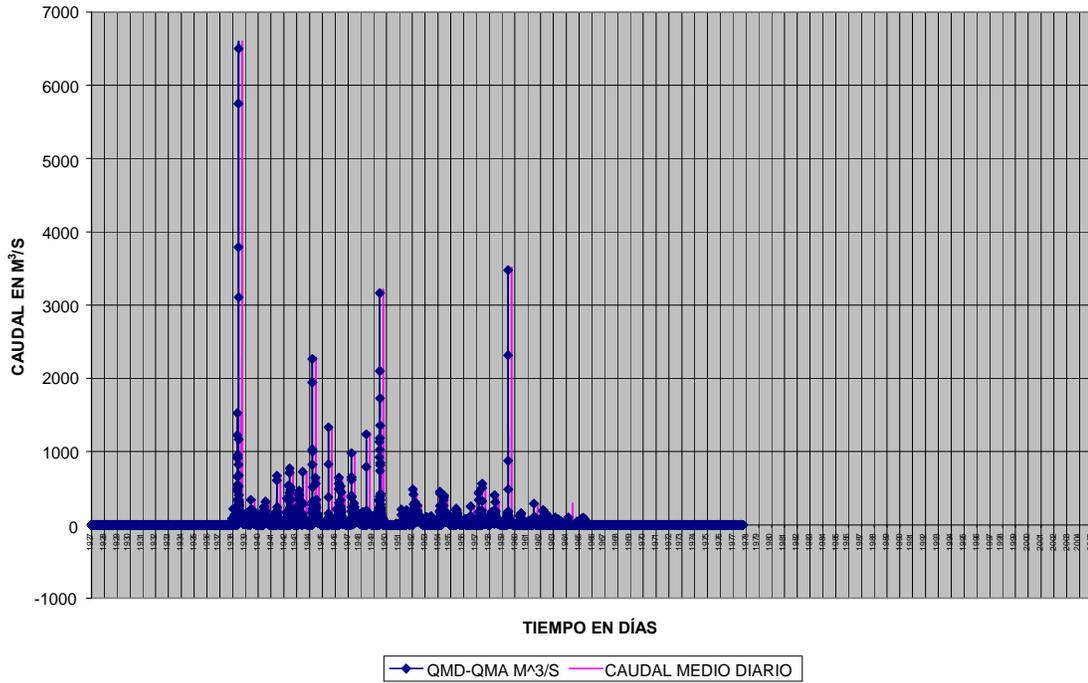


SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN LA BOCA (24271)

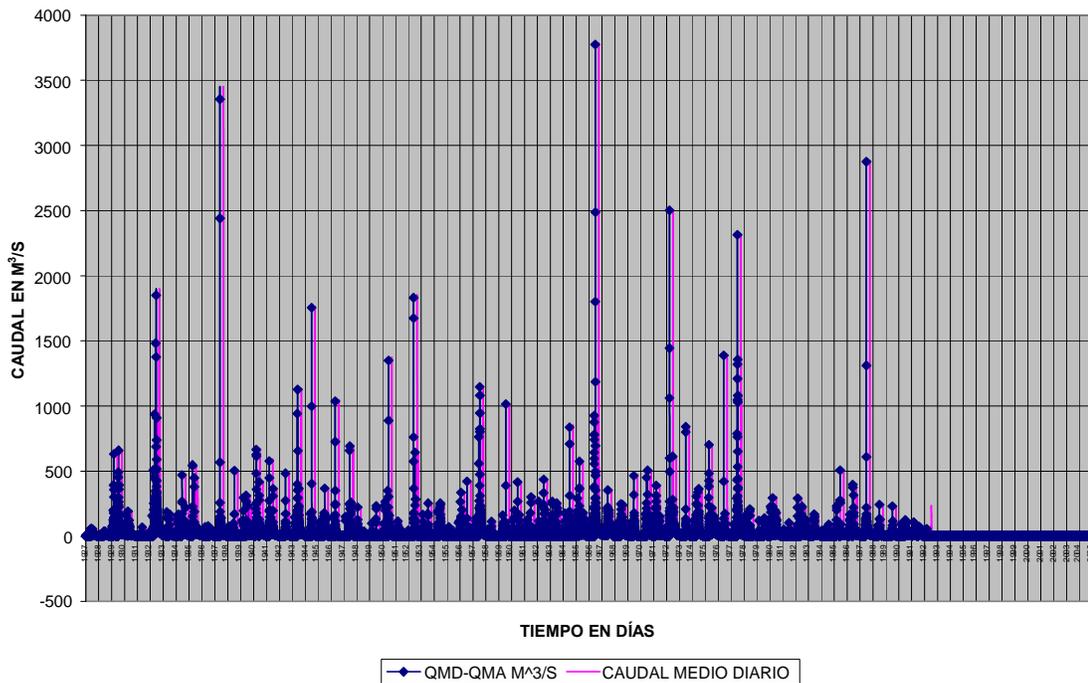




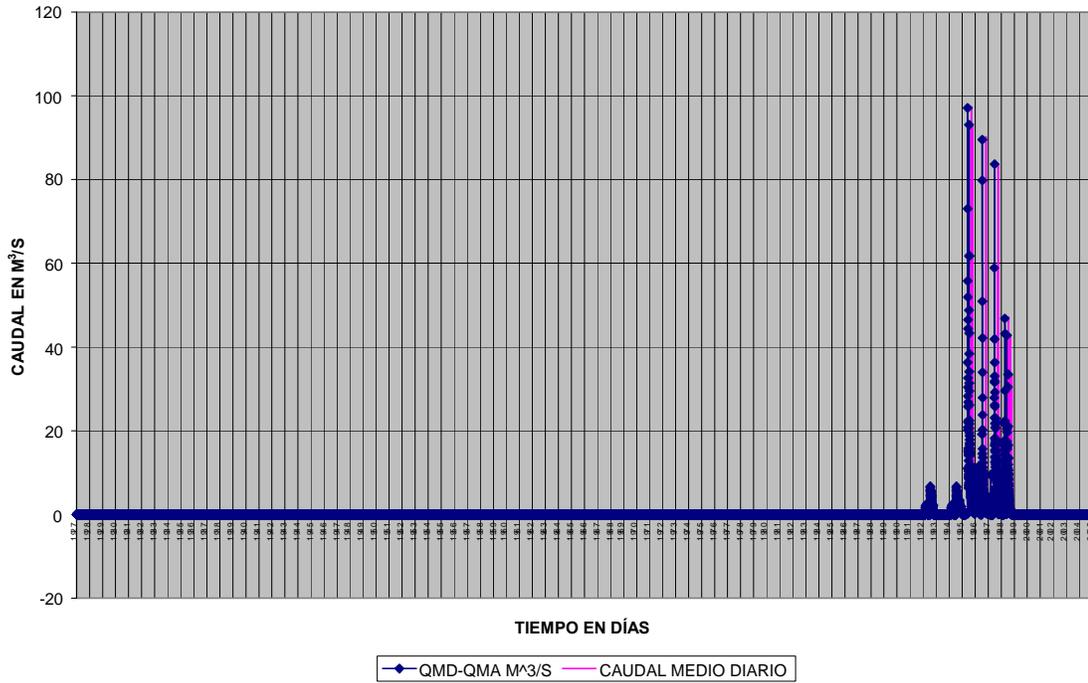
SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN LOS ALDAMA (24351)



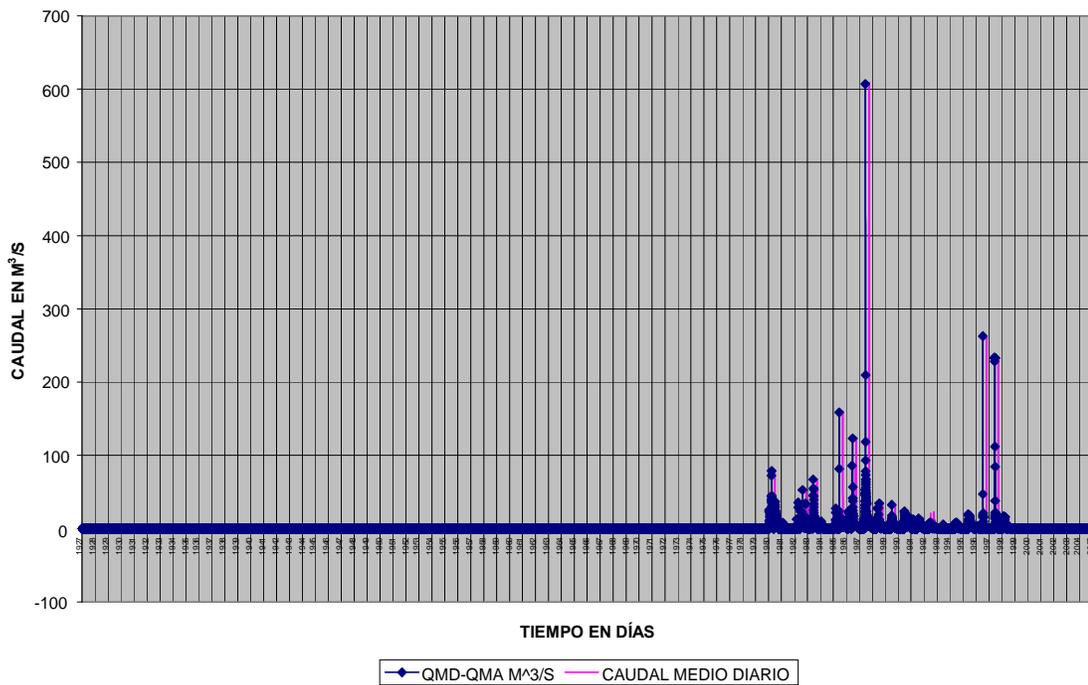
SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN EL CUCHILLO (24088)



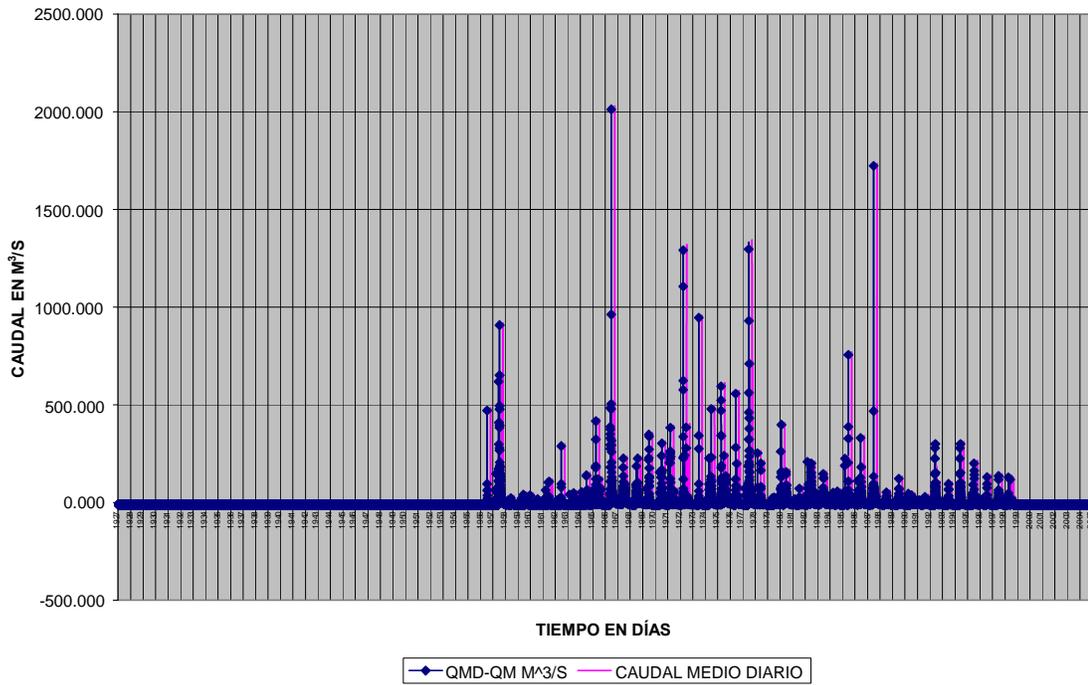
**SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN ENRAMADAS (24335)**



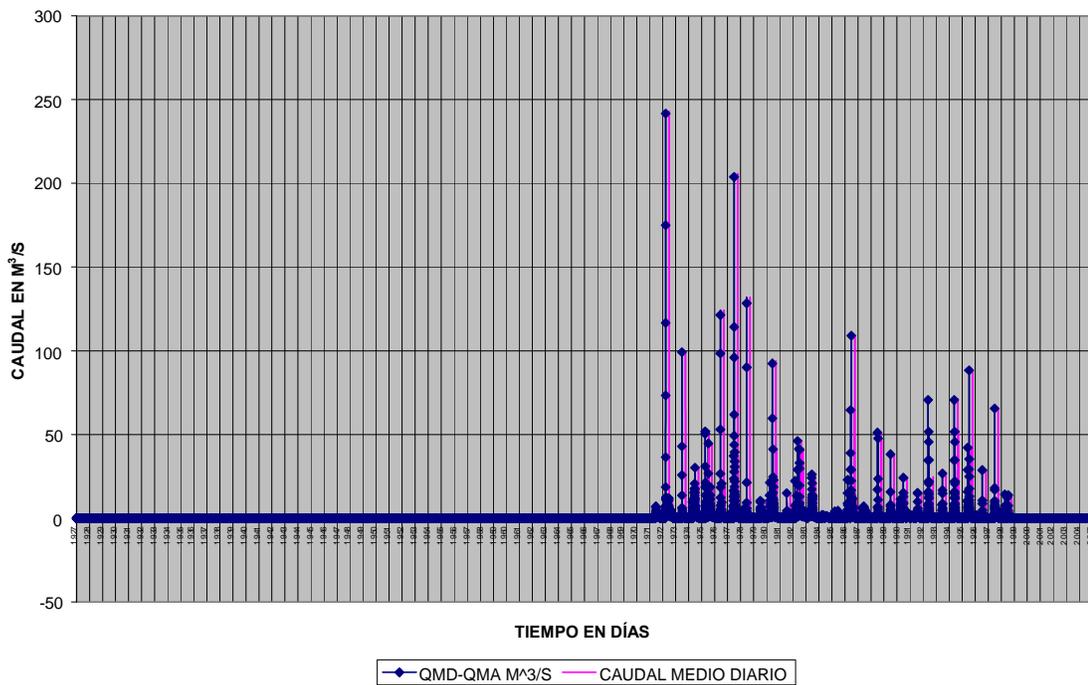
**SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN LAS BRISAS (24506)**



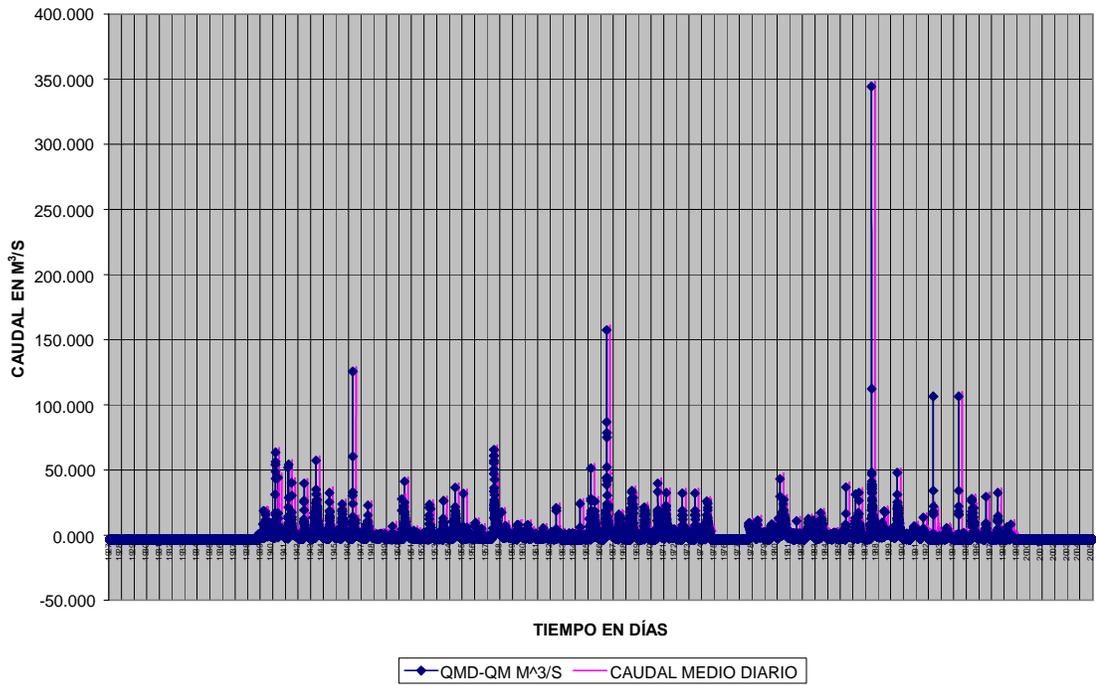
**SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN EL TEPEHUAJE (24301)**



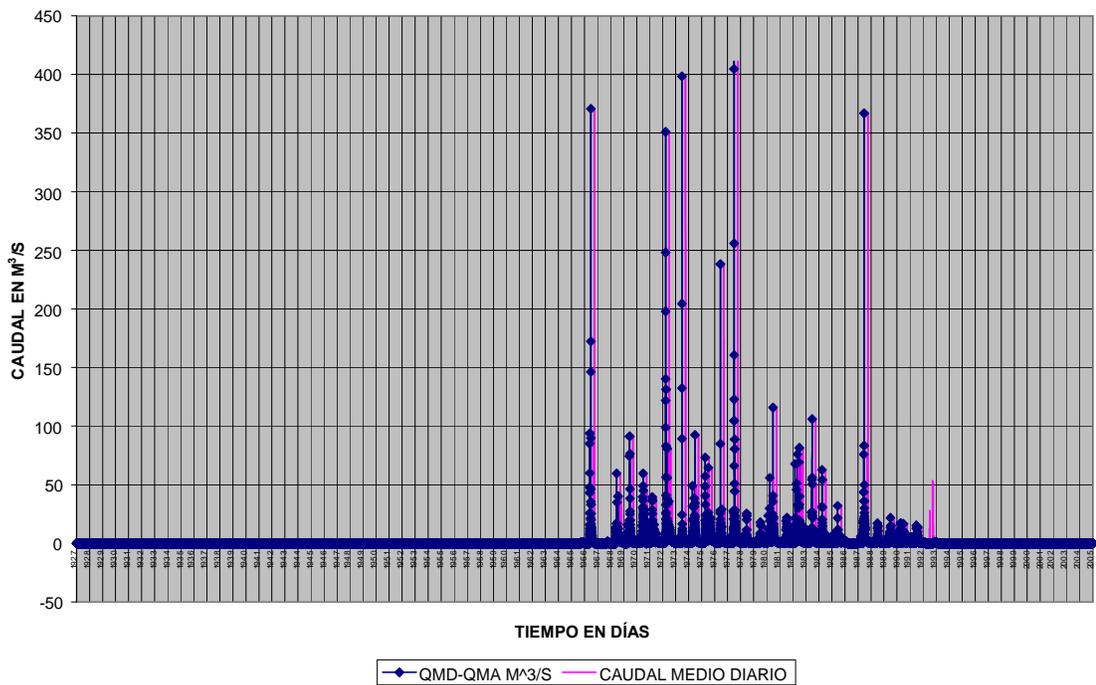
**SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN CONGREGACIÓN CALLES (24385)**



**SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN MONTEMORELOS (24271)**

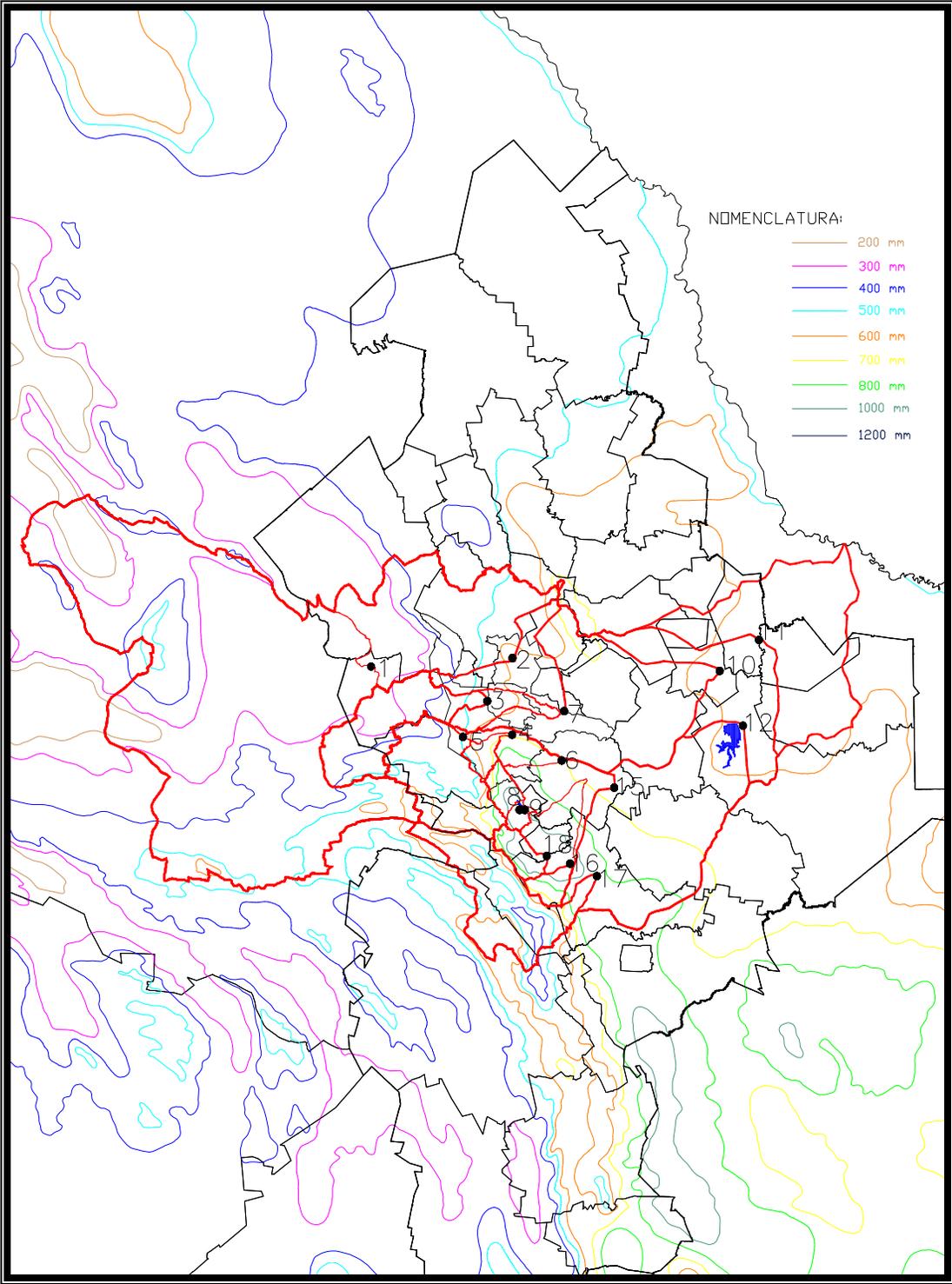


**SERIE DE GASTOS MEDIOS DIARIOS
ESTACIÓN RAÍCES (24330)**



APÉNDICE B

DATOS DE PRECIPITACIÓN



DATOS DE ISOYETAS DEL INEGI.

APÉNDICE C

DETERMINACIÓN DE LOS DATOS FISIAGRÁFICOS

FISIOGRAFÍA DE LA CUENCA A LA ESTACIÓN No. 1 ICAMOLE

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 19$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

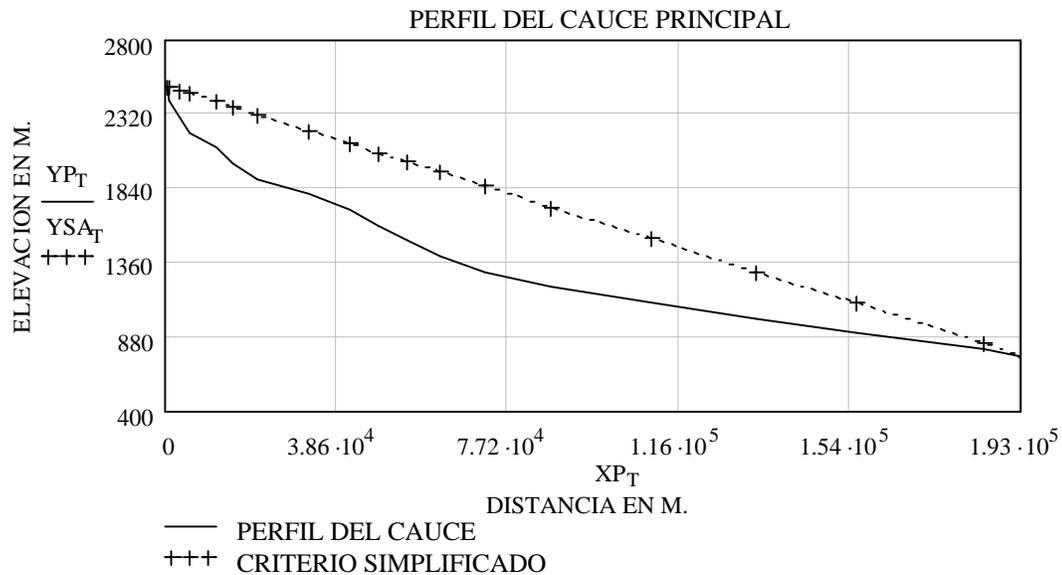
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1750$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.01$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 249484639.246$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 104157488.671$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

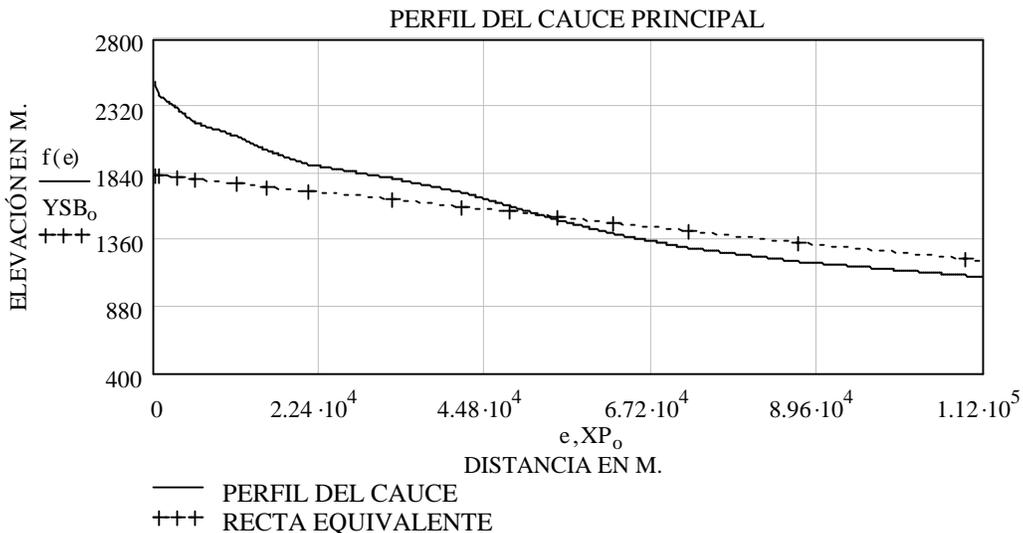
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 1075.066$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO Z = 9 TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

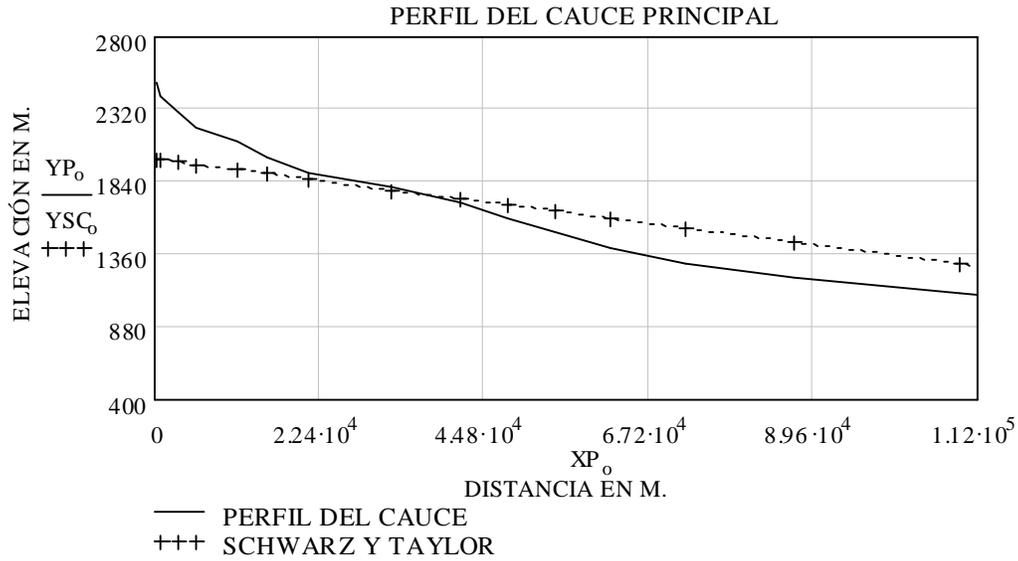
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	2500
596.557	2400
3118.719	2300
5439.654	2200
1268.937	2100
5167.906	2000
0694.884	1900
2020.484	1800
1435.037	1700
7977.449	1600
4435.502	1500
61985.23	1400
2024.916	1300
6983.464	1200
.095·10 ⁵	1100
1.33·10 ⁵	1000
.559·10 ⁵	900
.846·10 ⁵	800
.938·10 ⁵	750

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 2 CIÉNEGA DE FLORES

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 23$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

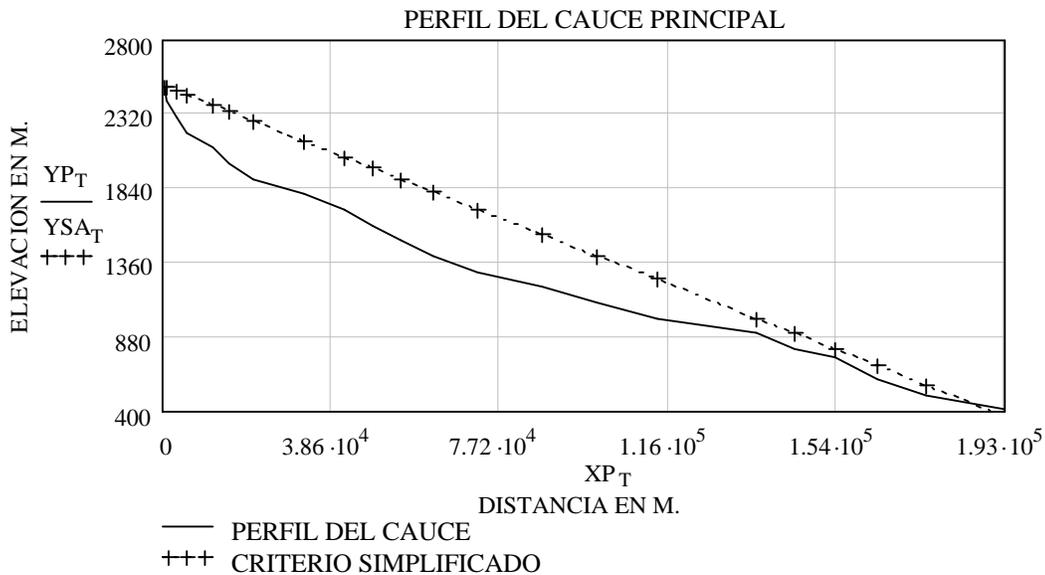
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 2200$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.01$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE. SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 233770635.332$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 174139635.332$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

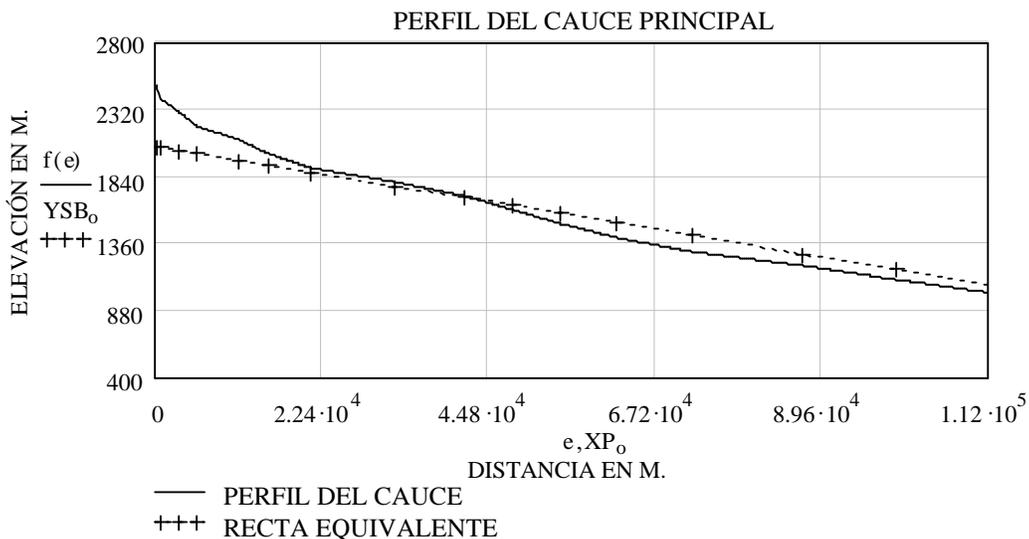
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 1752.172$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$\begin{aligned} T0 &:= \text{linterp}(XP, YP, a) & T5 &:= \text{linterp}(XP, YP, f) \\ T1 &:= \text{linterp}(XP, YP, b) & T6 &:= \text{linterp}(XP, YP, g) \\ T2 &:= \text{linterp}(XP, YP, c) & T7 &:= \text{linterp}(XP, YP, h) \\ T3 &:= \text{linterp}(XP, YP, d) & T8 &:= \text{linterp}(XP, YP, i) \\ T4 &:= \text{linterp}(XP, YP, e) & T9 &:= \text{linterp}(XP, YP, j) \end{aligned}$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$\begin{aligned} S_0 &:= T0 - T1 & S_1 &:= T1 - T2 & S_2 &:= T2 - T3 & S_3 &:= T3 - T4 & S_4 &:= T4 - T5 \\ S_5 &:= T5 - T6 & S_6 &:= T6 - T7 & S_7 &:= T7 - T8 & S_8 &:= T8 - T9 \end{aligned}$$

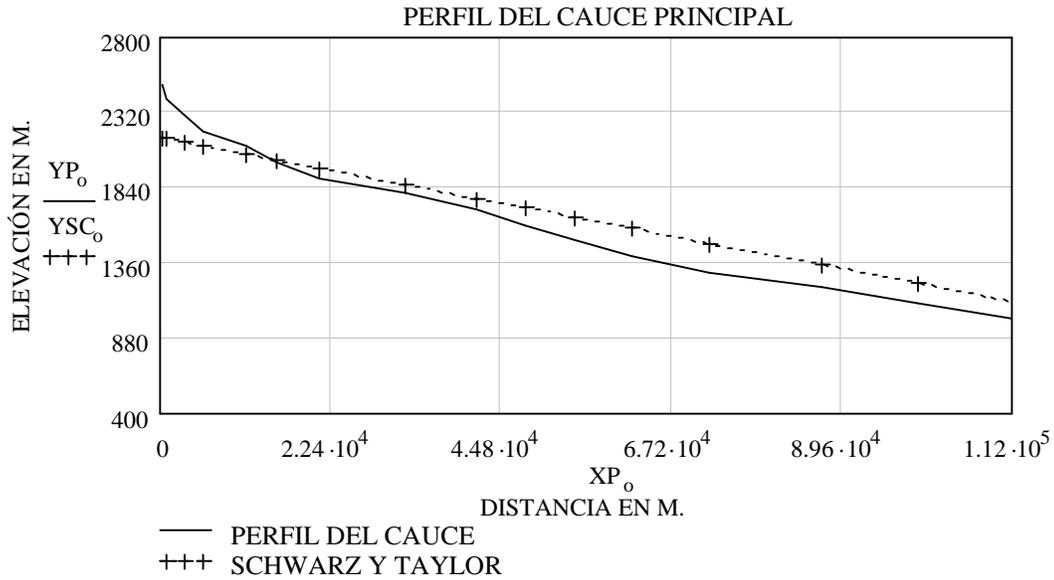
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	2500
596.6	2400
3118.7	2300
5439.7	2200
11268.9	2100
15167.9	2000
20694.9	1900
32020.5	1800
41435	1700
47977.4	1600
54435.5	1500
61985.2	1400
72024.9	1300
86983.5	1200
99477.4	1100
$1.13 \cdot 10^5$	1000
$359 \cdot 10^5$	900
$446 \cdot 10^5$	800
$538 \cdot 10^5$	750

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 3 EL CANADA

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 18$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

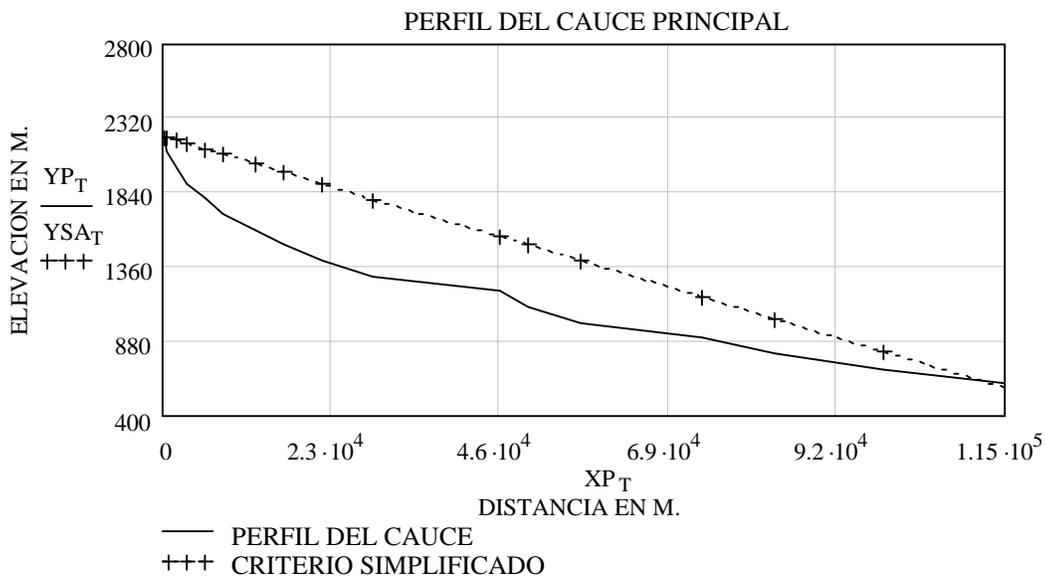
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1700$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.01$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 128555239.383$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 68408166.083$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

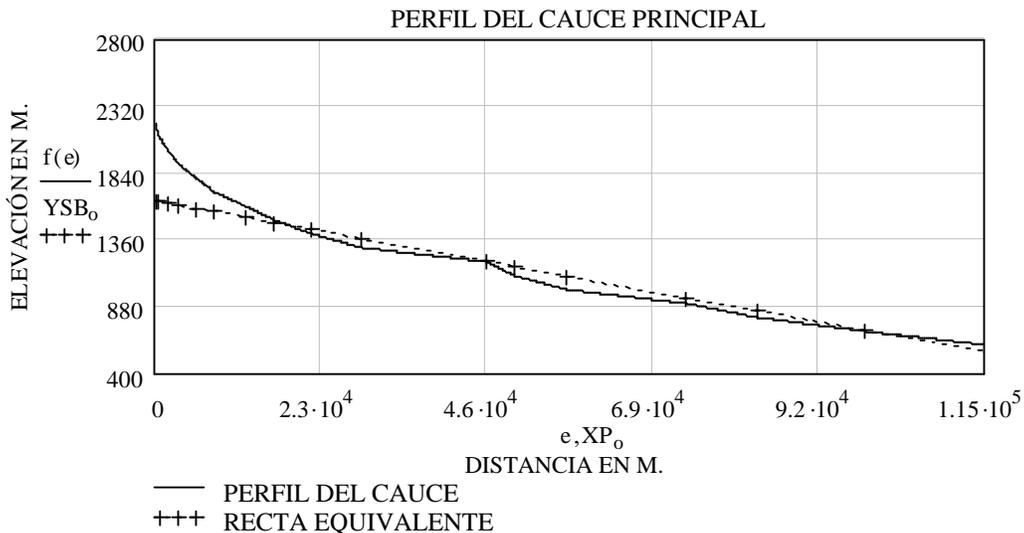
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 1137.348$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

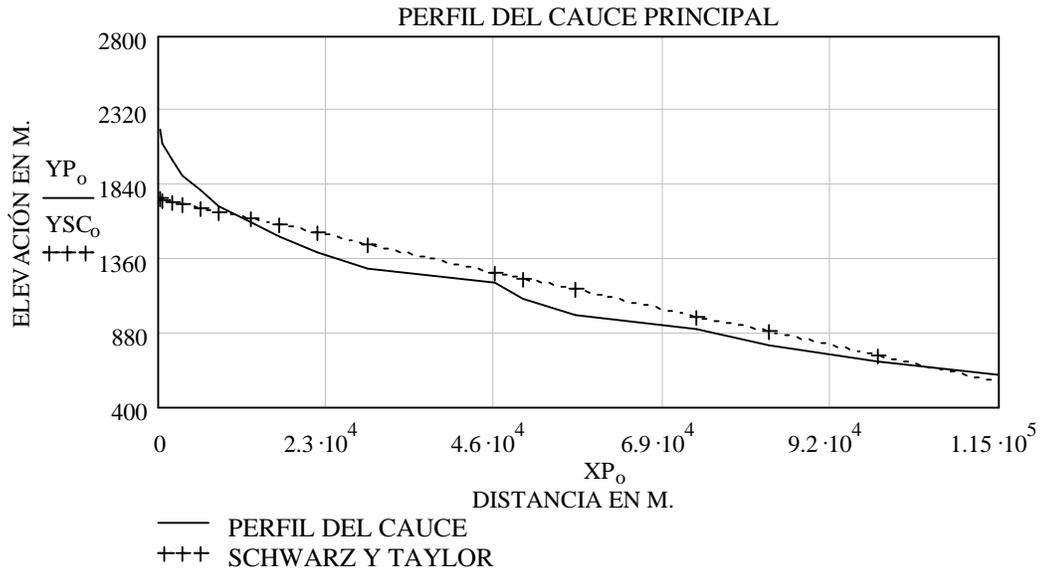
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	200
524.167	100
762.892	000
287.436	900
685.206	800
182.905	700
520.946	600
481.446	500
698.775	400
663.331	300
887.893	200
743.244	100
918.111	000
608.514	900
390.099	800
388.593	700
156·10 ⁵	600
203·10 ⁵	500

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 4 LOS LERMAS

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 16$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

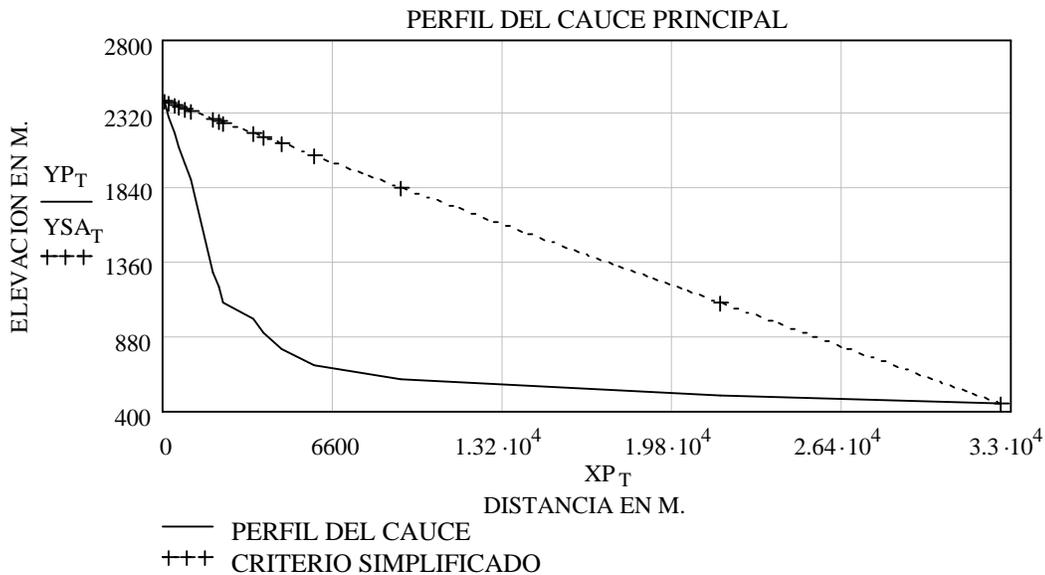
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1950$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.06$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE. SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 21511560.443$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 6868113.548$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

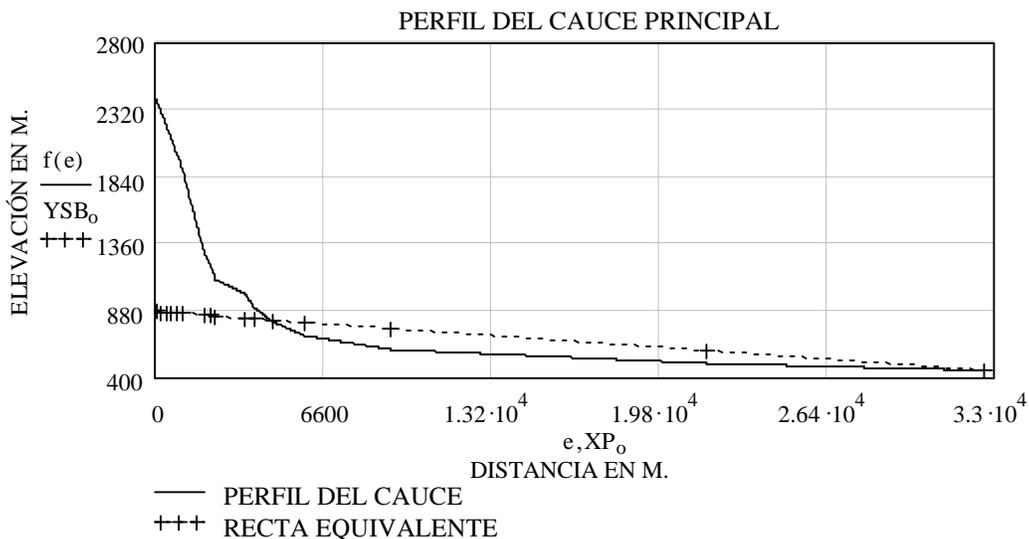
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 422.121$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

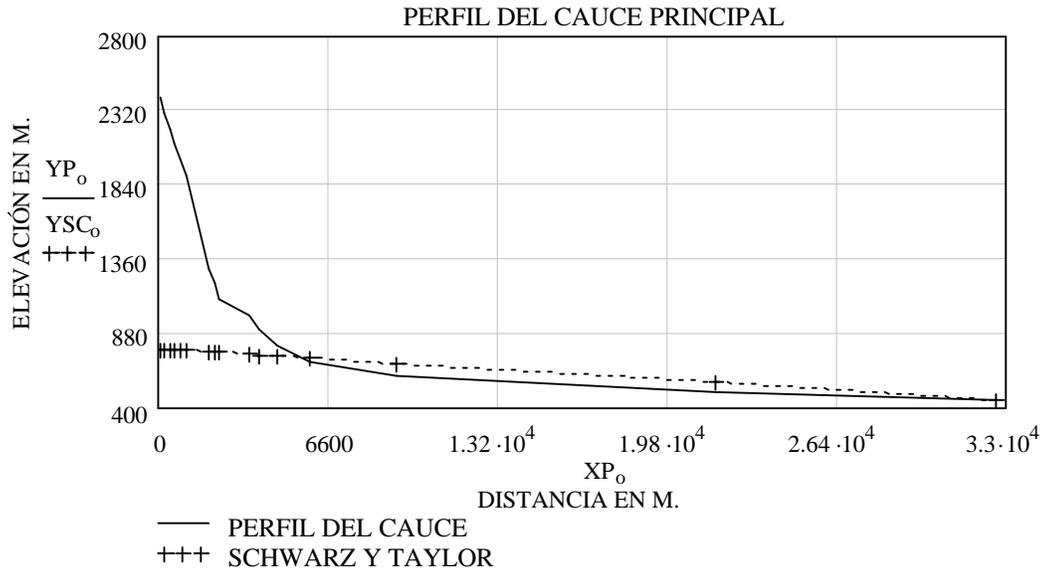
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$X_{P_o} =$	$Y_{P_o} =$
0	400
208.465	300
424.455	200
623.42	100
838.461	000
1034.726	900
1289.893	300
159.805	200
342.559	100
505.925	000
3874.11	900
572.707	800
818.377	700
225.145	600
650.832	500
540.993	450

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 5 MONTERREY

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 13$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

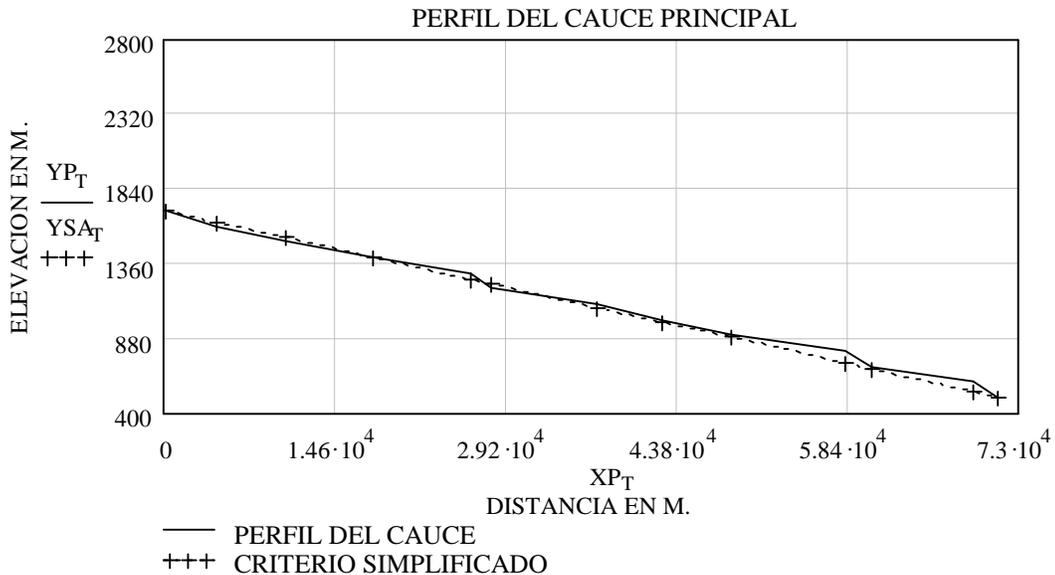
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1200$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.02$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT}\right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT}\right) \qquad ABC = 79483620.851$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 43864289.051$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

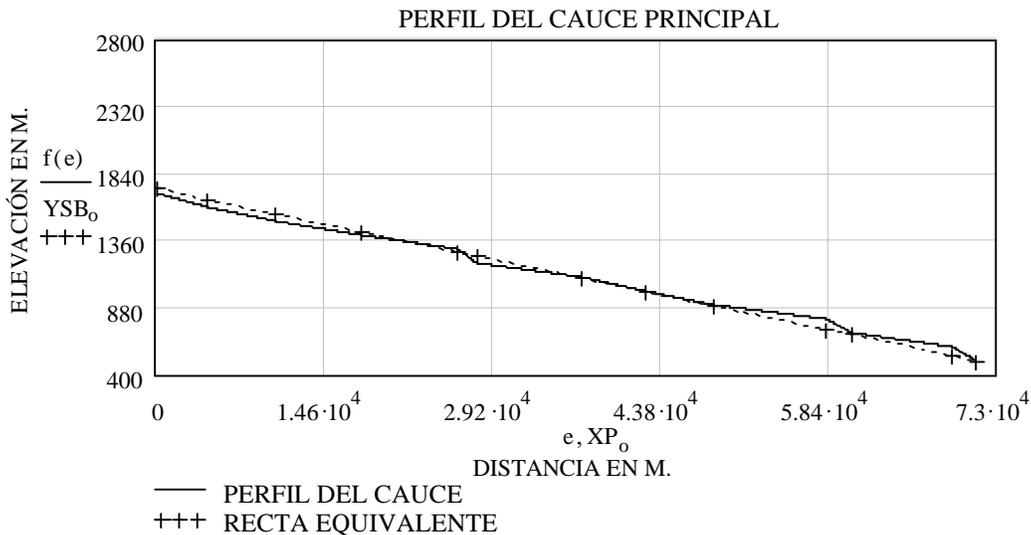
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 1231.474$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.02$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

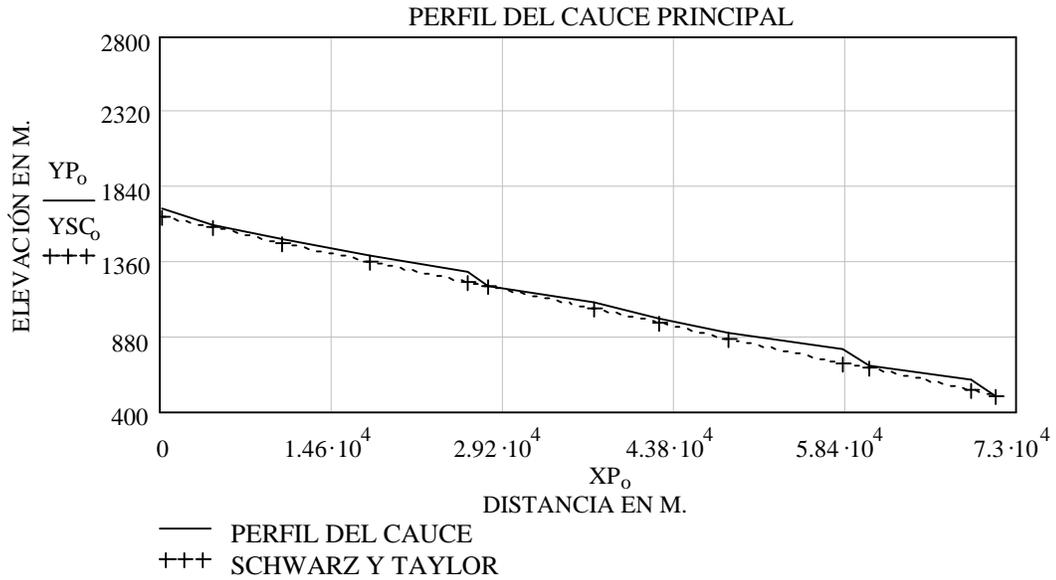
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.02$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_0 =$	$YP_0 =$
0	700
500.542	600
415.422	500
867.778	400
191.019	300
816.886	200
912.943	100
431.198	000
414.663	900
8127.54	800
431.572	700
129.869	600
238.664	500

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 6 CADEREYTA

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 16$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

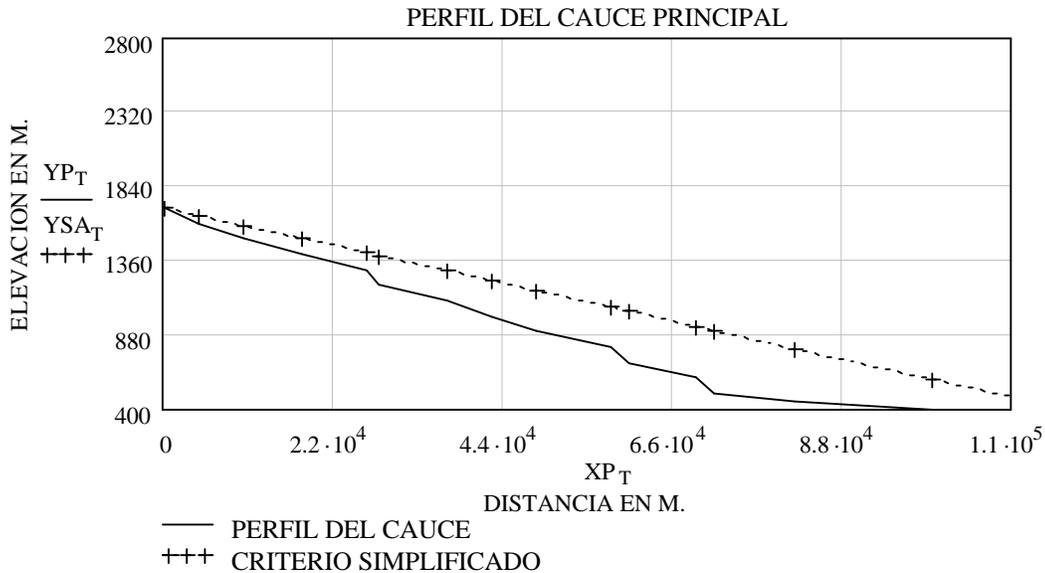
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1350$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.01$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 100284854.225$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 57800696.81$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

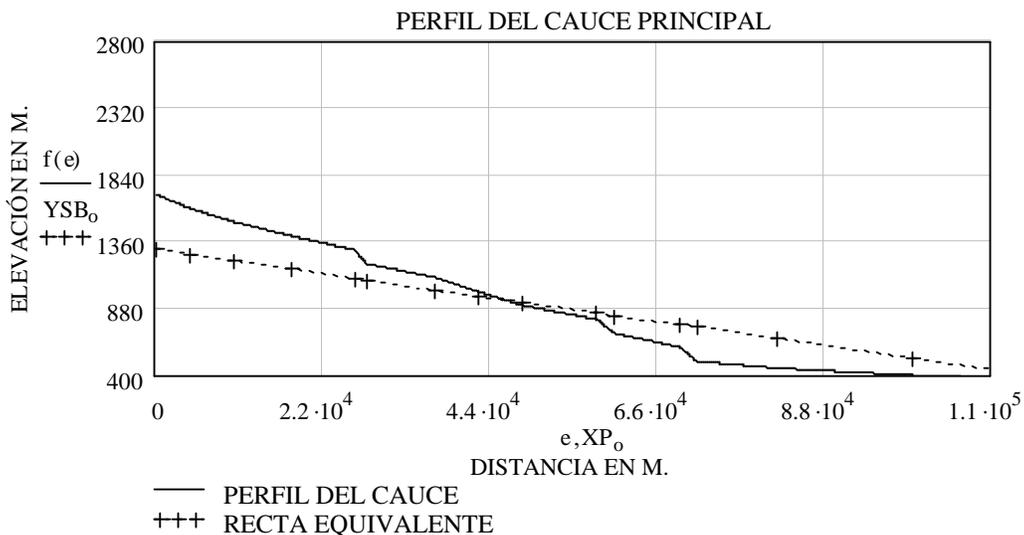
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 952.366$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

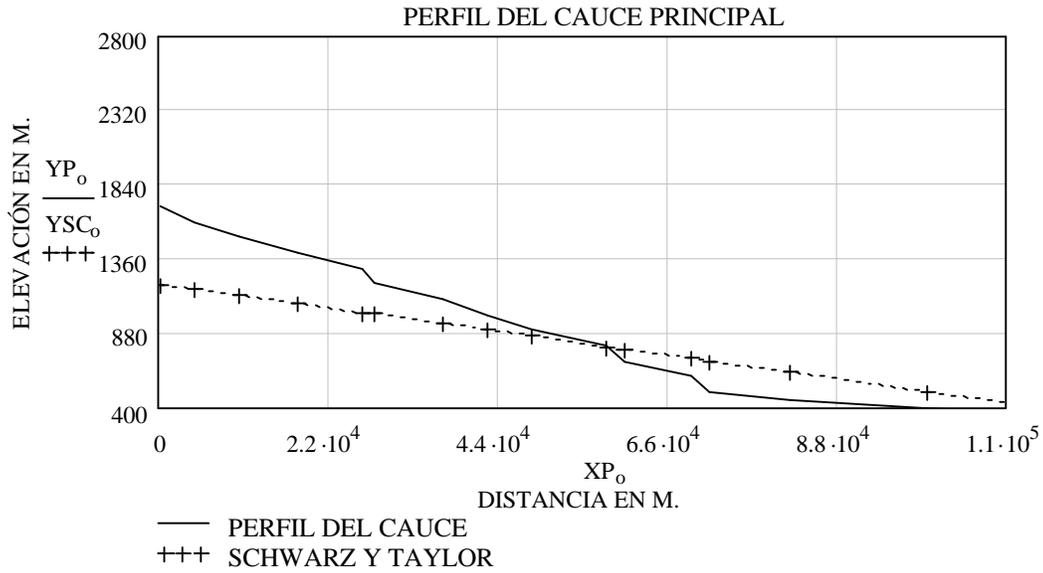
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	700
500.542	600
415.422	500
867.778	400
191.019	300
816.886	200
912.943	100
431.198	000
414.663	900
8127.54	800
431.572	700
129.869	600
238.664	500
854.262	450
640.377	400
214·10 ⁵	350

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 7 LA ARENA

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 20$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

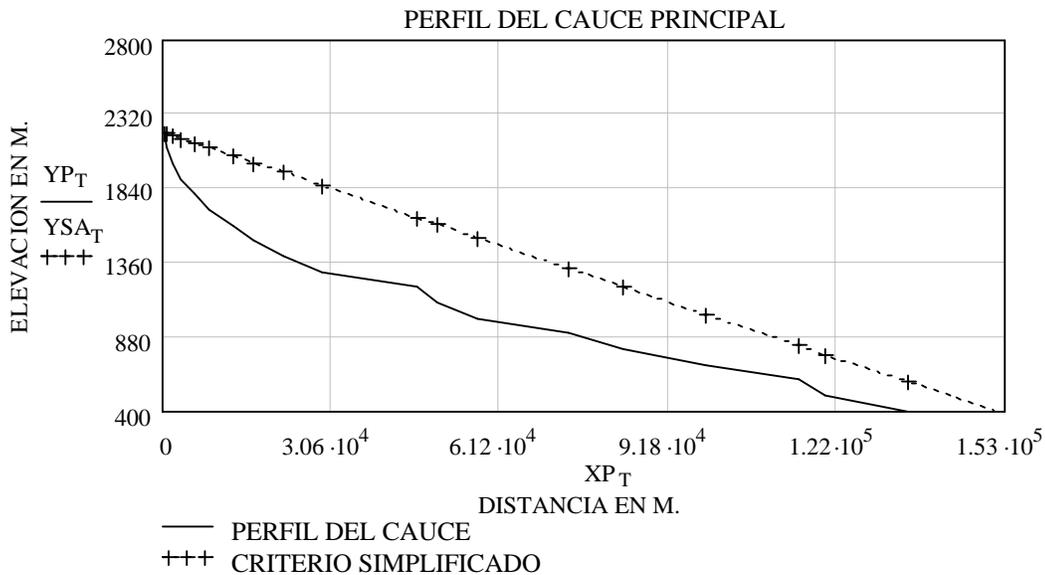
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1900$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.01$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 143663660.947$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 95927617.807$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

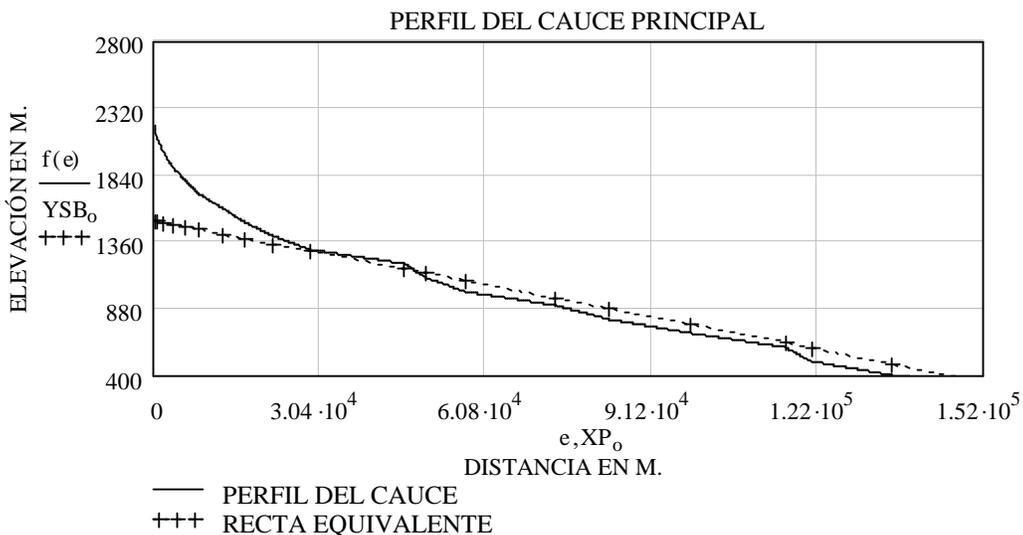
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 1205.726$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$\begin{aligned} T0 &:= \text{linterp}(XP, YP, a) & T5 &:= \text{linterp}(XP, YP, f) \\ T1 &:= \text{linterp}(XP, YP, b) & T6 &:= \text{linterp}(XP, YP, g) \\ T2 &:= \text{linterp}(XP, YP, c) & T7 &:= \text{linterp}(XP, YP, h) \\ T3 &:= \text{linterp}(XP, YP, d) & T8 &:= \text{linterp}(XP, YP, i) \\ T4 &:= \text{linterp}(XP, YP, e) & T9 &:= \text{linterp}(XP, YP, j) \end{aligned}$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$\begin{aligned} S_0 &:= T0 - T1 & S_1 &:= T1 - T2 & S_2 &:= T2 - T3 & S_3 &:= T3 - T4 & S_4 &:= T4 - T5 \\ S_5 &:= T5 - T6 & S_6 &:= T6 - T7 & S_7 &:= T7 - T8 & S_8 &:= T8 - T9 \end{aligned}$$

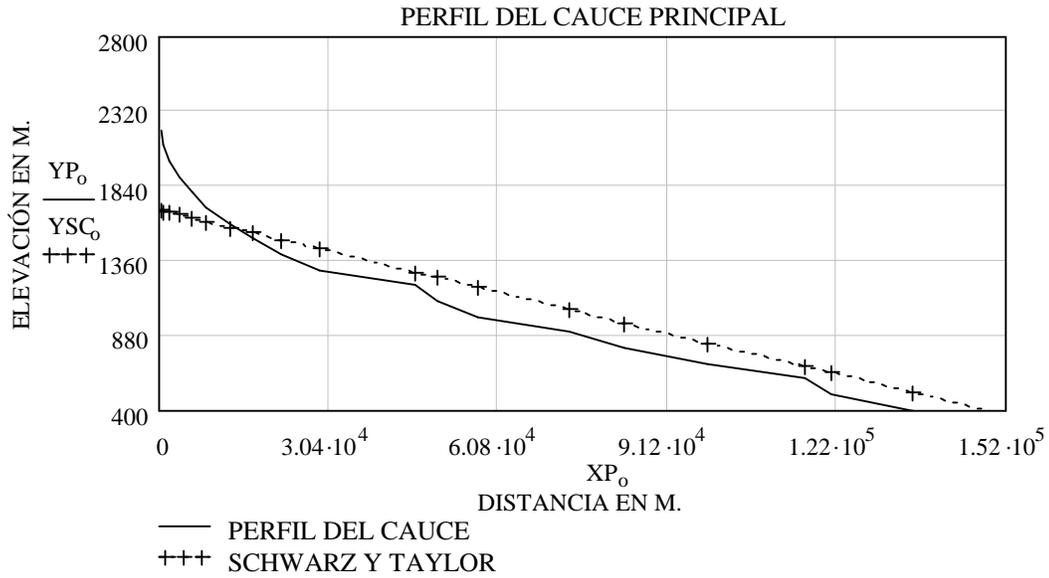
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	2200
524.167	2100
762.892	2000
287.436	900
685.206	800
182.905	700
520.946	600
481.446	500
698.775	400
663.331	300
887.893	200
743.244	100
918.111	000
608.514	900
390.099	800
388.593	700
$156 \cdot 10^5$	600
$203 \cdot 10^5$	500
$351 \cdot 10^5$	400

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 8 LA BOCA

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 15$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

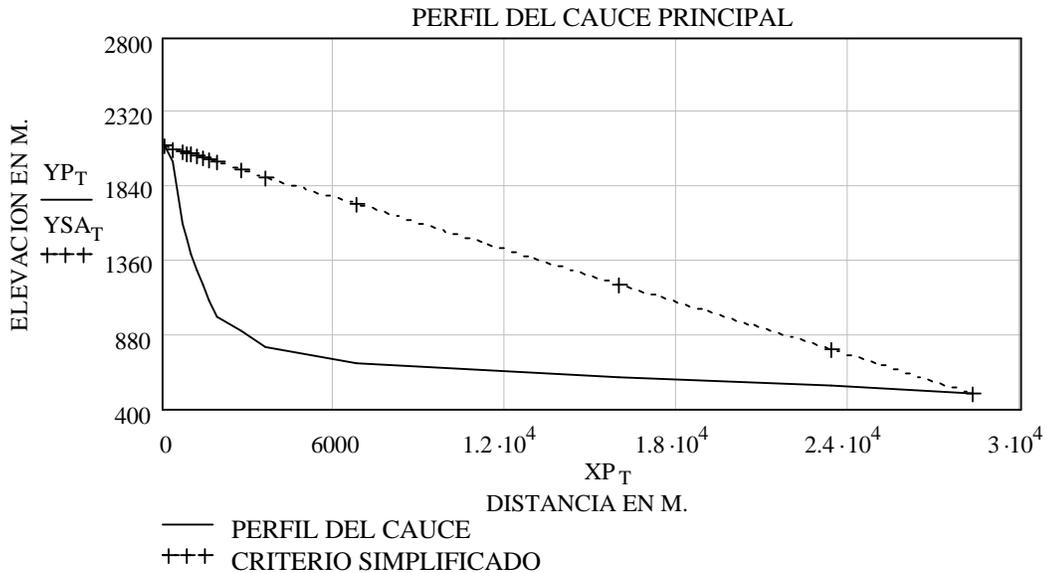
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1600$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.06$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN $f(e)$.

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 19555582.005$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 5427299.705$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

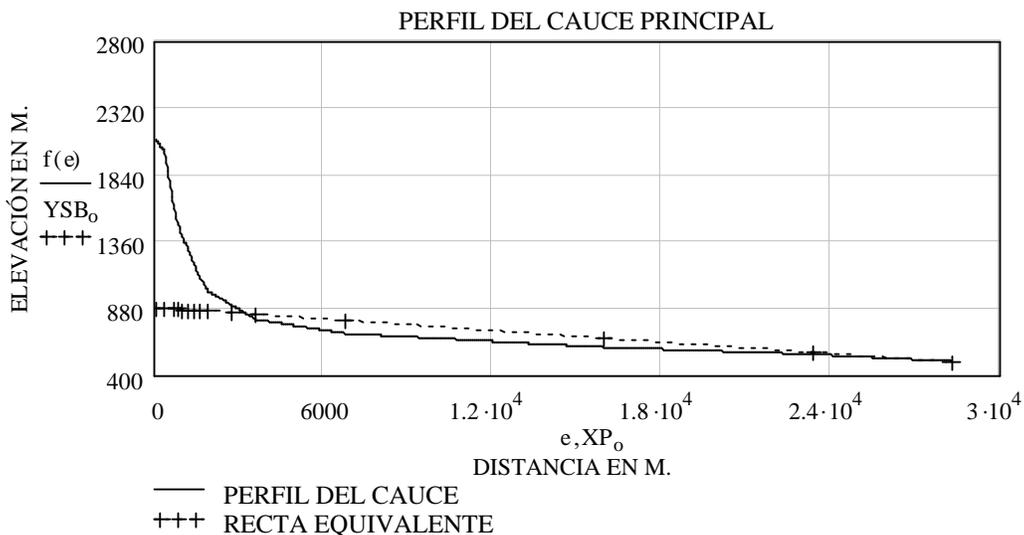
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 384.144$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

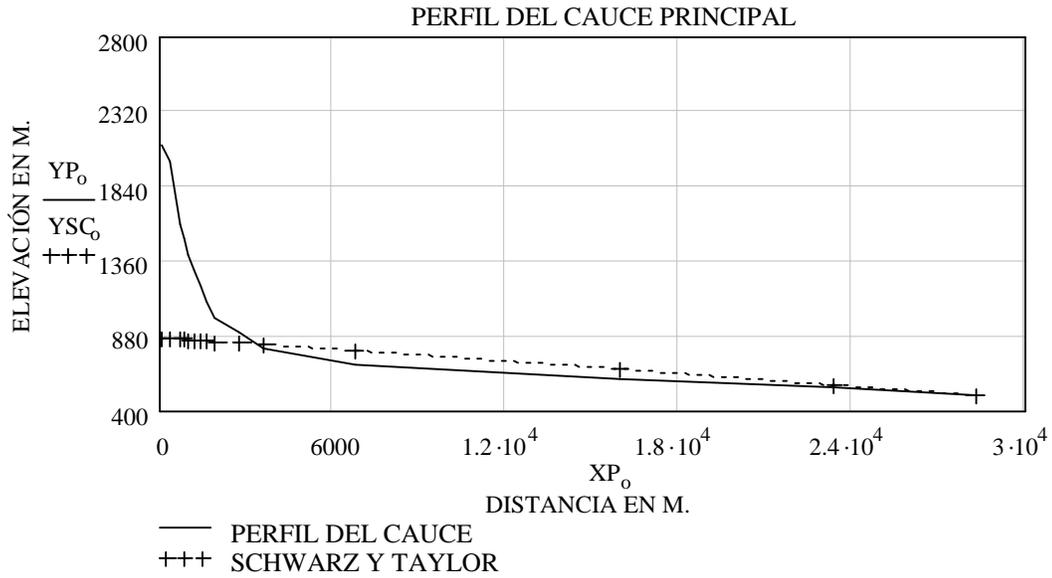
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	2100
337.626	2000
663.872	1600
780.906	1500
951.873	1400
1167.96	1300
1367.239	1200
1583.746	1100
1894.595	1000
2740.14	900
3573.04	800
6712.157	700
15883.888	600
23304.392	550
28256.565	500

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 9 LA BOCA II

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 15$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

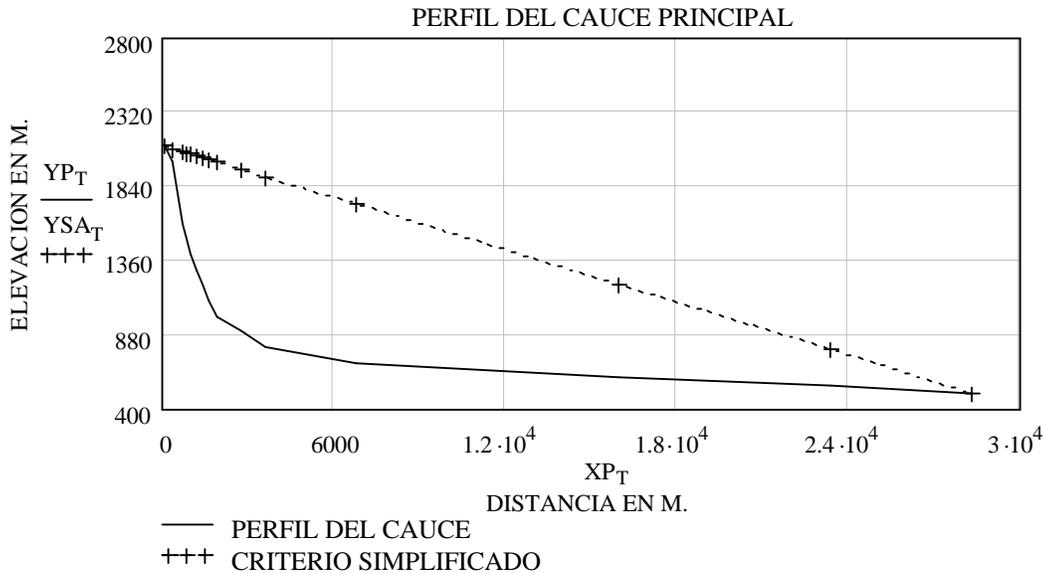
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1600$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.06$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE. SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 19555582.005$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 5427299.705$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

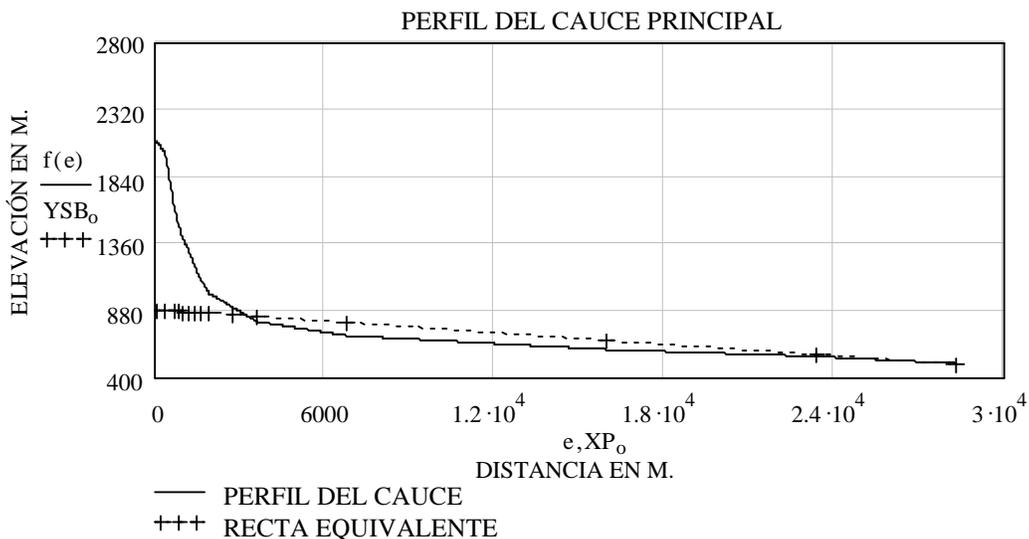
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 384.144$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$\begin{aligned} T0 &:= \text{linterp}(XP, YP, a) & T5 &:= \text{linterp}(XP, YP, f) \\ T1 &:= \text{linterp}(XP, YP, b) & T6 &:= \text{linterp}(XP, YP, g) \\ T2 &:= \text{linterp}(XP, YP, c) & T7 &:= \text{linterp}(XP, YP, h) \\ T3 &:= \text{linterp}(XP, YP, d) & T8 &:= \text{linterp}(XP, YP, i) \\ T4 &:= \text{linterp}(XP, YP, e) & T9 &:= \text{linterp}(XP, YP, j) \end{aligned}$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$\begin{aligned} S_0 &:= T0 - T1 & S_1 &:= T1 - T2 & S_2 &:= T2 - T3 & S_3 &:= T3 - T4 & S_4 &:= T4 - T5 \\ S_5 &:= T5 - T6 & S_6 &:= T6 - T7 & S_7 &:= T7 - T8 & S_8 &:= T8 - T9 \end{aligned}$$

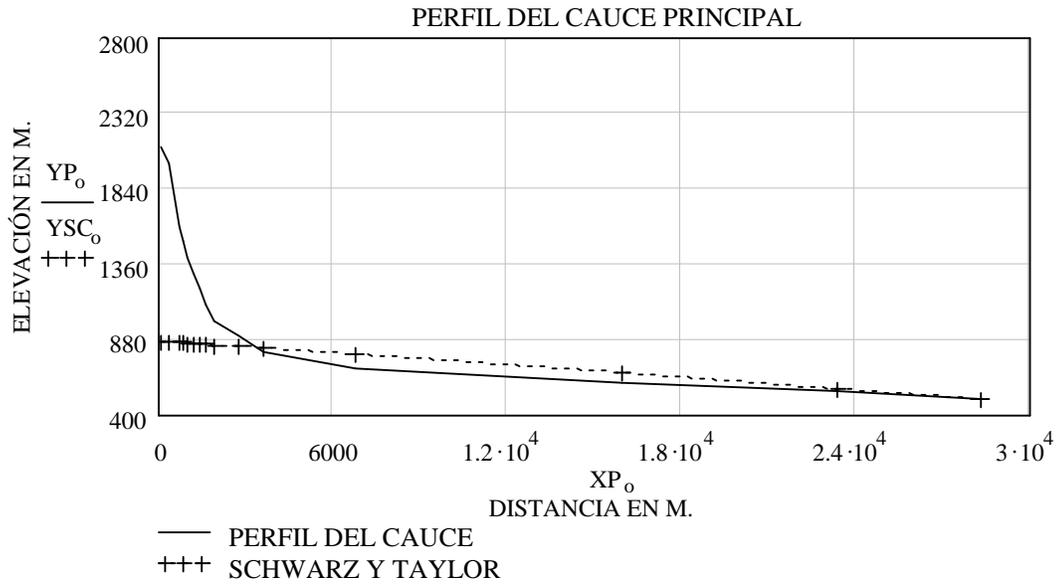
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	2100
337.626	2000
663.872	600
780.906	500
951.873	400
1167.96	300
367.239	200
583.746	100
894.595	000
2740.14	900
3573.04	800
712.157	700
883.888	600
304.392	550
256.565	500

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 10 LOS HERRERA

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 24$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

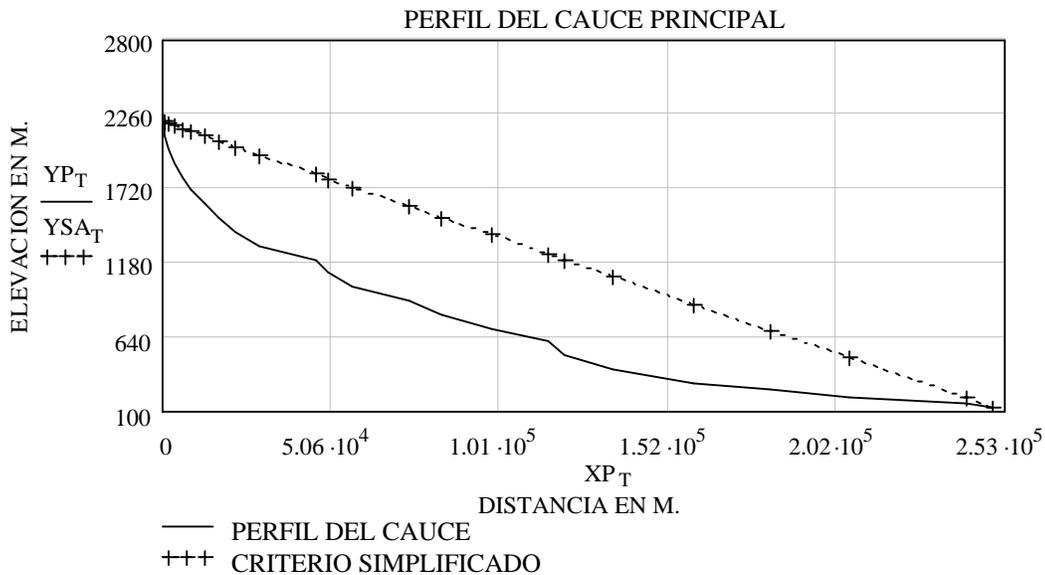
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 2075$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.01$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 162696666.527$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 131563375.79$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

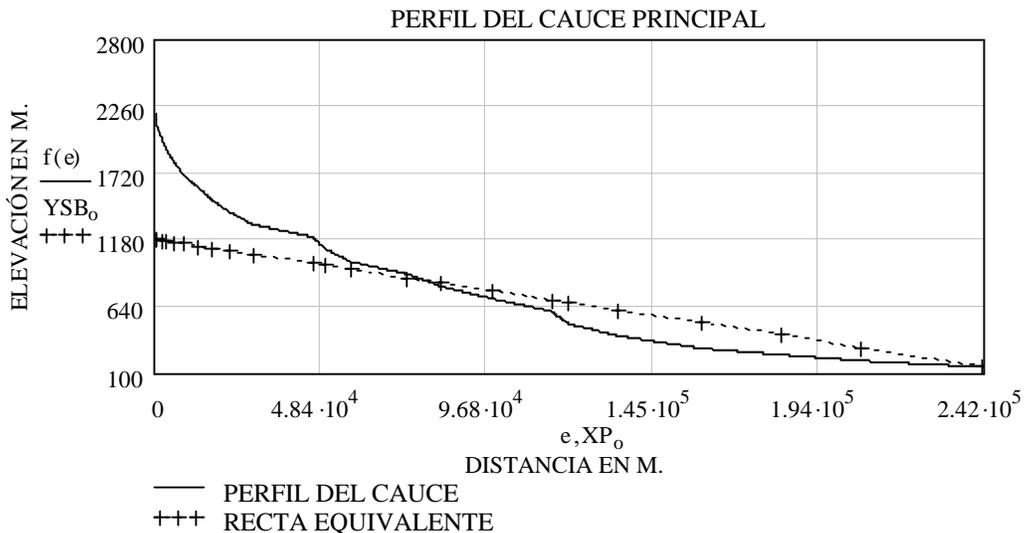
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 1056.453$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

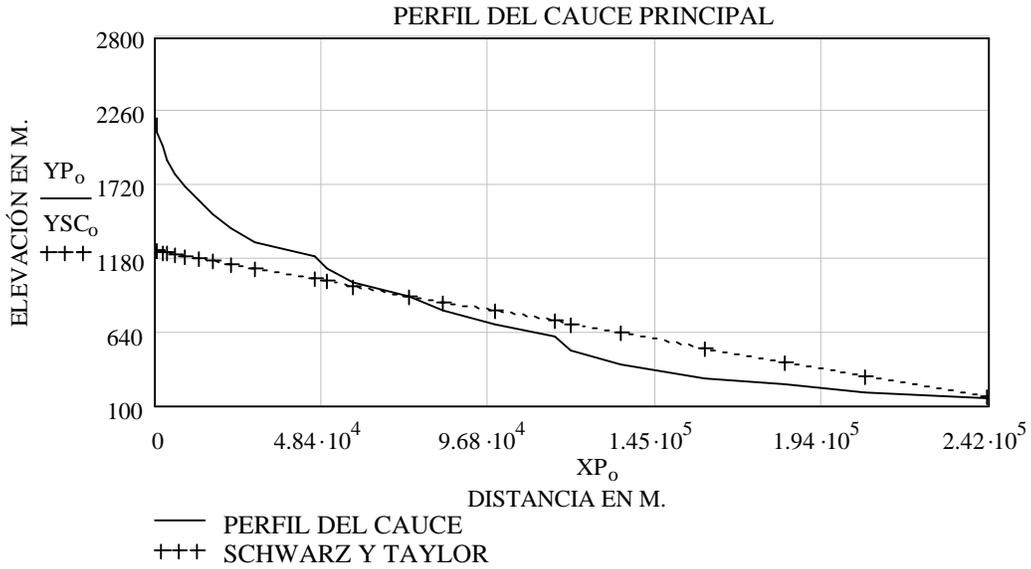
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	2200
524.167	2100
762.892	2000
287.436	900
685.206	800
182.905	700
520.946	600
481.446	500
698.775	400
663.331	300
887.893	200
743.244	100
918.111	000
608.514	900
390.099	800
388.593	700
$156 \cdot 10^5$	600
$203 \cdot 10^5$	500
$351 \cdot 10^5$	400

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 11 LOS ALDAMA

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 25$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

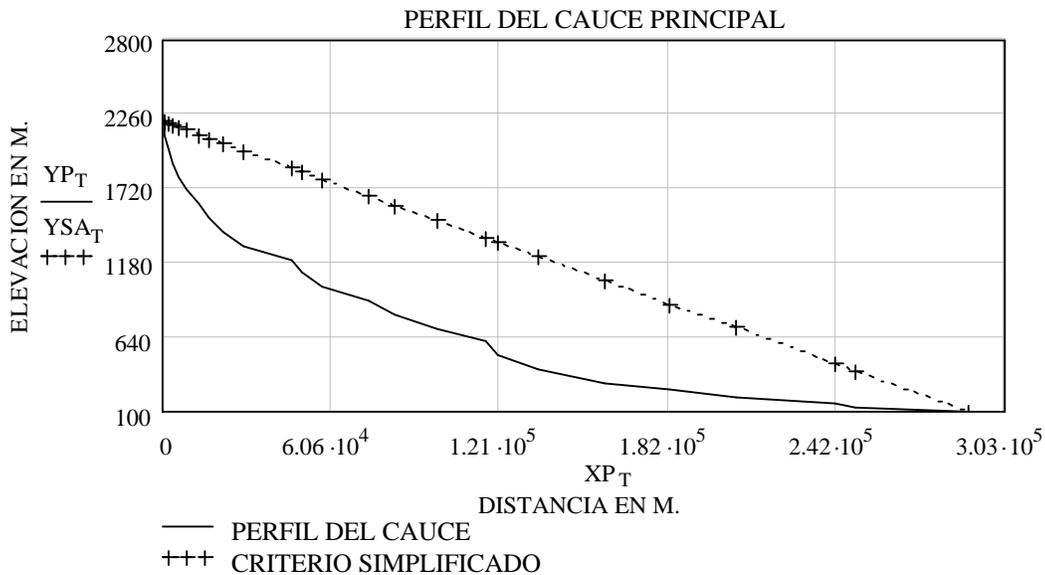
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 2100$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.01$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE. SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 167275337.427$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 138337813.807$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

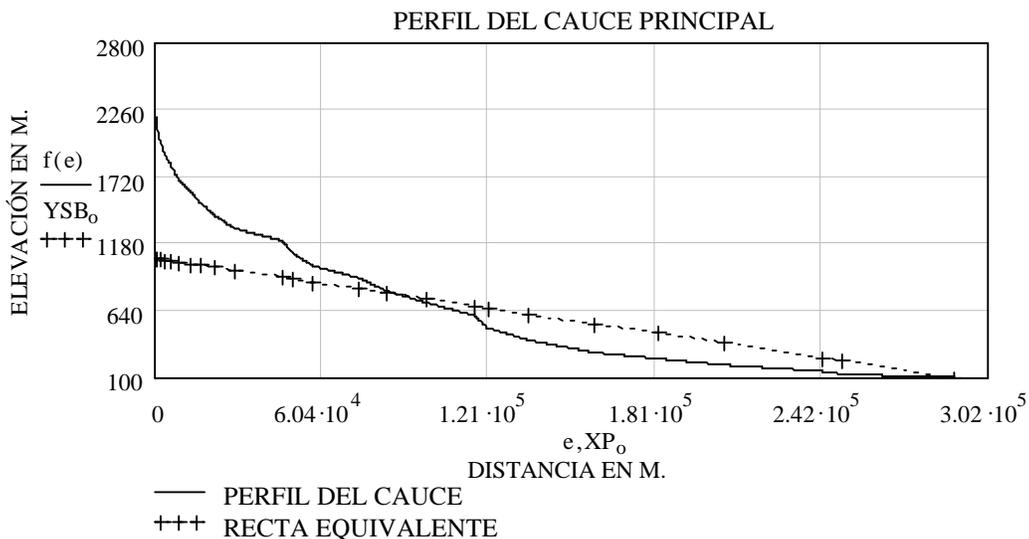
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 956.114$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

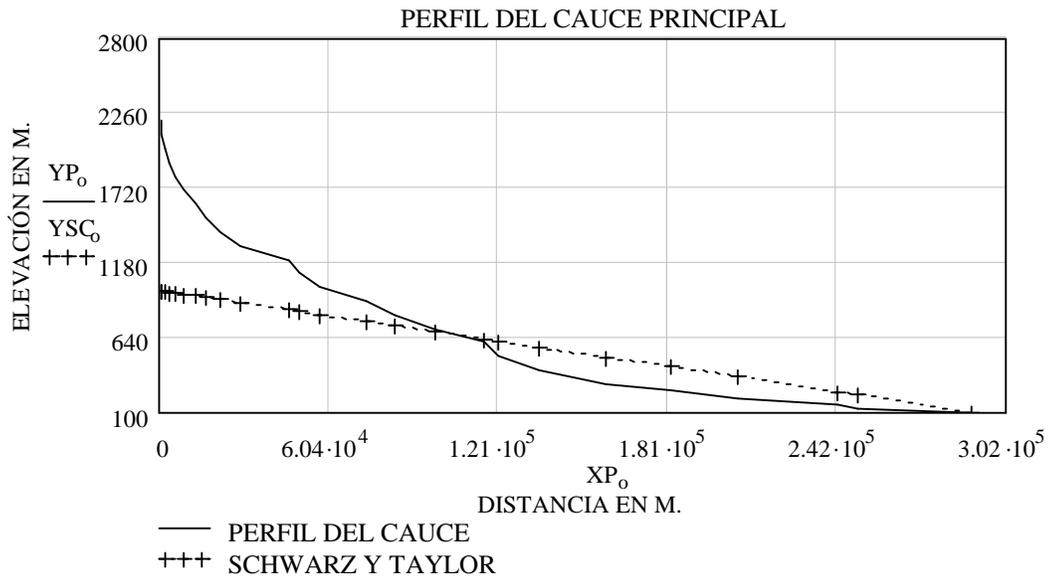
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	2200
524.167	2100
762.892	2000
287.436	900
685.206	800
182.905	700
520.946	600
481.446	500
698.775	400
663.331	300
887.893	200
743.244	100
918.111	000
608.514	900
390.099	800
388.593	700
$156 \cdot 10^5$	600
$203 \cdot 10^5$	500
$351 \cdot 10^5$	400

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 12 EL CUCHILLO

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 19$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

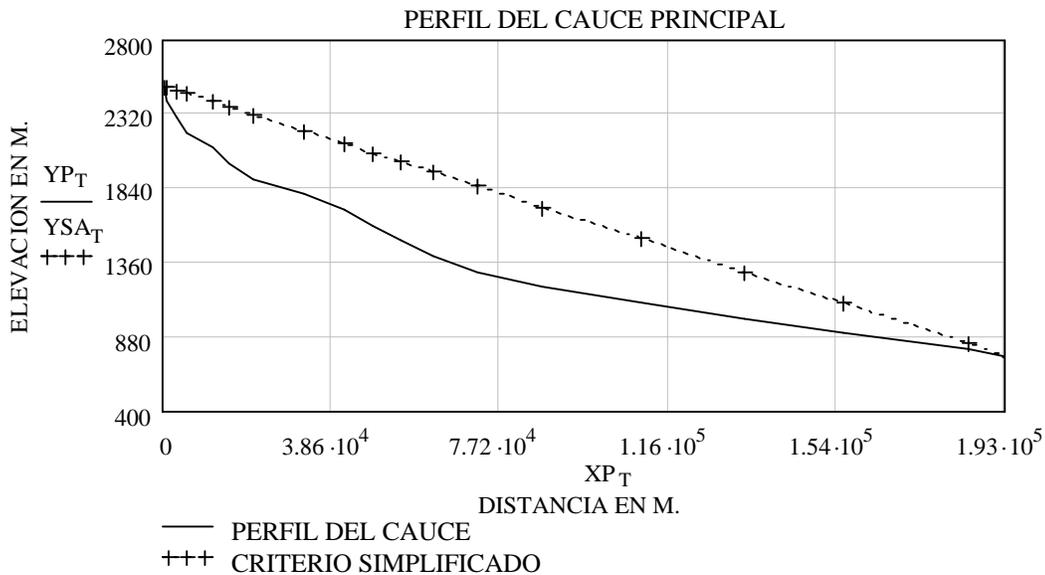
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1750$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.01$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 249484639.246$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 104157488.671$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

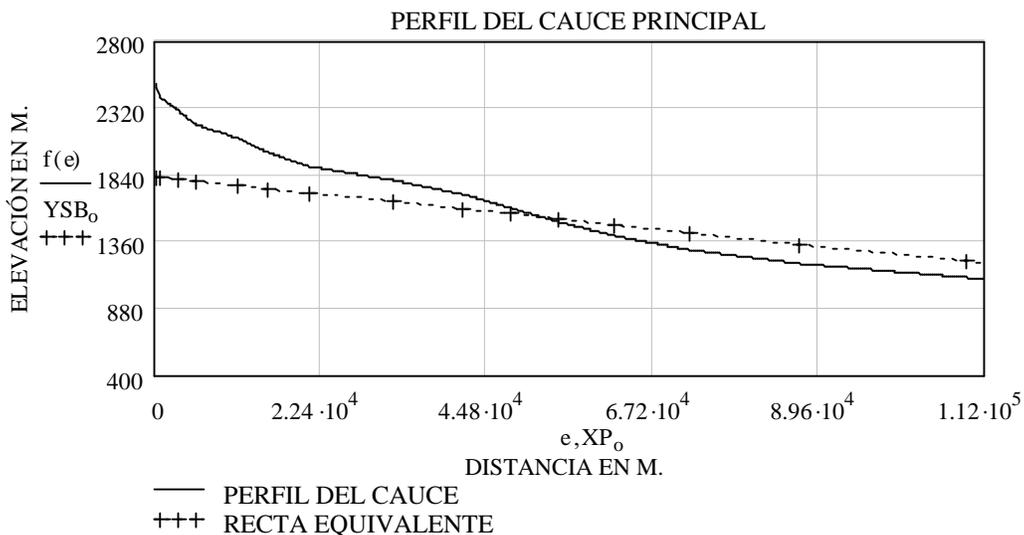
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 1075.066$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0.. 8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

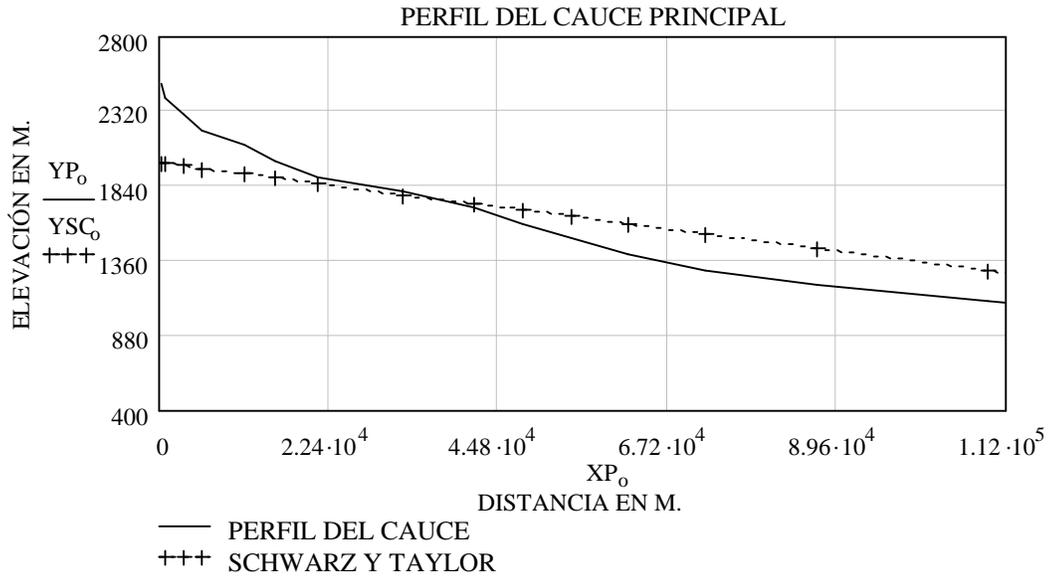
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	2500
596.557	2400
118.719	2300
439.654	2200
268.937	2100
167.906	2000
694.884	1900
020.484	1800
435.037	1700
977.449	1600
435.502	1500
1985.23	1400
024.916	1300
983.464	1200
095.10 ⁵	1100
1.33.10 ⁵	1000
559.10 ⁵	900
846.10 ⁵	800
938.10 ⁵	750

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN N.º. 15 TEPEHUAJE

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 16$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

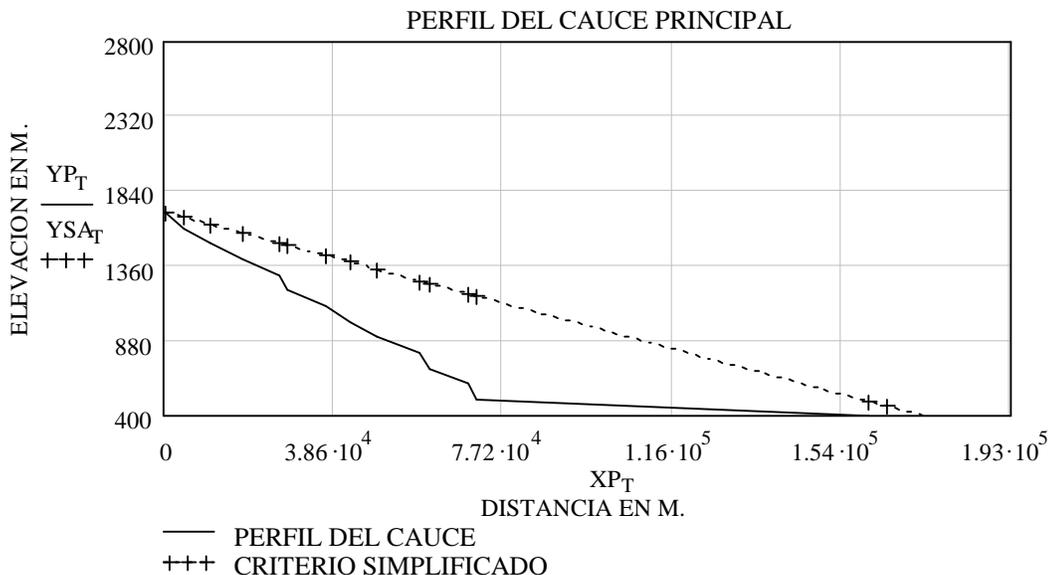
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1460$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.01$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN $f(e)$.

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 128741375.435$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 82507562.171$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

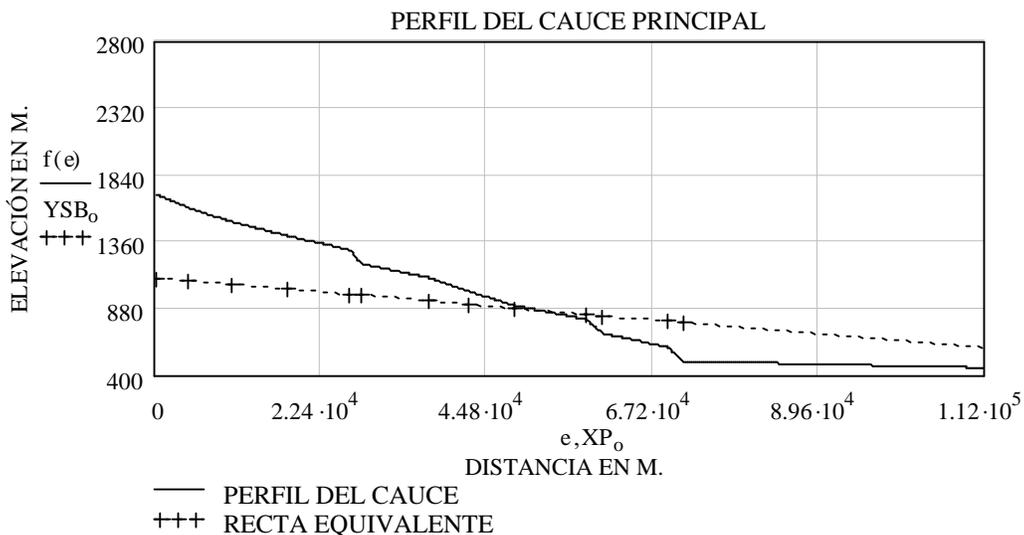
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 856.594$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO Z = 9 TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$\begin{aligned} T0 &:= \text{linterp}(XP, YP, a) & T5 &:= \text{linterp}(XP, YP, f) \\ T1 &:= \text{linterp}(XP, YP, b) & T6 &:= \text{linterp}(XP, YP, g) \\ T2 &:= \text{linterp}(XP, YP, c) & T7 &:= \text{linterp}(XP, YP, h) \\ T3 &:= \text{linterp}(XP, YP, d) & T8 &:= \text{linterp}(XP, YP, i) \\ T4 &:= \text{linterp}(XP, YP, e) & T9 &:= \text{linterp}(XP, YP, j) \end{aligned}$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$\begin{aligned} S_0 &:= T0 - T1 & S_1 &:= T1 - T2 & S_2 &:= T2 - T3 & S_3 &:= T3 - T4 & S_4 &:= T4 - T5 \\ S_5 &:= T5 - T6 & S_6 &:= T6 - T7 & S_7 &:= T7 - T8 & S_8 &:= T8 - T9 \end{aligned}$$

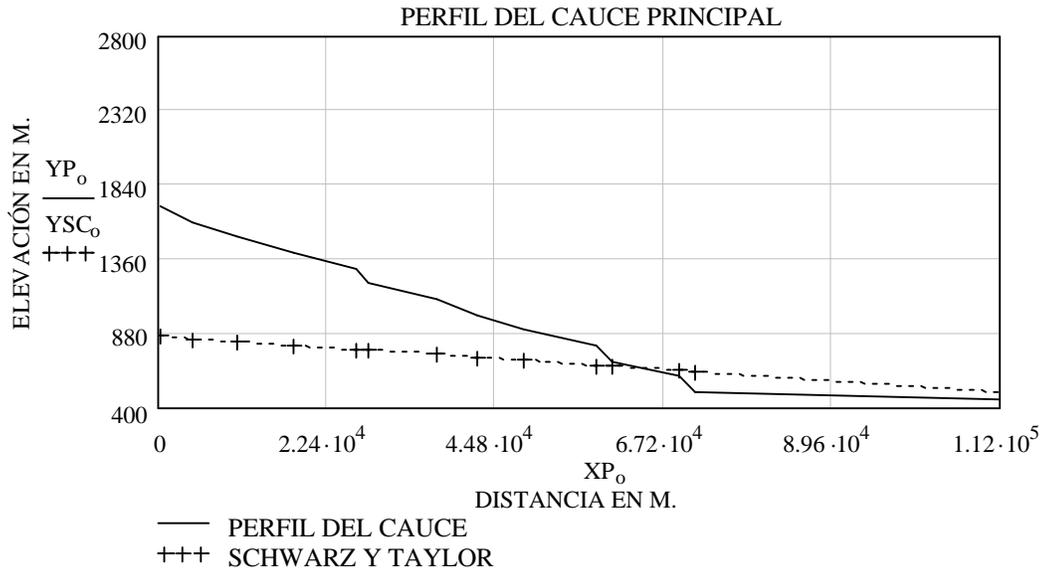
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	700
500.542	600
415.422	500
867.778	400
191.019	300
816.886	200
912.943	100
431.198	000
414.663	900
8127.54	800
431.572	700
129.869	600
238.664	500
$604 \cdot 10^5$	400
$644 \cdot 10^5$	300
$926 \cdot 10^5$	240

FISIOGRAFÍA DE LACUENCA A LA ESTACIÓN No. 17 MONTEMORELOS

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL ASIGNACIÓN DE DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP := \text{READPRN}(\text{"DIST.prn"})$ $M := \text{length}(XP)$ $T := 0..(M - 1)$
 $YP := \text{READPRN}(\text{"ELEV.prn"})$ $LCP := XP_{(M-1)}$ $M = 18$

CRITERIO SIMPLIFICADO, SA

DESNIVEL DEL CAUCE EN TODA SU LONGITUD, EN M.

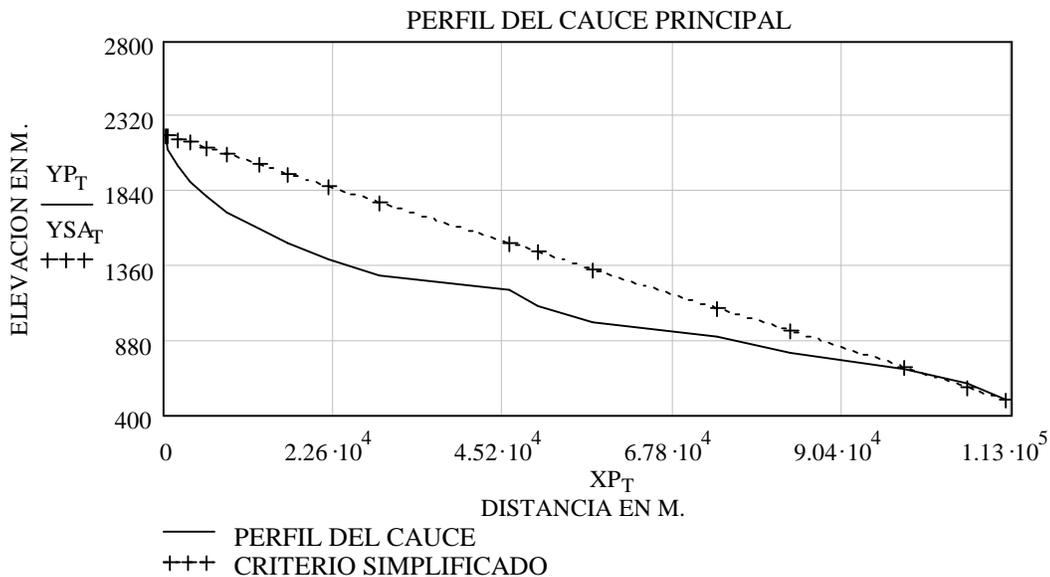
$H := YP_0 - YP_{M-1}$ $H = 1700$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL

$SA := \frac{H}{LCP}$ $SA = 0.02$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE.

$YSA := YP_0 - SA \cdot XP$



CRITERIO DE LA RECTA EQUIVALENTE, SB.

AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL A UNA FUNCIÓN f(e).

NT = NÚMERO DE TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CAUCE PARA SU AJUSTE.

$$NT := 999 \qquad o := 0..(M - 1) \qquad e := 0, \left(\frac{LCP}{NT} \right) .. LCP$$

ECUACIÓN DE AJUSTE DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

$$f(e) := \text{linterp}(XP, YP, e)$$

DETERMINACIÓN DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M

$$ABC := \sum_e f(e) \cdot \left(\frac{LCP}{NT} \right) \qquad ABC = 123171544.151$$

$$AA := ABC - (LCP) \cdot YP_{(M-1)} \qquad AA = 67120214.151$$

DIFERENCIA DE ELEVACIONES OBTENIDAS DE LA RECTA EQUIVALENTE.

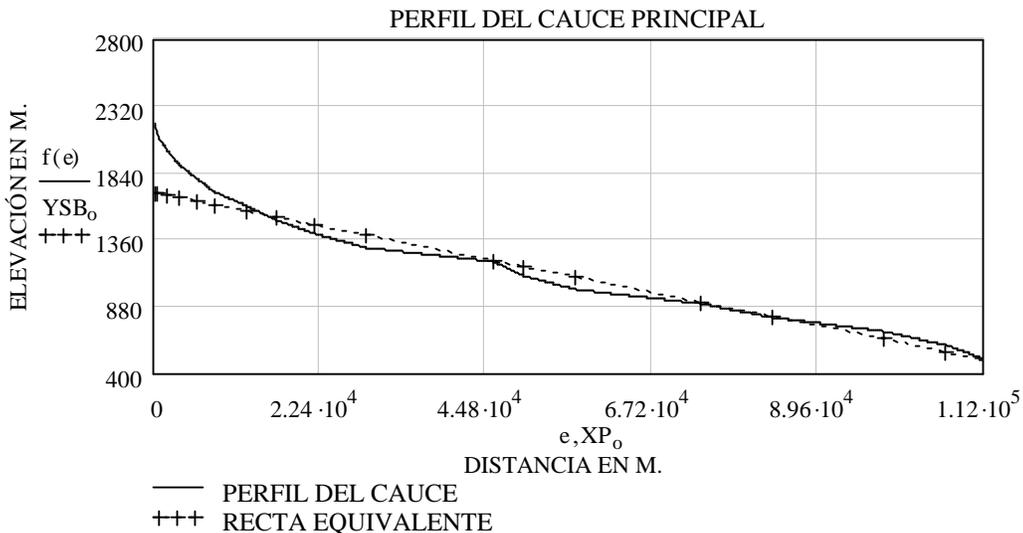
$$HE := \frac{2 \cdot AA}{LCP} \qquad HE = 1197.478$$

PENDIENTE DE LA RECTA EQUIVALENTE, ADIMENSIONAL.

$$SB := \frac{HE}{LCP} \qquad SB = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA LA PENDIENTE .

$$HSB := HE + YP_{(M-1)} \qquad YSB_o := HSB - SB \cdot (XP_o)$$



CRITERIO DE SCHWARZ Y TAYLOR, SC.

DETERMINACIÓN DEL DESNIVEL DE CADA TRAMO, CONSIDERANDO $Z = 9$ TRAMOS.

$$a := 0 \quad b := \frac{LCP}{9} \quad c := \frac{LCP}{9} \cdot 2 \quad d := \frac{LCP}{9} \cdot 3 \quad e := \frac{LCP}{9} \cdot 4 \quad f := \frac{LCP}{9} \cdot 5 \quad g := \frac{LCP}{9} \cdot 6$$

$$h := \frac{LCP}{9} \cdot 7 \quad i := \frac{LCP}{9} \cdot 8 \quad j := \frac{LCP}{9} \cdot 9$$

$$T0 := \text{linterp}(XP, YP, a) \quad T5 := \text{linterp}(XP, YP, f)$$

$$T1 := \text{linterp}(XP, YP, b) \quad T6 := \text{linterp}(XP, YP, g)$$

$$T2 := \text{linterp}(XP, YP, c) \quad T7 := \text{linterp}(XP, YP, h)$$

$$T3 := \text{linterp}(XP, YP, d) \quad T8 := \text{linterp}(XP, YP, i)$$

$$T4 := \text{linterp}(XP, YP, e) \quad T9 := \text{linterp}(XP, YP, j)$$

$$Z := 0..8$$

DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE CADA TRAMO.

$$S_0 := T0 - T1 \quad S_1 := T1 - T2 \quad S_2 := T2 - T3 \quad S_3 := T3 - T4 \quad S_4 := T4 - T5$$

$$S_5 := T5 - T6 \quad S_6 := T6 - T7 \quad S_7 := T7 - T8 \quad S_8 := T8 - T9$$

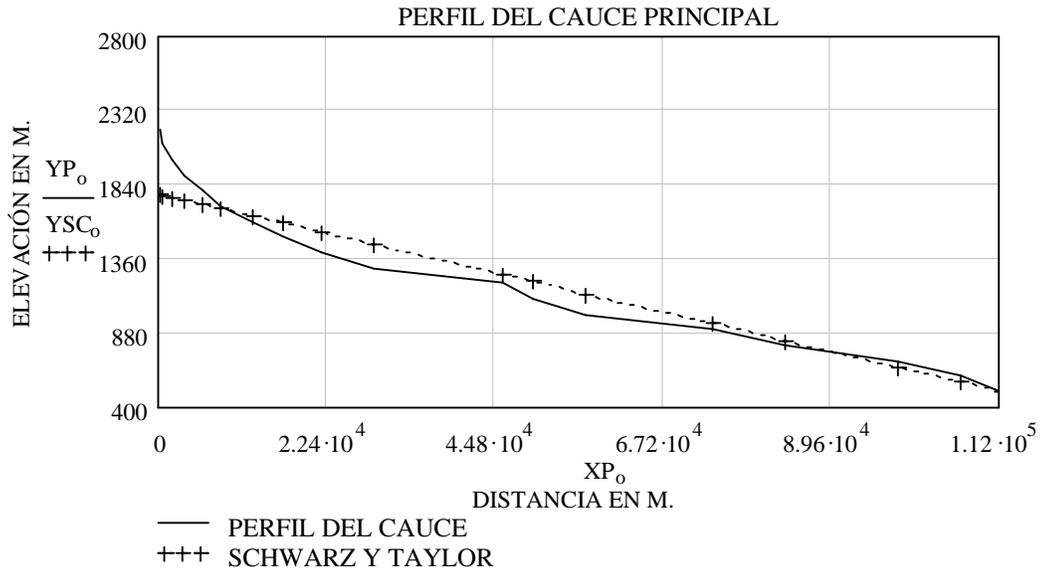
$$SCT := \frac{S}{\left(\frac{LCP}{9}\right)} \quad ST_Z := \frac{1}{\sqrt{SCT_Z}} \quad STC := \sum ST$$

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, ADIMENSIONAL.

$$SC := \left(\frac{9}{STC}\right)^2 \quad SC = 0.01$$

ECUACION DE LA RECTA QUE REPRESENTA A LA PENDIENTE.

$$HSC := YP_{(M-1)} + (SC \cdot LCP) \quad YSC := HSC - SC \cdot XP$$



DATOS DE ARCHIVOS EXTERNOS.

XP = DISTANCIAS HORIZONTALES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.
YP = ELEVACIONES DEL PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL, EN M.

$XP_o =$	$YP_o =$
0	200
524.167	100
762.892	000
287.436	900
685.206	800
182.905	700
520.946	600
481.446	500
698.775	400
663.331	300
887.893	200
743.244	100
918.111	000
608.514	900
390.099	800
388.593	700
069·10 ⁵	600
121·10 ⁵	500

APÉNDICE D
DETERMINACIÓN DE LAS ECUACIONES PARA CALCULAR
EL DÉFICIT

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL DÉFICIT

PARA UN TR= 2 AÑOS

MATRIZ DE DATOS DEL LOGARITMO BASE 10 DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA LAS 13 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS TOMADAS EN EL ANÁLISIS (MTR) Y VECTOR DEL LOGARITMO BASE 10 DEL DÉFICIT DE SEQUÍAS ESTIMADO EN CADA ESTACIÓN (VTR), ASOCIADOS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS

MTR2 :=	(	12211.42	193.77	0.0106	79.58341	290	2)	(	165.510000)
		14874.97	198.56	0.0102	78.57287	605	2)		388.650000	
		1234.13	120.29	0.0169	79.60286	550	2)		71.216000	
		157.21	32.54	0.0940	73.56791	700	2)		248.838178	
		1340.19	71.24	0.0180	75.26790	500	2)		8.735455	
		1774.50	121.38	0.0130	75.14926	700	2)		317.653846	
		17233.45	159.12	0.0099	78.11598	650	2)	VTR2 :=	358.792857	
		185.13	23.30	0.1065	70.79160	1010	2)		108.632766	
		20088.41	192.64	0.0083	77.17357	590	2)		556.000000	
		30215.89	289.38	0.0073	75.45661	580	2)		4706.900000	
		8535.00	165.87	0.0088	73.07728	585	2)		2990.102239	
		3569.78	192.64	0.0108	73.64046	690	2)		1917.680000	
		1519.67	112.10	0.0112	75.41386	900	2)		368.370000	

EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA MATRIZ DE PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA ASIGNARLOS A LA VARIABLES ÁREA (A), LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Lcp), PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (Scp), NUEMRO DE ESCURRIMIENTO (N), PRESIPITACIÓN MEDIA ANUAL (Pma), PERIODO DE RETORNO (Tr) Y DÉFICIT RELACIONADO CON UN PERIODO DE RETORNO (VTR).

$$A := \log(\text{submatrix}(\text{MTR2}, 0, 12, 0, 0))$$

$$Lcp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR2}, 0, 12, 1, 1))$$

$$Scp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR2}, 0, 12, 2, 2))$$

$$N := \log(\text{submatrix}(\text{MTR2}, 0, 12, 3, 3))$$

$$Pma := \log(\text{submatrix}(\text{MTR2}, 0, 12, 4, 4))$$

$$TR := \log(\text{submatrix}(\text{MTR2}, 0, 12, 5, 5))$$

$$\text{VTR2} := \log(\text{submatrix}(\text{VTR2}, 0, 12, 0, 0))$$

FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTARA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, UTILIZANDO EL METODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

$$n := \text{length}(A)$$

$$\text{MTR} := \begin{pmatrix}
 n & \sum A & \sum Lcp & \sum Scp & \sum N & \sum Pma & \sum TR \\
 \sum A & A \cdot A & A \cdot Lcp & A \cdot Scp & A \cdot N & A \cdot Pma & A \cdot TR \\
 \sum Lcp & Lcp \cdot A & Lcp \cdot Lcp & Lcp \cdot Scp & Lcp \cdot N & Lcp \cdot Pma & Lcp \cdot TR \\
 \sum Scp & Scp \cdot A & Scp \cdot Lcp & Scp \cdot Scp & Scp \cdot N & Scp \cdot Pma & Scp \cdot TR \\
 \sum N & N \cdot A & N \cdot Lcp & N \cdot Scp & N \cdot N & N \cdot Pma & N \cdot TR \\
 \sum Pma & Pma \cdot A & Pma \cdot Lcp & Pma \cdot Scp & Pma \cdot N & Pma \cdot Pma & Pma \cdot TR \\
 \sum TR & TR \cdot A & TR \cdot Lcp & TR \cdot Scp & TR \cdot N & TR \cdot Pma & TR \cdot TR
 \end{pmatrix}
 \quad
 \text{VS} := \begin{pmatrix}
 \sum VTR2 \\
 A \cdot VTR2 \\
 Lcp \cdot VTR2 \\
 Scp \cdot VTR2 \\
 N \cdot VTR2 \\
 Pma \cdot VTR2 \\
 TR \cdot VTR2
 \end{pmatrix}$$

MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR DE TÉRMINOS INDEPENDIENTES QUE REPRESENTAN EL EVENTO DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.

$$\text{MTR} = \begin{pmatrix}
 13 & 45.876 & 26.984 & -23.563 & 24.432 & 36.285 & 3.913 \\
 45.876 & 168.703 & 97.905 & -86.195 & 86.297 & 127.47 & 13.81 \\
 26.984 & 97.905 & 57.247 & -50.306 & 50.749 & 75.076 & 8.123 \\
 -23.563 & -86.195 & -50.306 & 44.419 & -44.324 & -65.519 & -7.093 \\
 24.432 & 86.297 & 50.749 & -44.324 & 45.922 & 68.18 & 7.355 \\
 36.285 & 127.47 & 75.076 & -65.519 & 68.18 & 101.481 & 10.923 \\
 3.913 & 13.81 & 8.123 & -7.093 & 7.355 & 10.923 & 1.178
 \end{pmatrix}
 \quad
 \text{VS} = \begin{pmatrix}
 32.833 \\
 119.133 \\
 69.658 \\
 -60.91 \\
 61.684 \\
 91.797 \\
 9.884
 \end{pmatrix}$$

**SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE
REPRESENTA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.**

$S := \text{Isolve}(\text{MTR}, \text{VS})$

$$S = \begin{pmatrix} 29.234 \\ 0.194 \\ 5.106 \\ 2.809 \\ -27.895 \\ 1.806 \\ 48.127 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} K := S_0 \\ \alpha := S_1 \\ \beta := S_2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \gamma := S_3 \\ \delta := S_4 \\ \varepsilon := S_5 \\ \mu := S_6 \end{matrix}$$

$\text{Dtr} := K + \alpha \cdot A + \beta \cdot \text{Lcp} + \gamma \cdot \text{Scp} + \delta \cdot N + \varepsilon \cdot \text{Pma} + \mu \cdot \text{TR}$

**COMPARACIÓN DE LOS VALORES CALCULADOS CON LA ECUACIÓN (D) VS LOS
VALORES OBTENIDOS DE LA ESTADÍSTICA Y EN LOS CUALES SE BASÓ LA
OBTENCIÓN DE ESTA ECUACIÓN (VTR2)**

	0		0		
Dtr =	0	2.07	VTR2 =	0	2.219
	1	2.82		1	2.59
	2	.89		2	.853
	3	2.05		3	2.396
	4	.41		4	1.941
	5	2.50		5	2.502
	6	2.43		6	2.555
	7	2.23		7	2.036
	8	2.73		8	2.745
	9	3.77		9	2.673
	10	3.05		10	2.476
	11	3.59		11	2.283
	12	2.29		12	2.566

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R) Y DETERMINACIÓN (R²) MÚLTIPLE.

$\text{VAR} := \text{Var}(10^{\text{VTR2}})$ $\text{VAR} = 2.02 \times 10^6$

$\text{VARD} := \frac{1}{n-3} \sum (10^{\text{VTR2}} - 10^{\text{Dtr}})^2$ $\text{VARD} = 8.98 \times 10^5$

$R := \left(1 - \frac{\text{VARD}}{\text{VAR}} \right)^{\frac{1}{2}}$ $R = 0.745$

$R^2 = 0.556$

COMPARACIÓN DE VOLÚMENES CALCULADOS VS LOS OBTENIDOS POR ESTADÍSTICA

$$10^{VTR2} =$$

	0
0	165.51
1	388.65
2	71.216
3	248.838
4	8.735
5	317.654
6	358.793
7	108.633
8	556
9	707·10 ³
10	1.99·10 ³
11	918·10 ³
12	368.37

$$10^{Dtr} =$$

	0
0	116.829
1	665.395
2	76.906
3	112.563
4	25.816
5	318.518
6	272.261
7	170.016
8	534.278
9	346·10 ³
10	121·10 ³
11	329·10 ³
12	193.434

$$10^{VTR2} - 10^{Dtr} =$$

	0
0	48.681
1	276.745
2	-5.690
3	136.275
4	-17.080
5	-0.864
6	86.531
7	-61.383
8	21.722
9	139.582
10	869.396
11	011.521
12	174.936

$i := 0.. \text{length}(VTR2) - 1$

$$\frac{10^{VTR2_i} - 10^{Dtr_i}}{10^{VTR2_i}} \cdot 100 =$$

29.413
71.207
-7.99
54.764
195.53
-0.272
24.117
56.505
3.907
24.211
62.519
04.893
47.489

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL DÉFICIT

PARA UN TR= 5 AÑOS

MATRIZ DE DATOS DEL LOGARITMO BASE 10 DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA LAS 13 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS TOMADAS EN EL ANÁLISIS (MTR) Y VECTOR DEL LOGARITMO BASE 10 DEL DÉFICIT DE SEQUÍAS ESTIMADO EN CADA ESTACIÓN (VTR), ASOCIADOS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS

MTR5 :=	VTR5 :=
$\begin{pmatrix} 12211.42 & 193.77 & 0.0106 & 79.58341 & 290 & 5 \\ 14874.97 & 198.56 & 0.0102 & 78.57287 & 605 & 5 \\ 1234.13 & 120.29 & 0.0169 & 79.60286 & 550 & 5 \\ 157.21 & 32.54 & 0.0940 & 73.56791 & 700 & 5 \\ 1340.19 & 71.24 & 0.0180 & 75.26790 & 500 & 5 \\ 1774.50 & 121.38 & 0.0130 & 75.14926 & 700 & 5 \\ 17233.45 & 159.12 & 0.0099 & 78.11598 & 650 & 5 \\ 185.13 & 23.30 & 0.1065 & 70.79160 & 1010 & 5 \\ 20088.41 & 192.64 & 0.0083 & 77.17357 & 590 & 5 \\ 30215.89 & 289.38 & 0.0073 & 75.45661 & 580 & 5 \\ 8535.00 & 165.87 & 0.0088 & 73.07728 & 585 & 5 \\ 3569.78 & 192.64 & 0.0108 & 73.64046 & 690 & 5 \\ 1519.67 & 112.10 & 0.0112 & 75.41386 & 900 & 5 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 342.279130 \\ 755.883333 \\ 122.485477 \\ 485.729113 \\ 68.542727 \\ 494.538974 \\ 589.650000 \\ 609.480638 \\ 1537.270000 \\ 7920.392857 \\ 5478.611045 \\ 3105.399091 \\ 561.947241 \end{pmatrix}$

EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA MATRIZ DE PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA ASIGNARLOS A LA VARIABLES ÁREA (A), LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Lcp), PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (Scp), NÚMERO DE ESCURRIMIENTO (N), PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (Pma), PERIODO DE RETORNO (Tr) Y DÉFICIT RELACIONADO CON UN PERIODO DE RETORNO (VTR).

$$A := \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 0, 0))$$

$$Lcp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 1, 1))$$

$$Scp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 2, 2))$$

$$N := \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 3, 3))$$

$$Pma := \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 4, 4))$$

$$TR := \log(\text{submatrix}(\text{MTR5}, 0, 12, 5, 5))$$

$$VTR5 := \log(\text{submatrix}(\text{VTR5}, 0, 12, 0, 0))$$

FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTARA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, UTILIZANDO EL METODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

$$n := \text{length}(A)$$

$$\text{MTR} := \begin{pmatrix} n & \sum A & \sum Lcp & \sum Scp & \sum N & \sum Pma & \sum TR \\ \sum A & A \cdot A & A \cdot Lcp & A \cdot Scp & A \cdot N & A \cdot Pma & A \cdot TR \\ \sum Lcp & Lcp \cdot A & Lcp \cdot Lcp & Lcp \cdot Scp & Lcp \cdot N & Lcp \cdot Pma & Lcp \cdot TR \\ \sum Scp & Scp \cdot A & Scp \cdot Lcp & Scp \cdot Scp & Scp \cdot N & Scp \cdot Pma & Scp \cdot TR \\ \sum N & N \cdot A & N \cdot Lcp & N \cdot Scp & N \cdot N & N \cdot Pma & N \cdot TR \\ \sum Pma & Pma \cdot A & Pma \cdot Lcp & Pma \cdot Scp & Pma \cdot N & Pma \cdot Pma & Pma \cdot TR \\ \sum TR & TR \cdot A & TR \cdot Lcp & TR \cdot Scp & TR \cdot N & TR \cdot Pma & TR \cdot TR \end{pmatrix}$$

$$\text{VS} := \begin{pmatrix} \sum VTR5 \\ A \cdot VTR5 \\ Lcp \cdot VTR5 \\ Scp \cdot VTR5 \\ N \cdot VTR5 \\ Pma \cdot VTR5 \\ TR \cdot VTR5 \end{pmatrix}$$

MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR DE TÉRMINOS INDEPENDIENTES QUE REPRESENTAN EL EVENTO DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN

$$\text{MTR} = \begin{pmatrix} 13 & 45.876 & 26.984 & -23.563 & 24.432 & 36.285 & 9.087 \\ 45.876 & 168.703 & 97.905 & -86.195 & 86.297 & 127.47 & 32.066 \\ 26.984 & 97.905 & 57.247 & -50.306 & 50.749 & 75.076 & 18.861 \\ -23.563 & -86.195 & -50.306 & 44.419 & -44.324 & -65.519 & -16.47 \\ 24.432 & 86.297 & 50.749 & -44.324 & 45.922 & 68.18 & 17.078 \\ 36.285 & 127.47 & 75.076 & -65.519 & 68.18 & 101.481 & 25.362 \\ 9.087 & 32.066 & 18.861 & -16.47 & 17.078 & 25.362 & 6.351 \end{pmatrix}$$

$$\text{VS} = \begin{pmatrix} 37.339 \\ 134.303 \\ 78.534 \\ -68.621 \\ 70.139 \\ 104.38 \\ 26.099 \end{pmatrix}$$

COMPARACIÓN DE VOLÚMENES CALCULADOS VS LO SOBTEENIDOS POR ESTADÍSTICA

$$10^{VTR5} =$$

	0
0	342.279
1	755.883
2	122.485
3	485.729
4	68.543
5	494.539
6	589.65
7	609.481
8	537·10 ³
9	792·10 ³
10	479·10 ³
11	105·10 ³
12	561.947

$$10^D =$$

	0
0	296.226
1	333·10 ³
2	110.988
3	326.64
4	122.264
5	609.268
6	643.133
7	739.885
8	189·10 ³
9	406·10 ³
10	74·10 ³
11	387·10 ³
12	369.564

$$10^{VTR5} - 10^D =$$

	0
0	46.053
1	277.280
2	11.497
3	159.089
4	-53.721
5	114.729
6	-53.483
7	130.405
8	348.006
9	485.389
10	404.357
11	781.276
12	192.383

$i := 0.. \text{length}(VTR5) - 1$

$$\frac{10^{VTR5_i} - 10^{D_i}}{10^{VTR5_i}} \cdot 100 =$$

13.455
-36.683
9.386
32.753
-78.376
-23.199
-9.07
-21.396
22.638
-6.128
43.886
-57.361
34.235

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL DÉFICIT

PARA UN TR= 10 AÑOS

**MATRIZ DE DATOS DEL LOGARITMO BASE 10 DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA
CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA LAS 13 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS TOMADAS
EN EL ANÁLISIS (MTR) Y VECTOR DEL LOGARITMO BASE 10 DEL DÉFICIT DE
SEQUIÁS ESTIMADO EN CADA ESTACIÓN (VTR), ASOCIADOS CON UN PERIODO DE
RETORNO DE 10 AÑOS**

nv := 6 ne := 13

$$Dtr = A^\alpha \cdot Lcp^\beta \cdot Scp^\gamma \cdot N^\delta \cdot Pma^\epsilon \cdot TR^\zeta$$

$$\alpha \cdot \log(A) + \beta \cdot \log(Lcp) + \gamma \cdot \log(Scp) + \delta \cdot \log(N) + \epsilon \cdot \log(Pma) + \zeta \cdot \log(TR) = \log(Dtr)$$

$$MTR10 := \begin{pmatrix} 12211.42 & 193.77 & 0.0106 & 79.58341 & 290 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 14874.97 & 198.56 & 0.0102 & 78.57287 & 605 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1234.13 & 120.29 & 0.0169 & 79.60286 & 550 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 157.21 & 32.54 & 0.0940 & 73.56791 & 700 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1340.19 & 71.24 & 0.0180 & 75.26790 & 500 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1774.50 & 121.38 & 0.0130 & 75.14926 & 700 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 17233.45 & 159.12 & 0.0099 & 78.11598 & 650 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 185.13 & 23.30 & 0.1065 & 70.79160 & 1010 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 20088.41 & 192.64 & 0.0083 & 77.17357 & 590 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 30215.89 & 289.38 & 0.0073 & 75.45661 & 580 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8535.00 & 165.87 & 0.0088 & 73.07728 & 585 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3569.78 & 192.64 & 0.0108 & 73.64046 & 690 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1519.67 & 112.10 & 0.0112 & 75.41386 & 900 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$VTR10 := \begin{pmatrix} 671.623478 \\ 1069.056667 \\ 178.156538 \\ 770.894783 \\ 134.351818 \\ 642.268462 \\ 727.055714 \\ 1322.160000 \\ 1723.200000 \\ 14916.957143 \\ 8871.916269 \\ 5355.211818 \\ 762.425862 \end{pmatrix} \quad M0 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA MATRIZ DE PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA ASIGNARLOS A LA VARIABLES ÁREA (A), LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Lcp), PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (Scp), NUEMRO DE ESCURRIMIENTO (N), PRESIPITACIÓN MEDIA ANUAL (Pma), PERIODO DE RETORNO (Tr) Y DÉFICIT RELACIONADO CON UN PERIODO DE RETORNO (VTR).

A := log(submatrix(MTR10,0,12,0,0))
 Lcp := log(submatrix(MTR10,0,12,1,1))
 Scp := log(submatrix(MTR10,0,12,2,2))
 N := log(submatrix(MTR10,0,12,3,3))
 Pma := log(submatrix(MTR10,0,12,4,4))
 TR := log(submatrix(MTR10,0,12,5,5))
 VTR10:= log(submatrix(VTR10,0,12,0,0))

FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTARA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, UTILIZANDO EL METODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

MTR10:= augment(A, Lcp, Scp, N, Pma, TR, M0, M0, M0, M0, M0, M0, M0)

MTR10^T =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	4.087	4.172	3.091	2.196	3.127	3.249	4.236	2.267	4.303
1	2.287	2.298	2.08	1.512	1.853	2.084	2.202	1.367	2.285
2	1.975	1.991	1.772	1.027	1.745	1.886	2.004	0.973	2.081
3	1.901	1.895	1.901	1.867	1.877	1.876	1.893	1.85	1.887
4	2.462	2.782	2.74	2.845	2.699	2.845	2.813	3.004	2.771
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**MATRIZ TRANSPUESTA DE COEFICIENTES Y MATRIZ INVERSA TÉRMINOS
INDEPENDIENTES QUE REPRESENTAN EL EVENTO DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL
RÍO SAN JUAN.**

	0	1	2	3	4	5
0	68.703	97.905	86.195	86.297	127.47	45.876
1	97.905	57.247	50.306	50.749	75.076	26.984
2	86.195	50.306	44.419	44.324	65.519	23.563
3	86.297	50.749	44.324	45.922	68.18	24.432
4	127.47	75.076	65.519	68.18	101.481	36.285
5	45.876	26.984	23.563	24.432	36.285	13
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0

$$MTR10^T \cdot MTR10 =$$

$$A := \text{submatrix}(MTR10^T \cdot MTR10, 0, nv - 1, 0, nv - 1)$$

$$A = \begin{pmatrix} 168.703 & 97.905 & -86.195 & 86.297 & 127.47 & 45.876 \\ 97.905 & 57.247 & -50.306 & 50.749 & 75.076 & 26.984 \\ -86.195 & -50.306 & 44.419 & -44.324 & -65.519 & -23.563 \\ 86.297 & 50.749 & -44.324 & 45.922 & 68.18 & 24.432 \\ 127.47 & 75.076 & -65.519 & 68.18 & 101.481 & 36.285 \\ 45.876 & 26.984 & -23.563 & 24.432 & 36.285 & 13 \end{pmatrix}$$

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} 1.023 & -1.945 & 0.189 & 0.896 & 0.43 & -2.116 \\ -1.945 & 15.292 & 8.599 & -11.094 & 1.262 & 8.037 \\ 0.189 & 8.599 & 7.804 & 2.546 & 1.378 & -13.002 \\ 0.896 & -11.094 & 2.546 & 716.928 & 41.297 & -1.438 \times 10^3 \\ 0.43 & 1.262 & 1.378 & 41.297 & 9.179 & -104.877 \\ -2.116 & 8.037 & -13.002 & -1.438 \times 10^3 & -104.877 & 2.963 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$B := \text{submatrix}(MTR10^T \cdot MTR10, nv, ne - 1, 0, nv - 1)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C := \text{submatrix}(MTR10^T \cdot MTR10, 0, ne - 1, nv, ne - 1)$$

$$C = \begin{array}{c|cccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

$$D := \text{augment}(\text{stack}(A^{-1}, B), C)$$

$$D =$$

	0	1	2	3	4	5
0	1.023	-1.945	0.189	0.896	0.43	-2.116
1	-1.945	15.292	8.599	-11.094	1.262	8.037
2	0.189	8.599	7.804	2.546	1.378	-13.002
3	0.896	-11.094	2.546	716.928	41.297	-1.438·10 ³
4	0.43	1.262	1.378	41.297	9.179	-104.877
5	-2.116	8.037	-13.002	-1.438·10 ³	-104.877	2.963·10 ³
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0

$$S := D \cdot \text{MTR10}^T \cdot \text{VTR10}$$

$$S =$$

	0
0	0.44
1	3.439
2	2.257
3	-35.892
4	0.504
5	64.517
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0

SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.

$\alpha := S_0$	$\alpha = 0.44$	$A := \text{submatrix}(\text{MTR10}, 0, 12, 0, 0)$
$\beta := S_1$	$\beta = 3.439$	$Lcp := \text{submatrix}(\text{MTR10}, 0, 12, 1, 1)$
$\gamma := S_2$	$\gamma = 2.257$	$Scp := \text{submatrix}(\text{MTR10}, 0, 12, 2, 2)$
$\delta := S_3$	$\delta = -35.892$	$N := \text{submatrix}(\text{MTR10}, 0, 12, 3, 3)$
$\varepsilon := S_4$	$\varepsilon = 0.504$	$Pma := \text{submatrix}(\text{MTR10}, 0, 12, 4, 4)$
$\zeta := S_5$	$\zeta = 64.517$	$TR := \text{submatrix}(\text{MTR10}, 0, 12, 5, 5)$

$$\text{Dtr10}_1 := \alpha \cdot A + \beta \cdot Lcp + \gamma \cdot Scp + \delta \cdot N + \varepsilon \cdot Pma + \zeta \cdot TR$$

COMPARACIÓN DE LOS VALORES CALCULADOS CON LA ECUACIÓN (D) VS LOS VALORES OBTENIDOS DE LA ESTADÍSTICA Y EN LOS CUALES SE BASÓ LA OBTENCIÓN DE ESTA ECUACIÓN (VTR2)

	0		0		0			
	0	2.741		0	2.827		0	0.086
	1	3.138		1	3.029		1	0.109
	2	2.185		2	2.251		2	0.066
	3	2.802		3	2.887		3	0.085
	4	2.332		4	2.128		4	0.204
Dtr10 ₁ =	5	2.961		5	2.808	VTR10 - Dtr10 ₁ =	5	0.153
	6	2.913		6	2.862		6	0.051
	7	3.137		7	3.121		7	0.015
	8	3.223		8	3.236		8	0.014
	9	3.129		9	3.174		9	0.044
	10	3.741		10	3.948		10	0.207
	11	3.915		11	3.729		11	0.187
	12	2.666		12	2.882		12	0.216

$$i := 0.. \text{length}(\text{VTR10}) - 1$$

$$\frac{VTR10_i - Dtr10_{-1}_i}{VTR10_i} \cdot 100 = \frac{10^{VTR10_i} - 10^{Dtr10_{-1}_i}}{10^{VTR10_i}} \cdot 100 =$$

3.04	7.954
3.592	8.469
2.938	4.123
2.946	7.786
9.564	9.785
5.444	2.188
1.781	2.448
0.489	3.574
0.426	3.126
1.06	9.682
5.24	7.895
5.002	3.644
7.491	9.173

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R) Y DETERMINACIÓN (R²) MÚLTIPLE.

$$n := \text{length}(A)$$

$$\text{VAR} := \text{Var}(10^{VTR10})$$

$$\text{VAR} = 1.935 \times 10^7$$

$$\text{VARD} := \frac{1}{n-3} \cdot \sum (10^{VTR10} - 10^{Dtr10_{-1}})^2$$

$$\text{VARD} = 2.195 \times 10^6$$

$$R := \left(1 - \frac{\text{VARD}}{\text{VAR}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$R = 0.942$$

$$R^2 = 0.887$$

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL DÉFICIT

PARA UN TR= 20 AÑOS

MATRIZ DE DATOS DEL LOGARITMO BASE 10 DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA LAS 13 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS TOMADAS EN EL ANÁLISIS (MTR) Y VECTOR DEL LOGARITMO BASE 10 DEL DÉFICIT DE SEQUÍAS ESTIMADO EN CADA ESTACIÓN (VTR), ASOCIADOS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 20 AÑOS

MTR20:=	(	12211.42	193.77	0.0106	79.58341	290	20	VTR20:=	(	841.277826
		14874.97	198.56	0.0102	78.57287	605	20			1849.830000
		1234.13	120.29	0.0169	79.60286	550	20			211.780846
		157.21	32.54	0.0940	73.56791	700	20			880.088261
		1340.19	71.24	0.0180	75.26790	500	20			241.295152
		1774.50	121.38	0.0130	75.14926	700	20			680.350000
		17233.45	159.12	0.0099	78.11598	650	20			900.344286
		185.13	23.30	0.1065	70.79160	1010	20			1626.643617
		20088.41	192.64	0.0083	77.17357	590	20			2621.236667
		30215.89	289.38	0.0073	75.45661	580	20			24477.100000
		8535.00	165.87	0.0088	73.07728	585	20			14100.460299
		3569.78	192.64	0.0108	73.64046	690	20			8404.928182
		1519.67	112.10	0.0112	75.41386	900	20			1046.374483

EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA MATRIZ DE PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA ASIGNARLOS A LA VARIABLES ÁREA (A), LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Lcp), PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (Scp), NUEMRO DE ESCURRIMIENTO (N), PRESIPITACIÓN MEDIA ANUAL (Pma), PERIODO DE RETORNO (Tr) Y DÉFICIT RELACIONADO CON UN PERIODO DE RETORNO (VTR).

$$A := \log(\text{submatrix}(\text{MTR20}, 0, 12, 0, 0))$$

$$Lcp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR20}, 0, 12, 1, 1))$$

$$Scp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR20}, 0, 12, 2, 2))$$

$$N := \log(\text{submatrix}(\text{MTR20}, 0, 12, 3, 3))$$

$$Pma := \log(\text{submatrix}(\text{MTR20}, 0, 12, 4, 4))$$

$$TR := \log(\text{submatrix}(\text{MTR20}, 0, 12, 5, 5))$$

$$\text{VTR20} := \log(\text{submatrix}(\text{VTR20}, 0, 12, 0, 0))$$

FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTARA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, UTILIZANDO EL METODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

$$n := \text{length}(A)$$

$$\text{MTR} := \begin{pmatrix}
 n & \sum A & \sum Lcp & \sum Scp & \sum N & \sum Pma & \sum TR \\
 \sum A & A \cdot A & A \cdot Lcp & A \cdot Scp & A \cdot N & A \cdot Pma & A \cdot TR \\
 \sum Lcp & Lcp \cdot A & Lcp \cdot Lcp & Lcp \cdot Scp & Lcp \cdot N & Lcp \cdot Pma & Lcp \cdot TR \\
 \sum Scp & Scp \cdot A & Scp \cdot Lcp & Scp \cdot Scp & Scp \cdot N & Scp \cdot Pma & Scp \cdot TR \\
 \sum N & N \cdot A & N \cdot Lcp & N \cdot Scp & N \cdot N & N \cdot Pma & N \cdot TR \\
 \sum Pma & Pma \cdot A & Pma \cdot Lcp & Pma \cdot Scp & Pma \cdot N & Pma \cdot Pma & Pma \cdot TR \\
 \sum TR & TR \cdot A & TR \cdot Lcp & TR \cdot Scp & TR \cdot N & TR \cdot Pma & TR \cdot TR
 \end{pmatrix}
 \quad
 \text{VS} := \begin{pmatrix}
 \sum VTR20 \\
 A \cdot VTR20 \\
 Lcp \cdot VTR20 \\
 Scp \cdot VTR20 \\
 N \cdot VTR20 \\
 Pma \cdot VTR20 \\
 TR \cdot VTR20
 \end{pmatrix}$$

MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR DE TÉRMINOS INDEPENDIENTES QUE REPRESENTAN EL EVENTO DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.

$$\text{MTR} = \begin{pmatrix}
 13 & 45.876 & 26.984 & -23.563 & 24.432 & 36.285 & 16.913 \\
 45.876 & 168.703 & 97.905 & -86.195 & 86.297 & 127.47 & 59.686 \\
 26.984 & 97.905 & 57.247 & -50.306 & 50.749 & 75.076 & 35.107 \\
 -23.563 & -86.195 & -50.306 & 44.419 & -44.324 & -65.519 & -30.657 \\
 24.432 & 86.297 & 50.749 & -44.324 & 45.922 & 68.18 & 31.787 \\
 36.285 & 127.47 & 75.076 & -65.519 & 68.18 & 101.481 & 47.208 \\
 16.913 & 59.686 & 35.107 & -30.657 & 31.787 & 47.208 & 22.005
 \end{pmatrix}
 \quad
 \text{VS} = \begin{pmatrix}
 41.744 \\
 149.929 \\
 87.683 \\
 -76.601 \\
 78.411 \\
 116.634 \\
 54.31
 \end{pmatrix}$$

**SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE
REPRESENTA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN**

$S := \text{lsolve}(\text{MTR}, \text{VS})$

$$S = \begin{pmatrix} 167.335 \\ 0.501 \\ 3.306 \\ 2.128 \\ -38.245 \\ 0.403 \\ -75.435 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} K := S_0 \\ \alpha := S_1 \\ \beta := S_2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \gamma := S_3 \\ \delta := S_4 \\ \varepsilon := S_5 \\ \mu := S_6 \end{matrix}$$

$D := S_0 + S_1 \cdot A + S_2 \cdot \text{Lcp} + S_3 \cdot \text{Scp} + S_4 \cdot N + S_5 \cdot \text{Pma} + S_6 \cdot \text{TR}$

**COMPARACIÓN DE LOS VALORES CALCULADOS CON LA ECUACIÓN (D) VS LOS
VALORES OBTENIDOS DE LA ESTADÍSTICA Y EN LOS CUALES SE BASÓ LA
OBTENCIÓN DE ESTA ECUACIÓN(VTR20)**

	0		0
D =	0 2.89	VTR20 =	0 2.925
	1 3.28		1 3.267
	2 2.25		2 2.326
	3 2.86		3 2.945
	4 2.49		4 2.383
	5 3.10		5 2.833
	6 3.07		6 2.954
	7 3.24		7 3.211
	8 3.40		8 3.419
	9 4.33		9 4.389
	10 3.96		10 4.149
	11 4.08		11 3.925
	12 2.80		12 3.02

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R) Y DETERMINACIÓN (R²) MÚLTIPLE

$\text{VAR} := \text{Var}(10^{\text{VTR20}})$ $\text{VAR} = 5.231 \times 10^7$

$\text{VARD} := \frac{1}{n-3} \cdot \sum (10^{\text{VTR20}} - 10^D)^2$ $\text{VARD} = 4.805 \times 10^6$

$R := \left(1 - \frac{\text{VARD}}{\text{VAR}} \right)^{\frac{1}{2}}$ $R = 0.953$

$R^2 = 0.908$

COMPARACIÓN DE VOLÚMENES CALCULADOS VS LOS OBTENIDOS POR ESTADÍSTICA

$$10^{VTR20} =$$

	0
0	841.278
1	1.85·10 ³
2	211.781
3	880.088
4	241.295
5	680.35
6	900.344
7	627·10 ³
8	621·10 ³
9	448·10 ⁴
10	1.41·10 ⁴
11	405·10 ³
12	046·10 ³

$$10^D =$$

	0
0	782.919
1	393·10 ³
2	177.837
3	729.03
4	307.311
5	253·10 ³
6	183·10 ³
7	727·10 ³
8	527·10 ³
9	126·10 ⁴
10	123·10 ³
11	191·10 ⁴
12	628.027

$$10^{VTR20} - 10^D =$$

	0
0	58.359
1	-43.384
2	33.944
3	151.058
4	-66.016
5	572.710
6	283.138
7	100.584
8	94.057
9	214.127
10	977.309
11	509.071
12	418.347

$i := 0.. \text{length}(VTR20) - 1$

$$\frac{10^{VTR20_i} - 10^{D_i}}{10^{VTR20_i}} \cdot 100 =$$

6.937
-2.345
6.028
7.164
27.359
34.179
31.448
-6.184
3.588
3.131
35.299
-41.75
39.981

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL DÉFICIT

PARA UN TR= 25 AÑOS

MATRIZ DE DATOS DEL LOGARITMO BASE 10 DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA LAS 13 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS TOMADAS EN EL ANÁLISIS (MTR) Y VECTOR DEL LOGARITMO BASE 10 DEL DÉFICIT DE SEQUÍAS ESTIMADO EN CADA ESTACIÓN (VTR), ASOCIADOS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS

MTR25:=	(	12211.42	193.77	0.0106	79.58341	290	25		(	847.452609
		14874.97	198.56	0.0102	78.57287	605	25			2208.655833
		1234.13	120.29	0.0169	79.60286	550	25			213.941808
		157.21	32.54	0.0940	73.56791	700	25			1479.100000
		1340.19	71.24	0.0180	75.26790	500	25			336.573939
		1774.50	121.38	0.0130	75.14926	700	25			719.750000
		17233.45	159.12	0.0099	78.11598	650	25		VTR25:=	914.352857
		185.13	23.30	0.1065	70.79160	1010	25			1823.367021
		20088.41	192.64	0.0083	77.17357	590	25			2981.773333
		30215.89	289.38	0.0073	75.45661	580	25			28517.600000
		8535.00	165.87	0.0088	73.07728	585	25			16663.062687
		3569.78	192.64	0.0108	73.64046	690	25			8998.875000
		1519.67	112.10	0.0112	75.41386	900	25			1189.283103

EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA MATRIZ DE PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA ASIGNARLOS A LA VARIABLES ÁREA (A), LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Lcp), PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (Scp), NÚMERO DE ESCURRIMIENTO (N), PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (Pma), PERIODO DE RETORNO (Tr) Y DÉFICIT RELACIONADO CON UN PERIODO DE RETORNO (VTR).

$$A := \log(\text{submatrix}(\text{MTR25}, 0, 12, 0, 0))$$

$$Lcp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR25}, 0, 12, 1, 1))$$

$$Scp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR25}, 0, 12, 2, 2))$$

$$N := \log(\text{submatrix}(\text{MTR25}, 0, 12, 3, 3))$$

$$Pma := \log(\text{submatrix}(\text{MTR25}, 0, 12, 4, 4))$$

$$TR := \log(\text{submatrix}(\text{MTR25}, 0, 12, 5, 5))$$

$$\text{VTR25} := \log(\text{submatrix}(\text{VTR25}, 0, 12, 0, 0))$$

FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTARA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, UTILIZANDO EL METODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

$$n := \text{length}(A)$$

$$\text{MTR} := \begin{pmatrix} n & \sum A & \sum Lcp & \sum Scp & \sum N & \sum Pma & \sum TR \\ \sum A & A \cdot A & A \cdot Lcp & A \cdot Scp & A \cdot N & A \cdot Pma & A \cdot TR \\ \sum Lcp & Lcp \cdot A & Lcp \cdot Lcp & Lcp \cdot Scp & Lcp \cdot N & Lcp \cdot Pma & Lcp \cdot TR \\ \sum Scp & Scp \cdot A & Scp \cdot Lcp & Scp \cdot Scp & Scp \cdot N & Scp \cdot Pma & Scp \cdot TR \\ \sum N & N \cdot A & N \cdot Lcp & N \cdot Scp & N \cdot N & N \cdot Pma & N \cdot TR \\ \sum Pma & Pma \cdot A & Pma \cdot Lcp & Pma \cdot Scp & Pma \cdot N & Pma \cdot Pma & Pma \cdot TR \\ \sum TR & TR \cdot A & TR \cdot Lcp & TR \cdot Scp & TR \cdot N & TR \cdot Pma & TR \cdot TR \end{pmatrix} \quad \text{VS} := \begin{pmatrix} \sum VTR25 \\ A \cdot VTR25 \\ Lcp \cdot VTR25 \\ Scp \cdot VTR25 \\ N \cdot VTR25 \\ Pma \cdot VTR25 \\ TR \cdot VTR25 \end{pmatrix}$$

MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR DE TÉRMINOS INDEPENDIENTES QUE REPRESENTAN EL EVENTO DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.

$$\text{MTR} = \begin{pmatrix} 13 & 45.876 & 26.984 & -23.563 & 24.432 & 36.285 & 18.173 \\ 45.876 & 168.703 & 97.905 & -86.195 & 86.297 & 127.47 & 64.132 \\ 26.984 & 97.905 & 57.247 & -50.306 & 50.749 & 75.076 & 37.722 \\ -23.563 & -86.195 & -50.306 & 44.419 & -44.324 & -65.519 & -32.94 \\ 24.432 & 86.297 & 50.749 & -44.324 & 45.922 & 68.18 & 34.155 \\ 36.285 & 127.47 & 75.076 & -65.519 & 68.18 & 101.481 & 50.725 \\ 18.173 & 64.132 & 37.722 & -32.94 & 34.155 & 50.725 & 25.405 \end{pmatrix} \quad \text{VS} = \begin{pmatrix} 42.56 \\ 152.55 \\ 89.252 \\ -77.934 \\ 79.939 \\ 118.924 \\ 59.496 \end{pmatrix}$$

**SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE
REPRESENTA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN**

$S := \text{Isolve}(\text{MTR}, \text{VS})$

$$S = \begin{pmatrix} -66.705 \\ 0.507 \\ 3.241 \\ 2.162 \\ -39.451 \\ 0.281 \\ 99.249 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} K := S_0 \\ \alpha := S_1 \\ \beta := S_2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \gamma := S_3 \\ \delta := S_4 \\ \varepsilon := S_5 \\ \mu := S_6 \end{matrix}$$

$D := S_0 + S_1 \cdot A + S_2 \cdot \text{Lcp} + S_3 \cdot \text{Scp} + S_4 \cdot N + S_5 \cdot \text{Pma} + S_6 \cdot \text{TR}$

**COMPARACIÓN DE LOS VALORES CALCULADOS CON LA ECUACIÓN (D) VS LOS
VALORES OBTENIDOS DE LA ESTADÍSTICA Y EN LOS CUALES SE BASÓ LA
OBTENCIÓN DE ESTA ECUACIÓN(VTR25)**

	0		0
D =	2.96	VTR25 =	2.928
	3.31		3.344
	2.29		2.33
	2.99		3.17
	2.58		2.527
	3.15		2.857
	3.11		2.961
	3.38		3.261
	3.44		3.474
	4.37		4.455
	4.03		4.222
	4.13		3.954
	2.84		3.075

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R) Y DETERMINACIÓN (R²) MÚLTIPLE.

$\text{VAR} := \text{Var}(10^{\text{VTR25}}) \quad \text{VAR} = 7.088 \times 10^7$

$\text{VARD} := \frac{1}{n-3} \cdot \sum (10^{\text{VTR25}} - 10^{\text{D}})^2 \quad \text{VARD} = 8.51 \times 10^6$

$R := \left(1 - \frac{\text{VARD}}{\text{VAR}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad R = 0.938$

$R^2 = 0.88$

COMPARACIÓN DE VOLÚMENES CALCULADOS VS LOS OBTENIDOS POR ESTADÍSTICA

$$10^{VTR25} =$$

	0
0	847.453
1	209.10 ³
2	213.942
3	479.10 ³
4	336.574
5	719.75
6	914.353
7	823.10 ³
8	982.10 ³
9	852.10 ⁴
10	666.10 ⁴
11	999.10 ³
12	189.10 ³

$$10^D =$$

	0
0	901.926
1	221.10 ³
2	195.614
3	975.183
4	379.565
5	424.10 ³
6	279.10 ³
7	377.10 ³
8	756.10 ³
9	321.10 ⁴
10	71.10 ⁴
11	346.10 ⁴
12	688.607

$$10^{VTR25} - 10^D =$$

	0
0	-54.474
1	188.123
2	18.328
3	503.917
4	-42.991
5	704.381
6	364.618
7	553.520
8	225.690
9	304.928
10	957.272
11	464.923
12	500.676

$$i := 0.. \text{length}(VTR25) - 1$$

$$\frac{10^{VTR25_i} - 10^{D_i}}{10^{VTR25_i}} \cdot 100 =$$

-6.428
8.518
8.567
4.069
2.773
7.865
9.877
0.357
7.569
8.602
5.751
9.616
2.099

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL DÉFICIT

PARA UN TR= 50 AÑOS

MATRIZ DE DATOS DEL LOGARITMO BASE 10 DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA LAS 13 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS TOMADAS EN EL ANÁLISIS (MTR) Y VECTOR DEL LOGARITMO BASE 10 DEL DÉFICIT DE SEQUÍAS ESTIMADO EN CADA ESTACIÓN (VTR), ASOCIADOS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS

MTR50:=	(	12211.42	193.77	0.0106	79.58341	290	50	)	(	897.318863)
		14874.97	198.56	0.0102	78.57287	605	50			3564.472222	
		1234.13	120.29	0.0169	79.60286	550	50			266.924640	
		157.21	32.54	0.0940	73.56791	700	50			1047.624151	
		1340.19	71.24	0.0180	75.26790	500	50			323.683370	
		1774.50	121.38	0.0130	75.14926	700	50			2041.369075	
		17233.45	159.12	0.0099	78.11598	650	50		VTR50:=	1654.406609	
		185.13	23.30	0.1065	70.79160	1010	50			6261.270705	
		20088.41	192.64	0.0083	77.17357	590	50			3091.320962	
		30215.89	289.38	0.0073	75.45661	580	50			25958.336645	
		8535.00	165.87	0.0088	73.07728	585	50			19288.879851	
		3569.78	192.64	0.0108	73.64046	690	50			9651.146261	
		1519.67	112.10	0.0112	75.41386	900	50	)		1460.197586)

EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA MATRIZ DE PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA ASIGNARLOS A LA VARIABLES ÁREA (A), LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Lcp), PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (Scp), NÚMERO DE ESCURRIMIENTO (N), PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (Pma), PERIODO DE RETORNO (Tr) Y DÉFICIT RELACIONADO CON UN PERIODO DE RETORNO (VTR).

$$A := \log(\text{submatrix}(\text{MTR50}, 0, 12, 0, 0))$$

$$Lcp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR50}, 0, 12, 1, 1))$$

$$Scp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR50}, 0, 12, 2, 2))$$

$$N := \log(\text{submatrix}(\text{MTR50}, 0, 12, 3, 3))$$

$$Pma := \log(\text{submatrix}(\text{MTR50}, 0, 12, 4, 4))$$

$$TR := \log(\text{submatrix}(\text{MTR50}, 0, 12, 5, 5))$$

$$\text{VTR50} := \log(\text{submatrix}(\text{VTR50}, 0, 12, 0, 0))$$

FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTARA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, UTILIZANDO EL METODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

$$n := \text{length}(A)$$

$$MTR := \begin{pmatrix} n & \sum A & \sum Lcp & \sum Scp & \sum N & \sum Pma & \sum TR \\ \sum A & A \cdot A & A \cdot Lcp & A \cdot Scp & A \cdot N & A \cdot Pma & A \cdot TR \\ \sum Lcp & Lcp \cdot A & Lcp \cdot Lcp & Lcp \cdot Scp & Lcp \cdot N & Lcp \cdot Pma & Lcp \cdot TR \\ \sum Scp & Scp \cdot A & Scp \cdot Lcp & Scp \cdot Scp & Scp \cdot N & Scp \cdot Pma & Scp \cdot TR \\ \sum N & N \cdot A & N \cdot Lcp & N \cdot Scp & N \cdot N & N \cdot Pma & N \cdot TR \\ \sum Pma & Pma \cdot A & Pma \cdot Lcp & Pma \cdot Scp & Pma \cdot N & Pma \cdot Pma & Pma \cdot TR \\ \sum TR & TR \cdot A & TR \cdot Lcp & TR \cdot Scp & TR \cdot N & TR \cdot Pma & TR \cdot TR \end{pmatrix} \quad VS := \begin{pmatrix} \sum VTR50 \\ A \cdot VTR50 \\ Lcp \cdot VTR50 \\ Scp \cdot VTR50 \\ N \cdot VTR50 \\ Pma \cdot VTR50 \\ TR \cdot VTR50 \end{pmatrix}$$

MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR DE TÉRMINOS INDEPENDIENTES QUE REPRESENTAN EL EVENTO DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.

$$MTR = \begin{pmatrix} 13 & 45.876 & 26.984 & -23.563 & 24.432 & 36.285 & 22.087 \\ 45.876 & 168.703 & 97.905 & -86.195 & 86.297 & 127.47 & 77.942 \\ 26.984 & 97.905 & 57.247 & -50.306 & 50.749 & 75.076 & 45.845 \\ -23.563 & -86.195 & -50.306 & 44.419 & -44.324 & -65.519 & -40.033 \\ 24.432 & 86.297 & 50.749 & -44.324 & 45.922 & 68.18 & 41.51 \\ 36.285 & 127.47 & 75.076 & -65.519 & 68.18 & 101.481 & 61.648 \\ 22.087 & 77.942 & 45.845 & -40.033 & 41.51 & 61.648 & 37.524 \end{pmatrix} \quad VS = \begin{pmatrix} 44.126 \\ 157.737 \\ 92.3 \\ -80.584 \\ 82.874 \\ 123.433 \\ 74.968 \end{pmatrix}$$

**SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE
REPRESENTA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN**

S := Isolve(MTR, VS)

$$S = \begin{pmatrix} 15.096 \\ 0.641 \\ 2.676 \\ 1.993 \\ -36.659 \\ 1.097 \\ 29.386 \end{pmatrix}$$

K := S₀

α := S₁

β := S₂

γ := S₃

δ := S₄

ε := S₅

μ := S₆

D := S₀ + S₁·A + S₂·Lcp + S₃·Scp + S₄·N + S₅·Pma + S₆·TR

**COMPARACIÓN DE LOS VALORES CALCULADOS CON LA ECUACIÓN (D) VS LOS
VALORES OBTENIDOS DE LA ESTADÍSTICA Y EN LOS CUALES SE BASÓ LA
OBTENCIÓN DE ESTA ECUACIÓN(VTR50)**

D =

	0
0	2.85
1	3.45
2	2.36
3	3.12
4	2.68
5	3.28
6	3.34
7	3.68
8	3.60
9	4.42
10	4.10
11	4.17
12	3.08

VTR50 =

	0
0	2.953
1	3.552
2	2.426
3	3.02
4	2.51
5	3.31
6	3.219
7	3.797
8	3.49
9	4.414
10	4.285
11	3.985
12	3.164

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R) Y DETERMINACIÓN (R²) MÚLTIPLE.

VAR := Var(10^{VTR50})

VAR = 6.442 × 10⁷

VARD := $\frac{1}{n-3} \sum (10^{VTR50} - 10^D)^2$

VARD = 7.389 × 10⁶

R := $\left(1 - \frac{VARD}{VAR}\right)^{\frac{1}{2}}$

R = 0.941

R² = 0.885

COMPARACIÓN DE VOLÚMENES CALCULADOS VS LOS OBTENIDOS POR ESTADÍSTICA

$$10^{VTR50} =$$

	0
0	897.319
1	564·10 ³
2	266.925
3	048·10 ³
4	323.683
5	041·10 ³
6	654·10 ³
7	261·10 ³
8	091·10 ³
9	596·10 ⁴
10	929·10 ⁴
11	651·10 ³
12	1.46·10 ³

$$10^D =$$

	0
0	707.811
1	343·10 ³
2	230.247
3	.33·10 ³
4	475.303
5	398·10 ³
6	181·10 ³
7	748·10 ³
8	363·10 ³
9	552·10 ⁴
10	261·10 ⁴
11	464·10 ⁴
12	195·10 ³

$$10^{VTR50} - 10^D =$$

	0
0	189.508
1	721.098
2	36.678
3	282.853
4	151.620
5	143.423
6	526.644
7	512.874
8	371.989
9	566.190
10	681.909
11	983.930
12	264.918

$i := 0..length(VTR50) - 1$

$$\frac{10^{VTR50_i} - 10^{D_i}}{10^{VTR50_i}} \cdot 100 =$$

21.119
20.23
3.741
-27
16.842
7.026
1.833
24.162
8.208
-2.181
34.641
51.641
8.143

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL DÉFICIT

PARA UN TR= 100 AÑOS

MATRIZ DE DATOS DEL LOGARITMO BASE 10 DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA LAS 13 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS TOMADAS EN EL ANÁLISIS (MTR) Y VECTOR DEL LOGARITMO BASE 10 DEL DÉFICIT DE SEQUÍAS ESTIMADO EN CADA ESTACIÓN (VTR), ASOCIADOS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

MTR100:=	(	12211.42	193.77	0.0106	79.58341	290	100		(	1034.980605
		14874.97	198.56	0.0102	78.57287	605	100			2801.112831
		1234.13	120.29	0.0169	79.60286	550	100			305.784232
		157.21	32.54	0.0940	73.56791	700	100			1198.514965
		1340.19	71.24	0.0180	75.26790	500	100			381.755892
		1774.50	121.38	0.0130	75.14926	700	100			2353.717029
		17233.45	159.12	0.0099	78.11598	650	100		VTR100:=	1883.910905
		185.13	23.30	0.1065	70.79160	1010	100			7438.838507
		20088.41	192.64	0.0083	77.17357	590	100			3560.003584
		30215.89	289.38	0.0073	75.45661	580	100			30019.420963
		8535.00	165.87	0.0088	73.07728	585	100			17648.949440
		3569.78	192.64	0.0108	73.64046	690	100			11165.092161
		1519.67	112.10	0.0112	75.41386	900	100			1375.178147

EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA MATRIZ DE PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA ASIGNARLOS A LA VARIABLES ÁREA (A), LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Lcp), PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (Scp), NUEMRO DE ESCURRIMIENTO (N), PRESIPITACIÓN MEDIA ANUAL (Pma), PERIODO DE RETORNO (Tr) Y DÉFICIT RELACIONADO CON UN PERIODO DE RETORNO (VTR). .

$$A := \log(\text{submatrix}(\text{MTR100}, 0, 12, 0, 0))$$

$$Lcp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR100}, 0, 12, 1, 1))$$

$$Scp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR100}, 0, 12, 2, 2))$$

$$N := \log(\text{submatrix}(\text{MTR100}, 0, 12, 3, 3))$$

$$Pma := \log(\text{submatrix}(\text{MTR100}, 0, 12, 4, 4))$$

$$TR := \log(\text{submatrix}(\text{MTR100}, 0, 12, 5, 5))$$

$$\text{VTR100} := \log(\text{submatrix}(\text{VTR100}, 0, 12, 0, 0))$$

FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTARA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, UTILIZANDO EL METODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

$$n := \text{length}(A)$$

$$\text{MTR} := \begin{pmatrix} n & \sum A & \sum Lcp & \sum Scp & \sum N & \sum Pma & \sum TR \\ \sum A & A \cdot A & A \cdot Lcp & A \cdot Scp & A \cdot N & A \cdot Pma & A \cdot TR \\ \sum Lcp & Lcp \cdot A & Lcp \cdot Lcp & Lcp \cdot Scp & Lcp \cdot N & Lcp \cdot Pma & Lcp \cdot TR \\ \sum Scp & Scp \cdot A & Scp \cdot Lcp & Scp \cdot Scp & Scp \cdot N & Scp \cdot Pma & Scp \cdot TR \\ \sum N & N \cdot A & N \cdot Lcp & N \cdot Scp & N \cdot N & N \cdot Pma & N \cdot TR \\ \sum Pma & Pma \cdot A & Pma \cdot Lcp & Pma \cdot Scp & Pma \cdot N & Pma \cdot Pma & Pma \cdot TR \\ \sum TR & TR \cdot A & TR \cdot Lcp & TR \cdot Scp & TR \cdot N & TR \cdot Pma & TR \cdot TR \end{pmatrix}$$

$$\text{VS} := \begin{pmatrix} \sum VTR100 \\ A \cdot VTR100 \\ Lcp \cdot VTR100 \\ Scp \cdot VTR100 \\ N \cdot VTR100 \\ Pma \cdot VTR100 \\ TR \cdot VTR100 \end{pmatrix}$$

MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR DE TÉRMINOS INDEPENDIENTES QUE REPRESENTAN EL EVENTO DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.

$$\text{MTR} = \begin{pmatrix} 13 & 45.876 & 26.984 & -23.563 & 24.432 & 36.285 & 26 \\ 45.876 & 168.703 & 97.905 & -86.195 & 86.297 & 127.47 & 91.752 \\ 26.984 & 97.905 & 57.247 & -50.306 & 50.749 & 75.076 & 53.968 \\ -23.563 & -86.195 & -50.306 & 44.419 & -44.324 & -65.519 & -47.127 \\ 24.432 & 86.297 & 50.749 & -44.324 & 45.922 & 68.18 & 48.865 \\ 36.285 & 127.47 & 75.076 & -65.519 & 68.18 & 101.481 & 72.571 \\ 26 & 91.752 & 53.968 & -47.127 & 48.865 & 72.571 & 52 \end{pmatrix}$$

$$\text{VS} = \begin{pmatrix} 44.588 \\ 159.235 \\ 93.202 \\ -81.347 \\ 83.743 \\ 124.716 \\ 89.176 \end{pmatrix}$$

**SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE
REPRESENTA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN**

S := Isolve(MTR, VS)

$$S = \begin{pmatrix} 69.73 \\ 0.627 \\ 2.697 \\ 2.038 \\ -37.308 \\ 0.932 \\ -1.449 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} K := S_0 \\ \alpha := S_1 \\ \beta := S_2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \gamma := S_3 \\ \delta := S_4 \\ \varepsilon := S_5 \\ \mu := S_6 \end{matrix}$$

D := S₀ + S₁·A + S₂·Lcp + S₃·Scp + S₄·N + S₅·Pma + S₆·TR

**COMPARACIÓN DE LOS VALORES CALCULADOS CON LA ECUACIÓN (D) VS LOS
VALORES OBTENIDOS DE LA ESTADÍSTICA Y EN LOS CUALES SE BASÓ LA
OBTENCIÓN DE ESTA ECUACIÓN(VTR100)**

	0		0
D =	0 2.92	VTR100=	0 3.015
	1 3.47		1 3.447
	2 2.40		2 2.485
	3 3.20		3 3.079
	4 2.73		4 2.582
	5 3.31		5 3.372
	6 3.35		6 3.275
	7 3.74		7 3.872
	8 3.61		8 3.551
	9 4.44		9 4.477
	10 4.14		10 4.247
	11 4.20		11 4.048
	12 3.09		12 3.138

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R) Y DETERMINACIÓN (R²) MÚLTIPLE.

VAR := Var(10^{VTR100})

VAR = 7.668 × 10⁷

VARD := $\frac{1}{n-3} \sum (10^{VTR100} - 10^D)^2$

VARD = 4.637 × 10⁶

R := $\left(1 - \frac{VARD}{VAR}\right)^{\frac{1}{2}}$

R = 0.969

R² = 0.94

COMPARACIÓN DE VOLÚMENES CALCULADOS VS LOS OBTENIDOS POR ESTADÍSTICA

$$10^{VTR100} =$$

	0
0	035·10 ³
1	801·10 ³
2	305.784
3	199·10 ³
4	381.756
5	354·10 ³
6	884·10 ³
7	439·10 ³
8	3.56·10 ³
9	002·10 ⁴
10	765·10 ⁴
11	117·10 ⁴
12	375·10 ³

$$10^D =$$

	0
0	822.297
1	937·10 ³
2	251.41
3	592·10 ³
4	541.888
5	033·10 ³
6	217·10 ³
7	464·10 ³
8	101·10 ³
9	783·10 ⁴
10	369·10 ⁴
11	578·10 ⁴
12	218·10 ³

$$10^{VTR100} - 10^D =$$

	0
0	212.684
1	136.090
2	54.374
3	393.709
4	160.132
5	321.042
6	333.257
7	974.583
8	540.703
9	185.510
10	954.337
11	612.791
12	157.503

$$i := 0..length(VTR100) - 1$$

$$\frac{10^{VTR100_i} - 10^{D_i}}{10^{VTR100_i}} \cdot 100 =$$

20.55
-4.858
7.782
-32.85
1.946
13.64
-17.69
26.544
5.188
7.28
22.406
1.314
1.453

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL DÉFICIT

PARA UN TR= 500 AÑOS

MATRIZ DE DATOS DEL LOGARITMO BASE 10 DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA LAS 13 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS TOMADAS EN EL ANÁLISIS (MTR) Y VECTOR DEL LOGARITMO BASE 10 DEL DÉFICIT DE SEQUÍAS ESTIMADO EN CADA ESTACIÓN (VTR), ASOCIADOS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS

MTR500:=	(	12211.42	193.77	0.0106	79.58341	290	500		(	1353.095876
		14874.97	198.56	0.0102	78.57287	605	500			3691.522602
		1234.13	120.29	0.0169	79.60286	550	500			395.582818
		157.21	32.54	0.0940	73.56791	700	500			1547.200601
		1340.19	71.24	0.0180	75.26790	500	500			515.952625
		1774.50	121.38	0.0130	75.14926	700	500			3075.505467
		17233.45	159.12	0.0099	78.11598	650	500		VTR500:=	2414.260298
		185.13	23.30	0.1065	70.79160	1010	500			10160.017933
		20088.41	192.64	0.0083	77.17357	590	500			4643.057574
		30215.89	289.38	0.0073	75.45661	580	500			39403.966867
		8535.00	165.87	0.0088	73.07728	585	500			23051.295486
		3569.78	192.64	0.0108	73.64046	690	500			14663.590019
		1519.67	112.10	0.0112	75.41386	900	500			1756.925512

EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA MATRIZ DE PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA ASIGNARLOS A LA VARIABLES ÁREA (A), LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Lcp), PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (Scp), NUEMRO DE ESCURRIMIENTO (N), PRESIPITACIÓN MEDIA ANUAL (Pma), PERIODO DE RETORNO (Tr) Y DÉFICIT RELACIONADO CON UN PERIODO DE RETORNO (VTR).

$$A := \log(\text{submatrix}(\text{MTR500}, 0, 12, 0, 0))$$

$$Lcp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR500}, 0, 12, 1, 1))$$

$$Scp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR500}, 0, 12, 2, 2))$$

$$N := \log(\text{submatrix}(\text{MTR500}, 0, 12, 3, 3))$$

$$Pma := \log(\text{submatrix}(\text{MTR500}, 0, 12, 4, 4))$$

$$TR := \log(\text{submatrix}(\text{MTR500}, 0, 12, 5, 5))$$

$$\text{VTR500} := \log(\text{submatrix}(\text{VTR500}, 0, 12, 0, 0))$$

FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTARA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, UTILIZANDO EL METODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

$$n := \text{length}(A)$$

$$\text{MTR} := \begin{pmatrix}
 n & \sum A & \sum Lcp & \sum Scp & \sum N & \sum Pma & \sum TR \\
 \sum A & A \cdot A & A \cdot Lcp & A \cdot Scp & A \cdot N & A \cdot Pma & A \cdot TR \\
 \sum Lcp & Lcp \cdot A & Lcp \cdot Lcp & Lcp \cdot Scp & Lcp \cdot N & Lcp \cdot Pma & Lcp \cdot TR \\
 \sum Scp & Scp \cdot A & Scp \cdot Lcp & Scp \cdot Scp & Scp \cdot N & Scp \cdot Pma & Scp \cdot TR \\
 \sum N & N \cdot A & N \cdot Lcp & N \cdot Scp & N \cdot N & N \cdot Pma & N \cdot TR \\
 \sum Pma & Pma \cdot A & Pma \cdot Lcp & Pma \cdot Scp & Pma \cdot N & Pma \cdot Pma & Pma \cdot TR \\
 \sum TR & TR \cdot A & TR \cdot Lcp & TR \cdot Scp & TR \cdot N & TR \cdot Pma & TR \cdot TR
 \end{pmatrix}
 \quad
 \text{VS} := \begin{pmatrix}
 \sum VTR500 \\
 A \cdot VTR500 \\
 Lcp \cdot VTR500 \\
 Scp \cdot VTR500 \\
 N \cdot VTR500 \\
 Pma \cdot VTR500 \\
 TR \cdot VTR500
 \end{pmatrix}$$

MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR DE TÉRMINOS INDEPENDIENTES QUE REPRESENTAN EL EVENTO DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.

$$\text{MTR} = \begin{pmatrix}
 13 & 45.876 & 26.984 & -23.563 & 24.432 & 36.285 & 35.087 \\
 45.876 & 168.703 & 97.905 & -86.195 & 86.297 & 127.47 & 123.818 \\
 26.984 & 97.905 & 57.247 & -50.306 & 50.749 & 75.076 & 72.829 \\
 -23.563 & -86.195 & -50.306 & 44.419 & -44.324 & -65.519 & -63.597 \\
 24.432 & 86.297 & 50.749 & -44.324 & 45.922 & 68.18 & 65.943 \\
 36.285 & 127.47 & 75.076 & -65.519 & 68.18 & 101.481 & 97.933 \\
 35.087 & 123.818 & 72.829 & -63.597 & 65.943 & 97.933 & 94.698
 \end{pmatrix}
 \quad
 \text{VS} = \begin{pmatrix}
 46.112 \\
 164.59 \\
 96.351 \\
 -84.094 \\
 86.605 \\
 128.969 \\
 124.454
 \end{pmatrix}$$

COMPARACIÓN DE VOLÚMENES CALCULADOS VS LOS OBTENIDOS POR ESTADÍSTICA

	0		0		0			
$10^{VTR500} =$	0	$353 \cdot 10^3$	$10^D =$	0	$.08 \cdot 10^3$	$10^{VTR500} - 10^D =$	0	273.536
	1	$692 \cdot 10^3$		1	$301 \cdot 10^3$		1	109.873
	2	395.583		2	322.932		2	72.651
	3	$547 \cdot 10^3$		3	$111 \cdot 10^3$		3	563.373
	4	515.953		4	719.332		4	203.379
	5	$076 \cdot 10^3$		5	$648 \cdot 10^3$		5	427.283
	6	$414 \cdot 10^3$		6	$388 \cdot 10^3$		6	474.067
	7	$016 \cdot 10^4$		7	$326 \cdot 10^3$		7	834.504
	8	$643 \cdot 10^3$		8	$358 \cdot 10^3$		8	714.686
	9	$3.94 \cdot 10^4$		9	$638 \cdot 10^4$		9	028.110
	10	$305 \cdot 10^4$		10	$315 \cdot 10^4$		10	899.483
	11	$466 \cdot 10^4$		11	$056 \cdot 10^4$		11	898.799
	12	$757 \cdot 10^3$		12	$577 \cdot 10^3$		12	180.413

$$i := 0..length(VTR500) - 1$$

$$\frac{10^{VTR500_i} - 10^{D_i}}{10^{VTR500_i}} \cdot 100 =$$

20.216
-2.976
8.365
36.412
39.418
3.893
9.636
27.899
5.393
7.685
21.255
10.228
0.269

MEMORIA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL DÉFICIT

PARA UN TR= 1000 AÑOS

MATRIZ DE DATOS DEL LOGARITMO BASE 10 DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA LAS 13 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS TOMADAS EN EL ANÁLISIS (MTR) Y VECTOR DEL LOGARITMO BASE 10 DEL DÉFICIT DE SEQUÍAS ESTIMADO EN CADA ESTACIÓN (VTR), ASOCIADOS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS

MTR1000:=	(	12211.42	193.77	0.0106	79.58341	290	1000	)	(	1489.858007)
		14874.97	198.56	0.0102	78.57287	605	1000			4074.322012	
		1234.13	120.29	0.0169	79.60286	550	1000			434.188465	
		157.21	32.54	0.0940	73.56791	700	1000			1697.105353	
		1340.19	71.24	0.0180	75.26790	500	1000			573.645646	
		1774.50	121.38	0.0130	75.14926	700	1000			3385.812246	
		17233.45	159.12	0.0099	78.11598	650	1000		VTR1000:=	2642.264797	
		185.13	23.30	0.1065	70.79160	1010	1000			11329.890403	
		20088.41	192.64	0.0083	77.17357	590	1000			5108.677384	
		30215.89	289.38	0.0073	75.45661	580	1000			43438.512253	
		8535.00	165.87	0.0088	73.07728	585	1000			25373.838371	
		3569.78	192.64	0.0108	73.64046	690	1000			16167.642376	
		1519.67	112.10	0.0112	75.41386	900	1000			1921.043956	

EXTRACCIÓN DE DATOS DE LA MATRIZ DE PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, PARA ASIGNARLOS A LA VARIABLES ÁREA (A), LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Lcp), PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (Scp), NÚMERO DE ESCURRIMIENTO (N), PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (Pma), PERIODO DE RETORNO (Tr) Y DÉFICIT RELACIONADO CON UN PERIODO DE RETORNO (VTR).

$$A := \log(\text{submatrix}(\text{MTR1000}, 0, 12, 0, 0))$$

$$Lcp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR1000}, 0, 12, 1, 1))$$

$$Scp := \log(\text{submatrix}(\text{MTR1000}, 0, 12, 2, 2))$$

$$N := \log(\text{submatrix}(\text{MTR1000}, 0, 12, 3, 3))$$

$$Pma := \log(\text{submatrix}(\text{MTR1000}, 0, 12, 4, 4))$$

$$TR := \log(\text{submatrix}(\text{MTR1000}, 0, 12, 5, 5))$$

$$\text{VTR1000} := \log(\text{submatrix}(\text{VTR1000}, 0, 12, 0, 0))$$

FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTARA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN, UTILIZANDO EL METODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

$$n := \text{length}(A)$$

$$\text{MTR} := \begin{pmatrix} n & \sum A & \sum Lcp & \sum Scp & \sum N & \sum Pma & \sum TR \\ \sum A & A \cdot A & A \cdot Lcp & A \cdot Scp & A \cdot N & A \cdot Pma & A \cdot TR \\ \sum Lcp & Lcp \cdot A & Lcp \cdot Lcp & Lcp \cdot Scp & Lcp \cdot N & Lcp \cdot Pma & Lcp \cdot TR \\ \sum Scp & Scp \cdot A & Scp \cdot Lcp & Scp \cdot Scp & Scp \cdot N & Scp \cdot Pma & Scp \cdot TR \\ \sum N & N \cdot A & N \cdot Lcp & N \cdot Scp & N \cdot N & N \cdot Pma & N \cdot TR \\ \sum Pma & Pma \cdot A & Pma \cdot Lcp & Pma \cdot Scp & Pma \cdot N & Pma \cdot Pma & Pma \cdot TR \\ \sum TR & TR \cdot A & TR \cdot Lcp & TR \cdot Scp & TR \cdot N & TR \cdot Pma & TR \cdot TR \end{pmatrix} \quad \text{VS} := \begin{pmatrix} \sum VTR1000 \\ A \cdot VTR1000 \\ Lcp \cdot VTR1000 \\ Scp \cdot VTR1000 \\ N \cdot VTR1000 \\ Pma \cdot VTR1000 \\ TR \cdot VTR1000 \end{pmatrix}$$

MATRIZ DE COEFICIENTES Y VECTOR DE TÉRMINOS INDEPENDIENTES QUE REPRESENTAN EL EVENTO DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.

$$\text{MTR} = \begin{pmatrix} 13 & 45.876 & 26.984 & -23.563 & 24.432 & 36.285 & 39 \\ 45.876 & 168.703 & 97.905 & -86.195 & 86.297 & 127.47 & 137.628 \\ 26.984 & 97.905 & 57.247 & -50.306 & 50.749 & 75.076 & 80.952 \\ -23.563 & -86.195 & -50.306 & 44.419 & -44.324 & -65.519 & -70.69 \\ 24.432 & 86.297 & 50.749 & -44.324 & 45.922 & 68.18 & 73.297 \\ 36.285 & 127.47 & 75.076 & -65.519 & 68.18 & 101.481 & 108.856 \\ 39 & 137.628 & 80.952 & -70.69 & 73.297 & 108.856 & 117 \end{pmatrix} \quad \text{VS} = \begin{pmatrix} 46.658 \\ 166.512 \\ 97.481 \\ -85.08 \\ 87.631 \\ 130.494 \\ 139.974 \end{pmatrix}$$

**SOLUCIÓN PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN QUE
REPRESENTA LA SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN**

S := Isolve(MTR, VS)

$$S = \begin{pmatrix} 135.708 \\ 0.636 \\ 2.664 \\ 2.035 \\ -37.702 \\ 0.898 \\ -22.619 \end{pmatrix}$$

K := S₀

α := S₁

β := S₂

γ := S₃

δ := S₄

ε := S₅

μ := S₆

D := S₀ + S₁·A + S₂·Lcp + S₃·Scp + S₄·N + S₅·Pma + S₆·TR

**COMPARACIÓN DE LOS VALORES CALCULADOS CON LA ECUACIÓN (D) VS LOS
VALORES OBTENIDOS DE LA ESTADÍSTICA Y EN LOS CUALES SE BASÓ LA
OBTENCIÓN DE ESTA ECUACIÓN (VTR1000)**

D =

	0
0	3.08
1	3.62
2	2.55
3	3.37
4	2.90
5	3.46
6	3.50
7	3.91
8	3.77
9	4.60
10	4.30
11	4.35
12	3.24

VTR1000=

	0
0	.173
1	3.61
2	.638
3	3.23
4	.759
5	3.53
6	.422
7	.054
8	.708
9	.638
10	.404
11	.209
12	.284

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R) Y DETERMINACIÓN (R²) MÚLTIPLE.

VAR := Var₍₁₀₎(VTR1000)

VAR = 1.605 × 10⁸

VARD := $\frac{1}{n-3} \cdot \sum (10^{VTR1000} - 10^D)^2$

VARD = 9.328 × 10⁶

R := $\left(1 - \frac{VARD}{VAR}\right)^{\frac{1}{2}}$

R = 0.556K

R² = 0.942

COMPARACIÓN DE VOLÚMENES CALCULADOS VS LOS OBTENIDOS POR ESTADÍSTICA

$$10^{VTR1000} =$$

	0
0	.49·10 ³
1	074·10 ³
2	434.188
3	697·10 ³
4	573.646
5	386·10 ³
6	642·10 ³
7	133·10 ⁴
8	109·10 ³
9	344·10 ⁴
10	537·10 ⁴
11	617·10 ⁴
12	921·10 ³

$$10^D =$$

	0
0	.19·10 ³
1	173·10 ³
2	353.706
3	333·10 ³
4	795.523
5	913·10 ³
6	177·10 ³
7	124·10 ³
8	398·10 ³
9	005·10 ⁴
10	007·10 ⁴
11	262·10 ⁴
12	731·10 ³

$$10^{VTR1000} - 10^D =$$

	0
0	299.660
1	-98.661
2	80.482
3	636.055
4	221.877
5	473.102
6	534.319
7	205.411
8	789.155
9	388.763
10	306.430
11	452.655
12	190.395

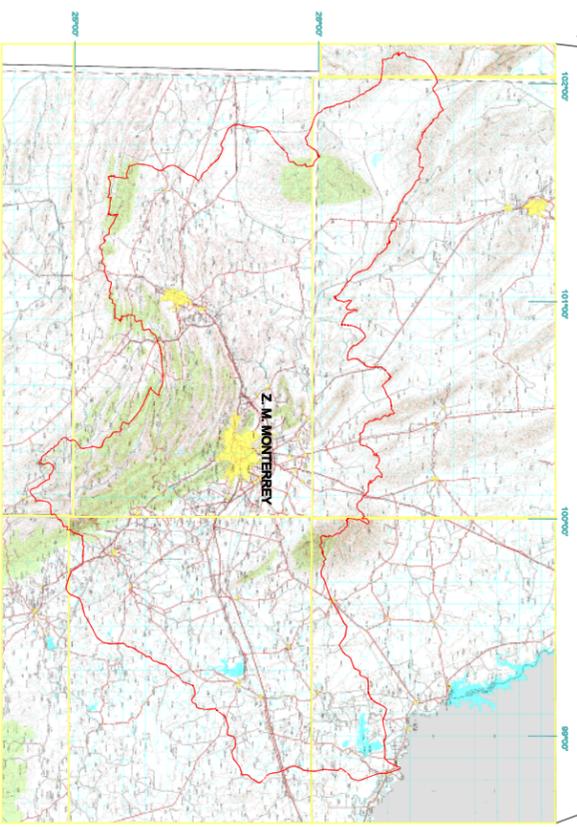
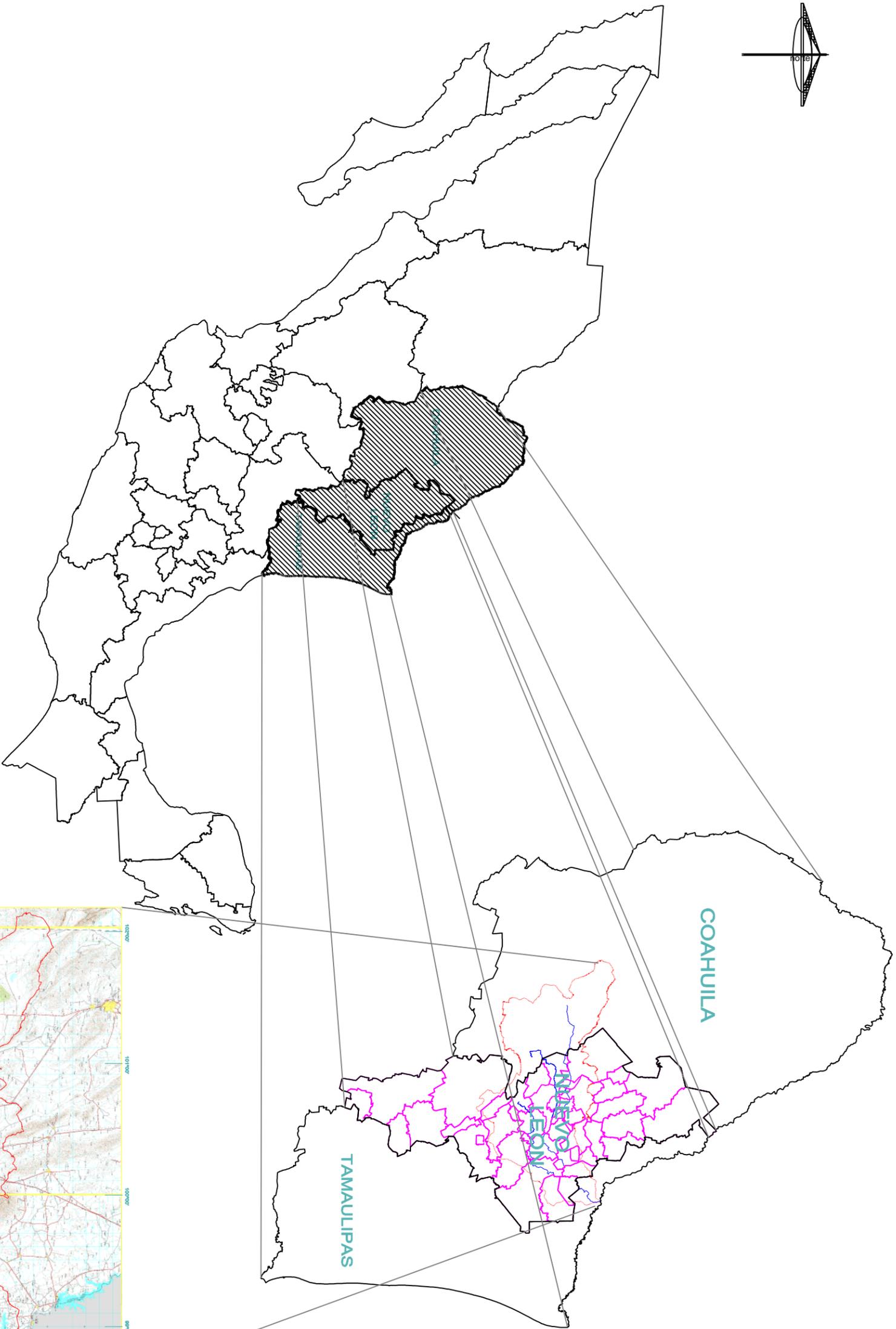
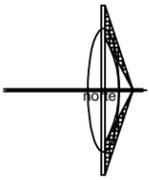
$$i := 0..length(VTR1000) - 1$$

$$\frac{10^{VTR1000_i} - 10^{D_i}}{10^{VTR1000_i}} \cdot 100 =$$

20.113
-2.422
18.536
-37.479
-38.678
13.973
-20.222
28.292
-15.447
7.801
20.913
-39.911
9.911

APÉNDICE E

PLANOS



Título:

UBICACION

GOBIERNO DEL ESTADO

REGISTRACION DE SERVICIOS EN AGRICULTURA

FORO: RICARDO ALBERTO OVALLE GONZALEZ

MAESTRIA EN CIENCIAS CON

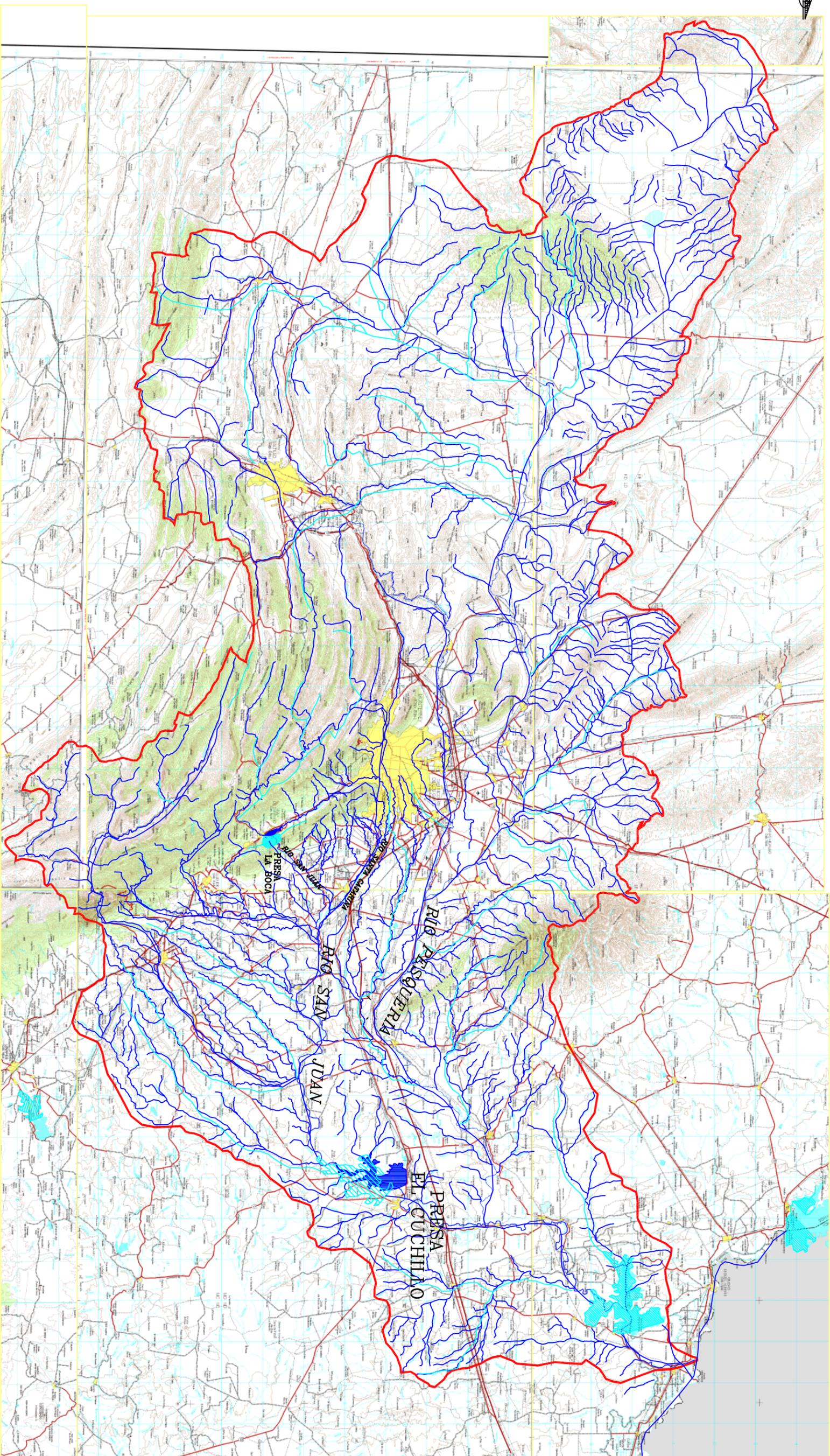
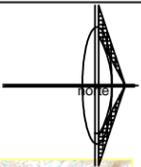
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

ACTOS. MIS. ESCALA: SN

PLANNO:

1 / 4

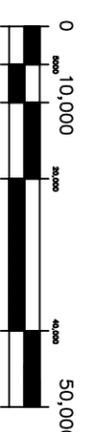




SIMBOLOGIA:

- PARTE AGUAS DE LA CUENCA DEL SAN JUAN
- ARROYOS Y RIOS DE LA CUENCA DEL SAN JUAN
- CIUDADES PRICIPALES
- CARRETERA PAVIMENTADA FEDERAL, ESTATAL
- VIA DE FERROCARRIL

- ✈ AEROPUERTO
- CORRIENTE DE AGUA
- CUERPO DE AGUA
- CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS
- LIMITE INTERNACIONAL



ESCALA GRAFICA

Título:

DELIMITACION DE LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN

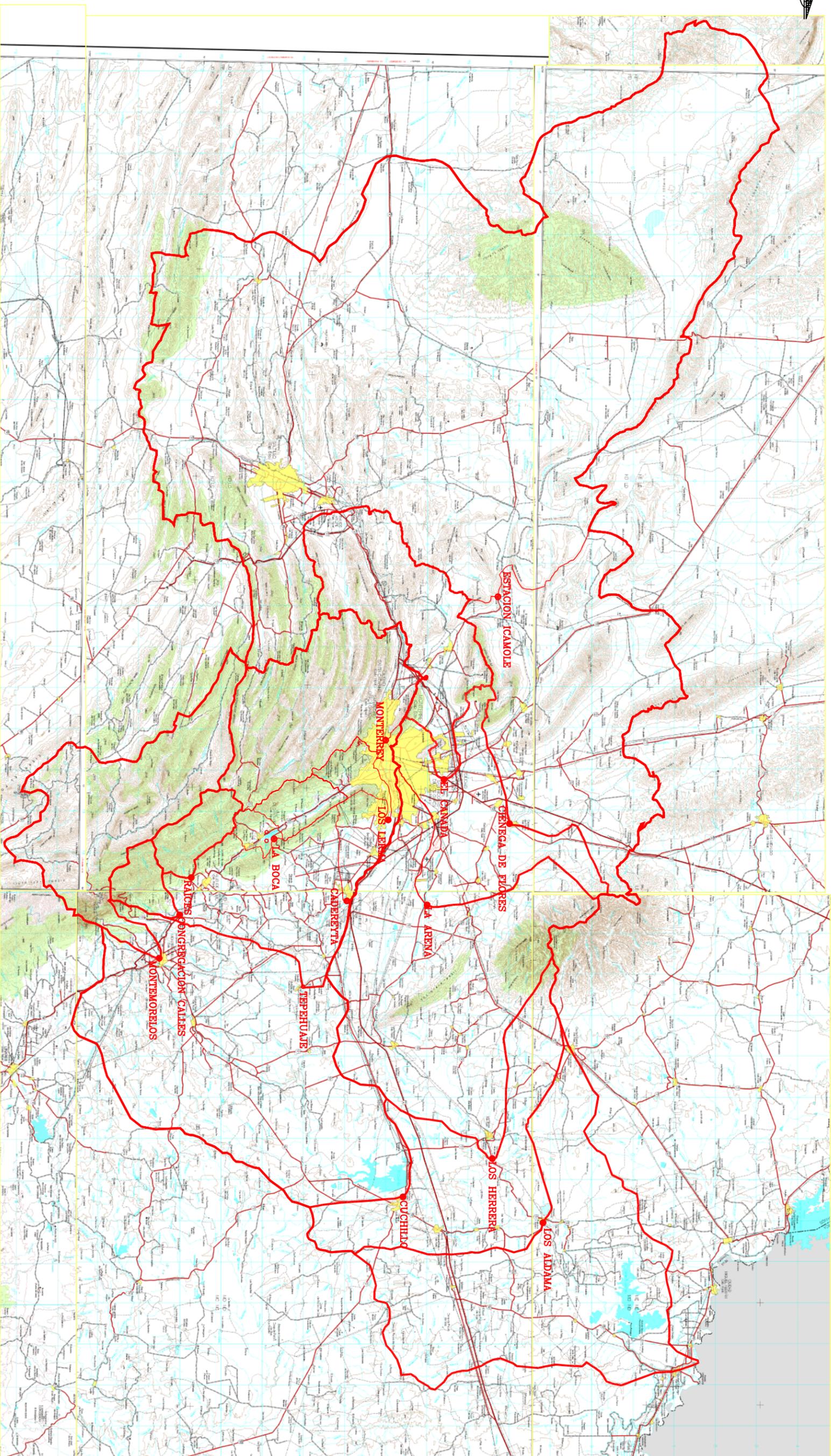
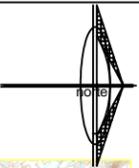
NOBRE DE TESIS:
REGIONALIZACION DE CUENCAS Y AFOROS

FOR:
RIPRO ALBERTO CAM ZOSGONZALEZ

MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

ACOTS: MMS.
PLANO No.: 2 / 4

REV: 0



SIMBOLOGIA:

- PARTE AGUAS DE LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS
- UBICACION DE ESTACIONES HIDROMETRICAS
- CIUDADES PRICIPALES
- CARRETERA PAVIMENTADA FEDERAL, ESTATAL
- VIA DE FERROCARRIL

- ✈️ AEROPUERTO
- CORRIENTE DE AGUA
- CUERPO DE AGUA
- CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS
- LIMITE INTERNACIONAL



ESCALA GRAFICA

Título:

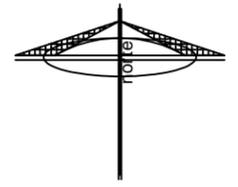
UBICACION DE LAS CUENCAS DE LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS

NOMBRE DE TESIS
REGIONALIZACION DE CUENCAS EN CUENCAS HIDROLOGICAS

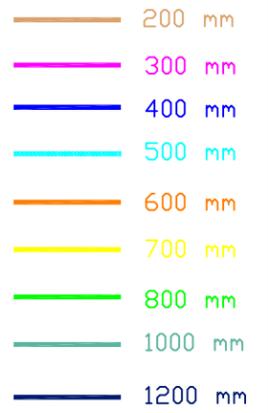
MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

ACOTS. MBS.
PLANO No. 3/14

REV:



ALTURA DE PRESIPITACION:



SIMBOLOGIA:

- PARTE AGUAS DE LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS
- UBICACION DE ESTACIONES HIDROMETRICAS

TABLA DE LAS ESTACIONES.

Cuenca	Nombre	Area (km2)	Lcp (km)	S (Adim)	N
1	Estación Icamole	12211.42	193.77	0.0106	79.68341
2	Estación Ciénega de Flores	14874.97	198.66	0.0102	78.67287
3	Estación El Canada	1234.13	120.29	0.0169	79.60266
4	Estación Los Lermas	157.21	32.54	0.094	73.56791
5	Estación Monterrey	1340.19	71.24	0.018	75.2679
6	Estación Cadereyta	1774.50	121.38	0.013	75.14926
7	Estación La Arena	17233.45	169.12	0.0099	78.11698
8	Estación La Boca	185.13	23.30	0.1065	70.7916
9	Estación La Boca II	269.40	28.26	0.098	71.38383
10	Estación Los Herrera	20088.41	192.64	0.0083	77.17367
11	Estación Los Aldama	30215.89	289.38	0.00726	75.46861
12	Estación Cuchillo	8535.00	165.87	0.0088	73.07728
13	NO TIENE DATOS CONFIABLES				
14	NO TIENE DATOS CONFIABLES				
15	Estación Tepehuaje	3569.78	192.64	0.0108	73.64046
16	NO TIENE DATOS CONFIABLES				
17	Estación Montemorelos	1519.67	112.10	0.0112	75.41386
18	NO TIENE DATOS CONFIABLES				



Título:
PLANO DE LA PRESIPITACION MEDIA ANUAL (INEGI)

NOMBRE DE TESIS:
 REGIONALIZACION DE SEQUIAS EN CUENCAS NO AFORADAS

POR:
 RICARDO ALBERTO CAVAZOS GONZALEZ

MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

ACOTS: mts.

PLANO No: 4 / 4

REV:

RESUMEN BIOGRAFICO

de

Ricardo Alberto Cavazos González

Candidato para el grado de

Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental

Tesis: REGIONALIZACIÓN DE SEQUÍAS EN CUENCAS NO AFORADAS.

Campo de estudio: Hidrológica.

Biografía:

Datos personales: nacido en Monterrey, Nuevo León, el 15 de febrero de 1975, hijo de Isidro Cavazos Garza y Ruth Angelina González González.

Educación:

Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, grado obtenido de Ingeniero Civil en 1999.

Experiencia Profesional:

Maestro de licenciatura de la Carrera de Ingeniero Civil en la facultad de ingeniería Civil, Coordinador Académico del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Coordinador de servicio al público, del departamento de Hidráulica del Instituto de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León.