



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO  
EN INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMATIZACION DEL MÉTODO DE LA AVENIDA  
ÍNDICE Y SU APLICACIÓN EN CUENCAS DE LA  
REGION LERMA-SANTIAGO**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

P R E S E N T A :

**FABIOLA DEL ROSARIO ARELLANO LARA**

ASESOR DE TESIS:

**DR. ALDO IVÁN RAMÍREZ OROZCO**



2006

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Francisco Javier Aparicio Mijares

Secretario: Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco

Vocal: Dr. M. Alfonso Gutiérrez López

1<sup>er</sup>. Suplente: M. C. Jaime Velazquéz Álvarez

2<sup>do</sup>. Suplente: M. I. Juan Fco. Gómez Martínez

Lugar donde se realizó la tesis:

FACULTAD DE INGENIERÍA CAMPUS MORELOS

**ASESOR DE TESIS:**

Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco

---

**FIRMA**

## ***DEDICATORIAS***

A Dios

A mis padres, José Pablo Arellano Rodríguez y Ma. Concepción Lara Servin, y a mis hermanos Dinorah, Azucena, Esmeralda, Héctor Hugo y Maria Concepción, por su apoyo, confianza y amor incondicional.

A todos mis amigos quienes forman parte de mi vida

y

A todas las personas que colaboraron en el exitoso término de esta tesis.

## ***AGRADECIMIENTOS***

A mis asesores de tesis:

Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco  
M.C. Jaime Velázquez Álvarez

A mis sinodales:

Dr. Javier Fco. Aparicio Mijares  
Dr. M. Alfonso Gutiérrez López  
M. I. Juan Fco. Gómez Martínez

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Agradecimientos especiales al M.C. Jaime Velázquez Álvarez por su valiosa codirección y al Dr. M. Alfonso Gutiérrez López por sus importantes aportaciones para la realización de esta tesis.

## CONTENIDO

Índice	i
Índice de tablas	iii
Índice de ilustraciones	v

## ÍNDICE

<b>Capítulo I. Introducción</b>	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos de la investigación	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Estructura de la tesis	3
<b>Capítulo II. Estimación de eventos</b>	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Estimación de eventos	4
2.1.2. Eventos de diseño	4
2.2. Métodos hidrometeorológicos	5
2.2.1. Métodos empíricos	5
2.2.2. Modelos lluvia-escorrentía	10
2.3. Métodos hidrométricos	13
2.3.1. Distribuciones univariadas	13
2.3.2. Distribuciones multivariadas	14
2.3.3. Métodos no paramétricos	15
2.3.4. Distribuciones para poblaciones mezcladas	15
2.3.5. Modelos empíricos estocásticos	16
2.3.6. Modelos empíricos no estocásticos	16
2.3.7. Modelos conceptuales	17
2.4. Análisis regional de frecuencias	18
2.4.1. Antecedentes	18
2.4.2. Procedimientos regionales más empleados	21
<b>Capítulo III. Método de la Avenida Índice</b>	25
3.1. Antecedentes	25
3.2. Descripción del Método de la Avenida Índice	27
3.3. Modificaciones al método de la Avenida Índice	31
<b>Capítulo IV. Diseño y desarrollo de la implementación del Método de la Avenida Índice en un Sistema de Información Geográfica (SIG)</b>	36
4.1. Antecedentes	36
4.2. Preparación de datos	39
4.2.1. Base de datos hidrométricos	39
4.2.2. Información espacial (cuencas y subcuencas)	42
4.3. Arquitectura del programa del Método de la Avenida Índice	42
4.3.1. Descripción del programa	42

4.3.2. Componentes de la aplicación	43
4.3.3. Código fuente	44
4.3.3.1. Aspectos generales	44
4.3.3.2. Descripción de los objetos principales que componen la aplicación	45
<b>Capítulo V. Descripción de la zona de estudio para el ejemplo de aplicación</b>	<b>52</b>
5.1. Marco físico de la Región Lerma-Santiago	52
5.1.1.- Localización	52
5.1.2. Topografía	54
5.1.3. Fisiografía	55
5.1.4. Geología	57
5.1.5. Edafología	57
5.1.6. Vegetación y Usos de suelo	59
5.1.7. Clima	61
5.1.8. Temperatura media anual	62
5.1.9. Precipitación media anual	63
5.1.10. Hidrología superficial	64
5.1.10.1. Sistema hidrológico	64
5.2. Redes de medición	65
5.2.1. Red climatológica	65
5.2.2. Red hidrométrica	67
<b>Capítulo VI. Aplicación y análisis del método sistematizado de la Avenida Índice en un SIG</b>	<b>77</b>
6.1. Antecedentes	77
6.2. Estudio regional en dos cuencas de la Región XII	77
6.2.1. Regionalización en la cuenca Río Verde Grande	77
6.2.2. Regionalización en la cuenca Río Bolaños	83
6.3. Revisión del método de la Avenida Índice en la Región XII con la herramienta desarrollada.	87
6.3.1. Modificación propuesta	88
6.3.2. Evaluación de resultados y aplicación	89
<b>Capítulo VII. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>97</b>
7.1. Comentarios finales	97
7.2. Conclusiones	98
7.3. Recomendaciones	99
<b>Capítulo VIII. Bibliografía y referencias</b>	<b>101</b>
<b>Anexos</b>	<b>114</b>
Anexo 1. Catálogo de subcuencas, R. H.12	114
Anexo 2. Catálogo de estaciones climatológicas, R. H. 12	116
Anexo 3. Resultados complementarios a la modificación propuesta.	129
Anexo 4. Resultados complementarios de validación a la modificación propuesta.	140

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Límites de confianza para la prueba de homogeneidad hidrológica regional (Dalrymple, 1960).	29
Tabla 3.2. Límites de confianza de la prueba de homogeneidad del método de la Avenida Índice para dos poblaciones (Gutiérrez y Ramírez, 2005).	29
Tabla 4.1. Atributos de la tabla ESTAC_R12	41
Tabla 4.2. Variables globales del módulo <i>Module_Gral</i>	51
Tabla 4.3. Variables globales del módulo <i>ModuleI</i>	51
Tabla 5.1. Cuencas de la Región Lerma-Santiago	65
Tabla 5.2. Estaciones hidrométricas en la Región Lerma-Santiago	69
Tabla 6.1. Resultados del filtro de estaciones en la cuenca Río Verde	80
Tabla 6.2. Resultados de la prueba de homogeneidad en la cuenca Río Verde Grande	81
Tabla 6.3. Tabla del cálculo regional en la cuenca Río Verde	82
Tabla 6.4. Gastos de diseño en una zona de 1000 km <sup>2</sup> no aforada en la cuenca Río	83
Tabla 6.5. Resultados del filtro de estaciones en la cuenca Río Bolaños	84
Tabla 6.6. Resultados de la prueba de homogeneidad en la cuenca Río Bolaños	85
Tabla 6.7. Tabla del cálculo regional en la cuenca Río Bolaños	86
Tabla 6.8. Gastos de diseño en una zona de 500 km <sup>2</sup> no aforada en la cuenca Río	87
Tabla 6.9. Estaciones homogéneas producto de la discriminación con $R_i > \bar{R}_m + \alpha\sigma$ , en la Región XII con el programa Regionalización	89
Tabla 6.10. Estaciones homogéneas de las simulaciones finales, Región XII	90
Tabla 6.11. Evaluación de intervalos de las series de $R_i$ de estaciones homogéneas, Región XII	91
Tabla 6.12. Estaciones homogéneas del estudio de la Región XII, validación cruzada sobre la estación 12514,	93
Tabla 6.13. Gastos regionales y del análisis de frecuencias, validación cruzada sobre la estación 12514	94
Tabla 6.14. Diferencias entre los gastos regionales y los gastos ajustados, validación cruzada sobre la estación 12514	94
Tabla 6.15. Comparación entre las diferencias obtenidas de las regionalizaciones iniciales y finales, validación cruzada sobre la estación 12514	94
Tabla 6.16. Desviaciones menores obtenidas en la validación cruzada para la estación 12514	94
Tabla 6.17. Estaciones homogéneas del estudio se la Región XII, validación cruzada sobre la estación 12627	95
Tabla 6.18. Gastos regionales y del análisis de frecuencias, validación cruzada sobre la estación 12627	95
Tabla 6.19. Diferencias entre los gastos regionales y los gastos ajustados, validación cruzada con 12627	95
Tabla 6.20. Comparación entre las diferencias obtenidas de las regionalizaciones iniciales y finales, validación cruzada sobre la estación 12627	95
Tabla 6.21. Desviaciones menores obtenidas en la validación cruzada para la estación 12627	96
Anexos	
Tabla 1a. Subcuencas pertenecientes a la R. H. 12	114
Tabla 2a. Estaciones climatológicas en la R. H. 12	116

Tabla 3a. Discriminación de estaciones, región homogénea para el rango del 90%	129
Tabla 3b. Parámetros estadísticos de las estaciones discriminadas en el análisis regional de la Región XII en el rango del 90% de homogeneidad.	132
Tabla 3c. Discriminación de estaciones, región homogénea para el rango del 95%	133
Tabla 3d. Parámetros estadísticos de las estaciones discriminadas en el análisis regional de la Región XII, al 95% de homogeneidad	136
Tabla 3e. Discriminación de estaciones, región homogénea para el rango del 99%	137
Tabla 3f. Parámetros estadísticos de las estaciones discriminadas en el análisis regional de la Región XII, al 99% de homogeneidad.	139
Tabla 4a. Gastos máximos registrados por la estación 12514	140
Tabla 4b. Ajuste de los gastos registrados con la distribución Gumbel a la estación 12514	141
Tabla 4c. Pronóstico de gastos en la estación 12514	142
Tabla 4d. Gastos máximos registrados por la estación 12617	142
Tabla 4e. Ajuste de los gastos registrados con la distribución Gumbel a la estación 12617	143
Tabla 4f. Pronóstico de gastos en la estación 12617	144
Tabla 4g. Pronóstico de gastos en la estación 12514, regionalización base	145
Tabla 4h. Pronóstico de gastos en la estación 12514, regionalización final	147
Tabla 4i. Pronóstico de gastos en la estación 12627, regionalización base	148
Tabla 4j. Pronóstico de gastos en la estación 12627, regionalización final	149



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3.1. Gráfica de los límites de confianza de la prueba de homogeneidad.	30
Ilustración 4.1. Modelo entidad-relación de la base de datos hidrométricos	40
Ilustración 4.2. Configuración de capas de subcuencas y estaciones hidrométricas de la Región XII en el SIG.	43
Ilustración 4.3. Objetos preexistentes y creados para el cálculo de la Avenida Índice	45
Ilustración 4.4. Ventana de dialogo principal para aplicación del programa “Regionalización”	46
Ilustración 4.5. Ventana de dialogo <i>FmrEstHidro</i>	47
Ilustración 4.6. Ventana de dialogo <i>Selecciona</i>	48
Ilustración 4.7. Ventana de dialogo <i>ReporteCurva</i>	50
Ilustración 4.8. Ventana de dialogo <i>FrmPronostico</i>	50
Ilustración 5.1. Localización de la Región Hidrológica Lerma-Chapala-Santiago	53
Ilustración 5.2. División de la R. H. XII en subregiones hidrológico administrativas para el manejo del agua..	54
Ilustración 5.3. Rasgos topográficos de la R. H. XII en m.s.n.m	55
Ilustración 5.4. Provincias fisiográficas de la R. H. XII.	56
Ilustración 5.5. Mapa geológico de la R. H. XII	58
Ilustración 5.6. Mapa edafológico de la R. H. XII	59
Ilustración 5.7. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación de la R. H. XII	60
Ilustración 5.8. Mapa de climas de la R. H. XII	61
Ilustración 5.9. Mapa de temperatura media anual, isotermas, de la R. H. XII	62
Ilustración 5.10. Mapa de precipitación media anual, isoyetas, de la R. H. XII	63
Ilustración 5.11. Mapa del sistema hidrológico de la R. H. XII	64
Ilustración 5.12. Distribución de estaciones climatológicas de la R. H. XII	67
Ilustración 5.13. Distribución de estaciones hidrométricas de la R. H. XII	69
Ilustración 6.1. Mapa de la cuenca Río Verde Grande	78
Ilustración 6.2. Ventanas de dialogo y resultados desplegados durante el análisis de regionalización en la cuenca Río Verde Grande	79
Ilustración 6.3. Estaciones homogéneas resultantes del análisis de regionalización en la cuenca Río Verde Grande	81
Ilustración 6.4. Mapa de la cuenca Río Bolaños y ubicación de estaciones hidrométricas	83
Ilustración 6.5. Estaciones homogéneas resultantes del análisis de regionalización de la cuenca Río Bolaños.	85
Ilustración 6.6. Localización de las estaciones 12514 y 12617 dentro de la Región XII	93
Ilustración 3a. Cambio en la serie de <i>Ri</i> al realizar el filtro de estaciones al 90%	131
Ilustración 3b. Cambio en la serie de <i>Ri</i> al realizar el filtro de estaciones, al 95% de homogeneidad.	135
Ilustración 3c. Cambio en la serie de <i>Ri</i> al realizar el filtro de estaciones, al 99% de homogeneidad	138
Ilustración 4a. Curva Áreas- $Q_{2.33}$ para la regionalización inicial, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12514 (Ejemplo)	144
Ilustración 4b. Curva regional para la simulación regional inicial, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12514 (Ejemplo)	145
Ilustración 4c. Curva Áreas- $Q_{2.33}$ para la regionalización final, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12514 (Ejemplo)	146

Ilustración 4d. Curva regional para la simulación regional final, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12514 (Ejemplo)	146
Ilustración 4e. Curva Áreas-Q.2.33 para la regionalización inicial, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12617 (Ejemplo)	147
Ilustración 4f. Curva regional para la simulación regional inicial, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12627 (Ejemplo)	147
Ilustración 4g. Curva Áreas-Q.2.33 para la regionalización final, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12627 (Ejemplo)	148
Ilustración 4h. Curva regional para la simulación regional final, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12627 (Ejemplo)	149

## **Capítulo I. Introducción**

### **1.1.-Antecedentes**

Los fenómenos hidrometeorológicos de tipo extremo (tales como los huracanes) ó tipo estacional han ocasionado enormes pérdidas humanas y económicas alrededor del mundo. De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED,2001a), en el periodo entre 1950 y 1999 las pérdidas económicas debidas a estos fenómenos ascendieron a 268 billones. de dólares, cifra que corresponde al 30% del costo total de daños por desastres. En México la ocurrencia estos eventos resulta de gran relevancia debido a que el país esta ubicado en la región intertropical, lo que lo hace bastante vulnerable a huracanes generados tanto en el océano Atlántico como en el Pacífico.

Por ende, queda clara la necesidad de determinar la magnitud y frecuencia de tales eventos, encaminada hacia la mitigación y prevención de los desastres que originan. La estimación de los eventos hidrometeorológicos también es la base del diseño de obras hidráulicas de toda clase, desde obras urbanas como alcantarillas, puentes, encauzamientos, presas de control, etc. hasta cortinas de embalses. En este sentido la estimación de eventos es elemental en la hidrología y aún representa un reto que no ha sido completamente resuelto.

En la hidrología se emplea el análisis de frecuencias comúnmente para la determinación de las probabilidades asociadas con los eventos de diseño, el cual se apoya en la información disponible. La aplicación de esta técnica produce buenos estimados en muchos de los casos, sin embargo es común que los datos hidrométricos puntuales en regiones ó sitios específicos no existan o sean escasos en la mejor de las situaciones. Es en estos casos cuando el análisis regional de frecuencias puede ser utilizado.

El análisis regional no sólo se emplea en sitios no aforados también es de gran utilidad en sitios medidos debido a la incertidumbre presente en los parámetros provenientes de registros muy cortos que no son representativos para eventos de diseño más grandes. Así los estudios regionales en sitios aforados incrementan la exactitud de los resultados.

Los procedimientos de análisis regional más utilizados son: el método de estaciones-año, el método de la Avenida Índice y las técnicas de regresión múltiple, entre otros. El método de la Avenida Índice ha sido muy aplicado en nuestro país, así como en Estados Unidos de América y Canadá principalmente (Kite,1988), por lo cual fue seleccionado como eje de la presente investigación.

Tanto los métodos de análisis de frecuencias como los de análisis regional han sido mejorados a través de los años con el avance del conocimiento y de los sistemas computacionales. Además se han desarrollado nuevos métodos para los estudios hidrológicos complejos. Paso a paso, gran cantidad de modelos hidrológicos se han programado para conformar *software* totalmente confiable, que permitan dar las respuestas de diseño con la rapidez requerida actualmente. Por otro lado, también se ha puesto atención en el manejo de la información espacial asociada a con los recursos hídricos y naturales, la simple visualización de mapas con información ha evolucionado hasta nuestros días, y ha dado origen a los sistemas de información georeferenciada mejor conocidos como sistemas de información geográfica (SIG).

En los últimos años, el estudio de varios problemas en la hidrología ha involucrado el uso de la tecnología SIG ya que facilita el manejo de la información espacial. Esto ha permitido también abordar problemas cada vez más complejos.

Por las razones anteriormente expuestas, en esta tesis se desarrolló la implementación unión del modelo hidrológico regional de la Avenida Índice dentro de un SIG, en este caso la plataforma es ArcGis 8 versión ArcView. Los fundamentos, proceso, aplicación y resultados son presentados a lo largo de la tesis.

## **1.2.-Objetivos de la investigación**

### **1.2.1.- Objetivo general**

Implementar el análisis regional de frecuencias de avenidas mediante el Método de la Avenida Índice de Dalrymple sobre un sistema de información geográfico (SIG).

### **1.2.2.- Objetivos específicos**

Para alcanzar el objetivo general señalado anteriormente se requirió de las siguientes etapas u objetivos específicos.

1. Desarrollar el programa de cómputo del modelo de la Avenida Índice en el lenguaje Visual Basic para Aplicaciones, el cual es la herramienta que ofrece el software ArcGis para desarrollo de aplicaciones en esta plataforma.

2. Construir la plataforma de información necesaria para el SIG en la región de estudio, así como también la adecuada para el método regional de la Avenida Índice.
3. Aplicar la herramienta para regionalización implementada en SIG a casos particulares, específicamente en la Región Hidrológica Lerma-Santiago (Región XII).
4. Buscar la optimización de los estimados regionales que produce el método de la Avenida Índice dada la facilidad de solución por la sistematización creada en un SIG. Este aspecto se abordó debido a las diferencias observadas en la estimación de eventos de diseño entre éste y otros métodos de análisis de frecuencias.

### **1.3.- Estructura de la tesis**

Este trabajo de tesis está conformado por siete capítulos. El Capítulo I contiene una introducción general breve sobre el análisis de eventos extremos por medio de los métodos regionales y la aplicación de los sistemas de información geográfica en la modelación hidrológica además del los objetivos de la investigación y la organización de la misma. En el Capítulo II, se presentan las metodologías más empleadas en el estudio de eventos extremos, y en especial se incluye una revisión de la literatura de los modelos regionales de frecuencia de avenidas.

La descripción del método regional de la Avenida Índice y la respectiva revisión de la literatura se encuentran en el Capítulo III. Dentro del Capítulo IV se explican los aspectos más relevantes en cuanto a la implementación del método en un sistema de información geográfica, como son la base de datos y la arquitectura del programa. El Capítulo V muestra el marco físico de la región de aplicación así como las generalidades de sus redes de medición.

Luego en el Capítulo VI son descritas, tanto la aplicación del método de la Avenida Índice sistematizado en un SIG para dos cuencas pertenecientes a la región de estudio, como la revisión de dicho modelo para su mejoramiento y los resultados, aplicando estos también a la misma región.

En el Capítulo VII se presentan los comentarios finales y conclusiones de esta investigación; finalmente, la bibliografía y referencias se presentan dentro del Capítulo VIII.

## **Capítulo II. Estimación de eventos**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Estimación de eventos**

Cuando se presenta un evento extremo ó creciente se originan sobreelevaciones de los niveles normales de aguas superficiales en ríos, lagos, etc, las cuales son producidas por escurrimientos de tal magnitud que sobrepasan las capacidades naturales de los cauces.

Las avenidas máximas pueden ocasionar grandes daños y pérdidas de vidas cuyos costos son invaluable, por lo resulta indispensable la determinación óptima de dichas crecientes mejor conocidas como *avenidas de diseño*, en las cuales se basan el dimensionamiento hidrológico y los diseños hidráulicos de las obras hidráulicas. De acuerdo con el tipo de proyecto puede requerirse más de una avenida de diseño, quizás sea un mismo evento de diseño pero en un “tren de avenidas”, es decir puede considerarse sólo el valor del gasto máximo ó la combinación de varias tormentas, como sucede en proyectos de seguridad de presas.

#### **2.1.2. Eventos de diseño**

Uno de los problemas más comunes en hidrología es la estimación de la avenida de diseño (Kite,1988), debido a que se deben tomar en cuenta importantes factores como son: los datos disponibles, la vida del proyecto, el riesgo involucrado y la dimensión de la zona de estudio (tamaño de la cuenca).

La avenida de diseño comúnmente se selecciona después de haberse realizado el análisis costo-beneficio (grado de protección contra inundaciones y el costo de las estructuras) y el juicio de ingeniería. La mayoría de las veces se desea que la relación beneficio-costeo sea la máxima.

Dentro de la estimación de la avenida de diseño han sido considerados tres clases de eventos como son, la Avenida de Proyecto Estándar (APS), la Avenida Máxima Probable (AMP) y la Precipitación Máxima Probable (PMP) los cuales se derivan de considerar ó no la combinación de eventos raros y extremos y de incluir el ajuste de la humedad respectivamente (Raghunath,1985). La avenida de diseño adoptada puede ser cualquiera de las anteriores ó aquella avenida asociada con algún periodo de retorno deseado para el grado de protección contra inundaciones y el costo de la obra.

Además, como regla general en la selección de las avenidas de diseño se tiene que, a las mayores consecuencias adversas de la avenida de diseño de excedencia deberían corresponder las avenidas de diseño más grandes (ASCE, 1996).

Las metodologías existentes para la estimación de avenidas de diseño son muy variadas tanto en enfoque conceptual como en complejidad, a pesar de esto los métodos para la estimación de avenidas se pueden ser divididos en métodos con enfoque hidrometeorológico y métodos con enfoque hidrométrico (Ramírez y Aldama, 2000). En este capítulo se presentan, en forma breve, los procedimientos agrupados con los dos enfoques mencionados junto con otras subdivisiones importantes. La referencia a los procedimientos correspondientes al análisis regional se describen en un apartado especial de los métodos hidrométricos ya que el método principal descrito en este documento forma parte del análisis regional.

## **2.2. Métodos hidrometeorológicos**

Los métodos clasificados bajo este enfoque se basan en los datos de precipitación y en la modelación del proceso lluvia-escorrentía (Ramírez y Aldama, 2000). Para estos métodos se identificaron características similares, lo que permitió su agrupación en dos conjuntos principales: los métodos empíricos y los modelos lluvia-escorrentía. En seguida se describen en forma general los métodos más representativos de cada uno de los grupos mencionados.

### **2.2.1. Métodos empíricos**

En ausencia de información hidrológica sobre una región ó para estudios de gran visión, una estimación gruesa de avenidas puede obtenerse con la aplicación de los métodos empíricos los cuales son considerados como el último recurso hidrológico de análisis.

En principio, los numerosos métodos empíricos para estimación de avenidas también son regionales ya que estas relaciones solo pueden ser aplicadas a la región donde los datos fueron obtenidos con la suficiente confianza (Raudkivi, 1979).

La aplicación de formulas empíricas constituía el recurso más empleado para la determinación de eventos extremos antes de que se contara con extensa información hidrológica, se trata de expresiones sencillas que consideran uno o dos parámetros deducidos de una región específica. La primera fórmula empírica en aparecer relacionaba el factor más decisivo en la determinación del gasto máximo, el área. Esta fórmula tiene la forma  $Q \propto A^n$ , donde  $A^n$  representa el área de la cuenca y  $Q$  es el volumen generado (Raudkivi, 1979). Estas formulaciones también son conocidas como envolventes. Enseguida se presentan algunas de las expresiones más empleadas.

*Fórmula de Dickens* (Raghunath,1985).

Se desarrolló para cuencas de tamaño moderado del norte y centro de la India:

$$Q = CA^{3/4} \quad 2.1$$

donde  $C$  es el coeficiente empírico que se encuentra en un rango de 11 a 35 o mayor dependiendo de las regiones,  $A$  esta dada de  $\text{km}^2$  y  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

*Fórmula de Ryves* (Raghunath,1985).

Se obtuvo de estudios realizados al sur de la India:

$$Q = CA^{2/3} \quad 2.2$$

donde  $C$  varía de 6.8 a 40 y son valores que obedecen a ciertas condiciones topográficas,  $A$  esta dada en  $\text{km}^2$  y  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

*Fórmula de Inglis* (Raghunath,1985).

Esta expresión se emplea en cuencas del estado de Bombay (Maharashtra):

$$Q = \frac{124A}{\sqrt{A+10.4}} \quad 2.3$$

Las unidades de  $A$  se encuentran en  $\text{km}^2$  y el gasto  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

*Fórmula de Myers*

De acuerdo con Raghunath (1985), la expresión es la siguiente:

$$Q = 175\sqrt{A} \quad 2.4$$

El área debe utilizarse en  $\text{km}^2$  y  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

*Fórmula de Ali Nawab Jang Bahadur para el estado de Hyderabad* (Raghunath,1985).

$$Q = CA^{(0.993-1/14 \log A)} \quad 2.5$$

El coeficiente de  $C$  varia de 48 a 85, gasto  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$  y  $A$  en  $\text{km}^2$ .



*Fórmula de Fuller* (Raghunath,1985).

Creada en 1914 según Raghunath (1985), fue la primera expresión que relacionó la frecuencia en la estimación de avenidas, desarrollada en E.U.

$$Q = CA^{0.8}(1 + 0.8\log T)(1 + 2.67A^{-0.3}) \quad 2.6$$

donde  $C$  varía de 0.026 a 2.77,  $T$  es el periodo de retorno en años y el área en  $\text{km}^2$ , y el gasto  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$  (Raghunath,1985).

*Fórmula de Burkli Ziegler para E.U.* (Raghunath, 1985)

La ecuación correspondiente es:

$$Q = 412A^{3/4} \quad 2.7$$

El área debe estar en  $\text{km}^2$  y el gasto  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

*Formula de J.M. Baird y J.F. Meillnraith* (Raghunath,1985)

Esta expresión es del tipo envolvente mundial cuya expresión se muestra a continuación:

$$Q = \frac{3010A}{(277 + A)^{0.78}} \quad 2.11$$

El valor del área debe utilizarse en  $\text{km}^2$  y  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

*Fórmula de Madras* (Ghosh,1997)

En esta ecuación el coeficiente empirico  $n$  es modificado por una función logaritmica, la expresión resultante es:

$$Q = 2000 \left( \frac{A}{2.589} \right)^{\left( 0.92 - \frac{1}{15} \left( \frac{A}{2.589} \right) \right)} 0.0283 \quad 2.12$$

donde  $A$  es el área de la cuenca en  $\text{km}^2$  y  $Q$  es el gasto máximo en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

*Fórmula de Hyderabad* (Ghosh,1997):

La formula es la modificación a la ecuación de Madras, su expresión es la siguiente:

$$Q = 49.554(0.3861A)^{\left( 0.92 - \frac{1}{14} \log A \right)} \quad 2.13$$

donde  $A$  es el área de la cuenca en  $\text{km}^2$  y  $Q$  es el gasto máximo en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

*Fórmula de Creager* (Raudkivi, 1979, Aparicio, 1987)

Esta expresión representa una envolvente de gastos máximos cuya ecuación representativa es:

$$q = 1.303C_c(0.386A)^\alpha A_c^{-1} \quad 2.14$$

donde:  $q = Q/A$  (gasto por unidad de área)

$$\alpha = \frac{0.936}{A^{0.048}} \quad 2.15$$

$C_c$  es un coeficiente empírico y  $A$  esta en  $\text{km}^2$ .  $C_c = 200$  es el valor de la envolvente para todas las observaciones aunque  $C_c=100$  se considera el valor de la envolvente para E.U. y para el mundo.

*Fórmula de Lowry* (Raudkivi, 1979, Aparicio, 1987):

La fórmula de esta envolvente se muestra a continuación:

$$q = \frac{C_1}{(A + 259)^{0.85}} \quad 2.16$$

donde  $C_1$  es el coeficiente empírico.

*Fórmula de Matthai* (Matthai, 1969)

La estimación de las avenidas de junio de 1965 en la cuenca del río Platte, Colorado E.U., se realizó con la siguiente envolvente:

$$q = \alpha A^\beta \quad 2.17$$

donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la envolvente.

*Fórmula de Crippen*

Crippen (1982) propone la siguiente ecuación envolvente para la estimación de avenidas:

$$q = K_1 A^{(K_2-1)} (A^{0.5} + 5)^{K_3} \quad 2.18$$

donde  $K_1, K_2, K_3$  son los parámetros empíricos de la ecuación.

*Fórmula de Francou y Rodier*

Francou y Rodier (1967) plantearon la siguiente envolvente para gastos máximos:

$$\frac{Q}{Q_0} = \left( \frac{A}{A_0} \right)^{1-\frac{K}{10}} \quad 2.19$$

donde  $Q$  representa la descarga máxima ( $m^3/s$ ),  $A$  el área de la cuenca ( $km^2$ ),  $K$  es el coeficiente de Francou-Rodier, y los valores de  $Q_0$  y  $A_0$  son  $10^6 m^3/s$  y  $10^8 km^2$  respectivamente.

### Métodos para cuencas agrícolas.

#### *Método de Cook*

Esta formulación relaciona en forma implícita el gasto máximo con el área, relieve, infiltración cobertura vegetal y superficie de almacenamiento, parámetros representados por una sola variable  $\Sigma W$  exceptuando el área. La ecuación del método es:

$$Q = RFQ_{p50} \quad 2.20$$

donde:  $R$  es el factor geográfico de lluvia,  $F$  es el factor de frecuencia y  $Q_{p50}$  corresponde al escurrimiento máximo para 50 años de periodo de retorno.

El gasto máximo para 50 años de periodo de retorno se obtiene gráficamente al ingresar el área y el parámetro  $\Sigma W$  en la curva de los valores  $W$  para el método de Cook; el resultado después es afectado por un factor geográfico de lluvia  $R$  y un factor de frecuencia  $F$ . Los valores de  $F$  y  $W$  fueron calculados por Chow (1964) y se encuentran las tablas en Raudkivi (1979).

#### *Método del Gabinete de Caminos Públicos de los Estados Unidos (The U.S Bureau of Public Roads method)*

Fue creado en 1961 y es similar el método de Cook. Los factores que esta formula incluye son la topografía y la precipitación con el gasto máximo a través de un nomograma.

### Métodos para cuencas urbanas

#### *Fórmula de Carter*

La fórmula se emplea para la determinación del gasto máximo medio anual (periodo de retorno  $T=2.33$ ) y su expresión es (Raudkivi, 1979):

$$Q = 2.8122KA^{0.85}t_i^{-0.45} \quad 2.21$$

$$K = \frac{0.30 + 0.0045I}{0.30} \quad 2.22$$

donde  $Q$  esta en  $m^3/s$ ,  $A$  en  $km^2$ ,  $t_i$  en horas e  $I$  representa la cobertura superficial impermeable.

### Fórmulas adicionales

Espey y Winslow, (1974) presentó ecuaciones empíricas de gasto y tiempo pico del hidrograma en términos del área, longitud, pendiente, cobertura impermeable, tiempo pico y de la rugosidad del canal.

Otras investigaciones se refieren al empleo de modelos hidrológicos conceptuales para cuencas de uso urbano ya sean lineales para cuencas pequeñas como el de Rao *et al.*, (1972), modelos en cascada para cuencas grandes como el de Nash (Raudkivi,1979) ó el modelo de cascadas en paralelo de Wittenberg (1975).

### 2.2.2. Modelos lluvia-escurrimiento

Las relaciones lluvia-escurrimiento están fundamentadas en la interacción de los registros de precipitaciones con los datos de escurrimientos, por otro lado si se cuenta con registros largos de información de lluvia los resultados obtenidos con estos modelos presentan mayor veracidad. Se han desarrollado varios de estos modelos con apoyo de hidrogramas unitarios que tienen la finalidad de proporcionar el medio para lograr la extrapolación de gastos de acuerdo con diseño adecuado. De acuerdo con Linsley *et al.*, (1994) con un hidrograma unitario sintético es incluso factible calcular series de avenidas para un punto no aforado. Se presentan enseguida descripciones breves de los métodos de hidrogramas y lluvia-escurrimiento más empleados.

#### *Método de McMath*

La fórmula de McMath, la cual se considera bastante adecuada para cuencas rurales pequeñas y para periodos de retorno de 5 a 25 años tiene la ecuación siguiente (Campos, 1984):

$$Q = 0.09152C i S^{0.2} A^{0.8} \quad 2.23$$

donde  $Q$  ( $m^3/s$ ) representa la avenida de diseño,  $C$  es el coeficiente adimensional que representa las características de la cuenca que cual se determina de la tabla correspondiente al método (Campos, 1984) sumando los tres valores numéricos respectivos a las características de la cuenca (tipo de vegetación, de suelo y topografía del terreno).  $S$  es la pendiente del cauce principal en metros por cada mil metros ( $S = 1,000H / L$ ), finalmente,  $i$  es la intensidad en mm/h.

#### *Método de Chow*

Esta ecuación aplicable en cuencas agrícolas fue desarrollada en el año de 1962, y su expresión es de la forma siguiente:

$$Q=XYZA \quad 2.24$$

Se trata de una ecuación empírica también cuyos factores corresponden a dos grupos, uno de ellos corresponde a los que influyen directamente al escurrimiento como la altura y duración de la lluvia, uso potencial del suelo y tipo de suelo; en el otro grupo se encuentran los factores que afectan de manera indirecta como el tamaño y forma de la cuenca, la pendiente, el tiempo de retraso y la distribución del escurrimiento en términos del hidrograma unitario triangular. La versión simplificada del método puede ser consultada en Aparicio(1987).

*Método del servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos (The U.S. Soil Conservation Service method)*

El método se basa en los registros de lluvias y escurrimientos de muchos años recopilados en cuencas de los estados Unidos, con los cuales se generó un hidrograma unitario adimensional que puede ser aplicado en cuencas no aforadas relacionando el tiempo pico ( $T_p$ ) del hidrograma con las características de drenaje de la cuenca. La formulación es muy similar a la del método Chow, también es aplicable a cuencas agrícolas y la ecuación es la siguiente (Raudkivi, 1979):

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad 2.25$$

donde el término  $P$  representa la altura de lluvia (pulg.) y  $S$  es el potencial de retención máximo (pulg.). El potencial de retención máximo  $S$  se estima con la ayuda de los “números de la curva”  $C$ , los cuales son valores entre 0 y 100. La expresión es la siguiente:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad 2.26$$

Los “números de curva”,  $CN$ , pueden determinarse a partir de las condiciones de humedad antecedentes, tipo de suelo, uso de suelo y practicas de conservación de suelos. En Raudkivi (1979) se incluyen estas tablas de los valores de  $CN$ .

*Fórmula Racional*

También es conocida como la Formula de Lloyd-Davis y es la más empleada en cálculos en cuencas urbanas. La expresión se puede escribir como sigue:

$$Q = CiA \quad 2.27$$

donde  $i$  representa la intensidad de la lluvia,  $A$  es el área de la cuenca y  $C$  es el coeficiente de escurrimiento. De acuerdo con Raudkivi, (1979) la formula asume que el hidrograma del escurrimiento es un bloque rectangular linealmente proporcional a la intensidad de lluvia. El coeficiente de escurrimiento varía en un rango de valores de 0 a 1 dependientes del tiempo y del espacio, sin embargo es común tomar valores de  $C$  representativos de acuerdo con ciertas características de las cuencas (Aparicio, 1987).

*Método del hidrograma unitario*

El hidrograma unitario se define como el hidrograma de escurrimiento directo que se produce por una lluvia efectiva o en exceso de una lamina unitaria de duración específica  $d_e$  distribuida uniformemente en la cuenca (Aparicio,1987, Maidment, 1993). Cuando se cuenta con registros simultáneos de gastos y de precipitaciones es posible obtener el hidrograma de escurrimiento superficial, aplicando el hidrograma unitario al hietograma de la lluvia en exceso, después se agrega el escurrimiento base para producir el hidrograma de la avenida (Maidment, 1993).

El método fue propuesto por Sherman en 1932 con las siguientes bases teóricas: linealidad o proporcionalidad, tiempo base constante y superposición de causas y efectos. La aplicación del método tiene un rango de aplicación muy grande dentro del diseño y la estimación de avenidas.

#### *Hidrograma unitario instantáneo*

Para la evaluación de la distribución temporal de la lluvia se desarrolló el método matricial del hidrograma unitario instantáneo, el cual resulta muy útil cuando se tienen tormentas con varios periodos de lluvia.

#### *Hidrogramas unitarios sintéticos*

La aplicación de los hidrogramas unitarios se extendió a zonas no aforadas, por medio de los hidrogramas unitarios sintéticos. Estos hidrogramas son generados a través de relaciones empíricas entre un hidrograma modelo y características físicas de drenaje de la cuenca; al igual que las formulaciones empíricas, estos hidrogramas se emplean únicamente a las regiones donde fueron obtenidos.

Según Maidment (1993), los métodos de hidrogramas unitarios más empleados son el modelo de Snyder, el método de Clark, y el método de Nash, y el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

#### *Método del Hidrograma de Chicago*

Este procedimiento fue diseñado en 1960 por Tholin y Keifer (Raudkivi,1979) para la ciudad de Chicago Illinois, E.U. Debido a la gran dimensión de la ciudad, el diseño del drenaje pluvial requirió de la creación de un método que combinara la hidráulica fluvial y la hidrología, de tal manera que los hidrogramas que se obtuvieran consideraran los siguientes parámetros: la forma del histograma, infiltración, superficie de almacenamiento, uso del suelo y planicies de inundación. El método es completamente de aplicación computarizada.

#### *Método del hidrograma urbano de Santa Barbara (SBUH)*

El SBUH fue desarrollado por James M. Stubchaer del Distrito de Conservación de Agua y Control de Inundaciones del condado de Santa Barbara (Wanielista *et al.*, 1997). Se trata de un método sencillo programado en BASIC el cual no requiere del hidrograma unitario para generar al hidrograma de diseño.

El hidrograma final del SBUH se obtiene de las corridas de hidrogramas instantáneos en cada periodo de tiempo a través de una cuenca lineal imaginaria con una constante de traslado dependiente del tiempo de concentración.

#### *Método de convolución continua*

El método de convolución continua se emplea cuando se presentan cambios drásticos en la forma del hidrograma de escurrimiento durante una tormenta, es decir, cuando existe una variación en el tiempo del hidrograma debida a las características de almacenamiento de la cuenca, tipo de suelo y a las condiciones iniciales de escurrimiento. Por ejemplo, considérese una cuenca cuyos suelos son altamente permeables, con un nivel freático poco profundo y un relieve suave. Cuando inicia una tormenta el nivel freático comienza a

recargarse por infiltración, si continua lloviendo se saturará el terreno y dará lugar al escurrimiento. El hidrograma tendrá una forma casi plana al inicio, la cual cambiará rápido con el tiempo (la tasa de cambio del flujo) (Wanielista *et al.*, 1997).

#### *Método de contribución de áreas*

Si se requiere obtener un hidrograma representativo de una región compuesta por subcuencas con diferentes usos de suelos y tipos de suelos, el método de análisis que representará estas variaciones es el método de Contribución de Áreas. (Wanielista *et al.*, 1997).

El método consiste en generar los hidrogramas para cada subcuenca; todos los hidrogramas estimados por contribución de área son agregados linealmente con respecto al tiempo para producir el hidrograma final (Wanielista *et al.*, 1997), es necesario también el conocimiento de los escurrimientos de una subcuenca a otra y la selección de sus fronteras así como del empleo de un método de generación de hidrogramas.

#### *Método GRADEX pluviométrico*

Este procedimiento de estimación de eventos extremos fue propuesto por Guillot en 1979 y está basado en datos de precipitación. El método considera que el concepto de la precipitación máxima probable (PMP) no tiene importancia práctica, la cual atribuyen solamente al gradiente de las lluvias extremas al ser estas ajustadas a distribuciones Gumbel.

El método es de fácil aplicación y puede ser empleado como complemento a otras formulaciones (Ramírez y Aldama, 2000). Algunas de las aplicaciones del método son las siguientes: Zuffo *et al.* (1993a), proponen las relaciones estadísticas entre precipitaciones intensas y avenidas máximas empleando el método GRADEX, Zuffo *et al.*, (1993b), presentan la variabilidad de los parámetros del GRADEX, Zuffo *et. al* (1994) realizan un estudio de cuencas en Sao Paulo, Brasil utilizando el GRADEX, Escoufier y Mejía (1996) utilizan el método GRADEX para el cálculo de gastos de avenidas en una cuenca mexicana, Acosta *et al.*, (1996) realizan el análisis de avenidas en una región de Colombia por medio del GRADEX, Gutiérrez (2003) aplica el método GRADEX para la estimación de avenidas en el norte de México y Laguna (2004) estima el riesgo de inundación en un río mediante el GRADEX.

### **2.3. Métodos hidrométricos**

A continuación se describen en forma breve las clasificaciones en las que se han agrupado los métodos con base en la información hidrométrica. Es preciso mencionar que la discusión sobre el análisis regional será realizada en el apartado siguiente debido a su importancia en este trabajo.

#### **2.3.1. Distribuciones univariadas**

El análisis de frecuencias de avenidas, en principio es un buen método (Raudkivi, 1979) para el pronóstico de gastos de diseño ya que las funciones de densidad de probabilidad (fdp) constituyen la representación más concisa de una distribución de frecuencia empírica

(Yevjevich, 1982), sin embargo la longitud de los registros disponibles no permite una adecuada definición de una avenida extrema ya que la mayoría de las veces estos registros son limitados.

El proceso consiste en seleccionar la fdp que muestre el mejor ajuste a la serie de gastos máximos registrados y utilizarla para obtener el pronóstico del gasto máximo para un periodo de retorno dado. Las distribuciones que son más utilizadas se listan a continuación:

- Distribución exponencial (Viessman *et al.*,1989; Maidment,1993)
- Distribución normal (Viessman *et al.*,1989; Kite, 1988; Hann,1977; Aparicio,1987; Escalante y Reyes, 2002; ASCE,1996)
- Distribuciones Lognormal de 2 y 3 parámetros (Kite,1988; Hann,1977; Yevjevich,1982; Aparicio,1987; Wanielista *et al.*,1997; Campos,1999; Ramírez y Aldama, 2000; Escalante y Reyes, 2002; ASCE,1996)
- Distribución Gumbel (Clarke,1973; Kite,1988; Hann,1977; Viessman *et al.*,1989; Aparicio,1987; Wanielista *et al.*,1997; Campos,1999; Ramírez y Aldama, 2000; Escalante y Reyes,2002, SARH,1972; ASCE,1996)
- Dist. General de Valores Extremos (GVE) (Jenkinson,1969; NERC, 1975; Linlsey *et al.*,1994; Kite,1988; Yevjevich,1982; Raynal,1984; Campos,1999; Maidment,1993; Ramírez y Aldama, 2000; Escalante y Reyes, 2002; ASCE, 1996)
- Distribución Pearson tipo 3 (Tom,1971; Kite,1988; Viessman *et al.*, 1989; Kottogoda,1980; Aparicio,1987;Campos,1988; Campos,1999; Maidment, 1993; Ramírez y Aldama, 2000; Escalante y Reyes, 2002;SARH, 1972; ASCE, 1996)
- Distribución Log-Pearson tipo 3 (Bobée,1975; WRC,1977; Kite,1988; Hann,1977; Aparicio,1987; Campos,1999; Maidment,1993; Wanielista *et al.*,1997; Ramírez y Aldama, 2000; Escalante y Reyes, 2002; SARH, 1972; ASCE, 1996)
- Distribución Weibull (Yevjevich, 1982; Maidment, 1993; Wanielista *et al.*,1997; Ramírez y Aldama, 2000)

La distribución Log Pearson tipo III es aceptada en los Estados Unidos para usos generales, aunque la distribución Gumbel también es ampliamente utilizada tanto en los Estados Unidos como en el mundo (Ponce,1989).

En México, las descripciones detalladas de estas distribuciones pueden ser consultadas en Aparicio (1987) ó en Escalante y Reyes (2002)

Algunas de las distribuciones aplicadas a la hidrología en los últimos años son:

- Distribución Pareto generalizada (Maidment,1993)
- Distribución Wakeby (Campos,1999; Ramírez y Aldama,2000)
- Distribución de Boughton (Campos 1999)
- Distribución de Griffiths (Campos,1999)
- Dist. GVE truncada (Campos,1999)

### **2.3.2. Distribuciones multivariadas**

El análisis de procesos hidrológicos complejos requiere de la aplicación de distribuciones conjuntas o de ciertas variables aleatorias además de la correlación entre ellas (Viessman *et*



*al.*, 1989), ya sea de forma puntual o en análisis regionales. Así el análisis multivariado se define como el uso de métodos estadísticos que relacionan una o varias variables aleatorias (Yevjevich,1982) y que apoyado en el uso de computadoras constituye actualmente una técnica importante de planeación y diseño en diversos campos, entre ellos el hidrológico.

Las distribuciones multivariadas de tres o más componentes tienen importancia tanto práctica como teórica en la estadística matemática especialmente cuando son aplicadas a la hidrología (Yevjevich,1982), estas distribuciones se analizan comúnmente por medio del ajuste de funciones de probabilidad o por el ajuste de sus parámetros por media simple, matrices de correlación simple ó estadísticos. Las técnicas de análisis multivariado aplicadas a la hidrología son: el análisis de componentes principales, análisis del factor y correlación canónica. Por ejemplo en Québec, Canada, Yue (1999) plantea el empleo del modelo multivariado Gumbel mixto para el análisis de frecuencias con el cual se correlacionan los gastos y volúmenes, así como los volúmenes y las duraciones.

En nuestro país las primeras aplicaciones de las distribuciones multivariadas (bivariadas, inicialmente) datan de inicios de los años noventa Ramírez (1995), tiempo después se realizaron otras aplicaciones como las siguientes: Campos (1999) y Ramírez y Aldama (2000) describen las técnicas de análisis de frecuencias conjunto aplicadas en la estimación de avenidas de diseño, Ramírez y Aldama (1996) realizan la determinación de los parámetros para distribuciones conjuntas de extremos, Escalante, (1996) emplea el modelo logístico bivariado para la estimación conjunta de gasto pico y volumen total de avenidas. De acuerdo a Escalante y Reyes (2002) la aproximación bivariada de valores extremos ajustada por máxima entropía y la extensión del modelo logístico trivariado, ajustado por máxima verosimilitud se han aplicado en la solución de algunos problemas hidrológicos.

### **2.3.3. Métodos no paramétricos**

En los análisis de frecuencias de avenidas con métodos no paramétricos se deben determinar las fdp adecuadas a partir de los registros de gastos máximos aleatorios, a diferencia de los métodos paramétricos donde se selecciona a priori un modelo de función de densidad (Campos, 1999).

La fdp se estima adoptando una función núcleo (kernel) en cada observación, la cual ella misma es una fdp simétrica; las más difundidas son la circular, la rectangular y la gaussiana (Campos,1999), el punto crítico de esta selección es por la determinación del factor de suavizado.

### **2.3.4. Distribuciones para poblaciones mezcladas**

Dentro del análisis de eventos extremos es posible considerar que estos fenómenos sean originados por dos procesos diferentes o más (tormentas de verano, nieve, tormentas frontales de invierno ó remanentes de huracanes tropicales). Este análisis se hace por medio de modelos probabilísticos que consideren las características de las distribuciones de dos poblaciones.

Estos procesos o series pueden ser evaluados de manera separada o directamente del valor máximo de los componentes. Se prefiere la modelación separada de los componentes de las series cuando estas están compuestas de solo dos o tres componentes con distribuciones diferentes (ASCE,1996).

La función Gumbel mixta, la mezcla de dos distribuciones normales, la mezcla de dos distribuciones GVE o general de valores extremos (Campos,1999) y el método de la Avenida Índice para dos poblaciones (Gutiérrez y Ramírez,2005), son ejemplos de las distribuciones para dos poblaciones empleadas en México.

### **2.3.5. Modelos empíricos estocásticos**

La mayoría de los modelos empíricos utilizados actualmente son modelos estocásticos (Fortin *et al.*,1997) que están basados en la teoría de la probabilidad para realizar la representación de la incertidumbre.

Los principales modelos estocásticos empleados son: el modelo estadístico de regresión, los modelos de Box-Jenkins (Box y Jenkins, 1976), el método no paramétrico del k de proximidad más cercano y los Procesos de Markov.

De los anteriores, el modelo más conocido es el regresión, sin embargo, también es mal utilizado frecuentemente ya que las hipótesis sobre las que está basado no siempre se cumplen. Este método es aplicable en pronósticos a largo plazo.

Los modelos de Box-Jenkins (1976) comprenden los modelos lineales autoregresivos (AR), los modelos lineales de promedios móviles (MA), los modelos lineales autoregresivos de promedios móviles (ARMA), los modelos periódicos ARMA (PARMA) y los modelos ARMA con entradas auxiliares (ARMAX), que permiten generar grandes series sintéticas temporales.

El método no paramétrico del k de proximidad más cercano es utilizado cuando existe la posibilidad de que las entradas estén correlacionadas o tengan un efecto no lineal en las salidas (Fortin *et al.*,1997). El método consiste en encontrar k eventos en registros pasados de algún proceso que sean muy similares a los registros actuales y a partir de estos eventos se realiza el pronóstico.

Un proceso de Markov describe la dependencia paso a paso, llamada *proceso de primer orden* o correlación serial de un paso de exhibición (Viessman *et al.*,1989), es decir, un evento no depende de otros procesos pasados. Estos procesos permiten la generación de series sintéticas de variables hidrológicas y son definidos en términos de probabilidades discretas.

### **2.3.6. Modelos empíricos no estocásticos**

En este grupo son conocidos el método de redes neuronales artificiales ó ANN por sus siglas en inglés, método de regresión lineal difusa y el método de regresión adaptable multivariada de splines, conocido como MARS en inglés.

Algunas de las aplicaciones de redes neuronales artificiales ó de inteligencia artificial dentro de las ciencias del agua son: revisión de la demanda de agua, precipitaciones, calidad del agua, sequías y en la gestión de cuencas (Fortin *et al.*,1997). Los modelos empleados en redes neuronales son las redes neuronales autoregresivas no lineales (NAR) y redes de neuronas artificiales recurrentes (NARMA) de las que existe una gran variedad de modelos.

Las técnicas de ANN también se han empleado en la estimación de gastos, como lo demuestran las investigaciones al respecto. Sahoo *et al.* (2006) realizan la predicción de avenidas repentinas en ríos de montaña con ANN, Jia *et al.* (2006) aplican ANN para generar series sintéticas de gastos provenientes de registros cortos, Wang *et al.* (2006) realizan el pronóstico de escurrimientos diarios por medio de modelos híbridos de ANN, Dawson *et al.* (2006) efectúan la estimación de avenidas en sitios no aforados por medio de ANN y Valverde *et al.*(2005) aplican ANN para pronósticos de lluvias en la región de São Paulo. En México, Molina (2006) empleó el análisis ANN para la realización de tránsitos de avenidas en cauces.

### **2.3.7. Modelos conceptuales**

Los modelos conceptuales reflejan una concepción de un sistema idealizado a través de su estructura interna (Fortin *et al.*,1997). Se pueden clasificar en modelos físicos, maquinas hidráulicas y modelos basados en reglas difusas.

Los modelos físicos están basados en una o varias leyes físicas fundamentales: conservación de la energía, de la entropía, de masa y la ley de la gravedad (Fortin *et al.*,1997). El método de diferencias finitas y el de elemento finito ambos son modelos físicos que se aplican en la hidrología.

Los modelos de máquinas hidráulicas son modelos esquemáticos de cuencas donde son representados los conductos, canales o almacenamientos pertenecientes a esta, en la actualidad se emplean las computadoras para realizar una adecuada simulación de estos modelos.

La principal desventaja que tienen las máquinas hidráulicas es que se requieren una gran cantidad de datos para efectuar la calibración (Fortin *et al.*,1997). La combinación de estos dos tipos de modelos también ha sido realizada.

Los modelos de reglas difusas son frecuentemente utilizados en el dominio de control pero su aplicación más reciente es en sistemas abiertos (Fortin *et al.*,1997). Las reglas que emplean estos modelos son del tipo IF-THEN ó si-entonces, a través de las cuales son condicionadas las entradas para obtener los resultados. Son muy utilizados para análisis robustos en los pronósticos de avenidas.

Un método muy útil que combina los modelos conceptuales y los modelos empíricos es conocido como el método de Predicción Extendida del Escurrimiento, ESP por sus siglas en ingles, que relaciona un modelo estocástico y un modelo conceptual de cuenca.

## 2.4. Análisis regional de frecuencias

### 2.4.1. Antecedentes

En las ocasiones en que se requiere del análisis de frecuencias en un sitio donde no se tiene suficiente información disponible ó que se carece de ella, se emplea el análisis regional de las estaciones de medición con características similares, es decir que pertenezcan a una región homogénea. Por otro lado, la información hidrológica regional es muy útil en sitios aforados debido a la imprecisión en la estimación de avenidas extremas a través de los datos disponibles ( ASCE,1996).

Básicamente está técnica correlaciona las variables hidrológicas con las características físicas de las región, así a través de estas relaciones regionales, es posible obtener estimados de gastos en función de características hidrológicas.

El análisis regional implica la delimitación de las fronteras regionales como parte inicial y determinante del estudio; límites que dependen de los parámetros o variables a estimar (Viessman *et al.*,1989) cuya validación se realiza por medio de las pruebas de homogeneidad, considerándose así desde grandes regiones entre barreras fisiográficas hasta subcuencas de drenaje. Después del establecimiento de la región homogénea se realizan los análisis puntuales de frecuencias y finalmente se desarrollan las ecuaciones regionales.

Para la definición de la zona homogénea existen dos enfoques: el cualitativo, basado en características geográficas, y el cuantitativo que utiliza pruebas estadísticas (Campos,1999).

De los métodos cualitativos, algunos están basados en la localización de división de cuencas, en fronteras políticas, en regiones de terrenos aprovechables y regiones fisiográficas (Haan,1977). La prueba de homogeneidad de Langbein (Dalrymple,1960) que se basa en la distribución Gumbel es un ejemplo de las técnicas de homogeneidad cuantitativas. Otra distribución que se ha empleado es la GVE (Campos,1999).

El desarrollo de los estudios regionales inició con la aplicación de formulaciones empíricas. La primera de estas ecuaciones relaciona el gasto  $Q$  con el área de drenaje  $A$  de una región en particular (Kite,1988), como se mostró en la ecuación 2.1, a partir de la cual se derivaron otras formulas descritas anteriormente en el apartado de Fórmulas Empíricas.

Paralelamente al surgimiento de formulaciones empíricas regionales fueron representadas variables hidrológicas tales como la precipitación, el escurrimiento, evapotranspiración, etc. en mapas por regiones, obtenidos de las sumas de los parámetros estadísticos (media y varianza). Incluso en la actualidad estos mapas son muy empleados, aunque ya son generados mediante técnicas estadísticas modernas.

Dentro del crecimiento del análisis regional también se encuentran métodos que no tienen bases estadísticas, como el método de Estaciones-año. Dicho método de extensión de registros ha probado ser útil pero tiene cuestionable validez estadística especialmente si es aplicado a series dependientes ó a estaciones dentro de áreas no homogéneas (Viessman *et al.*, 1989). Dos desventajas importantes son, que el método no puede ser aplicado

rigurosamente, a menos que se espere que las estaciones tendrán la misma distribución de frecuencias en periodos de retorno muy largos, y la otra es que no se recomienda aplicarlo en regiones montañosas (Chow, 1964). El procedimiento de estaciones-año asume que los datos para uno ó varios periodos de registro en un cierto número de estaciones puede ser considerado como un registro compuesto para una única estación con una longitud de periodo de registros igual al total de años involucrados (Chow, 1964). Una de las aplicaciones de este método en México fue realizada por Escalante y Reyes (1998) para el análisis de sequías en el estado de Sinaloa.

Es de esperar que las magnitudes del gasto máximo anual en los ríos dentro de una región geográfica muestren alguna asociación o dependencia. Algunos métodos regionales hacen uso de la dependencia explícita y no podrían funcionar sin ella como los métodos de extensión de registros, mientras que otros dependen de su ausencia parcial o total como son, el método de la Avenida Índice y el de estaciones año respectivamente (Cunane, 1988).

A partir del éxito del método de análisis regional de la Avenida Índice (Dalrymple, 1960) se han desarrollado nuevas metodologías, las cuales tienden a incrementar la exactitud en los pronósticos mediante la implementación de diferentes estimadores de parámetros y diversas distribuciones entre otros aspectos. De esta manera, Stedinger (1983) expone una distribución de frecuencia regional obtenida a través de la normalización por logaritmos y con estimadores por momentos de probabilidad pesada, Smith (1989) propone utilizar un índice de orden extremo en lugar de la avenida media anual empleada en el método de la Avenida Índice. Fill y Stedinger (1995) revisan tres pruebas de homogeneidad que pueden ser empleadas en métodos de avenida índice y desarrollan también la versión corregida de la prueba del método de Dalrymple. Díaz-Granados (1988) presenta el método regional de Momentos Ponderados de Probabilidad ajustando la distribución Gumbel como una mejor alternativa de análisis regional y hace la comparativa con los parámetros estimados por momentos y máxima verosimilitud, y Yue (2004) emplea el método de Momentos L para identificar la distribución de probabilidad tipo de escurrimientos anuales en diferentes regiones de Canadá.

Por otro lado, debido a la variedad existente sobre los métodos de análisis regional, ha surgido la inquietud de evaluar los índices de incertidumbre y las características de la aplicabilidad, entre otros factores, de un conjunto de métodos. Algunos trabajos al respecto son los siguientes: Nouh (1987) en Arabia Saudita evalúa tres metodologías, Cunane (1988) describe doce procedimientos regionales, Lin y Chen (2003) propone un nuevo indicador basado en la fiabilidad para la selección del mejor método regional, Rosbjerg (1995) establece algunas medidas de incertidumbre entre cinco modelos regionales para apoyar la selección de algún método, GREHYS (1996a) realiza la comparación entre la combinaciones de un conjunto de métodos regionales y técnicas para la delimitación de la región homogénea, GREHYS (1996b) presenta los resultados de la aplicación de metodologías regionales aplicadas a ríos en Canadá. Varas y Lara (1998) preparan una recopilación de los métodos de Máxima Verosimilitud regional y de Momentos Ponderados de Probabilidad con diversas distribuciones de frecuencia, los cuales ofrecen mejores estimados que los procedimientos regionales convencionales. Finalmente St.-Hilaire *et al.* (2003) presentan una revisión bibliográfica de los desarrollos más recientes de regionalización.

Para la realización del análisis regional de frecuencia se han aprovechado las distribuciones multivariadas, ya que al considerar más parámetros aseguran mejores resultados. Por ejemplo Florentino *et al.* (1985) aplican la distribución de valores extremos de dos componentes en la estimación regional de frecuencias; Troutman (2001) presenta como obtener a través de un método de Monte Carlo la Probabilidad Regional de Avenidas (RFP) y demuestra que los estimados de correlación espacial utilizados pueden ser obtenidos con un rango de datos transformados, así que la distribución del gasto máximo en un sitio no es necesaria y Chokmani y Ouarda (2004) desarrollan un método de análisis regional fisiográfico espacial basado en *kriging* en cual requiere del uso de la técnica de análisis de correlación canónica y la de componentes principales. En México algunas aplicaciones del análisis multivariado regional son las efectuadas por Escalante (1994), que emplea un modelo regional logístico multivariado, con distribuciones marginales Gumbel mixta, Magaña y Ramírez (2000) que realizan la determinación de los parámetros regionales para la distribución Gumbel doble en la cuenca Lerma-Balsas; y Escalante y Domínguez (2001) que proponen un procedimiento de análisis regional basado en una distribución bivariada ajustada por máxima entropía.

Los procedimientos no paramétricos aplicados a estudios regionales de frecuencia han sido considerados debido a la facilidad que representa el no seleccionar alguna distribución de frecuencias y el método de estimación de parámetros, una alternativa atractiva de análisis regional es presentada por Adamowski (2000), la cual permite la generación de series anuales y parciales a través de técnicas no paramétricas.

Las técnicas de regresión múltiple de origen son adecuadas para dar solución a los análisis regionales de frecuencias en sitios no aforados. Son metodologías poderosas capaces de correlacionar un gran número de factores fisiográficos, hidrográficos y climatológicos. Ciertas investigaciones realizadas sobre estas técnicas son las siguientes: Escalante y Reyes (1998) llevan a cabo varios análisis regionales para el análisis de sequías donde algunos de los procedimientos utilizados son el de correlación y de regresión múltiple; Pandey (1999) compara nueve métodos de estimación de parámetros del modelo de regresión regional Forma potencial; Escalante y Reyes (2000) proponen un método que permite construir el hidrograma para una avenida correspondiente a través de técnicas regionales como la de correlación y regresión múltiple; Ouarda (2001) desarrolla una metodología para el análisis regional donde acopla la correlación canónica y técnicas regionales como el método de la Avenida Índice, resultando un método estable y robusto en cuanto a la configuración de la red hidrométrica. En la cuenca del río Gan-Ming, Jingyi y May (2004) realiza análisis regionales de frecuencias donde compara el empleo del análisis regional lineal múltiple y las redes neuronales para la obtención de las relaciones de escala regionales; Skaugen y Vaeringstad (2005) utilizan los procedimientos de regresión múltiple para incorporar la heterogeneidad de la cuenca a su modelo regional, el cual esta basado en las propiedades de escala de los gastos.

El método de la región de influencia también ha sido asociado con las metodologías regionales de análisis de frecuencias, así como las técnicas anteriores. Las investigaciones de Burn (1990, 1997) y Zrinji (1994) muestran que la aplicación de esta técnica mejora los estimados regionales de los índices extremos de gastos lo que fue comprobado con el

experimento de Monte Carlo y también permite el perfeccionamiento de la identificación de regiones homogéneas.

El análisis regional necesariamente involucra al tema de la delimitación de la región homogénea. La identificación de las regiones homogéneas es uno de los obstáculos más serios para la obtención de una solución regional satisfactoria (Gingras y Adamowsky, 1993) además constituye el punto inicial dentro del proceso del estudio regional, éstas son solo algunas de las razones que muestran la gran importancia de este aspecto. A continuación se presentan ciertas investigaciones relacionadas. Uno de los métodos para la definición de regiones homogéneas es el propuesto por Wiltshire en 1985 que está basado en las características propias de la cuenca, después, en 1986, propone otras dos pruebas de homogeneidad las cuales están fundamentadas en la definición de una función de distribución regional, y en la aplicación de procedimientos de análisis multivariado; Burn (1988) presenta una metodología para la delineación de regiones homogéneas desarrollada a partir de la correlación de gastos anuales posteriormente en el año 2000 plantea el uso de un algoritmo de agrupación. El procedimiento propuesto por Gingras y Adamowsky (1993) se basa en mecanismos de generación de avenidas anuales como la lluvia y la nieve; Robinson (1997) realiza investigaciones sobre las teorías físicas del escalamiento y la heterogeneidad en análisis regional de frecuencias; Gutiérrez (1996) realiza la identificación de regiones homogéneas por medio de las curvas de Andrews; Gómez (2003) compara tres pruebas de definición de la región homogénea y Gutiérrez *et al.* (2004) muestran una revisión de los principales índices de proximidad los cuales a través de una regla de agregación, generan regiones homogéneas.

La información acerca de los regímenes de avenidas también ha sido aprovechada e investigada para su implementación en el análisis regional de frecuencias tal como el método propuesto por Cunderlik y Burn (2001) y las investigaciones realizadas por estos mismos autores en el año 2002 sobre las relaciones entre los regímenes de lluvia y de avenidas .

Por su parte, Young (2006) explora en el Reino Unido las dificultades de la regionalización de modelos lluvia-escorrentía tanto para modelación a gran escala como para cuencas no aforadas.

#### **2.4.2. Procedimientos regionales más empleados**

Con el avance del conocimiento han sido creadas diversas técnicas de transferencia de información basadas en métodos parcialmente o totalmente estadísticos y con diferentes niveles de complejidad. A continuación se describen brevemente algunos de los métodos más empleados.

##### *Regionalización de funciones de distribución de frecuencias*

Esta técnica postula que cualquier fdp puede ser ajustada a una región (Hann,1977). El procedimiento es similar al descrito en el apartado, “Distribuciones univariadas”, solo que los parámetros son relacionados con los factores fisiográficos y meteorológicos de la región.

El método permite obtener un mejor estimado del tipo de distribución empleada mediante la combinación de los datos de una región, así como obtener el mejor ajuste (Raudkivi,1979). Campos (1999) presenta la metodología simplificada de este procedimiento.

En México esta técnica entre otras fue aplicada por Campos (1994) en la Región Hidrológica X.

#### *Método de la Avenida Índice*

El método fue presentado por el Servicio de Levantamientos Geológicos de los Estados Unidos (USGS) en 1960 de acuerdo con el planteamiento de Tate Dalrymple. Es el procedimiento utilizado más ampliamente para análisis de frecuencias de avenidas (Hann,1977), con una larga historia de aplicación en los Estados Unidos (Dalrymple,1960;ASCE,1996). y de los más exitosos (ASCE,1996). Uno de los objetivos de este trabajo es el de la implementación de este modelo dentro de un sistema de información geográfica.

La idea básica del método de la Avenida Índice es incrementar la confiabilidad de las características de frecuencia dentro de una región (Kite, 1988). Para ello, se utilizan conjuntos de datos de varios sitios para la definición más confiable de los cuantiles estimadores de avenidas (Maidment,1993).

El método de la Avenida Índice consiste de dos partes (Dalrymple,1960; Raudkivi,1979; Kite,1988): las curvas adimensionales de frecuencias de avenidas y las relaciones entre las características de la cuenca y el gasto medio (Raudkivi,1979). La combinación de la avenida media anual con la curva de frecuencia de avenidas, la cual está en términos de la avenida media anual, proporciona una curva de frecuencia para cualquier ubicación (Dalrymple,1960).

La descripción del método de la Avenida Índice con más detalle se muestra en el capítulo siguiente.

#### *Método de la Red cuadrada (square-grid)*

El procedimiento de la Red Cuadrada fue propuesto en 1968 por Solomon (Raudkivi,1979), y constituyó uno de los mayores desarrollos desde el planteamiento del método de la Avenida Índice (Kite,1988). Este método se adaptó para ser utilizado en análisis de frecuencias debido a que en su versión original estaba dirigido al escurrimiento medio anual.

Este método divide el área de estudio en una red uniforme donde los cuadrados están identificados en coordenadas cartesianas y asociados a un conjunto de parámetros como son: elevaciones, porcentajes de áreas de lagos, pantanos, bosques, áreas urbanas, tipo de suelo, uso de suelo, etc. Los cuadrados que contienen a estaciones de medición y meteorológicas almacenan también los registros de precipitación y temperatura. Entonces, a partir de los cuadrados son desarrolladas las funciones superficiales que cubren a la región incluyendo áreas no aforadas. Posteriormente se modificaría éste método para generar muestras sintéticas (Raudkivi,1979).



### *Métodos de regresión múltiple*

Al igual que las técnicas anteriores, a través de estos métodos se relacionan las características fisiográficas e hidrológicas de una región, pero tienen la ventaja de que no se requiere de la selección de una distribución para los gastos máximos y de que varios de estos procedimientos se pueden emplear para transferir información entre estaciones adyacentes con un gran diferencial de longitud de registros ó para el estudio del efecto de parámetros físicos ó para el análisis de eventos extremos.

Por medio de los modelos de regresión múltiple es posible considerar en los análisis regionales un número mucho mayor de características individuales; estudios comparativos han demostrado que las características más importantes son el área y la precipitación media anual (Raudkivi,1979).

Las mayores ventajas de los modelos de regresión regionales es que son relativamente fáciles de emplear, proporcionan un estimador de la precisión del índice de avenidas e incorporan variables descriptivas que reflejan la única característica física de la cuenca de estudio (ASCE,1996).

En general estas relaciones toman la forma siguiente según Raudkivi (1979) y Kite (1988):

$$QT = f(A^a B^b, C^c, \dots Z^z) \quad 2.27$$

donde  $A, B, C, \dots Z$  son las variables independientes y las constantes  $a, b, c \dots z$  son obtenidas del análisis de regresión múltiple. Algunos de las técnicas para obtener éstas constantes son la regresión lineal simple, regresión lineal múltiple, procedimientos de retraso, paso a paso ó hacia delante. También son bastante empleados el método ordinario de mínimos cuadrados y el método de mínimos cuadrados generalizado planteado por Stedinger y Tasker (1985;1986). Tales procedimientos son satisfactorios cuando la longitud de los registros de avenidas es lo suficientemente grande (ASCE,1996).

Una técnica de gran trascendencia dentro de los métodos de regresión múltiple es la de correlación canónica. Esta, proporciona las bases para varios procedimientos y establece la relación teórica entre ellos, tales métodos son las técnicas de análisis factorial discriminante, regresión multivariada y el análisis de correspondencia. De hecho estas técnicas incluyendo la regresión multivariada, representan casos especiales del análisis de correlación canónica (Ouarda *et al.*,2001).

De la misma forma en que la correlación múltiple utiliza las características fisiográficas y meteorológicas, la correlación canónica ha sido empleada en la determinación de pronósticos mensuales de precipitación en costas y escurrimientos estacionales de nieve, pronósticos de lluvias de gran duración y estudios regionales de avenidas entre otras aplicaciones. En especial se ha encontrado que los estudios regionales apoyados en el análisis canónico arrojan buenos resultados, según GREHYS (1996b).

### *Otros métodos*

Son también conocidos los siguientes métodos: método del Registro Máximo Regional, Análisis Bayesiano y el método de la Información Contenida Regional y de Estación Única, entre muchos otros. En México, Gómez (2003) emplea modelos regionales basados en métodos de regresión múltiple y modelos regionales para los parámetros de la función de distribución Gumbel Doble, y Gutiérrez *et al.* (2002) aplican el Método del Vector Regional, uno de los más modernos, para la regionalización de lluvias en el norte del país.

Sin discriminar las técnicas anteriores, no se incluyeron tales descripciones para no desviar la atención del método que regional de interés en esta tesis, sin embargo, éstas pueden ser consultadas en Kite (1988).

## Capítulo III. Método de la Avenida Índice

### 3.1. Antecedentes

El Método de la Avenida Índice es una técnica sencilla de regionalización con una larga historia en la hidrología y en los análisis de frecuencia de avenidas (Maidment, 1993). El método fue propuesto formalmente por el Departamento de levantamientos geológicos de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) como una forma de agrupar características regionales de una zona de manera exitosa (Viessman *et al.*, 1989), es decir para delimitar una región homogénea, razón por la que también es conocido como el método del USGS. Una región homogénea es una zona en la cual las estaciones hidrométricas presentan un comportamiento estadístico semejante.

Dalrymple en 1960 desarrolló este procedimiento que consta de dos partes. La primera de ellas consiste en la curva base adimensional de  $Q/Q'$  vs  $T$  (Raudkivi, 1979) o curva regional de frecuencias que representa las relaciones de los gastos en varias frecuencias, en términos del periodo de retorno, y la avenida máxima para un periodo de retorno dado como avenida índice (comúnmente el gasto medio anual) para cada cuenca aforada (Kite, 1988; Haan, 1977). La segunda parte consiste de las relaciones desarrolladas entre las características de la cuenca y la avenida media anual (Kite 1988; Raudkivi, 1979). Entonces, es posible calcular el gasto medio en cualquier ubicación dentro de la región combinando la avenida media anual con la curva regional de frecuencias; el método considera a la media anual simple observada como el estimador de la avenida índice. El procedimiento completo de la Avenida Índice será descrito posteriormente. La prueba para definir la homogeneidad de las estaciones de la región es la Prueba de Homogeneidad hidrológica de Langbein (Dalrymple, 1960).

En sus planteamientos originales Dalrymple utilizó solo el área de la cuenca como la característica para ser relacionada con la avenida media para las estaciones dentro de la región. Sin embargo, desde entonces se han agregado más variables independientes que se clasifican en dos grupos: las características fisiográficas y las características hidrometeorológicas. Las variables fisiográficas pueden ser el área, elevación, pendiente y longitud del cauce principal, frecuencia del escurrimiento, porcentaje de área cubierta por pantanos, lagos, bosques, áreas urbanas, etc. Por otro lado, la precipitación media anual, temperatura y humedad son algunas de las características hidrometeorológicas. La inclusión de estas variables al método ha dado lugar a muchas modificaciones en los procedimientos (Kite,1988).

Como ventajas del método de la avenida índice se pueden mencionar las siguientes: el método sólo requiere la calibración de una ecuación índice, la metodología de cálculo es fácilmente aplicable a sistemas computacionales, los estimadores regionales aseguran la consistencia a través de los periodos de retorno y el error en el estimador regional promedio o cuantil regional es pequeño debido a la identificación de conjuntos de cuencas homogéneas (Maidment,1993)

Las limitaciones del método de la Avenida Índice de Dalrymple (1960) se deben principalmente al efecto del tamaño de área de drenaje sobre la curva regional de frecuencia, a que la homogeneidad se establece para gastos con un periodo de retorno de 10 años y a la variación de las relaciones de gastos máximos para diferentes periodos de retorno entre estaciones. Tales deficiencias fueron descritas por Benson (1962) como sigue:

1. La avenida media anual para estaciones con periodos de retorno cortos puede no ser típica, es decir que las relaciones de gastos máximos para diferentes periodos de retorno pueden variar ampliamente entre estaciones.
2. La prueba de homogeneidad se utiliza para determinar si las diferencias de las pendientes en las curvas de frecuencias son mayores que las que pueden ser atribuidas a una. Los estudios han mostrado que aunque la homogeneidad puede ser basada sobre la relación de gasto máximo para un periodo de retorno de 10 años, las curvas de frecuencia individuales pueden mostrar diferencias en un amplio rango, las cuales pueden ser sistemáticas para grandes periodos de retorno.
3. El método combina curvas de frecuencia para cuencas de todos tamaños, excluyendo solo las más grandes. En el nivel para una relación de gasto máximo con 10 años de periodo de retorno, el efecto del tamaño de la cuenca es pequeño y puede despreciarse. Los estudios han mostrado que las relaciones de gastos máximos tienden a variar inversamente con el tamaño de la cuenca.

Estas razones provocaron que por algunos años no se utilizara este método. Sin embargo, en la última década el método de la avenida índice ha recobrado su popularidad, y hoy es juzgado como una de las técnicas más eficientes de regionalización (GREHYS, 1996a), aunque actualmente se han adicionado nuevas consideraciones sobre el procedimiento original que toman en cuenta los factores de escala en relación a las características de la cuenca.

### 3.2. Descripción del Método de la Avenida Índice

Los pasos necesarios para la aplicación del método de la Avenida Índice se describen a continuación.

#### 1.- Validación de los datos disponibles de la región de estudio.

Se requiere hacer un análisis en conjunto de los periodos de registro de las estaciones para descartar las estaciones de medición que presenten incertidumbres en su información. Estaciones con menos de diez años de registro serán desechadas al igual que aquellas estaciones ubicadas en cauces controlados (Ponce,1989;Ramírez, 2004).

#### 2.- Periodo común de análisis.

Se selecciona el periodo histórico común a todas las estaciones de medición. La elección deberá contemplar el mayor número de años de registros y de estaciones.

Es valido completar o aumentar datos a las estaciones para incrementar el periodo común, siempre y cuando los datos agregados no excedan el 10% de la longitud de los periodos registrados de esas estaciones (Ramírez, 2004). Estos valores pueden calcularse mediante la correlación con los datos del resto de las estaciones o solo utilizando las estaciones aledañas, por mencionar un método, sin embargo podría aplicarse otra metodología para estimación de datos. Los datos así obtenidos podrían utilizarse o no en los cálculos posteriores.

Los cálculos subsecuentes solo involucrarán a los eventos comprendidos dentro del periodo común establecido.

#### 3.- Obtención de los eventos medios por estación.

Se inicia calculando los periodos de retorno para cada suceso de la estación. Se ordenan los datos de forma descendente y mediante la expresión Weibull (posición de graficación) se obtienen los periodos de retorno observados.

$$T = \frac{n+1}{m} \quad 3.1$$

donde:  $n$ = numero total de datos de la estación

$m$ = numero de orden del evento

$T$ = periodo de retorno

Después se procede a calcular el evento  $Q_{2.33}$  para  $T = 2.33$  años, evento medio según la fdp de Gumbel  $Q_{2.33}(i)$ , por alguna de las alternativas mostradas a continuación.

- Interpolando linealmente los datos tabulados T- Q, es decir de la muestra de datos.
- De la distribución, a partir de la curva Q-T, interceptando la abcisa  $T=2.33$  con la curva y leyendo el valor de la ordenada.

Se utiliza el valor de  $Q_{2.33}$  por ser más estable y confiable que la media aritmética, ya que con esta metodología se da un mayor peso a las avenidas medias que a las avenidas extremas las cuales tienen grandes errores de muestreo, y por esta razón no está influenciada por la inclusión o exclusión de una gran avenida, como la media aritmética (Dalrymple, 1960).

#### 4.- Homogeneidad hidrológica en la región.

La similitud entre las estaciones de la región se comprobará de acuerdo a la Prueba de Langbein (Dalrymple, 1960).

Langbein considera que al asumir una distribución normal de la variable estandarizada el 95% de los datos quedarán dentro del intervalo  $\pm 2\sigma_y$  del valor más probable de T.  $\sigma_y$ ,

error estándar de estimación de la variable estandarizada reducida  $y = \frac{x - \beta}{\alpha}$ , está dado

por:

$$\sigma_y = \frac{e^y}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{T-1}} \quad 3.2$$

Donde la ecuación para y (función del intervalo de recurrencia T), que fue desarrollada por Powell (1943) es:

$$y = -\ln(-\ln(\frac{T-1}{T})) \quad 3.3$$

La prueba se basa en la creciente del periodo  $T=10$  años, ya que es el intervalo más grande para el cual la mayoría de los registros darán estimados confiables (Dalrymple, 1960). Al aplicarse también  $y=2.25$  y  $e^y=9.49$  a la ec. 3.2), resulta lo siguiente:

$$2\sigma_y = \frac{2e^y}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{T-1}} \quad 3.4$$

$$2e^y \sqrt{\frac{1}{T-1}} = (2)(9.49) \sqrt{\frac{1}{9}} = 6.33 \quad \text{ó} \quad 2\sigma_y = 6.33$$

Ahora se obtiene que los límites de confianza superiores e inferiores están dados por:

$$y \pm \sigma_y = 2.25 \pm \frac{6.33}{\sqrt{n}} \quad 3.5$$

y los periodos de retorno  $T_i$  correspondientes se calculan con la expresión siguiente derivada de la ecuación 3.3:

$$T = \frac{1}{\{1 - e[-e(-y)]\}}$$

3.6

Los límites de confianza en función de la longitud del registro fueron calculados por Dalrymple (1960), los cuales se presentan en la Tabla. 3.1. Gutiérrez y Ramírez (2005) obtuvieron los límites de confianza de la Tabla 3.2, para la modificación del método empleando dos poblaciones.

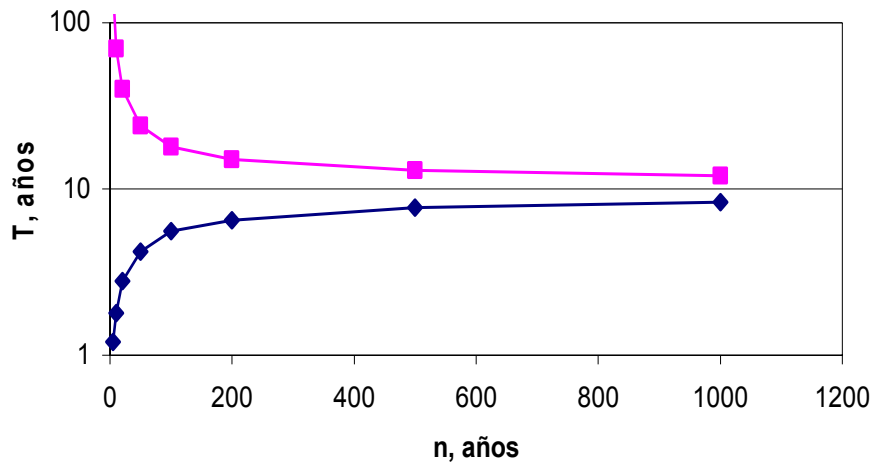
**Tabla 3.1.** Límites de confianza para la prueba de homogeneidad hidrológica regional (Dalrymple,1960).

n	lim. Inf. y-2σy	lim. Inf. (años) Ti	lim. Sup y+2σy	lim. Sup (años) Ti
5	-0.59	1.2	5.09	160
10	0.25	1.8	4.25	70
20	0.83	2.8	3.67	40
50	1.35	4.2	3.15	24
100	1.62	5.6	2.88	18
200	1.80	6.5	2.70	15
500	1.97	7.7	2.53	13
1000	2.20	8.3	2.45	12

**Tabla 3.2.** Límites de confianza de la prueba de homogeneidad del método de la Avenida Índice para dos poblaciones (Gutiérrez y Ramírez, 2005).

n	lim. Inf. y-2σy	lim. Inf. (años) Ti	lim. Sup y+2σy	lim. Sup (años) Ti
5	0.84	2.84	3.66	39.54
10	1.25	4.01	3.25	26.30
20	1.84	5.20	2.96	19.75
30	1.67	5.84	2.83	17.41
40	1.75	6.27	2.75	16.15
50	1.80	6.58	2.70	15.34
100	1.93	7.43	2.57	13.52
200	2.03	8.10	2.47	12.37
500	2.11	8.75	2.39	11.44
1000	2.15	9.10	2.35	10.99

La gráfica resultado de la prueba de homogeneidad se obtiene llevando a un papel semilogarítmico los valores de n y Ti de las curvas de los límites superior e inferior. Los valores de Ti se ubican en la escala logarítmica de las ordenadas.



**Ilustración 3.1.** Gráfica de los límites de confianza de la prueba de homogeneidad.

A continuación se calculan los eventos para  $T=10$  es decir  $Q_{10}(i)$  para cada una de las estaciones de la misma manera con la que se obtuvieron los  $Q_{2.33}(i)$ .

Posteriormente se sigue con el cálculo de los factores regionales por estación  $R_i$ , con la relación que se muestra:

$$R_i = \frac{Q_{10}^i}{Q_{2.33}^i} \quad 3.7$$

A partir de los factores anteriores  $R_i$  se determina la relación media de la región  $\bar{R}$ .

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{m} \quad 3.8$$

donde  $m$ = número de estaciones

Con la  $\bar{R}$  estimada se continúa con la obtención de los eventos modificados  $\hat{Q}_{10}(i)$ , multiplicando la relación media regional por los eventos  $Q_{2.33}(i)$ , y se obtienen los periodos de retorno correspondientes  $T_m(i)$ , ya sea de la muestra o de la distribución.

Entonces se deben graficar los pares  $T_m(i)$ - $n_m(i)$  dentro de la curva de Fig. 3.1.  $n_m$  es la longitud efectiva del registro determinada como el número de eventos registrados mas la mitad de los eventos estimados.

Para realizar la evaluación de la homogeneidad de las estaciones, se hace una inspección visual a la ubicación de las estaciones con relación a las curvas de los límites de confianza y se consideran como estaciones homogéneas aquellas que se ubican dentro de estos límites.



### 5.- Curva regional de frecuencias.

En esta etapa se generan los valores regionales medios para distintos periodos de retorno de las estaciones homogéneas para la construcción de la curva regional.

Después de elegir los periodos de retorno convenientes para un análisis de diseño, para cada estación se calculan los eventos correspondientes ajustando la distribución Gumbel. Se obtienen entonces los factores regionales de cada evento como sigue:

$$R_i = \frac{Q_{Ti}}{Q_{2,33}} \text{ para } i=2,5,10,\dots,50 \quad 3.9$$

y se calculan los valores medios de estas relaciones  $\bar{R}_i$  para cada periodo de retorno en la región. Graficando estos resultados contra los periodos de retorno se obtiene la curva regional de frecuencias que representa la relación más probable en la región homogénea.

### 6.- Pronóstico de gastos

Por último se relacionan el comportamiento de los escurrimientos de la cuenca, establecido por la curva regional de frecuencias, con las características fisiográficas de la región, suele emplearse el área. Se construye entonces una curva de áreas y gastos medios de las estaciones homogéneas de la cuenca, de la cual se obtiene el gasto medio correspondiente a la zona no aforada.

De la curva regional se obtiene la relación media correspondiente al periodo de retorno seleccionado, y con este valor se afecta directamente al gasto medio del sitio no aforado para generar el pronóstico del gasto máximo en la zona no aforada.

Posteriormente estos gastos son empleados en estudios hidrológicos, tránsitos de avenidas, funcionamiento de vasos, modelaciones hidráulicas, determinación de hidrogramas de diseño, etc. La metodología descrita anteriormente fue la que se automatizó en un sistema de información geográfica, el cual fue uno de los objetivos de este trabajo.

### 3.3. Modificaciones al método de la Avenida Índice

El método de Dalrymple ha sido ampliamente utilizado en los Estados Unidos así como en algunas regiones de Canadá, sin embargo también se ha empleado aunque con menor difusión en el resto del mundo. Como muestra de las aplicaciones del método en otros países se mencionan las siguientes: el método de la Avenida Índice fue utilizado por Gutiérrez y Reyes (1998) como apoyo para la estimación de daños causados por avenidas en cuencas de México; en Portugal, Portela y Dias (2005) realizaron la aplicación del método de la Avenida Índice, según su concepción inicial empleando el gasto medio anual como avenida índice. En la región media de Portugal se identificaron entonces seis regiones homogéneas en 120 estaciones hidrométricas.

Las modificaciones al método original de la Avenida Índice han dado lugar a diversos procedimientos de análisis regionales uno de ellos es el método de la Avenida Índice basado en momentos de probabilidad pesada (MPP) sugerido por Greenwood *et al.* (1979) y el de momentos-L propuesto por Hosking y Wallis (1993) (Maidmet,1993; Parida *et al.*, 1998; Kjeldsen *et al.*, 2002) a diferencia del método original que utiliza la distribución Gumbel ajustada por momentos. La aplicación de esta metodología en los análisis regionales de avenidas ha dado resultados muy satisfactorios, según Kjeldsen *et al.* (2002), quien revisó los trabajos hechos en USA (Vogel *et al.*, 1993<sup>a</sup>), Australia (Pearson *et al.*, 1991), Nueva Zelanda (Madsen *et al.*, 1997), Sureste de África (Mkhandi y Kachroo; 1997) y Sur de África (Mkhandi, 1995).

En la cuenca Mahi-Sabarmati de la India, Parida *et al.* (1998) desarrolló curvas regionales para estimación de avenidas de diseño utilizando también Momentos-L y el método de la avenida índice. Esta región fue identificada como homogénea y el mejor ajuste de los datos se logró con la distribución normal generalizada (GND).

Smithers y Schulze (1999, 2000, 2001) propusieron un método regional de tormenta índice con Momentos-L como estimador de parámetros para el Sur de África con el cual se realizó la estimación de lluvia con duraciones cortas y largas, según Kjelsen *et al.* (2002). En el 2005, Kjelsen y Jones aplicaron la técnica de Momentos-L para la predicción de la incertidumbre del método de la Avenida Índice.

El algoritmo propuesto por Hosking y Wallis (1997) ha sido empleado por Kjeldssen *et al.* (2002) para el análisis regional de la provincia de KwaZulu-Natal en el Sur de África. Sin embargo, el estudio se basó en el índice de lluvia mensual. La distribución general Pareto (GP) mostró el mejor ajuste en esta región.

Se han hecho estudios también donde se aplican de distribuciones de tres o más parámetros al método de la avenida índice de Dalrymple (1960) tales como log-normal de tres parámetros, Pearson, log-Pearson 3 y general de valores extremos (GVE) de las cuales esta última ha brindado un mejor ajuste de los datos.

Continuando con la aplicación de la Avenida Índice y Momentos-L, se desarrolló la metodología para regionalización usando la distribución Momentos-L/GVE. Para esta versión fueron propuestos algoritmos por Landwehr, Matalas y Wallis, popularizados por Wallis, y el algoritmo de Hosking (Maidment, 1993; GREHYS, 1996a,b), entre otros. Estas metodologías establecen como parámetro de avenida índice a la media. Se han propuesto también como parámetros para la determinación de la avenida índice los siguientes: la mediana, un parámetro de localización determinado sobre un sitio, y el valor esperado de la máxima avenida anual propuesto en Italia, etc., según Bocchiola *et al.* (2003). El procedimiento de la Avenida Índice por Momentos-L/GEV aunado a la definición apropiada de las regiones, resulta más exacto que los procedimientos que intentan estimar dos o más parámetros con registros cortos disponibles en muchos sitios (Maidment,1993).

Campos (1994) realiza comparaciones de los valores de avenidas máximas obtenidas por análisis probabilísticos y de técnicas regionales en Sinaloa, México, en la región hidrológica No 10. Los métodos regionales utilizados son el método de la Avenida Índice

tradicional, el método de la avenida índice aplicando la distribución General de Valores Extremos (GVE), cuyos parámetros se calcularon por sextiles, momentos de probabilidad pesada (MPP) y máxima verosimilitud (MLE), el procedimiento llamado Algoritmo de Ajuste Regionalizado basado en el método de la Avenida Índice tradicional, y la técnica de regionalización de los momentos de probabilidad pesada (MPP) donde se ajustan las distribuciones Gumbel y GVE y que consiste en el simple promediado o ponderado de los registros. Se concluyó que las avenidas resultantes de las técnicas probabilísticas fluctúan bastante en los periodos de retorno altos, a diferencia de los métodos regionales, que aunque resultan valores mayores, al mismo tiempo son inferiores a los valores máximos. De acuerdo a lo anterior los métodos regionales son más confiables en la determinación de avenidas. Se debe notar aquí la gran influencia y aplicación del método de la Avenida Índice tradicional y algunas de sus modificaciones.

En 1996 un procedimiento similar fue utilizado en Québec y Ontario, Canada, para obtener curvas regionales de las avenidas máximas de primavera, se trata del Método de la Avenida Índice GEV/MPP (Potter y Lettenmaier,1990) quienes utilizaron el algoritmo obtenido por Raynal (1984).

En Illinois y Wisconsin en el 2001, Heo *et al.* analizaron la aplicación de un método de regionalización basado en la Avenida Índice de Dalrymple (1960) y la distribución Weibull. Se compararon los métodos de máxima verosimilitud (MLE), momentos (MOM) y momentos de probabilidad pesada (MPP) como estimadores de parámetros y las varianzas asintóticas en cada uno. Se obtuvo que el radio de la varianza asintótica (Avar) representa satisfactoriamente la variabilidad de muestras de 25 datos.

En el 2003 Kumar *et al.* realizaron un estudio regional de avenidas para la India el cual involucró uno de los procedimientos derivados del método de la Avenida Índice original conocido como el método de Momentos-L de Hosking y Wallis (1997). La particularidad de este estudio es que se involucran las distribuciones de frecuencia siguientes: Gumbel, distribución de valores extremos (GVE), Logística (LOS), Logística Generalizada (GLO), Normal (Nor), Normal generalizada (GNO), Pearson tipo 3 (PE3), Exponencial (Exp), Generalizada de Pareto (GP), Kappa (KAP) y la distribución de 5 parámetros de Wakeby (WAK). La comparación entre las relaciones medias obtenidas mediante un criterio estadístico dio como resultado que la GEV es la distribución más robusta. Ocho de las 11 regiones del estudio resultaron ser homogéneas.

La aplicación del procedimiento estadístico llamado Picos sobre Umbral (POT, por sus siglas en inglés) ha dado lugar a nuevos procedimientos de regionalización basados en el método de la Avenida Índice de Dalrymple (1960) en la distribución Generalizada de Pareto (GP), la distribución Weibull y la distribución Exponencial, entre otras.

Un ejemplo es el método de la Avenida Índice GP/POT en el cual la distribución GP es ajustada a los eventos excedidos al umbral en cada estación dentro de la región homogénea. Los parámetros son calculados por medio del método de momentos de probabilidad pesada (MPP). La avenida adimensional máxima para un periodo de retorno T se calcula por el procedimiento descrito por Rasmussen (1994a). Este procedimiento difiere del método de

la avenida índice GEV/MPP, en las bases de datos utilizadas y en que los parámetros se obtienen en dos etapas, ver GREHYS (1996a).

El método de la Avenida Índice EXP/POT se diferencia del procedimiento anterior en que los eventos excedidos al umbral son ajustados mediante una distribución exponencial y es menos flexible que el anterior. La avenida índice esta relacionada con el área de la cuenca mediante una ecuación de regresión (GREHYS, 1996a).

Por otro lado, P. Javelle *et al.* (2001), usando el concepto clásico del método de la avenida índice en combinación con el modelo de intensidad-duración-frecuencia desarrollaron un modelo regional de curvas intensidad-duración-frecuencia al que llamaron modelo *converging*. Este método involucra a los eventos extremos tanto como a su duración, donde la duración se considera como el parámetro de ajuste. El modelo se aplicó a un estudio de 158 cuencas en las provincias de Québec y Ontario, Canadá. Los resultados se compararon con los obtenidos de la aplicación tradicional del método de la avenida índice encontrándose que la magnitud de los errores era la misma para ambas metodologías, por lo tanto el modelo es confiable para su aplicación en análisis de frecuencias de avenidas tomando en cuenta la duración de las tormentas lo que significa una mayor utilidad en el diseño de obras estructuras hidráulicas.

Con base en la referencia de la media anual como la avenida índice dentro del método de Dalrymple (1960), en el 2001, B. Sveinsson *et al.*, proponen un ajuste al método, derivado del reemplazo de la media anual simple estimada como la avenida índice por la media anual poblacional. El procedimiento es llamado Método de la Avenida Índice Poblacional (PIF), el cual utiliza la distribución general de valores extremos (GVE). En dicho estudio se evaluaron los resultados del método de la avenida índice poblacional al aplicar como estimadores de parámetros el método de probabilidad de momentos pesados (PWM) y el método de máxima verosimilitud (MLE), se simuló el método PIF con el procedimiento regional de Hosking y Wallis (1997) y se estudiaron los efectos del modelo PIF con distribuciones de dos y tres parámetros. Se concluyó que para el método regional PIF es mejor aplicar la técnica de máxima verosimilitud (MLE) como estimadora de parámetros ya que arroja los mejores resultados para los cuantiles 0.99 y 0.95, en términos de la base y la raíz del error cuadrático medio para muestras de moderadas a grandes. Para el cuantil 0.995, el método regional de Hosking y Wallis (1997) trabaja mejor para estas mismas muestras.

La aplicación de las metodologías mencionadas y otras más para el cálculo de la avenida índice dependen en gran medida de la información disponible, ya que esto determina que métodos (directos ó indirectos) se pueden utilizar, cada uno de ellos con diferente grado de complejidad. Los métodos directos involucran información proveniente de series de datos de láminas de flujo, como gastos máximos anuales. Los métodos indirectos incorporan datos además hidrológicos como lluvia, abstracciones y características geomorfológicas de la cuenca.

D. Bocchiola *et al.*, (2003), presentan un análisis de las métodos desarrollados para el cálculo de la avenida índice, directos e indirectos, para proveer un criterio cuantitativo confiable para la selección del mejor procedimiento. Los métodos directos evaluados son:

la estimación de series de gastos máximos anuales (AFS) y la estimación de series de duraciones parciales (PDS). Los métodos indirectos analizados son como el de escala invariante de la avenida índice, fórmula empírica, estimación por marcas de avenidas históricas, métodos de geomorfología fluvial basados en descargas sobre los hombros, método de distribución derivada utilizando el método modificado geomorfo-climático (MGC) y los métodos de simulación hidrológica. Se propone un método orientado a la evaluación confiable de la avenida índice tanto para la investigación como para fines prácticos, a través de diferentes escenarios que relacionan la disponibilidad de datos y los métodos aplicables en orden de la complejidad.

Gioia *et al.*(2005) desarrollaron teóricamente una fórmula para la avenida índice que relaciona el gasto medio anual con el área de la cuenca, mediante una relación de ley de potencia empírica. Esta fórmula explica la influencia de las características de la cuenca y debido a la sobreparametrización inevitable, ésta se recomienda para usos técnicos, ya que permite obtener un análisis de sensibilidad a características de las cuencas con una fórmula simple. La fórmula se probó en cuencas al sur de Italia.

Las técnicas de regresión múltiple también han sido aplicadas para relacionar la avenida índice con los parámetros de la cuenca. Por ejemplo en Ontario, Canada, Grover *et al.*(2002) llevaron a cabo un estudio comparativo entre 20 estaciones hidrométricas donde se aplicaron seis técnicas de estimación de parámetros y tres métodos regionales para la predicción de la avenida índice a cuencas no aforadas. Se encontró que el mapeo geoestadístico mejoró significativamente los estimados obtenidos al utilizar el procedimiento ordinario de regresión de mínimos cuadrados.

Para el caso de una región con comportamiento hidrológico definido por eventos tanto ciclónicos como estacionales, características frecuentes en las zonas costeras, el método de la Avenida Índice de Dalrymple (1960) fue modificado por Gutiérrez y Ramírez (2005). La modificación consiste en la obtención de nuevos límites para la prueba de homogeneidad a partir de la función de probabilidad Gumbel Doble, lo que incrementa la confiabilidad del establecimiento de la región homogénea. El método se aplicó a la región hidrológica 10, Río Fuerte en México. Este método permite una representación más apegada a los umbrales de la serie de escurrimientos máximos anuales en regiones donde se presenten eventos definidos por dos poblaciones.

## **Capítulo IV. Diseño y desarrollo de la implementación del Método de la Avenida Índice en un Sistema de Información Geográfica (SIG).**

### **4.1. Antecedentes**

Las ecuaciones matemáticas empleadas en hidrología han sido adaptadas a software para ser utilizadas en computadoras (Wanielista,1997), lo que ha permitido enfrentar problemas hidrológicos complejos. Los programas de cómputo para hidrología más conocidos son: HEC-RAS, SMADA, SWMM, DISTRIB, REGRESS, PLOAD, EZMAT, OPSEW, TCCALC, HEC-HMS, WMS, ICPR, TR-55, etc. Sin embargo, sin desvirtuar la capacidad de estos programas, estos tienen la desventaja de no integrar la variable espacial.

Para incorporar la componente espacial como soporte al estudio de problemas diversos principalmente los concernientes a los recursos naturales, se desarrollaron los programas espaciales y georeferenciados llamados sistemas de información geográfica (SIG). Estos se componen de una base de datos espacialmente referenciada y un conjunto de instrucciones que permiten operar sobre ella (Borrough y McDonell,1998). Los primeros SIG surgieron en la década de los años 70's en forma sistemas para la generación de mapas en forma automática, a la par de los avances computacionales. Los SIG evolucionaron en programas basados en vectores como el producto ArcInfo del Instituto de Investigaciones en Sistemas Ambientales (ESRI), y los basados en raster, como el Sistema de Soporte para Análisis en Aprovechamientos Geográficos (GRASS en inglés) desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos.

En la actualidad los sistemas de información geográficos son reconocidos como sistemas para la organización, manejo y la integración de datos espaciales con la información

asociada a ellos, al mismo tiempo son herramientas que permiten la consulta, análisis y despliegue de ambos tipos de información, y que han sido aplicados en diversas áreas del conocimiento.

La capacidad de los SIG de realizar análisis espacial y modelación ha sido utilizada en varias áreas de la investigación como la hidrología, la geología y la ecología entre otras muchas, lo que ha facilitado el estudio de los problemas encontrados en dichas áreas. En especial, la tecnología de los SIG ha influenciado considerablemente la práctica de la hidrología, inicialmente en el inicio ó el fin de los modelos hidrológicos existentes (Maidment, 1993).

Aunado a lo anterior, el avance tecnológico en la capacidad de almacenamiento, velocidad de procesamiento y capacidad gráfica de los equipos de cómputo ha permitido el uso más amplio de estos sistemas.

Algunas de las aplicaciones de los sistemas de información geográfica en el campo de la hidrología y al manejo de aprovechamientos hidráulicos, se describen de forma breve a continuación.

En cuanto a los Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones (Decision Support Systems, DSS) y Sistemas Expertos (SE) que incorporan la tecnología SIG se han desarrollado variados trabajos, como muestra se mencionan las investigaciones realizadas por, Simonovic (1993) quien presenta un sistema prototipo auxiliar en el control de inundaciones resultado de la integración de un SIG y un SE; Ruland *et al.* (1993) por su parte ensamblan el SIG orientado a objetos Smallworld con los modelos de flujo de elemento finito de transporte para conformar un sistema de información para hidráulica ambiental.

La medición remota es un aspecto de gran importancia en la hidrología, aspecto que ha sido combinado con los SIG en el desarrollo de los sistemas computacionales, Schultz (1993) por ejemplo propone el uso de la información producto de medición remota, ya sea de satélites orbitales, geoestacionarios y de radares climatológicos de tierra, para la estimación, mediante un SIG, de parámetros de modelos hidrológicos, la creación de series históricas y para el pronóstico de avenidas en tiempo real; Marini y Weilguni (2003) desarrollaron un sistema de información hidrológica basado en monitoreo en línea para el río Brantas en Indonesia.

La posibilidad de acoplar los SIG a Modelos Digitales de Elevación (MDE) significa una nueva orientación de los modelos hidrológicos tradicionales en términos espaciales, así como también la creación de nuevos modelos hidrológicos basados en SIG. De entre los trabajos al respecto se menciona el planteado por Maidment (1993,b), que presenta el desarrollo de un hidrograma unitario distribuido espacialmente a través del uso de un SIG y un modelo digital de elevación correspondiente al área. Los estudios de Díaz *et al.* (1999) integran un SIG y un MDE para la estimación de las características fisiográficas de la cuenca del Alto Lerma en México.

Se han propuesto también soluciones a problemas hidrológicos en tercera y cuarta dimensión utilizando los SIG, enfocadas principalmente al agua subterránea. En 1993, Fisher T. realiza una aplicación en este sentido al crear un sistema de información geocientífico integrado en tres dimensiones (3D GCSI) mediante el cual es posible estudiar el proceso del agua subterránea y obtener las condiciones iniciales y de frontera para modelos de transporte de contaminantes.

Otras de las aplicaciones de los SIG son relativas a los temas siguientes: manejo ambiental del agua como lo muestran las investigaciones de Cluis y Quentin, Kaden, Meij van der, en 1993; en sistemas de aguas superficiales, por ejemplo las investigaciones de Delclaux y Boyer, Hay *et al.*, Deursen van y Kwadijk, Muzik y Chang, y Brilly *et al.*, en 1993 y la integración de SIG a sistemas de aguas subterráneas como se muestran en los trabajos de Barrocu y Biallo, Batelaan *et al.* y Burkart y Kolpin, en 1993 por mencionar solo algunas investigaciones. También es posible la determinación de planicies de inundación utilizando el SIG ArcView y el programa de simulación hidráulica HEC-RAS. El enlace entre el SIG Arc-Info y el análisis hidráulico mediante HEC-RAS está representado por el programa HEC-GeoRAS (Maidment y Djokic, 2000).

Una aplicación útil de los SIG en el campo de la hidrología es la implementación de modelos hidrológicos dentro de dichos sistemas; el objetivo general de esta trabajo esta relacionado precisamente con este tema. La mayoría de los productos SIG ofrecen la posibilidad de automatizar cálculos mediante un lenguaje de programación, así como la elaboración de interfaces de usuario.

Las ventajas de los SIG en la modelación hidrológica son las siguientes: estos sistemas cuentan con un gran número de funciones que incrementa su operatividad, facilitan los procesos de desarrollo e implementación de los modelos hidrológicos y permiten una mejor interpretación y análisis de resultados, sin embargo las dificultades en integración de series temporales de datos en entornos SIG ha supuesto un obstáculo importante (Monrad, 2001) en la solución de problemas cada vez más complejos.

Algunos ejemplos de la integración de modelos hidrológicos con un SIG son: el modelo MICRO-FEM y el SIG ILWIS acoplados por Biesheuvel y Hemker (1993) para simulación de agua subterránea, y el modelo ACRU HMS para respuesta hidrológica Kienzle (1993). Como muestra de los modelos creados a partir de los SIG se mencionan los siguientes: el de Stuart y Stocks (1993) que proponen un procedimiento para modelación hidrológica semi-distribuida, y el método de análisis regional de Daviau *et al.* (2000) creado utilizando, Momentos L y métodos geoestadísticos. El modelo hidrológico de la cuenca de Bufalo Bayou fue simulado utilizando el Sistema de Modelación Hidrológica (HEC-HMS) con datos derivados del SIG ArcView (Maidment y Djokic, 2000).

Uno de los trabajos más recientes donde se aplica el SIG a la hidrología es el modelo de datos ArcHydro (Maidment y Morehouse, 2002). Este modelo propone una estructura para almacenar los datos espaciales y las series de tiempo asociadas con los recursos hídricos de un área determinada; estos datos se almacenan en una base de datos geográfica denominada geodatabase. En este modelo la red de ríos se modela con una red geométrica, en la cual todos los ríos se encuentran conectados, sin ciclos y con dirección de flujo asignada. Esto



permite obtener, por ejemplo, tiempos de concentración, y afluentes en un punto. La geodatabase es el núcleo de un sistema de información hidrológico el cual incorpora modelos hidrológicos.

Algunas de las aplicaciones más recientes de los SIG a diversas áreas pueden ser consultadas en el compendio realizado por Longley *et al.* (2005), las cuales son organizadas en: principios, desarrollos técnicos, manejo de problemas y aplicaciones.

En el presente estudio los registros de variables hidrométricas fueron tomados del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS,1999) desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el cual es un sistema para el almacenamiento y consulta de datos hidrométricos de México.

Debido a que el proceso de regionalización de avenidas en cuencas hidrológicas por el método de la Avenida Índice (Dalrymple,1960) requiere de diversos cálculos y de tiempo considerable por la gran cantidad de información involucrada, a la necesidad de contar con curvas de frecuencias en la mayoría de estudios hidrológicos y a la facilidad que ofrece un SIG en el manejo de datos y modelación se decidió implementar una herramienta de modelación regional dentro de un SIG lo que facilitaría la aplicación de este método. El producto SIG que se eligió fue el software ArcGIS, en versión ArcView 8.3, debido a que es uno de los productos más populares y a que muchas aplicaciones de hidrología han sido desarrolladas sobre esta plataforma. La implementación del proceso de regionalización de avenidas dentro de la interfaz de usuario del software ArcView requirió primero diseñar y construir una base de datos. Posteriormente, los cálculos se programaron con el lenguaje Visual Basic para Aplicaciones (VBA) que es el que ofrece ArcView para el desarrollo de aplicaciones.

La implementación del método se probó en dos cuencas pertenecientes a la Región Hidrológica XII, Lerma-Santiago en México. Los resultados se muestran también en una sección de este documento.

En los apartados siguientes se describen los elementos involucrados en la programación del método en ArcView, la estructura del programa y el código fuente.

## **4.2 Preparación de datos**

### **4.2.1 Base de datos hidrométricos**

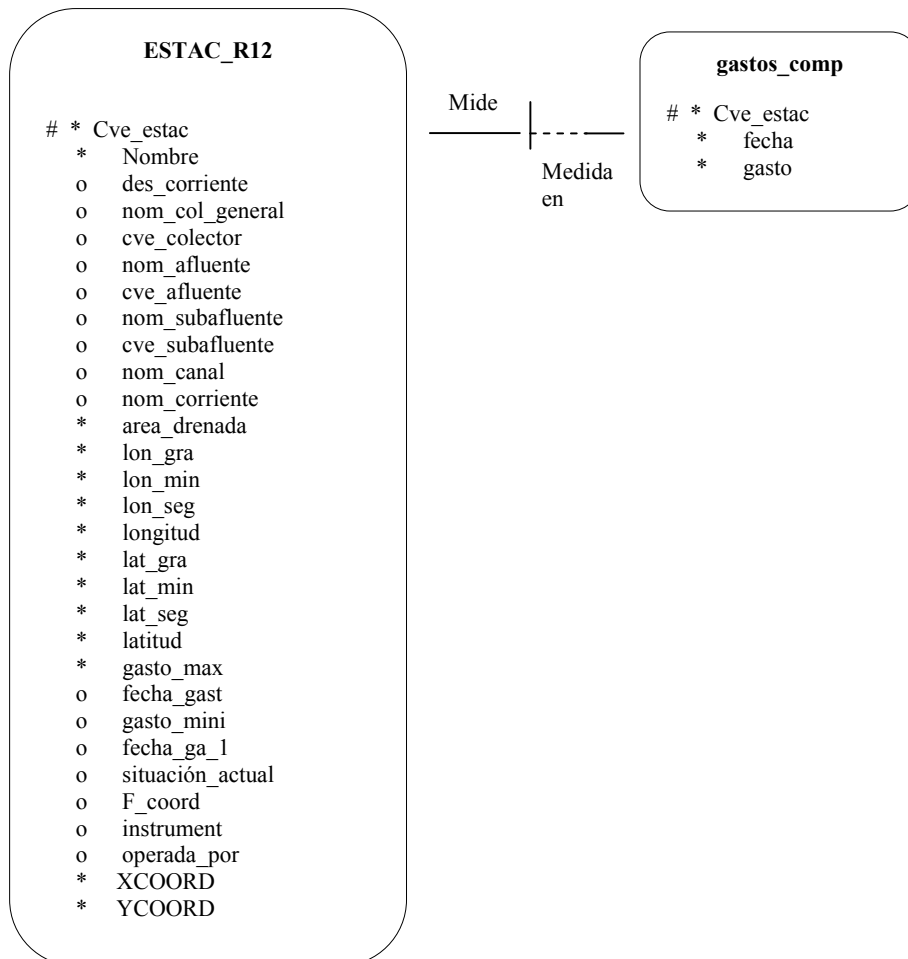
La base de datos hidrométricos fue implementada en Access y consta de dos tablas relacionadas entre sí, una con información acerca de las estaciones hidrométricas (en forma de catalogo) y otra con las series de tiempo que en este caso consisten de registros de gastos diarios.

La tabla de nombre ESTAC\_R12 describe a 318 estaciones hidrométricas por medio de 30 campos. Esta se creó a partir de los archivos Hid\_deeh.dbf y de Hid\_ctrl, ambas son tablas del catalogo del BANDAS (1999) que contenían datos sobre las estaciones hidrométricas

del país; se obtuvieron y complementaron los registros para 318 estaciones de la Región Hidrológica XII. No se incluyeron las estaciones que no contaban con coordenadas geográficas ni las estaciones con ubicación duplicada. Esta tabla se liga con el archivo *shape* del mapa digital de las estaciones hidrométricas a través del campo que contiene la clave de la estación.

Los registros de gastos diarios para cada una de las estaciones hidrométricas se almacenaron en la tabla llamada GASTOS\_COMP. Esta tabla se creó con tres campos que son: la clave de la estación, la fecha y el gasto medio diario registrado en ese día y en la estación; el gasto está dado en m<sup>3</sup>/s. Para extraer los datos del BANDAS y ponerlos en este formato se elaboró un programa de cómputo ad hoc.

La Ilustración 4.1 muestra el modelo entidad-relación de la base de datos hidrométricos y en la Tabla 4.1 se presentan los atributos de la tabla ESTAC\_R12.



**Ilustración 4.1.** Modelo entidad-relación de la base de datos hidrométricos

**Tabla 4.1.** Atributos de la tabla ESTAC\_R12

<b>Columna</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de campo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Enteros</b>	<b>Decimales</b>
Cve_estac	Clave de la est. hidrométrica	Numérico	10	5	0
Nombre	Nombre de la estación	Texto	44		
des_corriente	Nombre de la corriente	Texto	45		
nom_col_general	Nombre del colector principal	Texto	21		
cve_colector	Clave del colector del sistema BANDAS	Numérico		3	0
nom_afluente	Nombre del afluente	Texto	30		
cve_afluente	Clave del afluente del sistema BANDAS	Numérico		3	0
nom_subafluente	Nombre del subafluente	Texto	27		
cve_subafluente	Clave del subafluente del sistema BANDAS	Numérico		3	0
nom_canal	Nombre del canal	Texto	31		
nom_corriente	Nombre de la corriente	Texto	44		
area_drenada	Area drenada por la corriente	Numérico		5	0
lon_gra	Grados longitud	Numérico		3	0
lon_min	Minutos longitud	Numérico		2	0
lon_seg	Segundos longitud	Numérico		2	0
longitud	Longitud en grados	Numérico		3	7
lat_gra	Grados latitud	Numérico		2	0
lat_min	Minutos latitud	Numérico		2	0
lat_seg	Segundos latitud	Numérico		2	0
latitud	Latitud en grados	Numérico		3	7
gasto_max	Gasto máximo registrado	Numérico		3	3
fecha_gast	Fecha de la ocurrencia del gasto máximo	Fecha	10		
gasto_mini	Gasto mínimo registrado	Numérico		1	3
fecha_ga_1	Fecha de la ocurrencia del gasto mínimo	Fecha	10		
situación_actual	Situación actual de operación	Texto	13		
F_coord	Fuente de obtención de las coordenadas	Texto	8		
instrument	Instrumentación de la estación	Texto	9		
operada_por	Organismo encargado de la operación	Texto	10		
XCOORD	Coordenada X, UTM	Numérico		6	8
YCOORD	Coordenada Y, UTM	Numérico		6	8

## 4.2.2 Información espacial (cuencas y subcuencas)

La delimitación de cuencas y subcuencas usada en este trabajo fue la reportada en el conjunto de datos vectoriales de aguas superficiales, escala 1:250,000, del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) de México. Esta información se usó en la proyección Cónica Conforme de Lambert y con los parámetros que el INEGI define, los cuales son los siguientes:

Este falso : 2,500,000  
Norte falso: 0  
Meridiano central : -102  
1er Paralelo estándar: 17.5  
2do Paralelo estándar: 29.5  
Latitud de origen: 12

La cartografía utilizada por INEGI para la elaboración de los conjuntos vectoriales corresponde a las cartas de la Serie I editadas durante la década de los setentas e impresas en la década de los ochentas. De la carta topográfica escala 1:50,000, el INEGI representó digitalmente la estructura hidrográfica y asignó la consistencia espacial al conjunto vectorial.

Actualmente se encuentra en proceso la generación de la Serie II de Conjuntos vectoriales. Esta contendrá la actualización de la cartografía del país. Tales trabajos están a cargo de la Comisión Nacional del Agua, el Instituto Nacional de Ecología y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

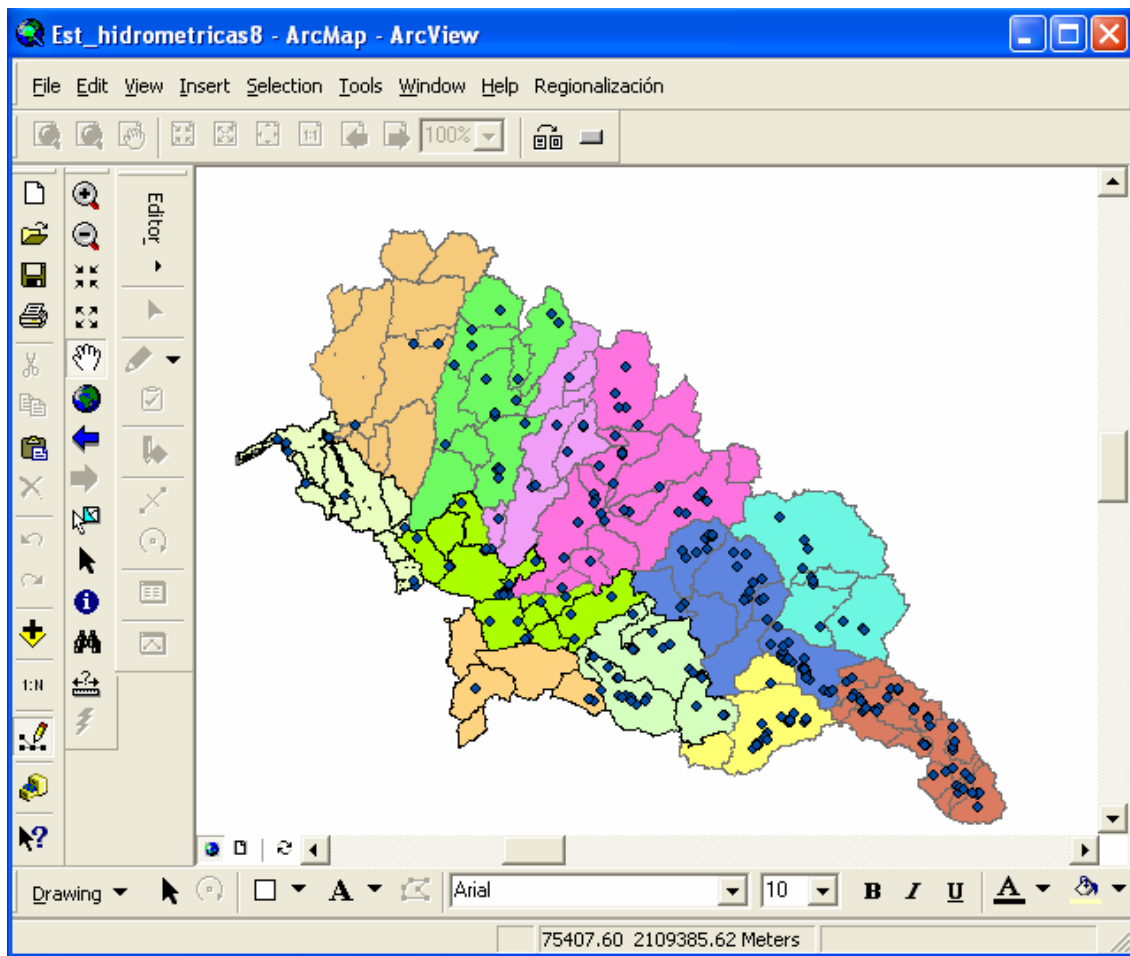
Para el estudio se seleccionaron las cuencas y subcuencas pertenecientes a la Región Hidrológica XII. En la Ilustración 4.2, se muestran la configuración de estaciones hidrométricas, cuencas y subcuencas de dicha región. Los mapas digitales de estos temas se manejaron en archivos *shapefile*. La descripción de la zona de estudio se presentará posteriormente.

## 4.3 Arquitectura del programa del Método de la Avenida Índice

### 4.3.1 Descripción del programa

El programa de regionalización por el método de la Avenida Índice se diseñó de tal manera que las intervenciones del usuario en el proceso fueran mínimas y que la interfaz para su uso fuera amigable. La aplicación está dirigida a hidrólogos y a usuarios con actividades afines al campo de la hidrología.

El programa de cómputo que permite realizar el proceso de regionalización de avenidas fue elaborado dentro del sistema de información geográfica ArcGIS 8.3, en versión ArcView. Este software, al igual que los productos de Microsoft Office, ofrece el lenguaje Visual Basic para Aplicaciones (VBA) con el cual se pueden desarrollar procedimientos que permiten automatizar procesos y así facilitar su uso. Este lenguaje permite realizar programación orientada a objetos. Adicionalmente, el software ArcGIS ofrece un conjunto de objetos, denominado ArcObjects, el cual permite manejar la información geográfica mediante programación y así automatizar procesos.



**Ilustración 4.2.** Configuración de capas de subcuencas y estaciones hidrométricas de la Región XII en el SIG.

El programa despliega una serie de ventanas de dialogo donde se van mostrando los cálculos parciales, se solicita al usuario que realice decisiones sobre el procedimiento, se muestran los resultados finales y una última ventana de dialogo para la ejecución de pronósticos de gastos asociados con un periodo de retorno dado utilizando los resultados de la regionalización obtenida. El programa aplica el método de la Avenida Índice de Dalrymple (1960), y además fueron implemetadas dos opciones que modifican este método para permitir el análisis del mismo y un procedimiento de pronóstico. Tanto los cálculos parciales, los resultados finales y la gráfica de la curva regional pueden ser exportados a Excel para su manejo.

La implementación de este método de regionalización dentro de un SIG permitió aprovechar las características que ofrece este software para el manejo de la información espacial requerida en el análisis hidrológico, resultando así una herramienta útil.

#### 4.3.2 Componentes de la aplicación

Los archivos que se requieren para la implementación del método se organizaron en 3 directorios: componentes, base\_de\_datos y mapas. En el primero de ellos se almacenana los archivos que corresponden a los objetos o controles que se usan en la interfaz de usuario pero que no están incluidas dentro del conjunto de controles que vienen con el

software ArcGIS, por ejemplo, el control Spread sheet que permite la presentación de resultados en una hoja de calculo y exportarlos a Excel.

En el directorio base de datos se almacenó el archivo el archivo de Access que contiene la base de datos con la estructura que se describió en la sección 4.2.1. El nombre del archivo de Access es Hidro\_Base.

En el directorio mapas se almacenan los archivos en formato *shapefile* que corresponden a los mapas cuencas, subcuencas y la ubicación de estaciones hidrométricas.

El archivo que contiene el código con la implementación del método de la Avenida Índice se encuentra en un archivo de proyecto de ArcGIS 8.3 (ArcView) cuyo nombre es Método\_Avenida\_Índice.mxd.

Como parte de la implementación se desarrolló también un programa de instalación (con la utilería de Empaquetado que viene en el software Visual Estudio) el cual crea la estructura de directorios que se mencionó e instala los controles necesarios para el funcionamiento de la aplicación.

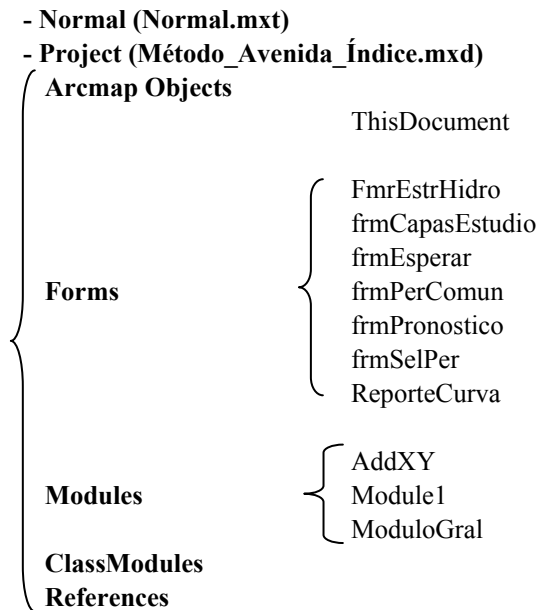
### **4.3.3 Código fuente**

#### **4.3.3.1 Aspectos generales**

El software ArcView, al igual que las aplicaciones de Microsoft Office, ofrece el mecanismo para crear elementos como botones o barras de herramientas con el fin de implementar la funcionalidad requerida. De acuerdo a lo anterior, para ejecutar el código elaborado se agregó un botón a la interfaz de usuario de la aplicación ArcMap, que es parte de producto ArcGIS 8.3.

Los elementos y el código elaborado se guardaron en un proyecto de ArcView, que es un archivo de extensión .mxd. Asimismo, se deben elaborar las ventanas de dialogo (mediante un objeto form), los procedimientos o subrutinas que realizan las tareas necesarias (almacenados en un módulo) y las clases que se requieran. En un documento de ArgGIS existen objetos creados por el software y otros por el usuario.

La Ilustración 4.3 muestra los objetos ya existentes y aquellos que fueron creados dentro del proyecto de ArcView para implementar el método de la Avenida Índice.



**Ilustración 4.3.** Objetos preexistentes y creados para el cálculo de la Avenida Índice.

#### 4.3.3.2 Descripción de los objetos principales que componen la aplicación

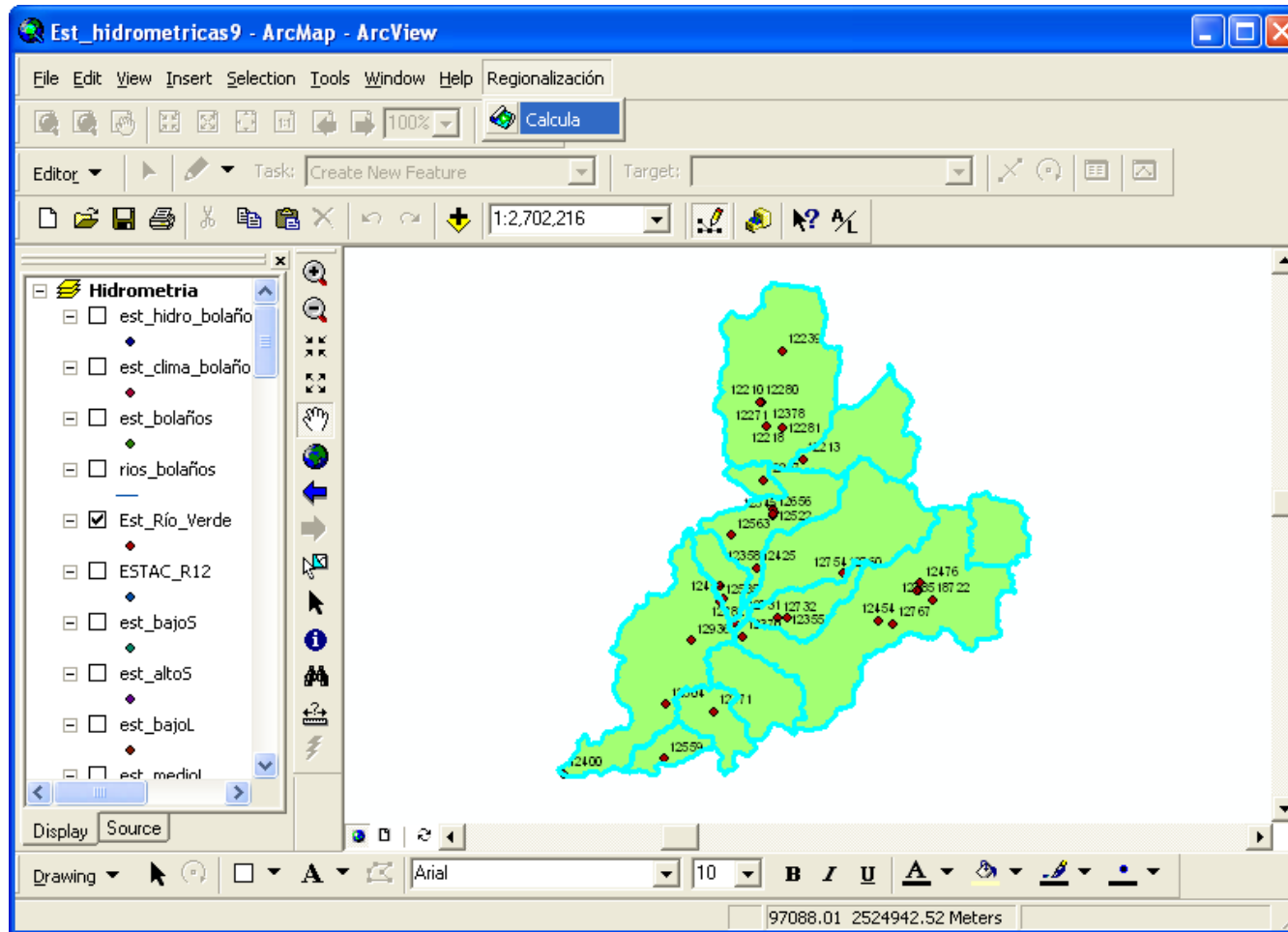
Se describen enseguida los objetos principales mostrados en la Ilustración 4.3.

*ThisDocument.*

Este es un objeto que ya existe por default y que hace referencia al documento que se tiene en uso dentro de ArcGIS. Cuando se agrega un botón a la interfaz de usuario de ArcGIS (dentro de la aplicación ArcMap), los eventos asociados con este objeto son agregados al código del objeto *ThisDocument*. Este objeto tiene también eventos que permiten realizar acciones, por ejemplo, cuando se abre o se cierra el documento.

Las ventanas de dialogo con el usuario, que se requerían para el proceso de regionalización se implementaron con objetos *Form*. Estos objetos pueden contener a otros objetos (botones, cuadros de texto ó listas), los cuales sirven para mostrar datos al usuario o para que éste defina los parámetros necesarios en el proceso. En el proyecto de regionalización se crearon siete ventanas de dialogo para dar la funcionalidad que se requería.

Se presentan a continuación breves descripciones de las ventanas de dialogo en orden del desarrollo de la aplicación y los módulos implementados. En la Ilustración 4.4 se muestra la ventana de dialogo principal en ArcMap el inicio del programa “*Regionalización*”.



**Ilustración 4.4.** Ventana de diálogo principal para la aplicación del programa “Regionalización”



### *Ventana de dialogo FmrEstHidro*

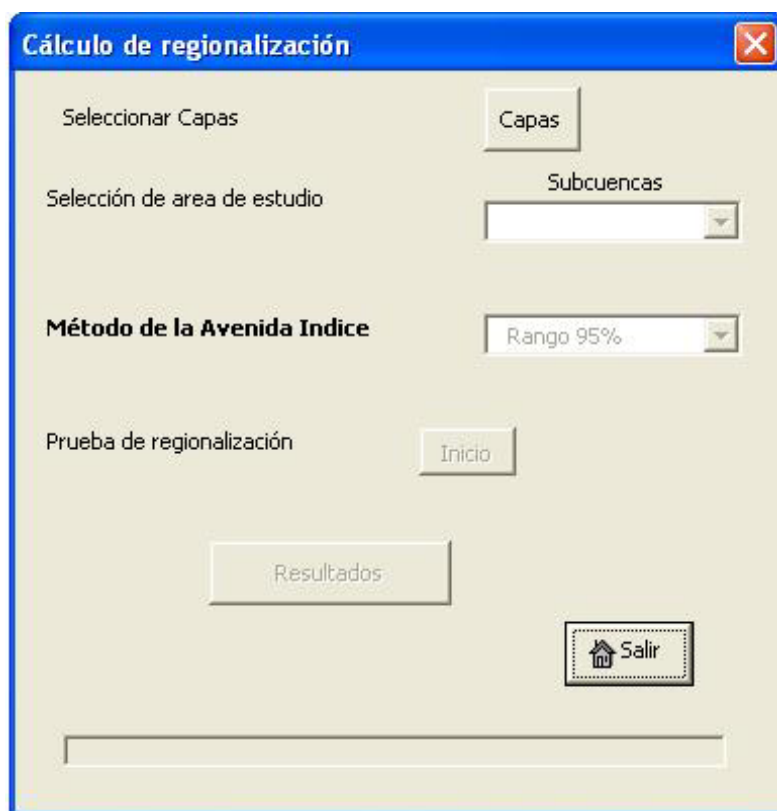
Es la ventana de dialogo principal y con la que inicia el proceso de regionalización; se despliega al dar clic en la opción “Calcula” que está en el botón “Regionalización” dentro de la interfaz de usuario de ArcMap.

Esta ventana llama al código para conectarse a la base de datos (el cual se ejecuta cuando se despliega), contiene el código para identificar los mapas que se tienen cargados (de puntos y polígonos), también permite seleccionar los mapas de cuencas y estaciones hidrométricas que serán utilizados en el análisis, identificar las estaciones hidrométricas existentes y elegir un conjunto de ellas, y contiene el código que implementa el método de la Avenida Índice (Dalrymple,1960). En el código la información se almacena con arreglos dinámicos y estáticos y se utilizan variables públicas cuando se desea compartir datos entre varios objetos ó procedimientos.

En la ventana de dialogo se ofrece también la opción de elegir el nivel de confianza de homogeneidad de Langbein que se aplicará. Los niveles de confianza que están disponibles son 90%, 95% y 99%.

Durante el análisis también se da al usuario la opción de definir el periodo de años que desea para el análisis; si no lo define, el programa calcula automáticamente un periodo común.

La forma acciona seis ventanas de dialogo a través de las cuales se realizan las operaciones ya mencionadas. En la Ilustración 4.4 se muestra el diseño de *FmrEstHidro*.



**Ilustración 4.5.** Ventana de dialogo *FmrEstHidro*

### *Ventana de dialogo frmCapasEstudio*

En esta ventana de dialogo se realiza la selección los mapas de cuencas y estaciones hidrométricas que utilizará el programa. Cada capa es elegida de la lista correspondiente a lista de mapas de polígonos (cuencas) ó mapas de puntos (estaciones).

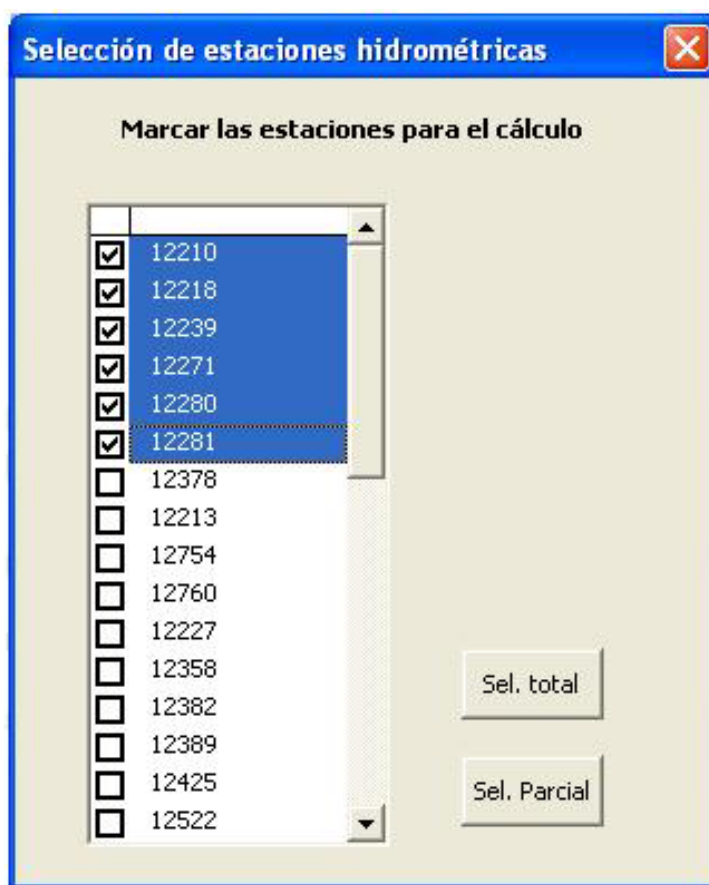
Al terminar la selección, la ventana se cierra y se continúa con el proceso desde la ventana de dialogo principal.

### *Ventana de dialogo Selecciona*

Presenta las estaciones que el programa identificó en el mapa de estaciones indicado en una lista, a partir de la cual se crea la muestra de estaciones que intervendrán en el análisis. Es desplegada la hacer clic en el botón *Inicio* que se encuentra disponible en la ventana principal.

Si se desea utilizar el total de las estaciones existentes, se tiene la opción de indicar que la selección será total al contrario de la opción de selección parcial que se establecerá si se toma una muestra.

El proceso continúa al cerrar la ventana después de la selección deseada, además se inicia el cálculo del método de la Avenida Índice programado en la función *periodoComun*.



**Ilustración 4.6.** Ventana de dialogo *Selecciona*

### *Ventana de dialogo SelPer*

Dentro del procedimiento diseñado para la función *periodoComun*, en la cual el programa establece un periodo común de análisis, se despliega esta ventana. En esta ventana de dialogo el usuario indicará si el cálculo será realizado con un periodo común definido de años de registro o si el programa deberá seleccionar este periodo.

Si se opta por que el programa defina el periodo común la ventana se cierra y el proceso sigue, ó si se desea establecer un periodo, se deberá ingresar del año mínimo y el año máximo del periodo común en las cajas de texto correspondientes.

### *Ventana de dialogo PerComun*

En esta ventana se muestran los resultados en una hoja de cálculo, del análisis que el programa realizó en cuanto al periodo común y a la prueba de homogeneidad del método de la Avenida Índice.

También se da la oportunidad al usuario de exportar estos resultados dentro de esta ventana de dialogo. Al cerrar este objeto el análisis prosigue desde la ventana principal.

### *Ventana de dialogo ReporteCurva*

La ventana *ReporteCurva* se muestra al hacer clic en el botón *Resultados* de la ventana principal. La forma almacena los resultados del cálculo de regionalización y la curva regional además contiene la opción par realizar los pronósticos en la región de estudio.

Los resultados pueden ser exportados al igual que en la ventana anterior. Al indicar la salida de este objeto se regresa a la ventana principal para finalizar la aplicación.

### *Ventana de dialogo FmrPronostico*

La ventana es desplegada al hacer clic en la opción *Pronósticos* que se encuentra en la ventana descrita previamente.

Si requiere pronosticar uno o varios gastos para diferentes periodos de retorno (T) en la región de estudio, a través de esta forma es posible. Se ingresan los valores de las áreas correspondientes a las estaciones homogéneas, se indican los datos necesarios de la zona de estudio como son el área y el periodo de retorno, y el programa calculará el gasto correspondiente.

Existe la opción de generar diferentes pronósticos de gastos al hacer clic en el botón *Nuevo*, los resultados anteriores son borrados y se ingresan los nuevos parámetros del área no aforada para obtener el gasto correspondiente. Cuando se descarga este objeto se despliega nuevamente la ventana principal y solo resta finalizar la aplicación la hacer clic en el botón *Salir*.

Estaciones para la Regionalización

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Período común de estudio 1986-1968								
2	Selec.	>10 Años	P. Común	Q2.33	Q10	Homogenea			
3	12218	12239	12280	18.6862	22.667	12358			
4	12239	12271	12378	15.22219	16.899	12382			
5	12271	12280	12358	6.168519	66.1966	12425			
6	12280	12281	12382	85.83969	493.224	12370			
7	12281	12378	12425	29.37671	241.6	12422			
8	12378	12754	12656	0.988536	1.183	12454			
9	12213	12760	12370	60.96166	438.445	12585			
10	12754	12358	12422	3.708831	237.979				
11	12760	12382	12454	28.20687	386.286				
12	12227	12425	12476	2.312844	2.76				
13	12358	12545	12400	130.0591	381.005				
14	12382	12656	12585	26.4103	67.503				
15	12389	12369	12371	62.04725	134.157				
16	12425	12370							
17	12522	12422							
18	12545	12454							

PCOMUN

Salir

Ilustración 4.7. Ventana de diálogo *ReporteCurva*

Pronostico de gastos

**Áreas de influencia de las estaciones homogéneas (km<sup>2</sup>)**

Estación: 12585      Area:

OK

completado

**Datos de la zona no aforada**

Periodo de retorno, Tr: 20

Area (km<sup>2</sup>): 1000      OK

El gasto en la zona de estudio es de 245.4333 m<sup>3</sup>/s  
para un Tr = 20 años

Nuevo      Salir

Ilustración 4.8. Ventana de diálogo *FrmPronostico*

## Módulos

La aplicación contiene tres módulos, como se mostró en la Ilustración 4.3. Los módulos son paquetes de código de programación con un nivel global de aplicación en el proyecto, pueden ser macros, procedimientos ó funciones. Se presenta entonces la descripción de los módulos.

### Módulo *Module\_Gral*

Contiene varias funciones entre ellas la que realiza la conexión a la base de datos así como también algunas variables globales principales que se presentan en la Tabla 4.2.

### Modulo *Module1*

Contiene el resto de las variables usadas en el análisis de regionalización., las variables se presentan en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.2.** Variables globales del modulo *Module\_Gral*.

<b>Nombre de variable</b>	<b>Tipo</b>
YaAbriBaseDeDatos	Boolean
DirApp	String
arrArreglo()	Single
numRegRes	Integer
cnBDLuvia	Connection
cnBDReporte	Connection
est	Integer
TrFina()	Single
arrReg()	Single
arrRMfinal()	Single
num_est	Integer
estac()	Single
arrCurva()	String
NombreReporte	String
Q2()	Single
Q10()	Single
T10()	Single
Rhomo	Integer

**Tabla 4.3.** Variables globales del modulo *Module1*

<b>Nombre de variable</b>	<b>Tipo</b>
pArrCuenca()	String
m_pCapaEstaciones	Ilayer
parrACuenca()	Single
AC	Integer
AREAT	String
resultado	String
arrdoble()	Variant
pArrEstacion()	Variant
arrepetido()	Variant
grupos	Integer
arrEstP()	Single
c	Integer
intNoDeEstaciones	Integer
per_min	Integer
per_max	Integer
esth()	Variant
numEstHidro	Integer
arrCLangbein()	String
pArrEstSel()	Variant
NumEstSel()	Integer
ArrDF()	Single
arrDatFaltan()	Single
estFalta10	Single
estFaltaMas	Single
NumEstmet	Integer
Lprocess	String
SelPC	Integer

No se utilizaron elementos tipo *ClassModules* y *References* en el programa. El conjunto de los objetos descritos en el punto anterior conforman el programa “*Regionalización*” .

## **Capítulo V. Descripción de la zona de estudio**

### **5.1. Marco físico de la Región Lerma-Santiago**

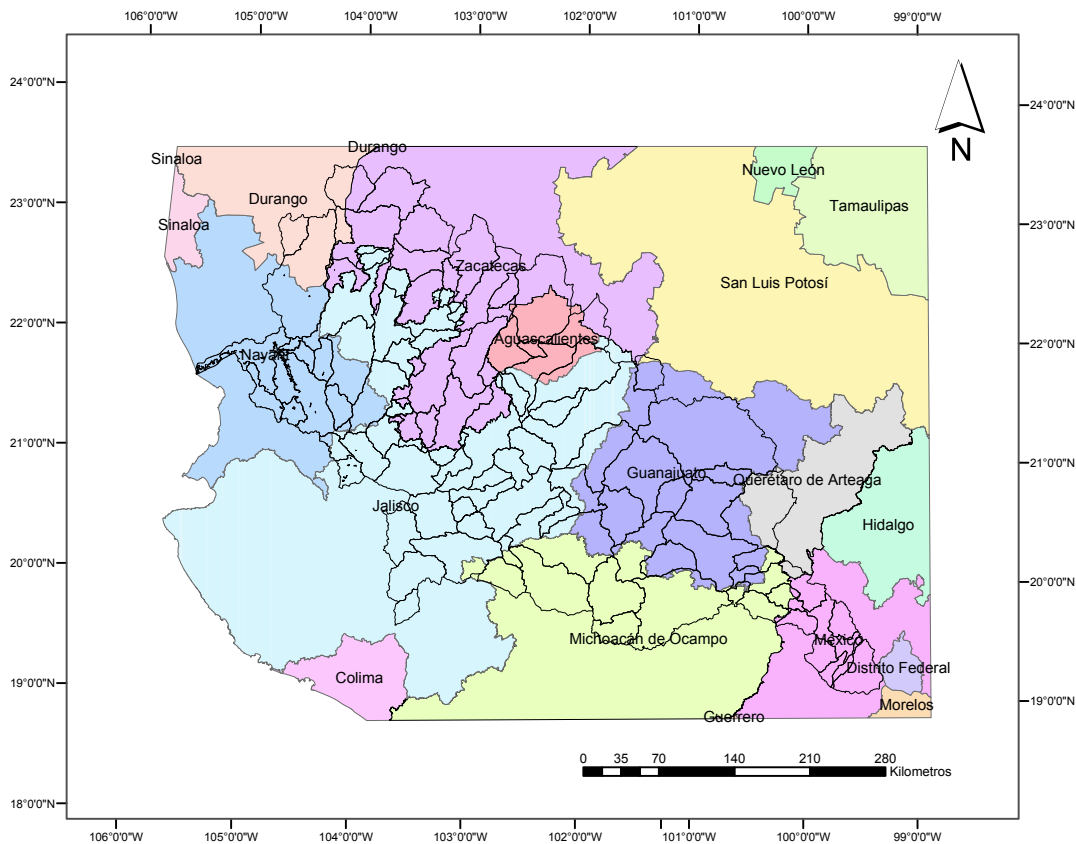
#### **5.1.1 Localización**

México se encuentra dividido en 37 regiones hidrológicas de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (Conagua) (SIGA,2004). La Región Hidrológica XII corresponde a la cuenca Lerma-Santiago.

La Región Lerma-Santiago abreviada como R. H. XII es de gran importancia natural, económica y social para el país. Su extensión es de aproximadamente 134,581 km<sup>2</sup>, y es una de las cuencas más grandes del país y de Latinoamérica. En ella se concentran el mayor número de poblaciones y actividades productivas del país además de que posee una de las zonas agrícolas más importantes en México: la zona conocida como El Bajío.

La cuenca se localiza al centro-oeste del país, entre los meridianos 99° y 106° y los paralelos 19° y 24°, como se muestra en la Ilustración 5.1. Esta ubicación corresponde a la zona centro occidente del país. La R. H. XII comprende parte de los estados de: Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas, quedando inmersos 255 municipios que representan el 7% de la superficie total del país.

Esta Región contiene al sistema hidrológico constituido por el Río Lerma, que descarga al lago de Chapala, y continúa por el Río Santiago hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. De esta forma el 29.6% de la superficie de la cuenca corresponde al río Lerma, el 6.5% al Lago de Chapala y el 63.9% al río Santiago.



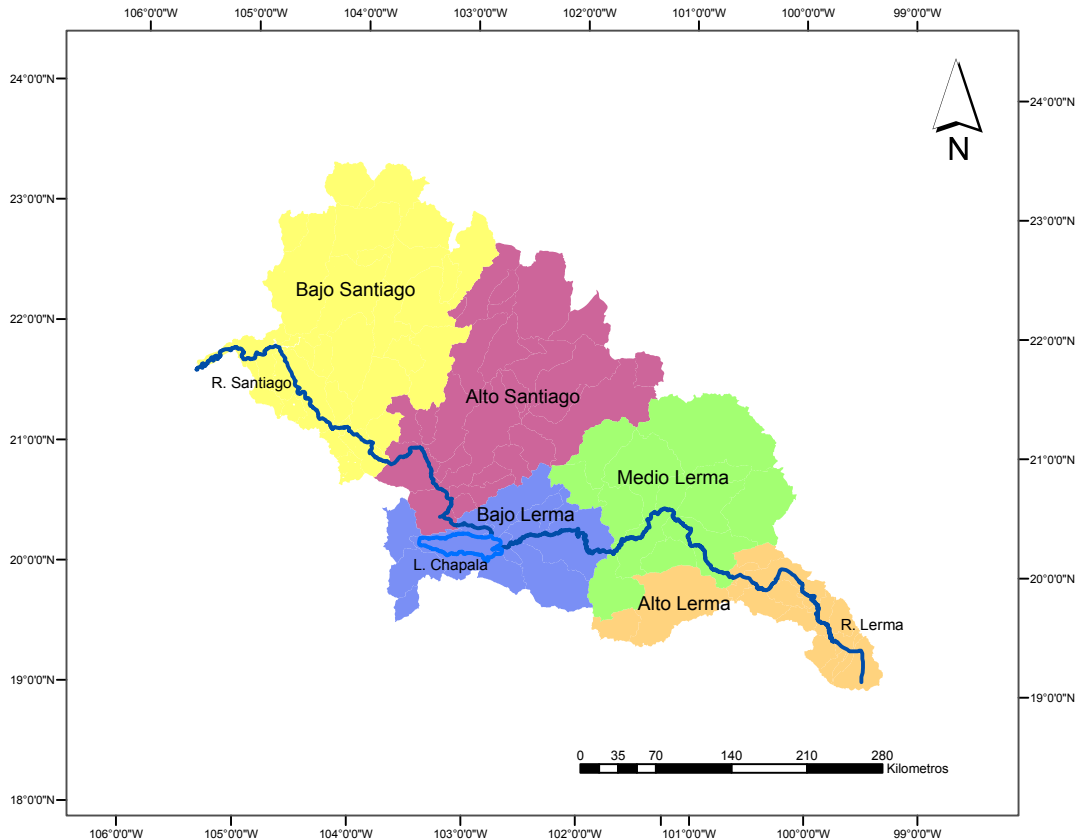
**Ilustración 5.1.** Localización de la Región Hidrológica Lerma-Santiago

Dentro del Programa Hidráulico 1995-2000, la Conagua dividió al país en 13 regiones hidrológicas administrativas. La región hidrológica XII queda inmersa parcialmente en la región administrativa Lerma-Santiago-Pacífico, o Región VIII, que a su vez se subdividió en seis subregiones, de las cuales cinco corresponden solo a la región hidrológica XII y son: Bajo Lerma, Alto Lerma, Medio Lerma, Bajo Santiago y Alto Santiago. Ver Ilustración 5.2.

Las delimitaciones de las subregiones son las siguientes:

- **Alto Lerma.** Comprende los territorios que drenan sus aguas desde el origen del Río Lerma en el Estado de México, hasta la Presa Solís en el estado de Guanajuato.
- **Medio Lerma.** Se extiende desde aguas abajo de la Presa Solís hasta la estación hidrométrica Jerécuaro. En esta subregión se ubica la mayor parte del Estado de Guanajuato.
- **Bajo Lerma.** Comprende las cuencas ubicadas desde aguas abajo de la estación hidrométrica Yurécuaro hasta la estación Corona, ubicada al norte del Lago de Chapala. En ella quedan incluidos los Lagos de Chapala, San Marcos, Sayula y Atotonilco. Sus principales afluentes son el Río Duero y el Zula.
- **Alto Santiago.** Está comprendida por los territorios que captan agua desde la estación hidrométrica Corona hasta la Presa Santa Rosa en Jalisco.

- **Bajo Santiago.** Abarca las cuencas desde aguas abajo de la Presa Santa Rosa hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, ubicado en el estado de Nayarit.



**Ilustración 5.2.** División de la R. H. XII en subregiones hidrológico administrativas para el manejo del agua.

### 5.1.2. Topografía

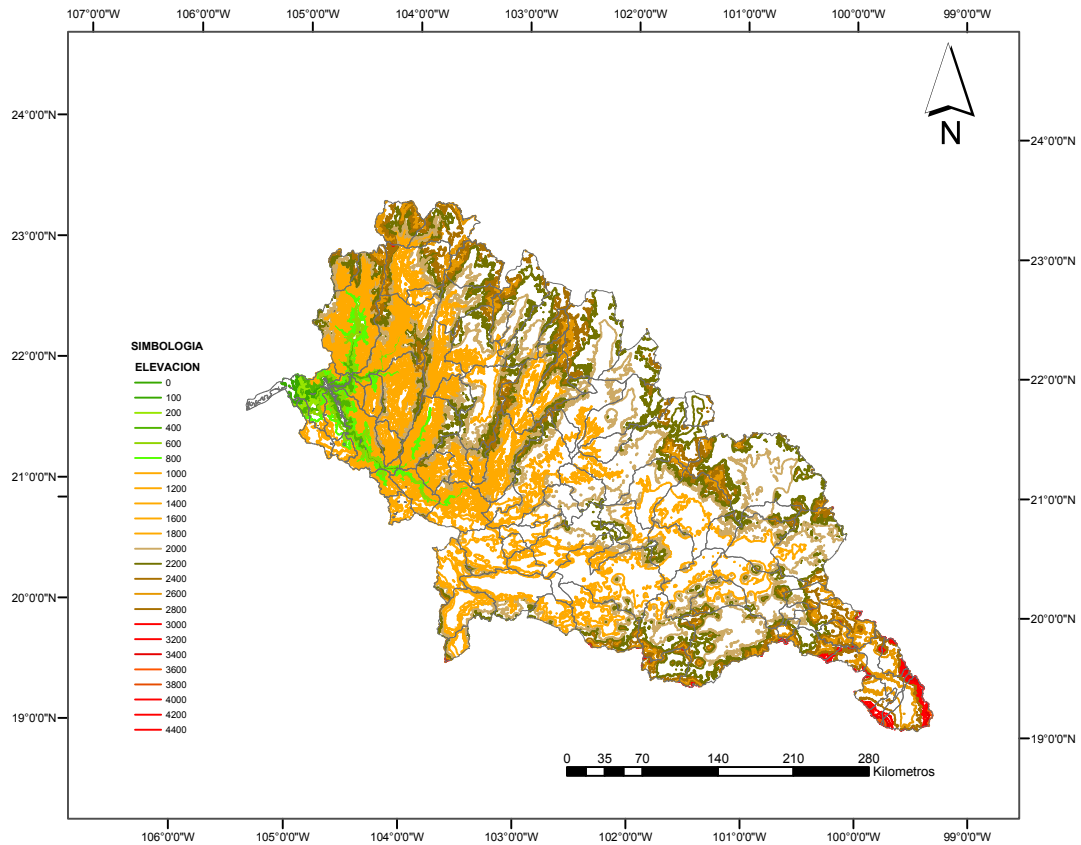
Las características topográficas son muy variadas, se encuentran desde zonas montañosas hasta planicies, depresiones, cuencas cerradas y grandes lagos, entre los que destaca el de Chapala, que es el más grande del país y una zona costera correspondiente a la desembocadura de la cuenca.

La Región tiene una dirección oriente-occidente lo que coincide con la máxima elevación en el oriente de la cuenca y la desembocadura al occidente. Los rasgos topográficos se aprecian claramente en la Ilustración 5.3.

En el origen del sistema hidrológico se localizan las mayores elevaciones propias del Eje Neovolcánico. La máxima elevación en la región es de 4400 m.s.n.m. Las elevaciones disminuyen formando algunas planicies en la zona del Medio Lerma hasta la generación de una zona de lagos; la desembocadura del río Lerma tiene lugar en el más grande de ellos: el



Lago de Chapala. La porción norte-occidente o cuenca Santiago es la más accidentada especialmente en la zona Bajo Santiago, las elevaciones están en un rango de los 2800 a 0 m.s.n.m.



**Ilustración 5.3.** Rasgos topográficos de la R. H. XII en m.s.n.m.

Este desigual relieve que presenta la región afecta de la misma manera la distribución de sus recursos naturales y los núcleos urbanos entre otros factores, y también trae como consecuencia una amplia diversidad de ecosistemas.

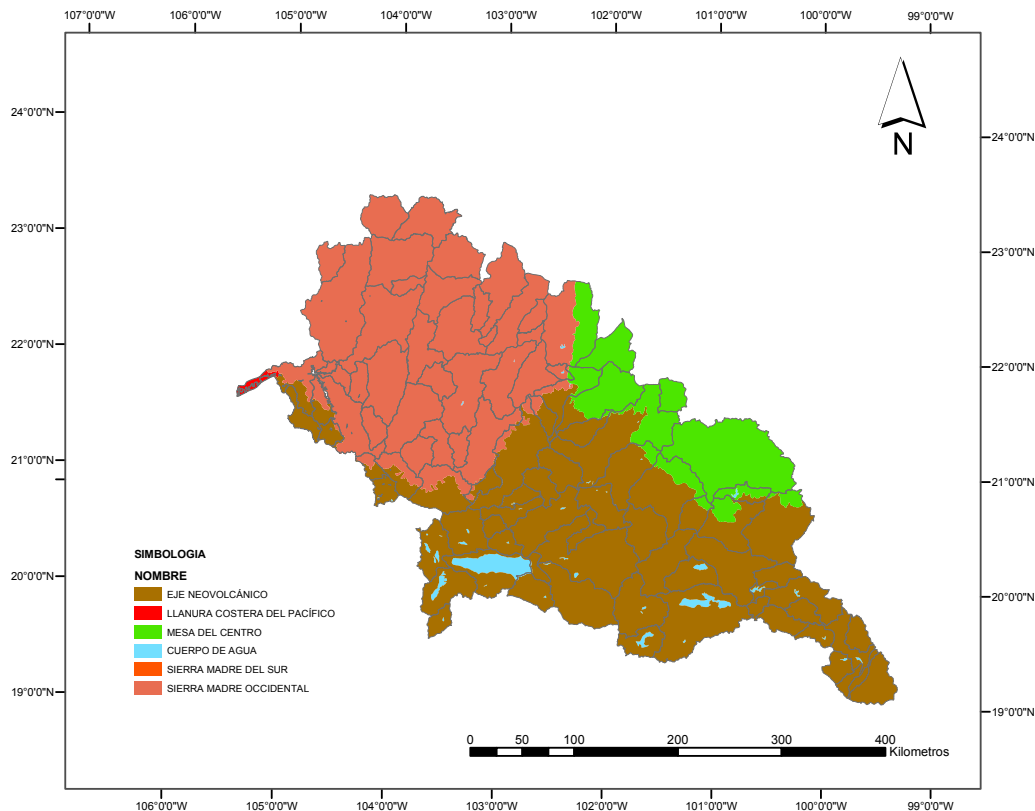
### 5.1.3. Fisiografía

Dentro de la región se encuentran parcialmente tres provincias fisiográficas que son: las provincias del Eje Neovolcánico, Mesa del Centro y Sierra Madre Occidental, como se observa en la Ilustración 5.4.

La porción correspondiente a la provincia del Eje Neovolcánico cubre el 47.72 % de la superficie de la región y comprende parte de los estados de Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Querétaro y el Estado de México. Ocupa casi la totalidad de la cuenca del río Lerma.

El Eje Neovolcánico es un cinturón montañoso que cruza el centro del país de este a oeste y en donde se encuentran la mayor parte de los lagos naturales y los volcanes de México algunos de ellos todavía son activos. Sus montañas más altas son: Pico de Orizaba, Iztlacíhuatl y Popocatepetl. Los lagos principales son Pátzcuaro, Chapala y Cuitzeo.

Esta provincia es considerada también como la división fisiográfica y biogeográfica entre América del Norte y Centroamérica, además de constituir una frontera climática.



**Ilustración 5.4.** Provincias fisiográficas de la R. H. XII.

La provincia de la Mesa Central ocupa el 12.57% de la superficie de la región y comprende parte de Guanajuato, Querétaro, Jalisco, Aguascalientes y Zacatecas. Se localiza al noreste de la Región. Es la provincia con menor participación en la Región.

A diferencia de la provincia del Eje Neovolcánico, la Mesa Central abarca varias cuencas a lo largo de su extensión como son: la cuenca del río Aguanaval, la parte media de la del Nazas, la del Grande de Santiago, así como los afluentes del río Lerma entre ellos el río Lajas.

En este sistema predominan amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas, en su mayoría de naturaleza volcánica. Su ubicación corresponde al centro del país.

Finalmente, la provincia de la Sierra Madre Occidental comprende el 39.71% de la región. En esta zona se encuentran parcialmente los estados de Jalisco, Nayarit, Zacatecas, Aguascalientes y Durango.

Esta provincia es producto de la acumulación de materiales volcánicos y en ella se encuentran picos con elevaciones hasta de 3000 m.s.n.m. También se encuentran formaciones caprichosas rocosas como la Barranca del Cobre.

#### **5.1.4. Geología**

Las clases de rocas que caracterizan a la Región son las ígneas extrusivas (que se encuentran en la mayor parte de la zona) rocas sedimentarias y las rocas ígneas intrusivas y metamórficas que son las de menor presencia.

Las rocas metamórficas afloran principalmente en las subregiones Medio Lerma y Alto Santiago, se trata de esquistos formados en la era Mesozoica durante los periodos Triásico y Cretácico.

En las subregiones Medio Lerma y Bajo Santiago se concentran las rocas ígneas intrusivas. Predominan las ígneas intrusivas ácidas y las riolitas originadas ambas en el Cenozoico terciario. También se encuentran en menor proporción las andesitas y rocas ígneas intrusivas intermedias pertenecientes a la era Mesozoica y al periodo Cretácico.

Las rocas sedimentarias representan el 11% de la superficie de la región aproximadamente y están distribuidas principalmente en las subregiones Medio Lerma y Alto Santiago. La mayor concentración de rocas sedimentarias se presenta en la cuenca del río Verde.

Se encuentran rocas areniscas, conglomerados y rocas volcanoclásticas originadas en la era Cenozoica del Cuaternario. Las areniscas-conglomerados, limolitas-areniscas y calizas-limolitas de la Región pertenecen a la era Cenozoica del periodo Neógeno.

También existen en la Región rocas calizas, lutitas, caliza-lutita y lutita-arenisca que se formaron durante la era Mesozoica en el periodo Cretácico.

Aproximadamente en el 71% de la R. H. XII yacen rocas ígneas extrusivas, prácticamente en todas las subregiones y en la totalidad de la zona Bajo Santiago. Estas rocas se formaron en la era Cenozoica durante los periodos Cuaternario y Neógeno, se encuentran todos los tipos de rocas extrusivas ácidas, básicas e intermedias, comunes en la formación de la Sierra Madre Occidental.

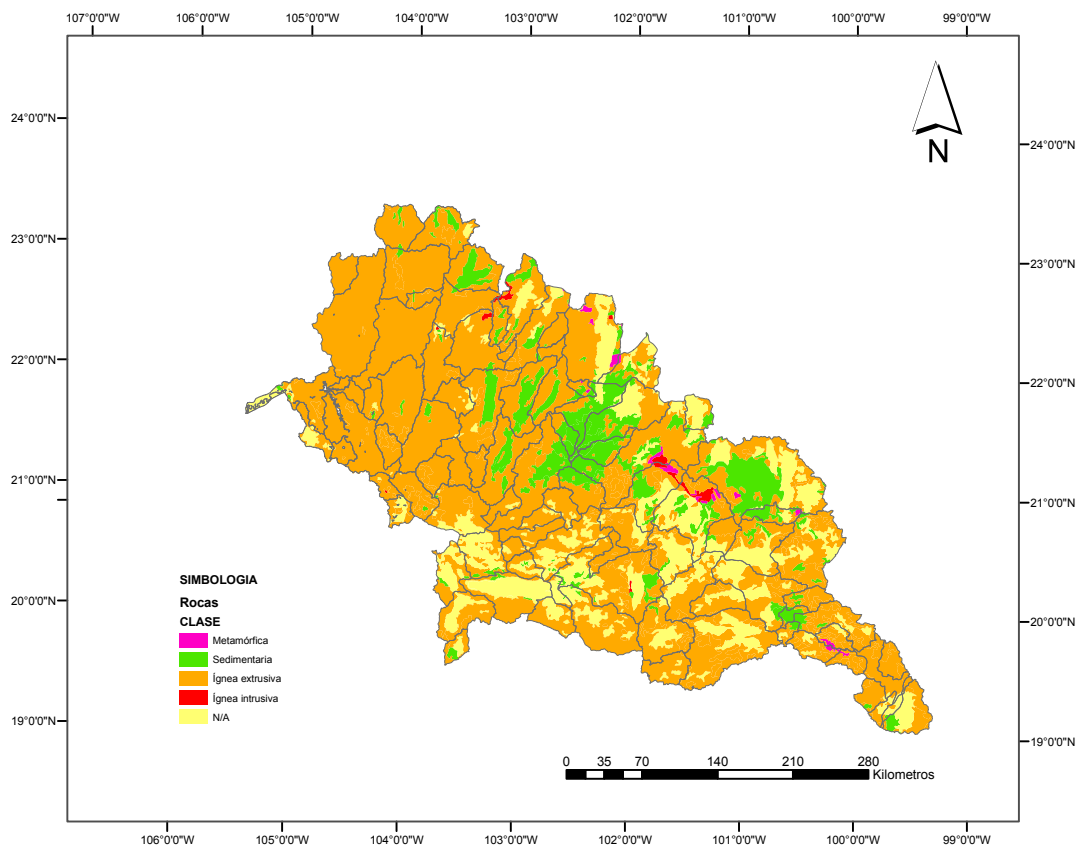
#### **5.1.5. Edafología**

Existe gran diversidad de suelos en la Región, por lo que se encuentran la mayoría de unidades de suelos definidas por el sistema de clasificación FAO/UNESCO.

En aproximadamente el 60% de la superficie de la Región XII predominan unidades de suelos tipo Feozem y Vertisoles que se caracterizan por ser ricos en nutrientes y suaves,

además de los Regosoles propios de las zonas montañosas y de estructura poco desarrollada.

Los suelos tipo Feozem ocupan el 31.19% de la superficie de la región. Estos suelos se caracterizan por contar con una capa superficial oscura, gruesa y rica en materia orgánica y en nutrientes, lo que los hace aptos para la agricultura. Por lo general yacen en terrenos planos. En las subregiones Bajo Lerma, Medio Lerma y Bajo Santiago se concentran estos suelos, ubicación que corresponde también a la zona agrícola El Bajío.



**Ilustración 5.5.** Mapa geológico de la R. H XII

Los Vertisoles representan el 18.95% de la Región; se encuentran distribuidos principalmente en las subregiones Bajo Lerma y Medio Lerma. Predominan los vertisoles pélicos, suelos muy oscuros y arcillosos con una profundidad al menos de 50 cm. También son aptos para la agricultura.

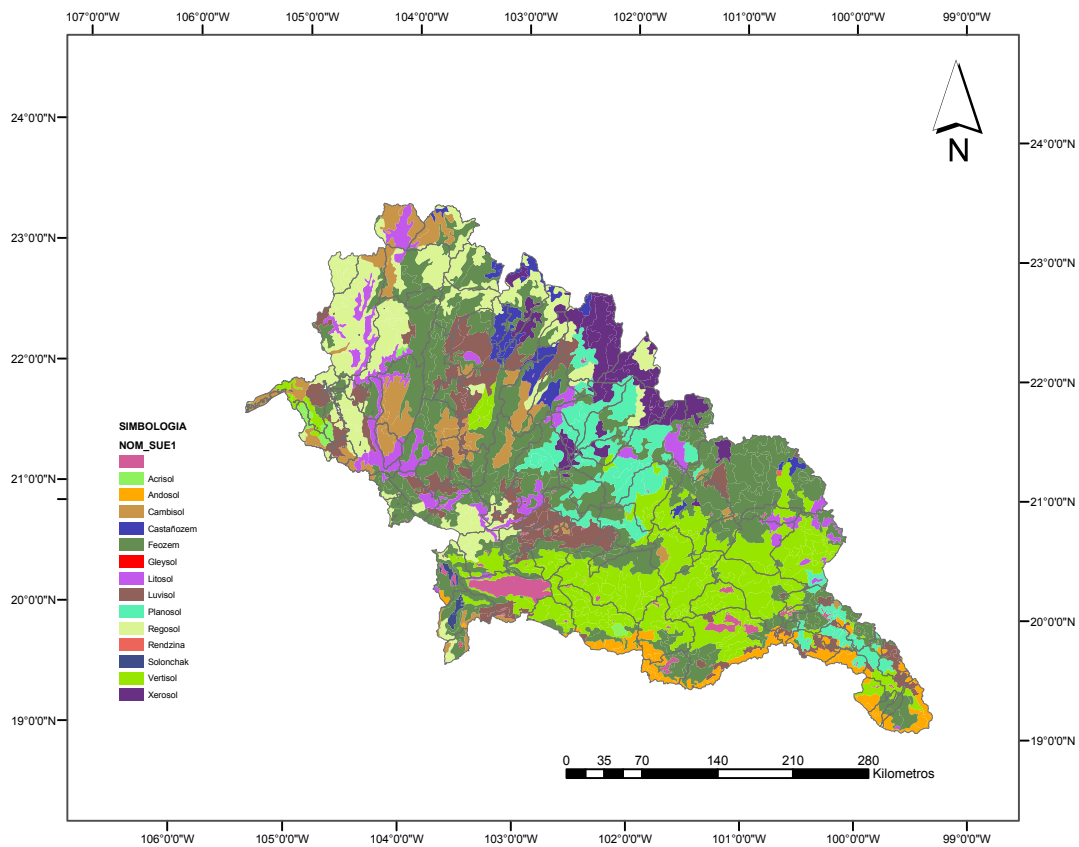
Los Regosoles son suelos poco profundos, de menos de 50 cm., sin estructura, poco desarrollados, muy parecidos a la roca madre. Estos suelos son comunes en zonas montañosas. En la Región XII predominan los Regosoles éútricos que se definen como Regosoles con subsuelos ricos en nutrientes, se encuentran en su mayoría en la subregión Bajo Santiago y en la del Alto Santiago en la subprovincia Altos de Jalisco.

Con menor presencia se encuentran suelos de los siguientes tipos: Acrisol, Andosol, Cambisol, Castañozem, Gleysol, Litosol, Luvisol, Planosol, Rendzina, Solonchak y Xerosol.

### 5.1.6. Vegetación y Usos de suelo

La agricultura es la que sobresale por encima de los demás usos de suelo, ocupa el 37.16% de la superficie de la Región, encontrándose la mayor actividad en la subregión del Medio Lerma en partes de los estados de Guanajuato, Estado de México y Jalisco.

Los terrenos se destinan principalmente a la agricultura de temporal con cultivos de maíz, frijol, trigo, fresa, chile, alfalfa, legumbres, frutales y otros.



**Ilustración 5.6.** Mapa edafológico de la R. H. XII

Los cultivos de pastizales se localizan en partes del Estado de México y Michoacán (en la subregión Alto Lerma) como se muestra en la Ilustración 5.7.

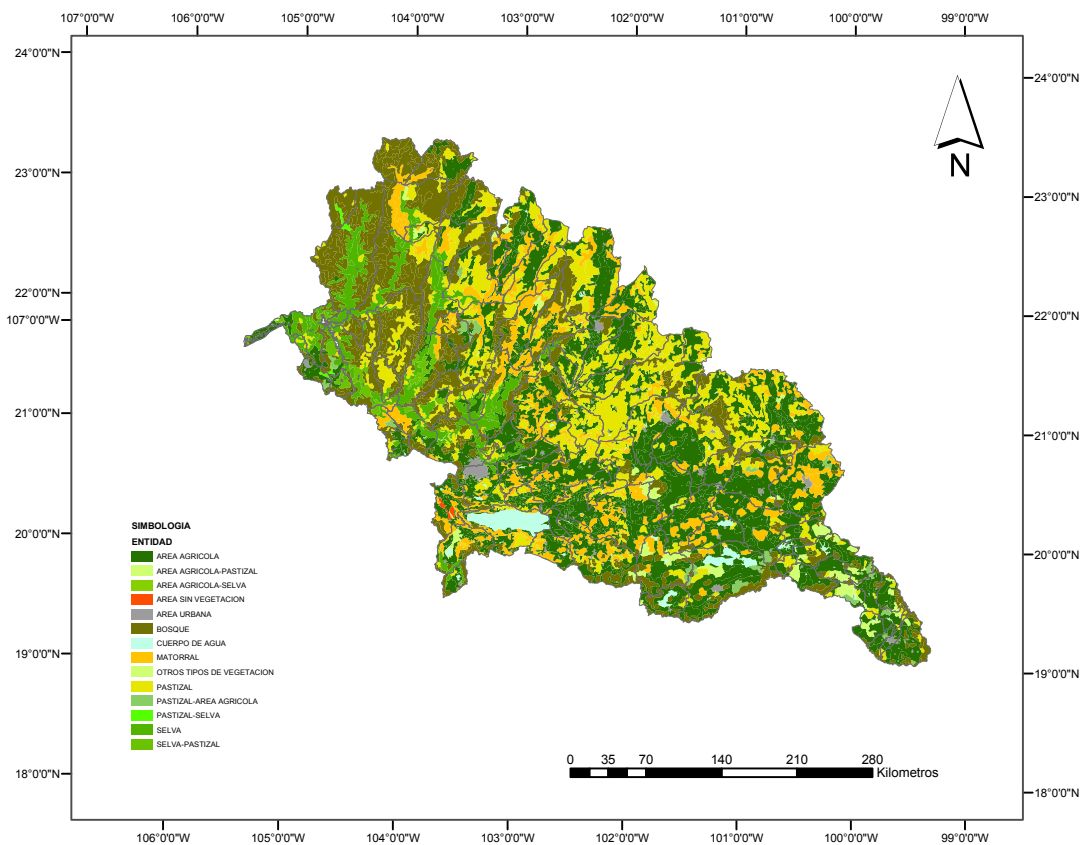
En orden de importancia, de acuerdo al área ocupada, siguen los bosques, que comprenden el 23.81% de la superficie de la Región. Los bosques se concentran hacia el noroeste en la

subregión del Bajo Santiago, y en menor proporción en el Alto Santiago. Abundan los bosques de pinos, encinos, oyamel y pino-encino.

Los pastizales comunes de la Región son los siguientes tipos: naturales, inducidos, huisaches, de pradera alta y de montaña. Esta vegetación representa el 18.12% de la superficie total y esta distribuida en la cuenca del río Santiago, en territorios correspondientes a los estados de Jalisco, Zacatecas y Aguascalientes.

Los matorrales propios de la Región son los subtropicales, crasicuales, desérticos micrófilos y rosetófilos. Los matorrales se desarrollan en los estados de Guanajuato, Zacatecas, Aguascalientes y Michoacán, principalmente y cubren un 10.71% de la Región.

Dentro de la región se encuentra también vegetación de tipo selva baja caducifolia y selva mediana subperennifolia. Las selvas en la Región se localizan en mayor proporción en el estado de Nayarit y el resto al nororiente de Jalisco y parte de Durango, porción que representa el 6.85% de la Región.



**Ilustración 5.7.** Mapa de Uso de Suelo y Vegetación de la R. H. XII

El 3.35% de la zona esta ocupada por vegetaciones de popal, tulares, manglares, mezquiales, chaparrales y sabana.

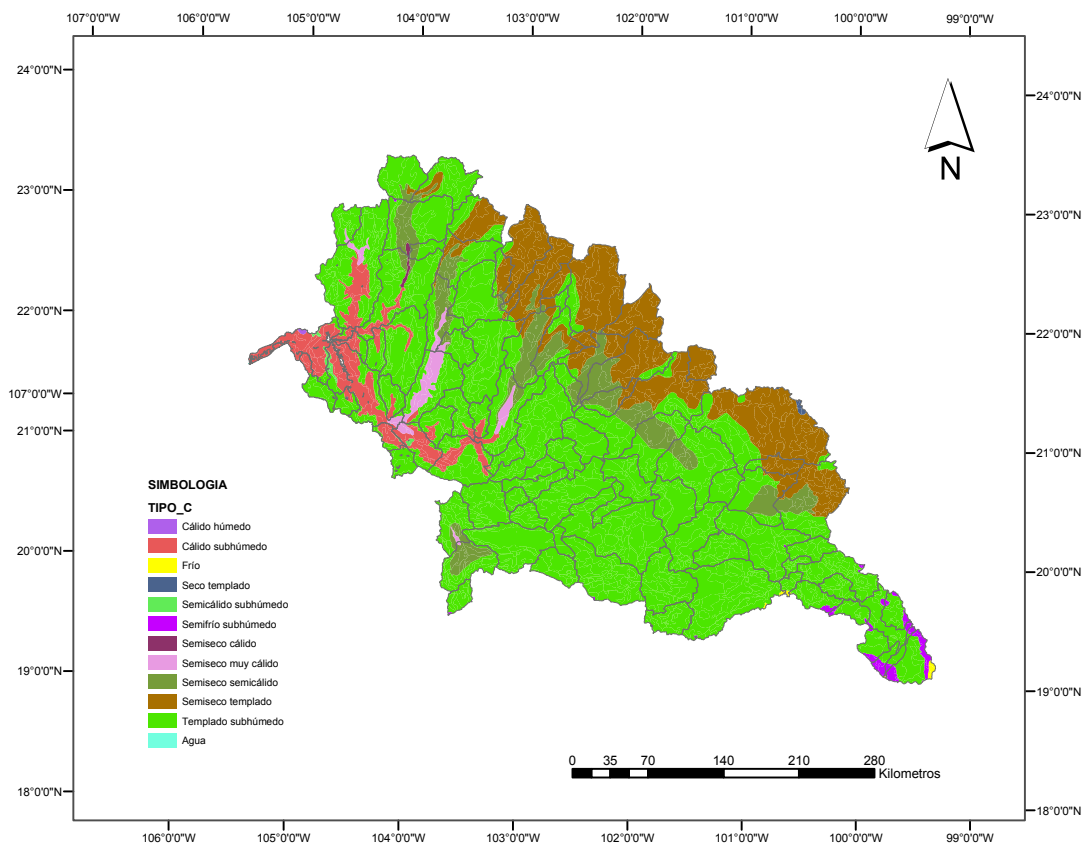
### 5.1.7. Clima

La gama de climas existentes en la Región es muy amplia, ya que tiene variedades de los climas cálidos, húmedos, templados y secos.

El clima templado subhúmedo con lluvias en verano predomina en la R. H. XII, y está presente en las dos terceras partes, desde la zona centro-sur de la cuenca del río Lerma hasta la cuenca del río Santiago distribuido en tres secciones norte-sur, como se observa en la Ilustración 5.8.

El segundo clima en importancia es el semiseco templado que se extiende sobre los estados de Guanajuato, Aguascalientes y Zacatecas en el límite norte de la región y representa el 17.7 % de su superficie.

Las zonas caracterizadas por un clima semiseco semicálido, se encuentran distribuidas en casi toda la R. H. XII excepto en la subregión Alto Lerma. La mayoría de estas zonas se ubican en la posición correspondiente a Zacatecas y ocupan el 7.6% de la región.



**Ilustración 5.8.** Mapa de climas de la R. H. XII

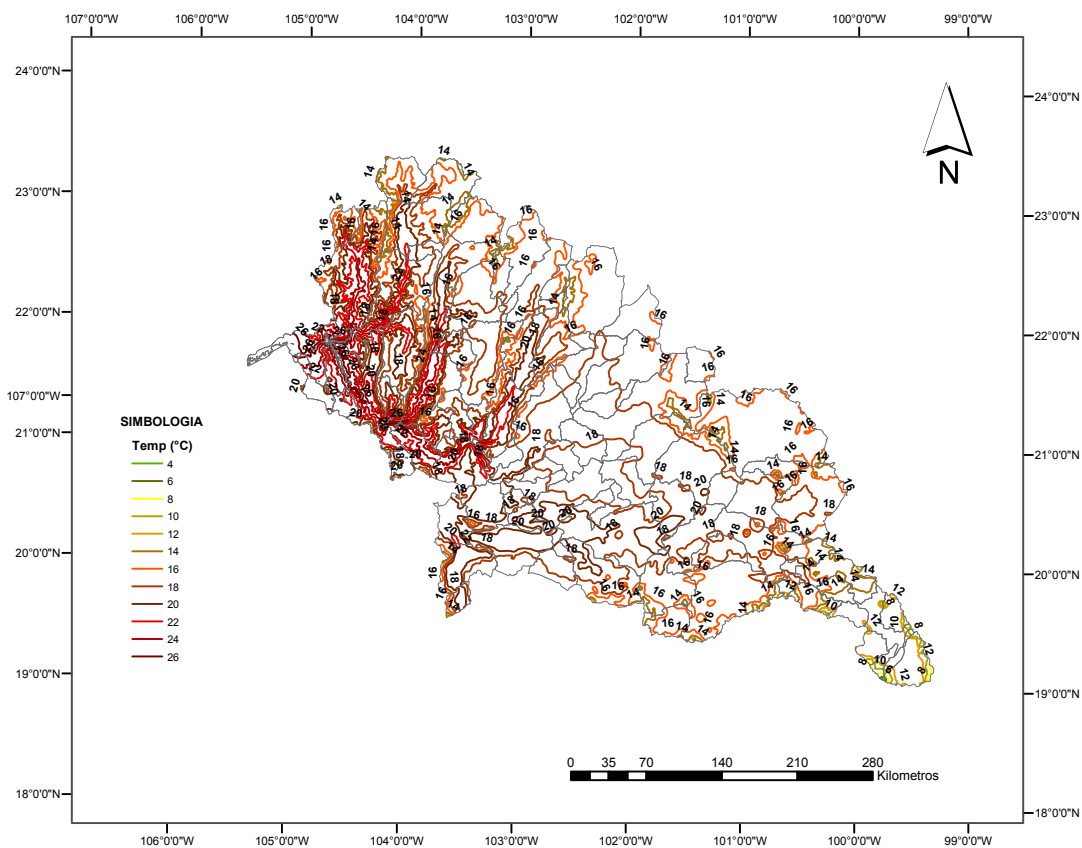
En la cuenca propia del río Santiago predomina el clima cálido subhúmedo, que ocupa del 5.3% de la superficie total.

Con menor presencia en la Región se mencionan las zonas con clima cálido húmedo, semiseco cálido y semiseco muy cálido, dentro de la cuenca del río Santiago y zonas de clima frío, semifrío subhúmedo y semiseco templado en la cuenca del río Lerma.

### 5.1.8. Temperatura media anual

La distribución temporal de la temperatura en la región es la siguiente: las temperaturas máximas se presentan entre los meses de mayo a junio, y las temperaturas mínimas se presentan durante el mes de enero en el invierno.

La variación espacial de la temperatura media anual en la R. H. XII tiene una dirección de este a oeste, y se encuentra dentro del rango desde los 10°C (en las partes altas de la subregión del Alto Lerma) y se incrementa a medida que disminuye la elevación llegando a los 22°C en las planicies de las subregiones del Medio Lerma y Bajo Lerma. En ocasiones pueden encontrarse temperaturas menores al límite inferior registrado en las inmediaciones del nacimiento del río.



**Ilustración 5.9.** Mapa de temperatura media anual, isotermas, de la R. H. XII

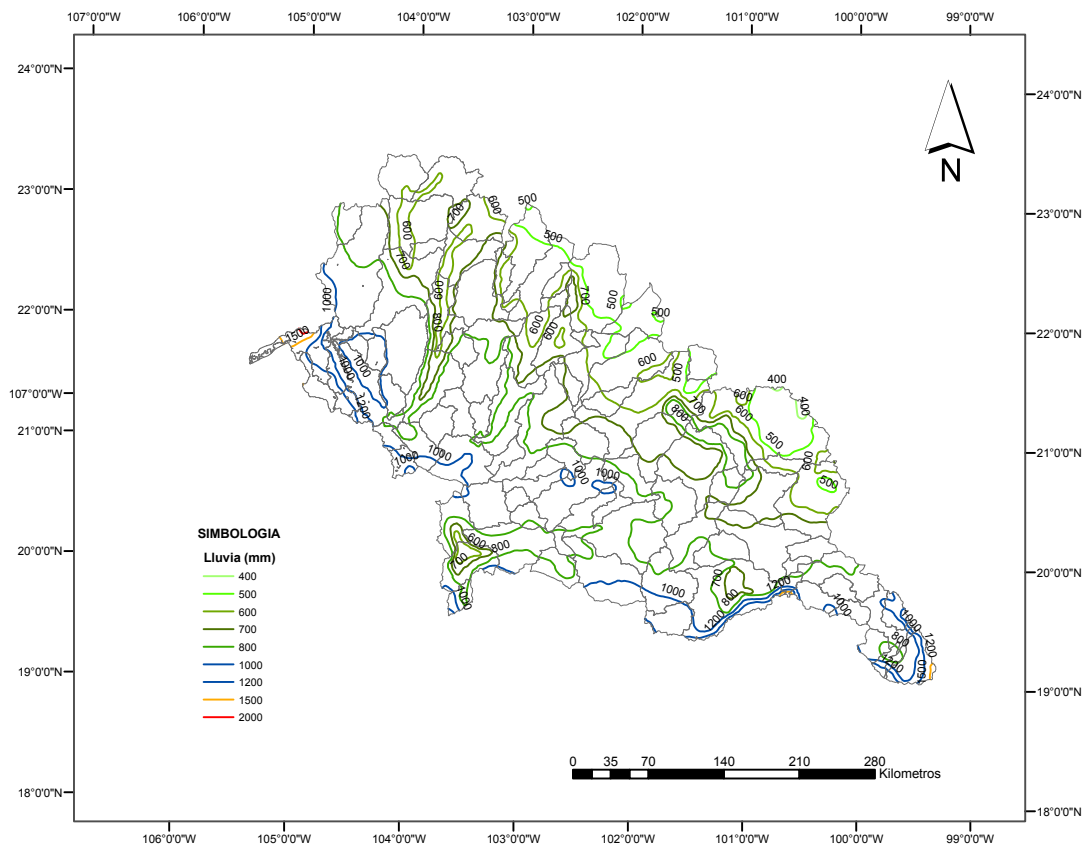


En la cuenca del río Santiago, la temperatura media anual oscila en un rango de los 14°C en las zonas de elevaciones medias hasta los 26°C en la desembocadura al océano Pacífico. Se tiene un comportamiento de norte a sur.

### 5.1.9. Precipitación media anual

La temporada de lluvias se presenta entre los meses de junio a octubre que puede alcanzar una cantidad cercana al 90% de la lluvia anual.

Espacialmente la distribución de la precipitación corresponde a la variedad de climas existentes, es decir que en la frontera norte de la región que posee un clima semiseco templado es en donde se presentan menores precipitaciones, se identifica la isoyeta de 400 mm anuales, este régimen se presenta en parte de Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes y Zacatecas tal como se muestra en la Ilustración 10. Así mismo en las zona a la salida de la región en el océano Pacífico se tiene la isoyeta de 2000 mm. de precipitación media anual, donde el clima es cálido subhúmedo, corresponde a la parte del estado de Nayarit. En la porción central de la Región donde prevalece el clima templado subhúmedo se presentan precipitaciones desde los 600 mm medios anuales hasta los 1000 mm de lluvia media anual.



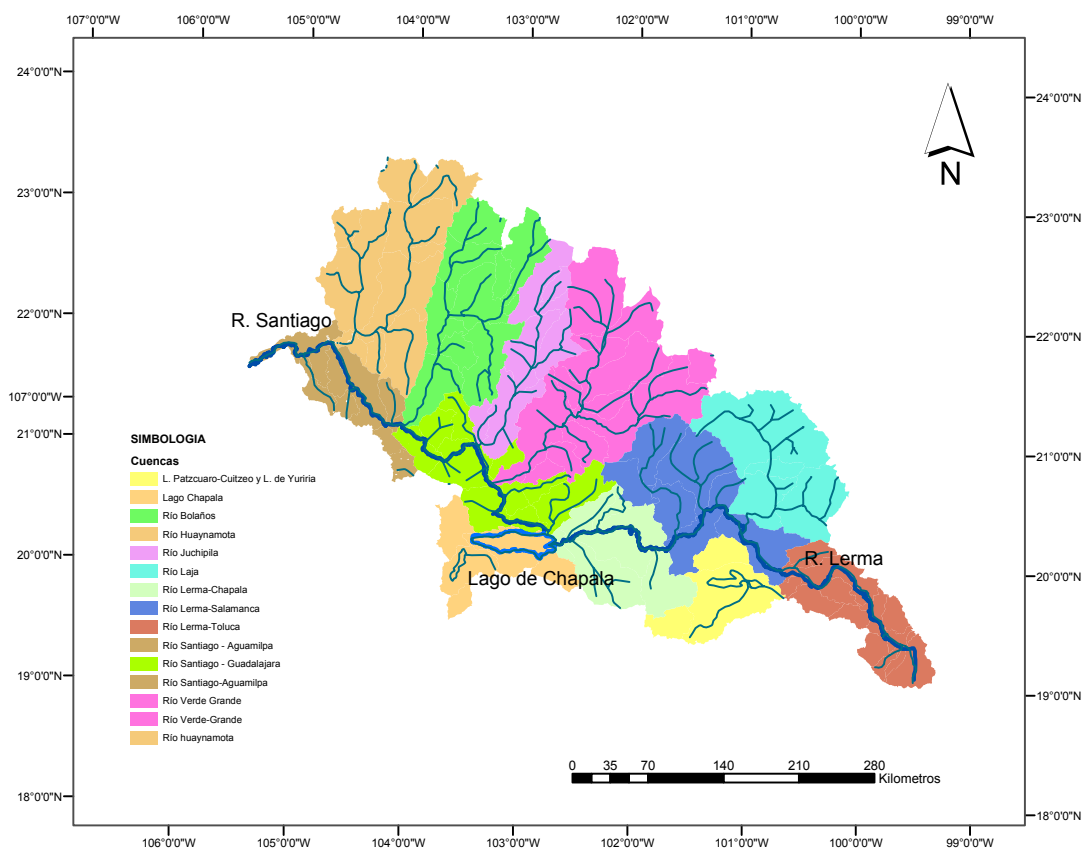
**Ilustración 5.10.** Mapa de precipitación media anual, isoyetas de la R. H. XII

La región tiene una precipitación media anual de 763 mm. y un escurrimiento medio anual de 13,743 hm<sup>3</sup>, de acuerdo con la EAM (2005). En la frontera de la región con Michoacán, en la subregión Alto Lerma se presentan precipitaciones medias anuales del orden de 1200 mm y hasta 1500 mm en las elevaciones mayores.

### 5.1.10. Hidrología superficial

#### 5.1.10.1. Sistema hidrológico

El sistema hidrológico de la Región XII está constituido por un colector principal, que se desarrolla en 1,194 km del este al oeste de la región. Este colector es dividido por una depresión natural que dio origen al Lago de Chapala, el vaso natural más grande del país y tercero en Latinoamérica. El sistema se muestra en la Ilustración 5.11.



**Ilustración 5.11.** Mapa del sistema hidrológico de la R. H. XII

El sistema de la Región Lerma-Santiago tiene un curso de aproximadamente 1,194 km, se inicia con el nacimiento del río Lerma ubicado al suroeste de la ciudad de Toluca, continúa a través del Estado de México, traza la división física entre los estados de Querétaro y Michoacán, se dirige hacia el noroeste cruzando Guanajuato, continuando hacia el sur y separa a los estados de Guanajuato, Michoacán y Jalisco descargando en el Lago de

Chapala, su recorrido total es de 708 km. En el lago nace el río Santiago que se desarrolla a través del estado de Jalisco y desemboca al océano Pacífico a 16 km de San Blas en Nayarit, después de una trayectoria de 486 km.

Los principales afluentes del río Lerma por la margen derecha son los ríos Laja, Guanajuato-Silao y Turbio; por la margen izquierda los ríos más importantes son: La Gavia, Jaltepec, Angulo y Duero.

Por la margen derecha aportan al río Santiago los ríos Zula, Calderón, Verde, Juchipila, Bolaños y Huaynamota; cabe mencionar que la mayoría de sus afluentes descargan por esta margen. En la margen izquierda los ríos son subramales de la cuenca propia del río Santiago.

En la Región se encuentran 12 cuencas principales que se muestran en la Tabla 5.1, y 104 subcuencas las cuales pueden ser consultadas en el Anexo 1.

**Tabla 5.1.** Cuencas de la Región Lerma-Santiago

<b>No</b>	<b>Nombre de cuenca</b>
1	Río Lerma
2	Río Laja
3	Río Lerma-Salamanca
4	Río Lerma-Chapala
5	Lago Chapala
6	L. Patzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriria
7	Río Verde Grande
8	Río Santiago-Guadalajara
9	Río Juchipila
10	Río Bolaños
11	Río Huaynamota
12	Río Santiago-Aguamilpa

## **5.2 Redes de medición**

### **5.2.1 Red climatológica**

La medición y disposición de información de las variables climáticas resulta ser de gran importancia para muchos campos de investigación, ya que mediante el análisis de las series de estos datos es posible estudiar los fenómenos hidrometeorológicos. Se tiene por ende que la precisión de los estudios hidrológicos tiene por limitante a la medición y de ahí la importancia de la existencia de redes de medición optimizadas del clima.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM,1970) brinda las recomendaciones para la creación de redes hidroclimatológicas mínimas básicas y óptima nacional, sin embargo cada país ha adaptado las redes de acuerdo con sus necesidades tomando como referencia estos estándares.

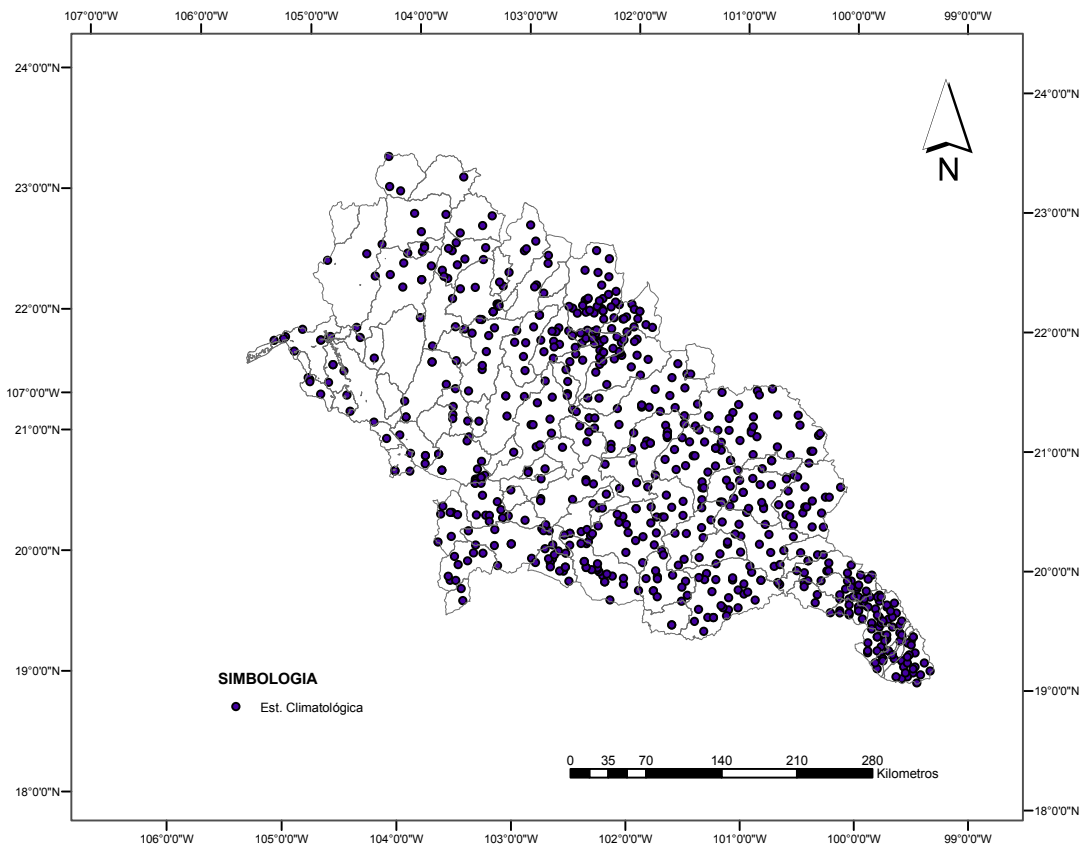
Una estación climatológica es un dispositivo capaz de censar información de uno o varios factores climatológicos como son: precipitación, evaporación, temperatura, dirección y velocidad del viento, presión barométrica, humedad, etc. Esta información puede ser recopilada en el lugar o enviada vía remota (vía satélite, microondas u ondas de radio) y en determinados periodos o en tiempo real, característica de las estaciones más modernas. Las estaciones se pueden clasificar en función de las variables climáticas que censa, la instrumentación con que cuenta o ambas, etc.

El conjunto de estas estaciones de medición junto con el instrumental, protocolos, estándares de medición y el equipo técnico administrativo de operación forman la red hidrológica, en este caso una red climatológica.

En México se tienen registradas 5521 estaciones, aunque la distribución de éstas no es uniforme y tampoco suficiente para efectuar análisis hidrometeorológicos ya que hasta el año 2000 México cuenta con un promedio de una estación por 400 km<sup>2</sup> aprox. cuando según las recomendaciones de la OMM (1970) la densidad mínima requerida es de 1 estación por 600 a 900 km<sup>2</sup> en zonas planas y tropicales y de 1 estación por cada 100 a 250 km<sup>2</sup> en terrenos montañosos, según Ramírez y Aldama (2000).

Los registros de estas estaciones se encuentran disponibles en el sistema de Climatología Computarizada (CLICOM) propiedad del Servicio Meteorológico Nacional. El CLICOM fue desarrollado por la OMM sobre una base de datos con estructura de tipo Data Ease, misma conformación que dificultaba su operación razón por la cual sería creado posteriormente por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) un programa llamado Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC, 1990) con información climatológica hasta el año de 1990. Aunque la base de datos de ERIC era la misma que CLICOM el acceso resultaba mucho más eficiente. Se actualizó la base de datos de ERIC con registros hasta 1998 y el programa se nombró ERIC II (1999). Actualmente se prepara otro sistema con más versatilidad para la extracción de datos por parte del IMTA, el cual tendrá información hasta el año 2003.

En la región, se encuentran 718 estaciones climatológicas, de las cuales 62 son estaciones automáticas y están ubicadas en su mayoría en la cuenca del río Lerma, 641 estaciones manuales, 14 estaciones observatorio que están distribuidas por cuencas y una estación de radio sondeo localizada en la ciudad de Guadalajara. De las estaciones climatológicas manuales, 121 no operan actualmente debido a su deterioro, de acuerdo a información proporcionada por las Gerencias Estatales de la Comisión Nacional del Agua de los estados que integran la región. Ver Ilustración 5.12. Mayor información sobre las estaciones climatológicas puede ser consultada en el Anexo 2.



**Ilustración 5.12.** Distribución de estaciones climatológicas de la R. H. XII

### 5.2.1 Red hidrométrica

La comprensión y estudio de los procesos hidrológicos también se auxilia de la hidromedición además de la evaluación de variables del clima. La hidromedición se refiere a la medición del agua en ríos y/o cuerpos de agua incluyendo métodos, técnicas e instrumentos utilizados en hidrología.

Una estación hidrométrica es un lugar fijo en una sección del río donde se realizan un conjunto de operaciones a través de las cuales es posible obtener los niveles, caudales, el transporte y la concentración de sedimentos. Así, el conjunto de estaciones hidrométricas distribuidas en una región forma una red hidrométrica.

Para la ubicación de las estaciones se requiere seleccionar un lugar de fácil acceso donde el lecho sea estable y por lo menos tenga un tramo recto de 50 m aguas arriba y abajo del sitio de la estación para evitar distorsiones en las lecturas. La clasificación depende de la instrumentación y de las implementaciones de las estaciones.

De acuerdo con el instrumental se tienen dos tipos de estaciones: la estación limnométrica ó estación simple la cual cuenta con un limnómetro que registra el nivel del agua mediante

observación directa. Si adicionalmente la estación tiene un limnógrafo entonces se trata de una estación limnográfica que registra la variación del nivel del río en forma continua (también es conocida como estación registradora). El objetivo fundamental de ambas estaciones es obtener los niveles del agua en el río.

Los caudales de los ríos se obtienen indirectamente a partir de los niveles registrados. La mayoría de los métodos se basan en la medición de la velocidad y el área de una sección transversal determinada.

Los aforos o mediciones son periódicos por las dificultades que implica la medición continua. La medición de la velocidad del caudal que puede ser por diversos métodos, los más utilizados en México son: el método del molinete o correntómetro que puede ser de eje vertical u horizontal, y el método de los flotadores (Vera,2000). Otros aforos pueden ser por suspensión, angular, vadeo, trazadores, dilución y lancha en movimiento (IDEAM,2004).

La concentración y el transporte de los sedimentos se realiza tomando muestras a lo ancho de la sección medida con muestreadores especiales, el transporte de sedimentos se expresa en m<sup>3</sup>/día. Los sedimentos pueden ser clasificados, de acuerdo con el transporte, en sedimentos de fondo, de arrastre de fondo, en saltación y en suspensión.

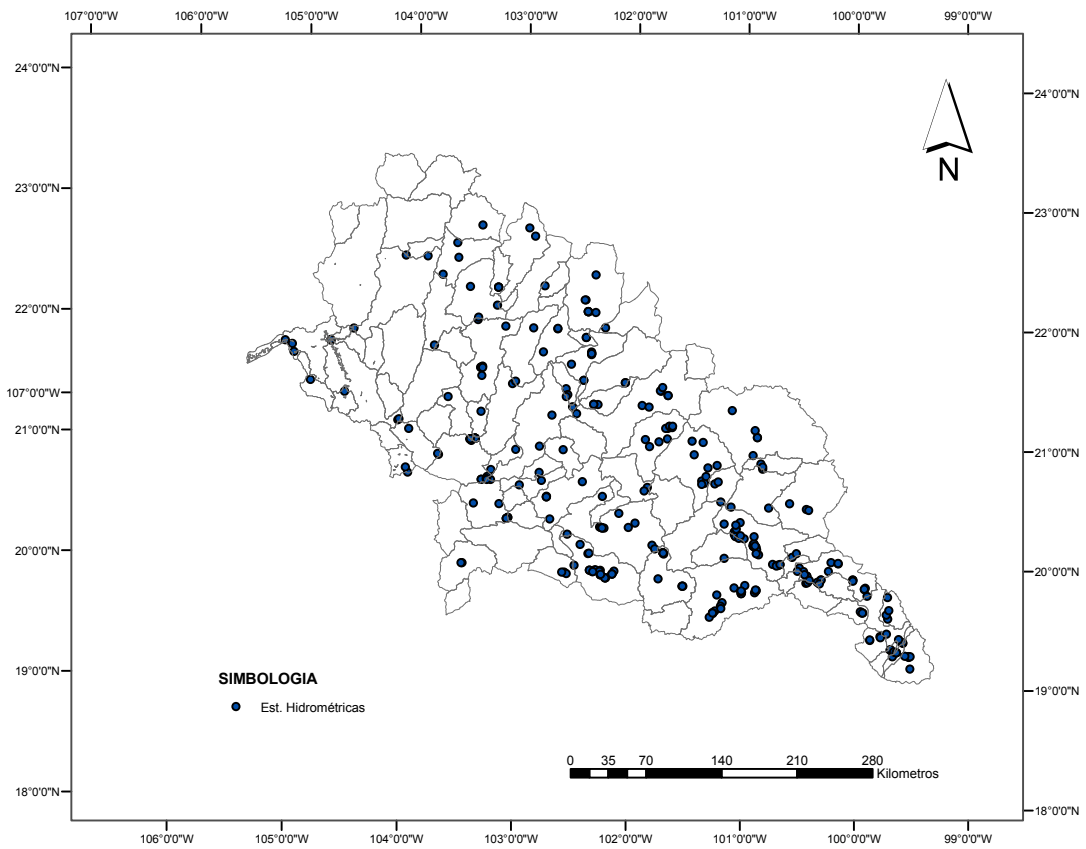
Las estaciones hidrométricas registradas en México son 1797, las cuales están a cargo Comisión Nacional del Agua (Conagua) ó la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Los registros de las estaciones hidrométricas se encuentran disponibles en el sistema denominado Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS,1999), que fue desarrollado en conjunto por el IMTA y la Conagua, en el año de 1996.

La primera versión del BANDAS contenía la información de las estaciones hidrométricas hasta el año de 1994, posteriormente se actualizó el sistema en el año 2000 con registros hasta 1999. Actualmente está en proceso la última versión con información hasta el 2003.

En la Región Lerma-Santiago se ubican 326 estaciones hidrométricas, de las cuales se encuentran operando solo 263, de acuerdo con información proporcionada por la Conagua a través de las Gerencias Estatales que forma parte de la zona de estudio. En la Ilustración 5.13 puede observarse la distribución en la región de las estaciones hidrométricas.

La información general de cada una de las estaciones se muestra en la Tabla 5.2 e incluye la clave de la estación, el nombre, longitud, latitud, la corriente sobre la que se encuentran y el área.



**Ilustración 5.13.** Distribución de estaciones hidrométricas en la R. H. XII

**Tabla 5.2.** Estaciones hidrométricas en la Región Lerma-Santiago

No	Cve estac	Nombre	longitud	latitud	Corriente propia	Area km <sup>2</sup>
1	12004	LA PIEDAD	-102.02	20.34	RIO LERMA	35662
2	12011	PUENTE INGENIEROS	-102.44	20.19	RIO DUERO	2318
3	12095	YURECUARO	-102.27	20.34	RIO LERMA	36192
4	12128	CORONA	-103.10	20.40	RIO SANTIAGO	47386
5	12213	PUENTE F.C. CHICALOTE	-102.25	22.01	RIO CHICALOTE	1518
6	12233	CORRALES	-101.80	20.20	RIO LERMA	34153
7	12234	BRISENAS	-102.56	20.28	RIO LERMA	38498
8	12268	EXCAME I	-103.36	21.65	RIO TLALTENANGO	743
9	12278	ATOYAC C.M.I	-103.48	20.02	RIO ATOYAC	157
10	12288	ZAPOTLANEJO	-103.10	20.40	CANAL ZAPOTLANEJO	ND
11	12289	ATEQUIZA	-103.09	20.40	CANAL ATEQUIZA	ND
12	12310	LA ESTANZUELA	-102.37	20.12	RIO DUERO	2198
13	12315	CALERA	-102.60	21.49	RIO TEOCALTICHE	279
14	12328	GUARACHA	-102.58	19.96	CANAL GUARACHA	ND
15	12335	LA ESTANZUELA	-102.36	20.12	CANAL SAN SIMON	ND
16	12338	SAN ANTONIO GUARACHA	-102.56	19.95	ARROYO LAS LIEBRES	73
17	12339	PLATANAL	-102.26	19.94	CANAL DESFOGUE	ND

No	Cve_estac_	Nombre	longitud	latitud	Corriente propia	Area km <sup>2</sup>
18	12344	PLATANAL	-102.26	19.94	RIO DUERO	1243
19	12355	AGOSTADERO	-102.31	21.36	RIO SAN MATIAS	354
20	12358	AJOJUCAR	-102.44	21.56	RIO AGUASCALIENTES	6597
21	12359	EL SALTO	-103.17	20.52	RIO SANTIAGO	48541
22	12369	CUARENTA	-101.75	21.48	RIO DE LAGOS	1652
23	12370	SAN GASPAR	-102.50	21.28	RIO DE LAGOS	439ND
24	12371	VALLE DE GUADALUPE	-102.61	20.98	RIO DEL VALLE	394
25	12379	JACONA	-102.30	19.98	RIO CELIO	126
26	12382	PASO DEL SABINO	-102.54	21.34	RIO AGUASCALIENTES	1ND559
27	12383	ATOYAC C.P.M.D	-102.49	20.02	CANAL ATOYAC MARGEN DERECHA	ND
28	12389	EL NIAGARA I	-102.37	21.79	RIO AGUASCALIENTES	5774
29	12390	CAMECUARO	-102.21	19.92	CANAL DERIVACION	ND
30	12391	LAS ADJUNTAS	-101.85	20.68	RIO TURBIO	2913
31	12395	UREPETIRO	-102.14	19.98	RIO TLAZAZALCA	453
32	12396	CAMECUARO	-102.21	19.92	RIO DUERO	1221
33	12397	CAMECUARO	-102.22	19.92	DESAGUE DEL LAGO	4
34	12400	LAS JUNTAS	-103.25	20.72	RIO SANTIAGO	49834
35	12408	EL AGUILA	-102.26	19.98	CANAL AGUILA VIEJO	ND
36	12409	CHAPARACO	-102.27	19.97	CANAL CALVARIO	ND
37	12410	PLATANAL	-102.25	19.95	CANAL PRINCIPAL MARGEN DERECHA	ND
38	12411	LA CALZADA	-101.68	21.09	RIO DE LOS GOMEZ	357
39	12412	JARIPO	-102.60	19.96	RIO JARIPO	ND
40	12417	LA ESTANCIA	-102.35	19.98	CANAL ALTO	ND
41	12418	LOS CASTILLOS	-101.68	21.18	ARROYO LOS CASTILLOS	128
42	12422	CUARENTA II	-101.75	21.49	RIO DE LAGOS	17ND3
43	12425	AJOJUCAR C.P.M.I	-102.44	21.56	CANAL PRINCIPAL	ND
44	12428	BOLADOS	-103.78	21.83	RIO BOLADOS	119NDND
45	12438	LA YESCA	-104.09	21.19	RIO SANTIAGO	84559
46	12439	ORANDINO II	-102.33	19.97	DESAGUE DEL LAGO	ND
47	12441	LA BOQUILLA	-103.40	21.06	RIO JUCHIPILA	ND
48	12443	LA ESTANCIA	-102.35	19.98	CANAL BAJO	ND
49	12452	ACHOQUEN	-103.08	21.52	SALIDAS PRESA	142
50	12454	LAGOS	-101.91	21.36	RIO DE LAGOS	2397
51	12469	CUIXTLA	-103.44	21.05	RIO CUIXTLA	854
52	12471	SAN CRISTOBAL	-103.44	21.05	RIO SANTIAGO	8ND336
53	12472	ARCEDIANO	-103.28	20.74	RIO SANTIAGO	7ND339
54	12473	SANTA ROSA	-103.72	20.91	RIO SANTIAGO	82352
55	12474	EL SAUZ	-104.71	21.84	RIO SANTIAGO	ND
56	12476	KM. 0 +340 (EL CUARENTA)	-101.73	21.52	CANAL PRINCIPAL	ND
57	12479	GUANAJAL	-101.88	21.08	RIO PEDRITO	293
58	12483	CANAL NUMERO 1	-103.36	21.65	CANAL PRINCIPAL	ND
59	12484	EL PLATANITO	-104.06	22.57	RIO SAN JUAN CAPISTRANO	5796
60	12485	EL ZAPOTE	-103.40	22.05	RIO TLALTENANGO	2553
61	12487	LA FLORIDA	-103.60	22.69	RIO VALPARAISO	1793
62	12488	LA GLORIA	-103.40	22.07	RIO COLOTLAN	31ND5
63	12489	TEOCALTICHE	-102.58	21.44	RIO TEOCALTICHE	3ND6
64	12493	CASTILLOS	-101.67	21.19	CANAL LOS CASTILLOS	ND
65	12499	LA PATIDA	-101.70	21.18	ARROYO LA PATIDA	91
66	12504	LA CUNA	-102.82	21.01	RIO VERDE	19ND97
67	12505	ACHIMEC I	-103.22	22.32	RIO TEPETONGO	39ND



No	Cve_estac_	Nombre	longitud	latitud	Corriente propia	Area km <sup>2</sup>
68	12508	BOQUILLA TENASCO	-103.23	22.17	RIO CHICO	151
69	12511	ORANDINO	-102.33	19.97	CANAL ALTO	ND
70	12513	VERTEDOR CASTILLOS	-101.67	21.19	ARROYO LOS CASTILLOS	128
71	12514	EL CAIMAN	-104.08	21.20	RIO BOLADOS	14755
72	12515	LA AURORA CANAL	-103.40	20.52	CANAL LA AURORA	ND
73	12517	CONTROL	-103.36	21.65	EXTRACCIONES PRESA ALEMAN	742
74	12521	SANTA ROSA II	-103.73	20.92	RIO SANTIAGO	82359
75	12522	EL NIAGARA II	-102.38	21.80	RIO AGUASCALIENTES	5773
76	12525	EL TULE	-102.43	20.72	RIO TULE	325
77	12526	YURECUARO II	-102.26	20.34	RIO LERMA	36176
78	12527	IBARRILLA	-101.64	21.18	ARROYO IBARRILLA	84
79	12532	SAN CRISTOBAL II	-103.43	21.04	RIO SANTIAGO	71783
80	12533	UREPETIRO II	-102.15	19.95	RIO TLAZAZALCA	479
81	12540	LA VILLITA (EXCEDENCIAS PRESA LA VILLITA)	-103	22	ARROYO LA VILLITA	2ND8
82	12541	LA RED	-102.80	20.72	RIO CALDERON	2ND4
83	12545	EL NIAGARA III	-102.38	21.78	RIO AGUASCALIENTES	578ND
84	12549	YURECUARO	-102.25	20.33	CANAL MARGEN IZQUIERDA	ND
85	12557	CUQUIO	-103.03	20.97	RIO GIGANTES	64
86	12559	LAGUNILLAS	-102.82	20.79	RIO TEPATITLAN	265
87	12563	SAN JUANICO	-102.55	21.70	RIO SANTA MONICA	1NDND
88	12570	LA CODORNIZ	-102.68	21.99	RIO LA LABOR	173
89	12572	LA EXPERIENCIA	-103.33	20.72	CANAL LA EXPERIENCIA	ND
90	12573	LA EXPERIENCIA CANAL	-103.33	20.72	RIO SAN JUAN DE DIOS	217
91	12579	EL PINITO	-103.87	22.57	RIO HUEJUQUILLA	19ND
92	12585	CALERITA	-102.59	21.43	RIO TEOCALTICHE	284
93	12586	CUIXTLA C.M.D	-103.44	21.05	CANAL NUM. 2 MARGEN DERECHA	ND
94	12587	CUIXTLA C.M.I	-103.44	21.05	CANAL NUM. 1 MARGEN DERECHA	ND
95	12589	HUASCATO	-102.25	20.60	RIO HUASCATO	312
96	12602	BOCA DEL TESORERO	-102.96	22.83	RIO JEREZ	467
97	12604	ROSALES	-102.90	22.76	ARROYO ROSALES	1ND9
98	12606	SANTA ANA	-101.96	20.38	ARROYO DE LOS OCOTES	313
99	12607	LA YERBABUENA	-102.75	20.58	RIO DE LOS MORALES	484
100	12608	LOS FRESNOS	-102.10	20.46	RIO ANDAMACUARO	31
101	12609	UREPETIRO	-102.15	19.95	CANAL MARGEN IZQUIERDA	ND
102	12618	LOS GOMEZ	-101.76	21.06	RIO DE LOS GOMEZ	656
103	12619	KM. 0 +050	-102.68	21.99	CANAL PRINCIPAL	ND
104	12621	LA BOQUILLA C.M.D.1	-103.40	21.06	CANAL NUMERO 1 MARGEN DERECHA	ND
105	12622	LA BOQUILLA C.M.D.2	-103.40	21.06	CANAL NUMERO 2 MARGEN DERECHA	ND
106	12623	LA BOQUILLA C.M.D.3	-103.40	21.06	CANAL NUMERO 3 MARGEN DERECHA	ND
107	12628	LA BOQUILLA C.M.I	-103.40	21.06	CANAL MARGEN IZQUIERDA	ND
108	12648	LA YERBABUENA	-102.75	20.59	CANAL MARGEN DERECHA	ND
109	12649	LA YERBABUENA	-102.75	20.58	CANAL MARGEN IZQUIERDA	ND
110	12656	EL NIAGARA	-102.38	21.79	CANAL PRINCIPAL	ND
111	12663	EXCAME II Y III (SOBRANTES PRESA ALEMAN)	-103.35	21.66	RIO TLALTENANGO	753
112	12668	SANTA TERESA	-103.48	22.32	ARROYO SANTA TERESA	379
113	12669	MEDIA LUNA	-102.81	21.79	RIO CALVILLO	1ND29
114	12671	ACHIMEC	-103.22	22.32	CANAL PRINCIPAL	ND
115	12673	GUANAJAL II	-101.84	21.02	RIO PEDRITO	6ND6

No	Cve_estac_	Nombre	longitud	latitud	Corriente propia	Area km <sup>2</sup>
116	12700	ACHIMEC II	-103.22	22.32	RIO TEPETONGO	391
117	12710	YURECUARO C.M.I. II	-102.26	20.34	CANAL MARGEN IZQUIERDA NUMERO 2	ND
118	12711	EL MEZQUITE C.M.D.	-102.23	20.33	CANAL PRINCIPAL MARGEN DERECHA	ND
119	12712	EL ZAPOTE C.M.D	-102.25	20.33	CANAL MARGEN DERECHA	ND
120	12716	IBARRILLA II	-101.64	21.19	ARROYO IBARRILLA	8ND
121	12730	ATEQUIZA	-103.09	20.40	CANAL ATEQUIZA NUMERO 2	ND
122	12731	AGOSTADERO	-102.35	21.37	CANAL MARGEN DERECHA	ND
123	12732	AGOSTADERO	-102.35	21.37	CANAL MARGEN IZQUIERDA	ND
124	12733	CHAPALAGANA	-104.51	21.95	RIO CHAPALAGANA	11878
125	12735	EL SIFON	-103.09	20.40	CANAL ZANJA SUR MARGEN IZQUIERDA	ND
126	12736	KM. 0 +113 (PRESA ALEMAN)	-103.35	21.65	CANAL PRINCIPAL NUMERO 1	ND
127	12742	MELCHOR OCAMPO	-101.78	20.17	CANAL VERTEDOR PRESA MELCHOR OCAMPO	ND
128	12749	ATEQUIZA II C.P.M.I	-103.10	20.40	CANAL ATEQUIZA	ND
129	12750	UREPETIRO	-102.15	19.95	CANAL MARGEN DERECHA NUMERO 2	ND
130	12754	SAUCES CHICOS	-102.07	21.55	CANAL PRINCIPAL	ND
131	12757	PASO DE ANALCO	-103.99	21.12	RIO SANTIAGO	84258
132	12758	EL COLORADO	-101.88	20.65	ARROYO COLORADO	295
133	12760	SAUCES CHICOS CANAL P	-102.07	21.55	RIO ENCARNACION	7ND4
134	12764	ATEMAJAC	-103.29	20.72	ARROYO ATEMAJAC	151
135	12765	SAN ANDRES	-103.28	20.72	ARROYO SAN ANDRES	ND
136	12767	LA SAUCEDA	-101.85	21.35	RIO DE LA SAUCEDA	117
137	12768	RANCHO DE ENMEDIO	-103.59	22.56	RIO TOLOAQUE	ND
138	12772	JALISCO DEL REFUGIO	-103.15	22.00	RIO CHICHUCA	ND
139	12774	AHUETITA	-103.65	21.40	RIO AHUETITA	ND
140	12785	KM. 0 +010 ( LA SAUCEDA)	-101.68	21.45	CANAL MARGEN DERECHA	ND
141	12791	BOCAS	-103.73	22.42	RIO MEZQUITIC	ND
142	12921	ATOYAC	-103.49	20.02	CANAL PRINCIPAL MARGEN IZQUIERDA	ND
143	12935	CALDERON	-102.99	20.68	RIO CALDERON	ND
144	12936	LA ZURDA I	-102.72	21.27	RIO VERDE	ND
145	12937	ZULA	-102.72	20.40	ZULA OCOTLAN	ND
146	12939	EL PURGATORIO	-103.25	20.80	RIO VERDE	ND
147	12942	CUIXTLA	-103.44	21.05	CANAL NUMERO 1 MARGEN IZQUIERDA	ND
148	14003	LOS ROSILLOS	-103.99	20.76	CANAL LOS ROSILLOS	ND
149	14020	SAN JUANITO	-104.01	20.80	CANAL TAJO SAN JUANITO	ND
150	16021	SAN GREGORIO	-103.35	21.28	RIO COBIANES	187
151	18722	KM 0+117.7 (LA SAUCEDA)	-101.68	21.45	CANAL MARGEN IZQUIERDA	ND
152	12210	VERTEDOR POTRERILLOS	-102.44	22.23	RIO PABELLON	313
153	12218	EL AGUILA	-102.41	22.14	RIO SANTIAGO	558
154	12227	TIZCARENO	-102.43	21.92	RIO MORCINIQUE	192
155	12239	SAN PEDRO PIEDRA GORDA	-102.35	22.45	RIO SAN PEDRO	41ND
156	12271	PALMITOS	-102.41	22.14	RIO SANTIAGO	558
157	12280	TUNEL NUMERO 2	-102.44	22.23	TUNEL DERIVACION	ND
158	12281	KM. 1 +400 (PRESA JOCOQUE)	-102.35	22.13	CANAL PRINCIPAL	ND
159	12378	PRESA CALLES	-102.41	22.14	SALIDAS PRESA	558
160	12007	SALAMANCA	-101.17	20.38	RIO LERMA	21846
161	12012	SAN FRANCISCO	-100.90	20.21	CANAL GUGORRONES	ND
162	12014	PASARELA VILLA JIMENEZ	-101.75	19.92	RIO ANGULO	1417
163	12020	EL SALTO	-100.90	20.20	CANAL SAN ISIDRO	ND
164	12022	REFORMA NUMERO 1	-100.88	20.19	CANAL REFORMA	ND
165	12023	REFORMA NUMERO 2	-100.88	20.20	CANAL ARDILLAS	ND

No	Cve_estac_	Nombre	longitud	latitud	Corriente propia	Area km <sup>2</sup>
166	12034	MARAVATIO	-100.90	20.20	CANAL MARAVATIO	ND
167	12067	EMENGUARO	-100.88	20.17	RIO LERMA	9277
168	12093	ZINZIMEO	-100.98	19.87	RIO QUERENDARO	546
169	12096	CASA BLANCA	-100.44	19.89	ARROYO CASA BLANCA	169
170	12098	ANGAMACUTIRO	-101.70	20.13	RIO ANGULO	2ND64
171	12102	LAS ISLAS	-101.07	20.28	CANAL ISLAS	ND
172	12104	ACAMBARO	-100.73	20.05	RIO LERMA	87ND6
173	12109	BATANES	-100.90	20.20	CANAL SAN ISIDRO	ND
174	12113	MOLINOS DE CABALLERO	-100.21	20.07	RIO LERMA	5352
175	12114	LA ROSA	-100.30	19.92	CANAL PAQUISIHUATO	ND
176	12115	PATEO	-100.33	19.90	CANAL TUNGAREO	ND
177	12117	MARAVATIO	-100.42	19.90	ARROYO CACHIVI	465
178	12120	HUARACHA	-100.30	19.92	CANAL HUARACHA	ND
179	12121	SAN NICOLAS II	-100.90	20.20	CANAL SAN NICOLAS	ND
180	12131	ARMADILLO	-101.05	20.28	RIO LERMA	ND
181	12139	ZIRITZICUARO	-100.49	20.02	CANAL PUROAGUA	ND
182	12140	ZIRITZICUARO	-100.43	19.95	CANAL SAN LORENZO	ND
183	12142	ZEMPOALA	-101.08	20.32		ND
184	12145	ZEMPOALA	-101.08	20.32	CANAL EXTRACCIONES	ND
185	12148	ZIRITZICUARO	-100.43	19.96	CANAL PEÑA BLANCA	ND
186	12155	SOLIS	-100.68	20.04	CANAL SAN CRISTOBAL	ND
187	12160	SAN AGUSTIN	-100.86	20.13	CANAL SAN PEDRO	ND
188	12162	COMPUERTAS CHICAS	-101.08	20.30	CANAL EXTRACCIONES	ND
189	12192	COMPUERTAS GRANDES	-101.07	20.28	CANAL ALIMENTADOR	ND
190	12194	OJUELOS	-100.99	20.26	RIO LERMA	1ND422
191	12209	EL TAMBOR	-100.24	19.99	RIO LERMA	5645
192	12210	VERTEDOR POTRERILLOS	-102.44	22.23	RIO PABELLON	313
193	12214	EMENGUARO	-100.88	20.14	CANAL EMENGUARO	ND
194	12218	EL AGUILA	-102.41	22.14	RIO SANTIAGO	558
195	12219	COINTZIO	-101.26	19.64	RIO GRANDE DE MORELIA	49ND
196	12221	ATAPANEO	-101.18	19.73	RIO GRANDE DE MORELIA	912
197	12223	QUIRIO	-101.01	19.80	RIO GRANDE DE MORELIA	1264
198	12224	CHIQUITO	-101.19	19.70	RIO CHIQUITO	78
199	12227	TIZCARENO	-102.43	21.92	RIO MORCINIQUE	192
200	12232	PASO DE OVEJAS	-100.46	19.99	RIO LERMA	7161
201	12237	MUNGUIA (ZATEMAYE)	-100.56	20.11	RIO TIGRE	673
202	12238	PERICOS	-101.11	20.53	RIO DE LA LAJA	9651
203	12239	SAN PEDRO PIEDRA GORDA	-102.35	22.45	RIO SAN PEDRO	41ND
204	12249	PATEO	-100.32	19.89	RIO TLALPUJAHUA	485
205	12254	SAN ISIDRO	-100.91	20.21	CANAL SAN ISIDRO	ND
206	12257	TARANDACUAO	-100.51	19.99	ARROYO TARANDACUAO	267
207	12258	LAVADEROS	-101.07	19.85	RIO GRANDE DE MORELIA	129ND
208	12271	PALMITOS	-102.41	22.14	RIO SANTIAGO	558
209	12274	MONTERRUBIO	-101.24	19.65	CANAL LA HUERTA	ND
210	12277	SAN BARTOLO	-101.01	19.82	CANAL SAN BARTOLO	ND
211	12280	TUNEL NUMERO 2	-102.44	22.23	TUNEL DERIVACION	ND
212	12281	KM. 1 +400 (PRESA JOCOQUE)	-102.35	22.13	CANAL PRINCIPAL	ND
213	12283	ZACAPENDO	-101.00	19.82	CANAL ZACAPENDO	ND
214	12312	COINTZIO	-101.26	19.64	CANAL LA HUERTA	ND
215	12314	QUERENDARO	-100.89	19.81	RIO QUERENDARO	133

No	Cve_estac_	Nombre	longitud	latitud	Corriente propia	Area km <sup>2</sup>
216	12323	SALIDAS DE MALPAIS	-100.88	19.83	RIO QUERENDARO	335
217	12331	EL PUEBLITO	-100.44	20.51	RIO DEL PUEBLITO	42ND
218	12341	SALIDA TUNEL	-101.26	19.63	RIO GRANDE DE MORELIA	486
219	12347	SANTIAGO UNDAMEO	-101.29	19.60	RIO GRANDE DE MORELIA	388
220	12349	SOLIS	-100.67	20.05	RIO LERMA	8358
221	12350	LA BEGOÑA II	-100.83	20.85	RIO DE LA LAJA	4984
222	12352	SALAMANCA II	-101.20	20.57	RIO LERMA	22ND33
223	12365	EL SALTO	-101.26	19.64	RIO GRANDE DE MORELIA	489
224	12367	VERTEDOR GUGORRONES	-100.90	20.22	CANAL GUGORRONES	ND
225	12373	SAN BARTOLO	-99.57	19.40	RIO LERMA	ND
226	12374	LA "Y"	-99.59	19.41	RIO LERMA	1582
227	12375	TEMASCALES	-100.15	20.06	RIO LERMA	5275
228	12376	SALVATIERRA	-100.90	20.22	RIO LERMA	93ND5
229	12377	OTZOLOTEPEC	-99.58	19.40	RIO OTZOLOTEPEC	212
230	12378	PRESA CALLES	-102.41	22.14	SALIDAS PRESA	558
231	12386	ATENCO	-99.51	19.18	RIO LERMA	4ND6
232	12387	PUENTE CARRETERA I	-99.52	19.29	RIO LERMA	ND
233	12388	PUENTE FERROCARRIL	-99.52	19.28	RIO LERMA	ND
234	12392	PUENTE MEXTEPEC	-99.94	19.65	RIO JALTEPEC	387
235	12394i	SANTA JULIA	-101.03	20.40	CANAL SALAMANCA	ND
236	12402	KM. 0 +262	-99.95	19.66	CANAL PRINCIPAL TEPETITLAN	ND
237	12403	KM. 2 +500	-99.93	19.65	CANAL TEPETITLAN	ND
238	12404	PUENTE CANAL	-99.93	19.65	CANAL ENYEGE	ND
239	12405	EL TECOMATE	-103.05	21.54	RIO JUCHIPILA	5775
240	12415	PUENTE SAN ISIDRO	-101.53	19.86	RIO DE LA PATERA	257
241	12423	PUENTE ATLACOMULCO	-99.89	19.79	RIO LERMA	4436
242	12424	PUERTA DEL MONTE	-101.03	20.26	CANAL ALIMENTADOR	ND
243	12427	PUENTE SAN ISIDRO	-101.53	19.86	CANAL DEL BANADERO	ND
244	12436	LAS AMERICAS	-101.32	20.85	RIO GUANAJUATO	528
245	12440	PUENTE SAN ISIDRO	-101.53	19.86	CANAL DE LA PEÑITA	ND
246	12451	PUENTE CARRETERA II	-99.52	19.28	RIO LERMA	885
247	12456	PEÑUELITAS	-100.88	21.11	RIO DE LA ERRE	395
248	12466	JERECUARO	-100.52	20.14	RIO TIGRE O CORONEO	6NDND
249	12470	HUAYNAMOTA	-104.71	21.84	RIO HUAYNAMOTA	17528
250	12477	JARAL	-101.06	20.34	CANAL EXTRACCIONES	ND
251	12486	CAPITIRO	-101.02	20.29	CANAL ING. ANTONIO CORIA	ND
252	12490	SAN NICOLASITO	-100.41	19.92	RIO LERMA	636ND
253	12494	PLANTA POTABILIZADORA	-101.19	19.68	TOMA AGUA POTABLE	ND
254	12496	CAPOMAL	-105.12	21.83	RIO SANTIAGO	ND
255	12506	BRANIFF	-100.70	20.04	RIO LERMA	8611
256	12510	OBREGON	-101.11	21.33	RIO DE LA LAJA	1145
257	12512	SILAO	-101.44	20.96	RIO SILAO	372
258	12516	MOLOLOA	-104.88	21.50	RIO TEPIC	443
259	12523	NANCHI	-105.05	21.80	CANAL PRINCIPAL MARGEN IZQUIERDA	ND
260	12524	BRANIFF	-100.70	20.04	CANAL RANCHO VIEJO	ND
261	12529	LABORIO	-101.06	20.38	CANAL LABORIO	ND
262	12534	ATOTONILCO II	-99.78	19.45	RIO LA GAVIA	5ND6
263	12535	CINCO SEÑORES	-100.92	20.96	ARROYO SAN DAMIAN	4ND8
264	12537	EL SIFON	-100.88	19.83	CANAL ZANJA SUR	ND
265	12539	SAN BERNABE	-99.72	19.47	RIO LERMA	2142

No	Cve_estac_	Nombre	longitud	latitud	Corriente propia	Area km <sup>2</sup>
266	12543	CALIXTLAHUACA	-99.69	19.34	RIO TEJALPA	225
267	12544	AGUA BLANCA	-102.90	21.99	SALIDAS PRESA EL CHIQUE	2754
268	12546	GONZALEZ	-100.85	20.89	ARROYO TLAXCALILLA	12ND
269	12548	PEÑUELITAS	-100.88	21.11	CANAL EXTRACCION	ND
270	12553	CANAL NUMERO 1	-100.02	19.92	CANAL MARGEN DERECHA	ND
271	12554	CANAL NUMERO 2	-100.02	19.93	CANAL MARGEN IZQUIERDA	ND
272	12556	CERRO BLANCO	-104.57	21.42	RIO MOJARRAS	196
273	12558	EL BATAN	-100.42	20.50	RIO DEL PUEBLITO	399
274	12560	XOCONOLE	-101.01	19.80	CANAL XOCONOLE	ND
275	12561	TEMASCALCINGO	-100.02	19.91	RIO LERMA	4851
276	12562	LA TRINIDAD	-101.25	20.72	ARROYO TEMASCATIO	267
277	12568	EL TEJOCOTE	-99.91	19.86	RIO CHIQUITO	2ND5
278	12574	LOS VELAZQUEZ	-99.87	19.42	RIO EL ROSARIO	35
279	12576	PALMILLAS	-99.68	19.35	CANAL LOS ALAMOS	ND
280	12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	-99.87	19.42	RIO LA GAVIA	163
281	12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	-99.71	19.60	RIO SILA	175
282	12588	EL PLAN	-101.01	19.82	RIO GRANDE DE MORELIA	127ND
283	12592	SANTA MARIA DEL LLANO	-99.72	19.63	RIO SANTO DOMINGO	378
284	12601	EL PESCADO NUMERO 2	-99.71	19.78	RIO EL PESCADO	36
285	12605	TEMASCALES II	-100.15	20.06	RIO LERMA	5275
286	12611	HACIENDA DE SANCHEZ	-100.90	20.22	CANAL GUGORRONES	ND
287	12612	ANGAMACUTIRO	-101.70	20.13	CANAL MARGEN IZQUIERDA	ND
288	12613	ANGAMACUTIRO	-101.70	20.13	CANAL MARGEN DERECHA	ND
289	12615	PALOMAS (SALIDAS PRESA PALOMAS)	-102.81	22.35	RIO PALOMAS	348
290	12620	TARIMBARO	-101.22	19.79	ARROYO GUADALUPE	95
291	12624	DERIVADORA DE TOXI	-99.92	19.84	CANAL NUMERO 1 MARGEN DERECHA	ND
292	12625	DERIVADORA DE TOXI	-99.92	19.85	CANAL NUMERO 2 MARGEN IZQUIERDA	ND
293	12627	PASARELA SOLIS	-100.67	20.05	RIO LERMA	8538
294	12629	BOYICHA	-99.70	19.67	RIO SANTO DOMINGO	25ND
295	12652	LA BEGOÑA	-100.83	20.86	RIO DE LA LAJA	4981
296	12655	ATOTONILCO I	-99.77	19.44	RIO LA GAVIA	5ND3
297	12661	LA CINTA	-101.16	20.10	DREN LA CINTA	ND
298	12664	EL GIGANTE	-100.45	19.97	RIO LERMA	7121
299	12667	SAN ISIDRO (EXCEDENTES PRESA SAN ISIDRO)	-103.38	22.84	ARROYO LOBATOS	414
300	12713	ANGAMACUTIRO II	-101.71	20.14	RIO ANGULO	2ND64
301	12715	PUENTE DOLORES	-100.90	21.17	RIO DE LA LAJA	1711
302	12717	EL CHAPIN	-101.24	20.87	RIO LA SAUCEDA	226
303	12718	AMECHE	-100.59	20.56	RIO QUERETARO	2255
304	12719	TRES GUERRAS	-100.77	20.52	RIO DE LA LAJA	5849
305	12720	SAN NICOLAS III	-100.89	20.20	CANAL SAN NICOLAS	ND
306	12728	TEPALCATES	-101.37	20.74	CANAL TEPALCATES	ND
307	12729	TROJES	-99.61	19.43	RIO TEMOAYA	74
308	12734	EL SIFON	-100.88	19.84	CANAL ZANJA SUR MARGEN DERECHA	ND
309	12737	ZONA INDUSTRIAL	-99.51	19.29	CANAL DESAGUE ORIENTE	ND
310	12738	UNIVERSIDAD	-99.67	19.28	RIO VERDIGUEL	51
311	12739	MILTEPEC	-99.66	19.32	CANAL DESAGUE NORTE	ND
312	12740	TLACOPA	-99.63	19.32	CANAL PRINCIPAL DESAGUE NORTE	ND
313	12741	LA LOMA	-99.56	19.29	CANAL DESAGUE ORIENTE	ND

No	Cve_estac_	Nombre	longitud	latitud	Corriente propia	Area km <sup>2</sup>
314	12743	SAN JUAN TEMASCATIO	-101.22	20.73	ARROYO TEMASCATIO	251
315	12744	COPALILLO	-101.35	20.72	RIO GUANAJUATO	646
316	12748	EL SAUZ	-101.33	20.78	ARROYO ZARCO	67
317	12751	TLACOPA NUMERO 1	-99.63	19.32	CANAL DESAGUE NORESTE MARGEN DERECHA	ND
318	12752	TLACOPA NUMERO 2	-99.63	19.32	CANAL DESAGUE NOROESTE	ND
319	12755	ANGAMACUTIRO II	-101.70	20.13	CANAL MARGEN DERECHA	ND
320	12756	ANGAMACUTIRO II	-101.70	20.13	CANAL MARGEN IZQUIERDA	ND
321	12759	EL CUBO	-100.90	20.28	DREN TARIMORO	ND
322	12761	LA YERBABUENA	-101.36	21.06	ARROYO LA YERBABUENA	18
323	12762	EL TIGRE	-101.46	21.07	ARROYO EL TIGRE	24
324	12769	AMADO NERVO	-105.04	21.73	CANAL PRINCIPAL MARGEN IZQUIERDA	ND
325	12908	ARANDAS	-101.37	20.71	RIO DE LA LLAVE	2123
326	12932	ZINZIMEO	-101.01	19.83	CANAL ZINZIMEO	ND

## **Capítulo VI. Aplicación y análisis del método sistematizado de la Avenida Índice en un SIG**

### **6.1. Antecedentes**

En este capítulo se presentan ejemplos de la aplicación del programado denominado *Regionalización* implementado en ArcView 8.3 en la aplicación ArcMap. Para los ejemplos se seleccionaron de forma arbitraria dos cuencas de la Región XII ya que lo que se pretende es mostrar la funcionalidad del programa.

En estos ejemplos de aplicación, el programa *Regionalización* se utilizó con un nivel de confianza del 95% en la prueba de homogeneidad que propiamente corresponde al método de la Avenida Índice de Dalrymple (1960) y los respectivos pronósticos de avenidas máximas.

Con el nuevo programa disponible en la interfaz de usuario de ArcMap se revisaron otros niveles de confianza de la prueba de homogeneidad incluida en el procedimiento de la Avenida Índice, aunque el análisis se limitó a la Región Lerma-Santiago, los resultados dan la pauta para su aplicación global quizás involucrando a las 37 regiones hidrológicas del país.

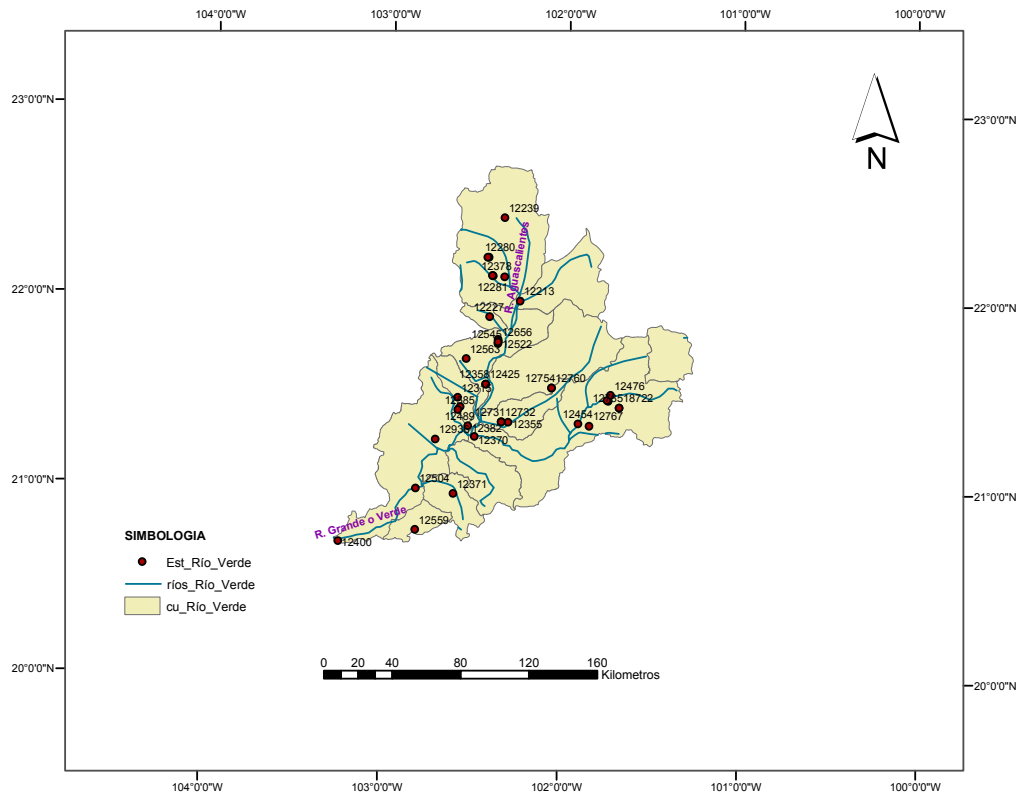
### **6.2. Estudio regional en dos cuencas de la Región XII**

Para ilustrar el funcionamiento del programa *Regionalización*, se eligieron las cuencas Río Verde Grande y Río Bolaños ambas pertenecientes a la Región Lerma-Santiago.

#### **6.2.1. Regionalización en la cuenca Río Verde Grande**

La cuenca Río Verde Grande está formada por 13 subcuencas las cuales son aforadas por 38 estaciones hidrométricas. La superficie que ocupa es de 21,321 km<sup>2</sup> que

representa el 15.18% de la Región XII; es la cuenca con mayor extensión territorial de la región. En la Ilustración 6.1 se muestra el mapa de la cuenca.



**Ilustración 6.1.** Mapa de la cuenca Río Verde Grande

Los ríos principales son el río Verde Grande, el río Aguascalientes y el río de los Lagos en orden de aguas abajo hacia aguas arriba. El río Verde Grande es tributario del río Santiago.

Para la obtención de la curva regional de esta cuenca (utilizando el procedimiento de regionalización que se implementó dentro de ArcView 8.3), se debieron activar los mapas SUBCUENCAS y ESTAC\_R12 que contienen las subcuencas y estaciones hidrométricas respectivamente, así como hacer la selección de todas las subcuencas pertenecientes a la cuenca en estudio.

Para el cálculo de la curva regional se hicieron las siguientes consideraciones: el análisis fue realizado con el método de la Avenida Índice, se emplearon el total de estaciones de la cuenca y se indicó al programa que el periodo común de años fuera determinado de manera automática.

En la Ilustraciones 6.2 a,b,c y d se presentan algunas de las etapas de la corrida del comando *Regionalización* en la cuenca.

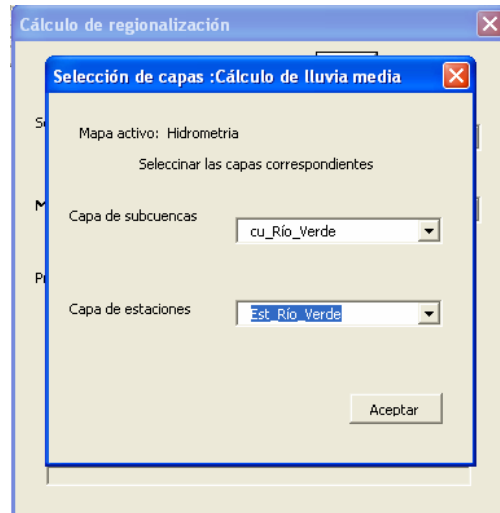
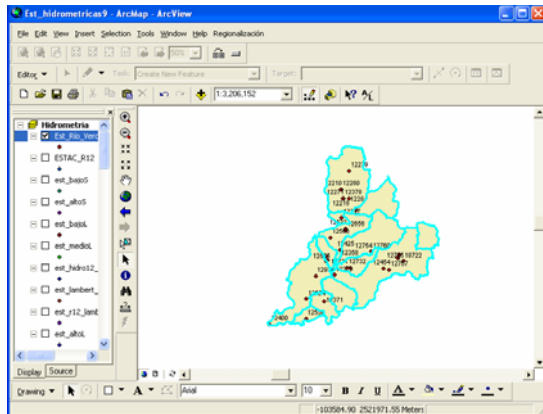
Los resultados que se pueden obtener del programa son los siguientes:

- Un archivo en Excel con la validación que el programa realiza de las estaciones y los resultados de la prueba de homogeneidad,
- Las nuevas series de tiempo de las estaciones homogéneas para diferentes periodos de retorno, en un archivo de Excel,



- La curva regional de frecuencias y
- Estimación de gastos de diseño para una zona no aforada que es indicada al programa.

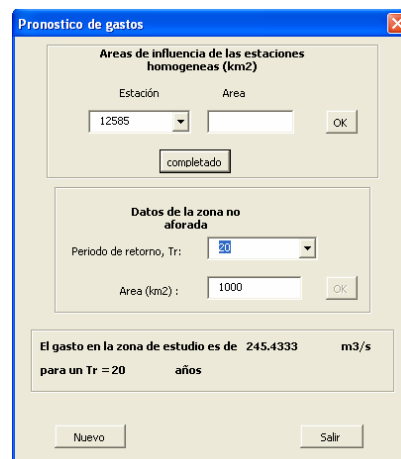
La mayoría de estos resultados pueden ser exportados a Excel.



a) Selección de las subcuencas, previa a la ejecución del programa

b) Ventana de dialogo para indicar las capas de subcuencas y estaciones que se utilizan en el análisis.

1	Período común de estudio 1986-1968					
2	Selecc.	>10 Años	P. Común O2.33	Q10	Homogenea	
3	12218	12239	12280	18.6862	22.667	12368
4	12239	12271	12378	16.22219	16.899	12362
5	12271	12380	12390	6.169519	66.1966	12425
6	12390	12381	12380	66.63969	493.224	12370
7	12281	12378	12425	29.37671	241.6	12422
8	12378	12754	12656	0.960536	1.103	12454
9	12213	12760	12370	60.96166	430.445	12585
10	12754	12358	12422	3.708831	237.979	
11	12760	12382	12454	28.20687	386.286	
12	12227	12425	12476	2.312844	2.76	
13	12358	12545	12400	130.0591	381.006	
14	12382	12659	12595	26.41103	67.503	
15	12359	12369	12371	62.04225	134.157	
16	12425	12370				
17	12522	12422				
18	12545	12454				



c) Resultados previos de la Prueba de Homogeneidad de Langbein.

d) Ventana de dialogo para realizar la estimación de eventos.

**Ilustración 6.2.** Ventanas de dialogo y resultados desplegados durante el análisis de regionalización en la cuenca Río Verde Grande.

A continuación se presentan los resultados para cuenca Río Verde Grande. Las Tablas 6.1 y 6.2 muestran los resultados de la prueba de homogeneidad de Langbein y la Tabla 6.3 contiene las series de tiempo calculadas para las estaciones homogéneas y la curva regional tabulada.

**Tabla 6.1.** Resultados del filtro de estaciones en la cuenca Río Verde

<b>Periodo común de estudio 1986-1988</b>					
<b>Selec.</b>	<b>&gt;10 Años</b>	<b>P. Común</b>	<b>Q2.33</b>	<b>Q10</b>	<b>Homogenea</b>
12218	12239	12280	18.69	22.67	12358
12239	12271	12378	15.22	16.90	12382
12271	12280	12358	6.17	66.20	12425
12280	12281	12382	85.84	493.22	12370
12281	12378	12425	29.38	241.60	12422
12378	12754	12656	0.99	1.18	12454
12213	12760	12370	60.96	438.45	12585
12754	12358	12422	3.71	237.98	
12760	12382	12454	28.21	386.29	
12227	12425	12476	2.31	2.76	
12358	12545	12400	130.06	381.01	
12382	12656	12585	26.41	67.50	
12389	12369	12371	62.05	134.16	
12425	12370				
12522	12422				
12545	12454				
12563	12476				
12656	12767				
12369	12785				
12370	12315				
12422	12489				
12454	12400				
12476	12504				
12767	12585				
12785	12355				
18722	12371				
12315					
12489					
12400					
12504					
12585					
12936					
12355					
12731					
12732					
12371					
12559					
<b>Faltantes</b>					
<b>Est.</b>	<b>DF</b>				
12280	1				
12281	2				
12378	1				
12358	0				
12382	0				
12425	1				
12545	7				
12656	1				
12369	19				
12370	0				
12422	0				
12454	0				
12476	0				
12400	0				
12504	3				
12585	0				
12371	0				
<b>Falta 10%</b>					
<b>12280</b>	<b>12378</b>	<b>12425</b>	<b>12656</b>		
1986	1986	1981	1986		

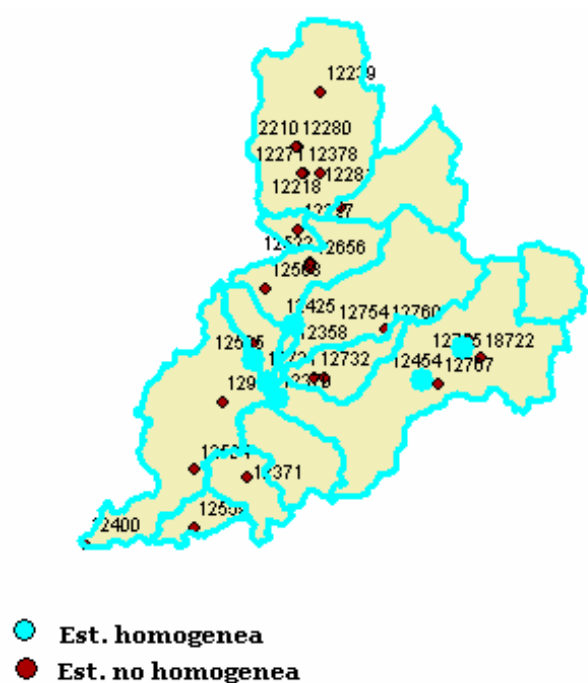
En la tabla 6.1, las dos columnas que se encuentran bajo el texto *Faltantes* muestran las estaciones dentro del periodo común de análisis que tienen años sin datos. En la

columna *Est* se encuentran las claves de las estaciones y los números de años faltantes están en *DF*. Bajo el texto *Falta 10%*, en la misma tabla se muestran las estaciones cuyo porcentaje de datos faltantes no excede el 10% del total de registros y los años donde faltan los datos.

**Tabla 6.2.** Resultados de la prueba de homogeneidad en la cuenca Río Verde Grande

Tabulación, Curva de Langbein			Tabla, Est. del estudio		Rango 95%	
Tr	L_inf.	L_sup	Cve_est	n	T10	Homogénea
5	1.2	160	12280	19	9108.89	No Homo.
10	1.8	70	12378	19	2269.67	No Homo.
20	2.8	40	12358	19	7.53	Homogénea
50	4.2	24	12382	19	14.28	Homogénea
100	5.6	18	12425	19	15.22	Homogénea
200	6.5	15	12656	19	2407.26	No Homo.
500	7.7	13	12370	19	21.21	Homogénea
1000	8.3	12	12422	19	3.52	Homogénea
			12454	19	6.30	Homogénea
			12476	19	623.77	No Homo.
			12400	19	126.75	No Homo.
			12585	19	25.67	Homogénea
			12371	19	114.85	No Homo.

Al finalizar la aplicación del programa, sobre el mapa se identifican también las estaciones homogéneas resultantes, como se observa en la Ilustración 6.3.



**Ilustración 6.3.** Estaciones homogéneas resultantes del análisis de regionalización en la cuenca Río Verde Grande.

**Tabla 6.3.** Tabla del cálculo regional en la cuenca Río Verde

Estación		12358		12382		12425		12370		12422		12454		12585		
Tr	Prob	Q (m3/s)	Ri	Q (m3/s)	Ri	Q (m3/s)	Ri	Q (m3/s)	Ri	Q (m3/s)	Ri	Q (m3/s)	Ri	Q (m3/s)	Ri	Rmedia
2	0.5	11.90	1.93	105.79	1.23	33.87	1.15	91.49	1.50	30.79	8.30	65.14	2.31	25.26	0.96	2.48
5	0.8	32.29	5.23	354.46	4.13	109.10	3.71	223.68	3.67	111.22	29.99	179.64	6.37	62.51	2.37	7.92
10	0.9	45.79	7.42	519.09	6.05	158.91	5.41	311.19	5.10	164.46	44.34	255.45	9.06	87.18	3.30	11.53
20	0.95	58.74	9.52	677.02	7.89	206.69	7.04	395.14	6.48	215.54	58.11	328.17	11.63	110.84	4.20	14.98
50	0.98	75.50	12.24	881.43	10.27	268.53	9.14	503.81	8.26	281.65	75.94	422.29	14.97	141.46	5.36	19.45
100	0.99	88.06	14.28	1034.61	12.05	314.88	10.72	585.23	9.60	331.19	89.30	492.82	17.47	164.41	6.23	22.81
200	0.995	100.58	16.30	1187.23	13.83	361.05	12.29	666.36	10.93	380.55	102.61	563.10	19.96	187.27	7.09	26.15
500	0.998	117.09	18.98	1388.59	16.18	421.97	14.36	773.40	12.69	445.67	120.17	655.81	23.25	217.43	8.23	30.55
1000	0.999	129.57	21.00	1540.77	17.95	468.02	15.93	854.30	14.01	494.89	133.44	725.88	25.73	240.23	9.10	33.88
5000	0.9998	158.53	25.70	1893.98	22.06	574.88	19.57	1042.06	17.09	609.13	164.24	888.52	31.50	293.14	11.10	41.61
10000	0.9999	170.99	27.72	2046.00	23.84	620.87	21.13	1122.86	18.42	658.29	177.49	958.52	33.98	315.92	11.96	44.94
	<b>Q(2.33)</b>	<b>6.17</b>		<b>85.84</b>		<b>29.38</b>		<b>60.96</b>		<b>3.71</b>		<b>28.21</b>		<b>26.41</b>		
	<b>Q(10)</b>	<b>66.20</b>		<b>493.22</b>		<b>241.60</b>		<b>438.45</b>		<b>237.98</b>		<b>386.29</b>		<b>67.50</b>		

En resumen, de las 38 estaciones ubicadas en la cuenca sólo 7 de ellas, fueron parte de la región homogénea para el cálculo regional por el método de la avenida índice, en el periodo de 1986-1968.

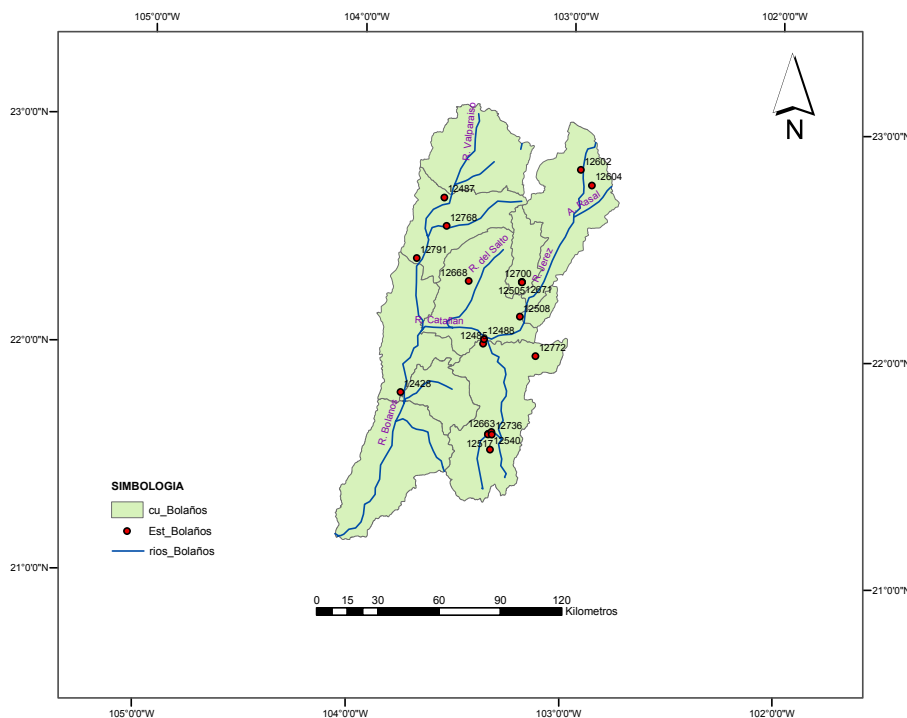
Las estaciones fueron validadas por el programa de acuerdo con lo siguiente: no fueron consideradas estaciones con registros menores a 10 años, las estaciones debían de contar con registros en el intervalo del periodo común y tener como máximo 10% de datos faltantes (registros que fueron completados por correlación con la estación más cercana, dado el caso), y las estaciones debían cumplir con la prueba de homogeneidad de Langbein. Por estas razones se disminuyó el número de estaciones homogéneas en el estudio quedando finalmente 7. Finalmente se solicitó al programa la estimación de un evento para una zona de estudio ficticia de 1000 km<sup>2</sup> de superficie para diferentes periodos de retorno. La estimación se realiza con la curva de frecuencias que se obtiene del análisis En la Tabla 6.4 se muestran los gastos de diseño obtenidos.

**Tabla 6.4.** Gastos de diseño en una zona de 1000 km<sup>2</sup>, no aforada en la cuenca Río Verde Grande

<b>T (años)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
20	245.43
50	318.70
1000	555.04

### 6.2.2. Regionalización en la cuenca Río Bolaños

La cuenca Río Bolaños se compone de diez subcuencas y que tiene una superficie de 15,089 km<sup>2</sup>, extensión que corresponde al 11% aproximadamente de la región. En la cuenca se encuentran 20 estaciones hidrométricas distribuidas como se observa en la Ilustración 6.4.



**Ilustración 6.4.** Mapa de la cuenca Río Bolaños y ubicación de estaciones hidrométricas.

El río principal de la cuenca también es tributario del río Santiago, otros ríos importantes son los ríos Jerez y Valparaíso.

Debido a que las consideraciones sobre la aplicación del método de regionalización fueron las mismas que en el caso anterior, se omitirán estos comentarios e ilustraciones no así los resultados que arrojó el programa. En las Tablas 6.5 y 6.6 se presentan los resultados de la validación de estaciones y de la prueba de homogeneidad, y respectivamente, en la Tabla 6.7 se muestran los resultados de la curva regional y los ajustes.

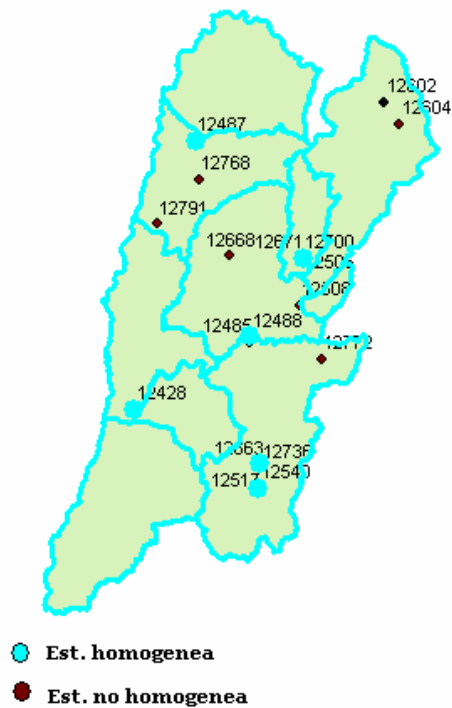
**Tabla 6.5.** Resultados del filtro de estaciones en la cuenca Río Bolaños

<b>Periodo común de estudio 1984-1969</b>					
<b>Selec.</b>	<b>&gt;10 Años</b>	<b>P. Común</b>	<b>Q2.33</b>	<b>Q10</b>	<b>Homogenea</b>
12768	12487	12487	42.00	143.26	12487
12791	12768	12700	12.55	28.29	12700
12505	12791	12488	37.08	106.71	12488
12671	12671	12428	290.04	841.18	12428
12700	12700	12540	20.60	49.29	12540
12602	12488	12663	80.99	154.63	12663
12604	12668				
12488	12428				
12508	12483				
12668	12485				
12428	12540				
12268	12663				
12483	12736				
12485					
12517					
12540					
12663					
12736					
12772					
<b>Faltantes</b>					
<b>Est.</b>	<b>DF</b>				
12487	0				
12700	0				
12488	0				
12668	2				
12428	0				
12485	2				
12540	0				
12663	0				
<b>Falta 10%</b>					
<b>No datos faltantes</b>					

**Tabla 6.6.** Resultados de la prueba de homogeneidad en la cuenca Río Bolaños

Tabulación, Curva de Langbein			Tabla, Est. del estudio		Rango 95%	
Tr	L_inf.	L_sup	Cve_est	n	T10	Homogénea
5	1.2	160	12487	16	4.32	Homogénea
10	1.8	70	12700	16	11.79	Homogénea
20	2.8	40	12488	16	7.93	Homogénea
50	4.2	24	12428	16	8.52	Homogénea
100	5.6	18	12540	16	12.65	Homogénea
200	6.5	15	12663	16	16.12	Homogénea
500	7.7	13				
1000	8.3	12				

En la Ilustración 6.5 pueden observarse las estaciones homogéneas resultantes del análisis regional en la cuenca Río Bolaños.



**Ilustración 6.5.** Estaciones homogéneas resultantes del análisis de regionalización de la cuenca Río Bolaños.

**Tabla 6.7.** Tabla del cálculo regional en la cuenca Río Bolaños

<b>Estación</b>		<b>12487</b>		<b>12700</b>		<b>12488</b>		<b>12428</b>		<b>12540</b>		<b>12663</b>		<b>Rmedia</b>
<b>Tr</b>	<b>Prob</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>Ri</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>Ri</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>Ri</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>Ri</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>Ri</b>	<b>Q (m3/s)</b>	<b>Ri</b>	
2	0.5	48.36	1.15	9.00	0.72	38.16	1.03	336.48	1.16	19.08	0.93	64.25	0.79	0.96
5	0.8	92.00	2.19	21.26	1.69	69.10	1.86	604.24	2.08	31.78	1.54	115.40	1.42	1.80
10	0.9	120.89	2.88	29.38	2.34	89.60	2.42	781.52	2.69	40.20	1.95	149.27	1.84	2.35
20	0.95	148.61	3.54	37.17	2.96	109.25	2.95	951.57	3.28	48.26	2.34	181.76	2.24	2.89
50	0.98	184.48	4.39	47.24	3.76	134.69	3.63	1171.68	4.04	58.71	2.85	223.81	2.76	3.57
100	0.99	211.36	5.03	54.80	4.37	153.76	4.15	1336.62	4.61	66.53	3.23	255.33	3.15	4.09
200	0.995	238.15	5.67	62.32	4.97	172.76	4.66	1500.97	5.17	74.33	3.61	286.72	3.54	4.60
500	0.998	273.48	6.51	72.25	5.76	197.82	5.33	1717.79	5.92	84.62	4.11	328.15	4.05	5.28
1000	0.999	300.19	7.15	79.75	6.35	216.76	5.85	1881.65	6.49	92.40	4.48	359.45	4.44	5.79
5000	0.9998	362.18	8.62	97.17	7.74	260.72	7.03	2261.98	7.80	110.44	5.36	432.12	5.34	6.98
10000	0.9999	388.85	9.26	104.66	8.34	279.64	7.54	2425.67	8.36	118.21	5.74	463.39	5.72	7.49
	<b>Q(2.33)</b>	<b>42.00</b>		<b>12.55</b>		<b>37.08</b>		<b>290.04</b>		<b>20.60</b>		<b>80.99</b>		
	<b>Q(10)</b>	<b>143.26</b>		<b>28.29</b>		<b>106.71</b>		<b>841.18</b>		<b>49.29</b>		<b>154.63</b>		



La estimación de gastos de diseño en esta cuenca se realizó para una zona no aforada ficticia de 500 km<sup>2</sup> para diferentes periodos de retorno. Estos resultados se presentan en la Tabla 6.8.

**Tabla 6.8.** Gastos de diseño en una zona de 500 km<sup>2</sup>, no aforada en la cuenca Río Bolaños

<u>T (años)</u>	<u>Q(m<sup>3</sup>/s)</u>
20	73.77
50	91.36
500	148.10

### **6.3. Revisión del método de la Avenida Índice en la Región XII con la herramienta desarrollada.**

El método compara los eventos medios en una región determinada a través de las relaciones de escala de los eventos medios  $R_i$  por estación y la relación media  $R_m$  de la cuenca y así identifica las similitudes en el comportamiento de los escurrimientos. Es de esperar, que si en el análisis se incluye una estación adicional ó si se saca alguna estación, esto provoque que algunas estaciones salgan de la región homogénea ó que nuevas estaciones queden dentro de ella, lo que ocasiona gran sensibilidad en el establecimiento de ésta. Tal sensibilidad del método está representada por los resultados de las ecuaciones 3.7 y 3.8, los cuales puede propiciar errores o variaciones en la región homogénea.

En efecto, si la relación  $R_i$  de una estación hidrométrica dada presenta una gran desviación con respecto a la media, calculada por la ecuación 3.8, causará también un efecto no deseado en el cálculo de la propia relación media, propiciando así que el cálculo de los  $Q_{10}$  modificados y que los correspondientes  $T_m$  acarreen esa desviación. Al final, esto puede generar que algunas estaciones queden fuera de la zona de homogeneidad de Langbein (Ilustración 3.1).

Ante este hecho se plantean las preguntas ¿Qué impacto, sobre la definición de la región homogénea, tendrá el no incluir, desde un principio, a las estaciones cuyas relaciones  $R_i$  se encuentren muy desviadas de la relación media? Si se hace una preselección de las estaciones a incluir en la prueba de Dalrymple, ¿los estimados serán mejores?.

En este sentido se plantea una hipótesis de trabajo definida como: el uso de estaciones cuyas relaciones de escala  $R_i$  están fuera del rango  $R_m + \alpha\sigma$ , donde  $\alpha$  es un coeficiente obtenido del nivel de confianza seleccionado y  $\sigma$  es la desviación estándar de las  $R_i$ , genera una región homogénea menor en tamaño y una curva de frecuencias que arroja peores estimados.

Por lo tanto, el análisis del método se enfocó a revisar los efectos de las relaciones de escala  $R_i$  en la región homogénea y a la evaluación de los estimados de la curva de frecuencias resultante, tanto para el nivel de confianza del 95% en la prueba de homogeneidad como para los niveles de 90% y 99%, opciones que permite el programa *Regionalización*, así como la selección de las estaciones que deberán participar en el análisis.

### 6.3.1. Modificación propuesta

La prueba de la hipótesis, que involucra la determinación del valor óptimo de  $\alpha$  permitirá la definición de una región homogénea de mejor calidad en los estimados. A continuación se describe el procedimiento propuesto para la prueba de la hipótesis de trabajo.

Se realizó una primera simulación de acuerdo al del método de la Avenida Índice en su versión original utilizando el total de las estaciones de la Región XII, donde se indicó al programa que generara el periodo común de años. Esta corrida se nombró Regionalización base ó cero. También se aplicó el método con la modificación propuesta (descrita enseguida), utilizando los tres niveles de confianza, 90%, 95% y 99% para definir el valor de  $\alpha$  con el mismo periodo común seleccionado por el programa. Cada caso se identificó como R90, R95 y R99 respectivamente.

De los resultados de cada una de la regionalizaciones se seleccionaron aquellas estaciones cuya relación  $R_i$  fuera mayor que  $R_m + \alpha\sigma$ , posteriormente de dichas estaciones se identificó aquella que tuviera la mayor desviación, la cual se discrimina, es decir no se considera en un nuevo proceso de regionalización. Para hacer esta revisión se utilizaron los resultados parciales del programa *Regionalización*, generados antes obtener de aplicar la prueba de Langbein. Posteriormente se procedió a realizar una nueva simulación considerando las estaciones que quedaban después de quitar la estación discriminada, se recalculó una nueva relación  $R_m$  y se procedió a encontrar una nueva estación a discriminar. La discriminación fue excluyente es decir que en cada nueva ejecución se eliminaban las estaciones de las anteriores corridas. El proceso mencionado se denominó “filtrado”, el cual es la modificación propuesta al método de la Avenida Índice.

Se repitió este proceso hasta que no se presento ninguna estación con  $R_i > R_m + \alpha\sigma$ , nombrado como Regionalización final ó optima. Para los niveles de confianza seleccionados y considerando una distribución normal de los errores se tienen los valores de  $\alpha$  siguientes: 1.645 para 90%, 1.9604 para 95% y 2.575 para 99%.

Una medida inicial para evaluar la primera ventaja de este procedimiento de “filtrado” es el número de estaciones resultantes en la región homogénea de cada uno de los niveles de homogeneidad. Se esperaría obtener un mayor número de estaciones en la región homogénea después del “filtrado”.

Otra medida simple para la estimación del grado de homogeneidad en la región se obtuvo calculando el rango entre las relaciones  $R_i$  definido como  $Rango = R_i \max - R_i \min$ . Así, la región con el Rango más pequeño corresponderá a una región con una mejor calidad en su homogeneidad.

La calidad de los estimados que producen las regiones homogéneas obtenidas con el “filtrado” se comprobó mediante una validación cruzada, la cual es aplicable en cualquiera de las estaciones de la región de estudio, bajo la hipótesis de que se desconocía su gasto y que éste se estimaría a partir de la curva regional de frecuencias y la característica fisiográfica de la cuenca (área).

### 6.3.2. Evaluación de resultados y aplicación

#### *Definición de regiones homogéneas*

La prueba de la hipótesis planteada se hizo aplicando el procedimiento de modificación al método de la Avenida Índice a la Región hidrológica Lerma-Santiago, en la República Mexicana. El periodo común de la Regionalización base que fue seleccionado por el programa de acuerdo con el procedimiento, es de 1969 a 1987. El total de estaciones en la región es de 327 de las cuales 109 contaban con registros completos de gastos durante este periodo común.

Se obtuvieron regiones homogéneas de mayor extensión al realizar la aplicación del filtro a los diversos niveles de confianza para la región de estudio. Resultaron 60, 67 y 76 estaciones para los niveles de 90, 95 y 99% respectivamente. El resumen de estos resultados se muestra en la Tabla 6.9 y las estaciones homogéneas se encuentran en la Tabla 6.10. En la Tabla 6.10 se observa que todos los valores  $R_i$ , que corresponden a regionalizaciones con niveles de confianza de 90%, 95% y 99%, son menores o iguales al valor  $R_m + \alpha\sigma$  en cada una de ellas.

Los resultados de los Rangos de cada una de las regiones homogéneas generadas para la región Lerma-Santiago, se presentan en la Tabla 6.11. Los Rangos de las regiones homogéneas consideradas mejoraron al disminuir notablemente. En el Anexo 3 se incluyen resultados complementarios sobre el proceso anterior.

Los resultados del número de estaciones y el Rango indican que la aplicación del “filtrado” no sólo genera regiones más grandes sino que “más homogéneas”. Sin duda estos resultados son indicativos de la mejora en las estimaciones de los gastos obtenidos a través del método de la Avenida Índice.

La Regionalización final que cuenta con las mejores condiciones hidrológicas en la región según las revisiones anteriores, obtenida después del “filtrado” corresponde al nivel de confianza del 90% de acuerdo a las Tablas 6.9 y 6.11, ésta arrojó la mayor variación en el número de estaciones y la menor variación de escalas. Aún cuando para el nivel del 99% se obtiene la región más grande, la variación de las escalas en la Avenida Índice (Rango) es la mayor así como la desviación de la  $R_m$ . Los resultados para los niveles del 90% y 95% son muy similares en cuanto a la desviación de  $R_m$  y los Rangos, sin embargo la región homogénea es menor para el 90%.

**Tabla 6.9.** Estaciones homogéneas producto de la discriminación con  $R_i > R_m + \alpha\sigma$ , en la Región XII con el programa *Regionalización*

	Regionalización base	Regionalización final	No. Simulaciones	Variación (%)
<b>R90</b>	35	60	29	171.43
<b>R95</b>	48	67	30	139.58
<b>R99</b>	57	76	16	133.33

**Tabla 6.10.** Estaciones homogéneas de las simulaciones finales, Región XII

No	Regionalización 90%		Regionalización 95%		Regionalización 99%	
	Estación	Ri	Estación	Ri	Estación	Ri
1	12700	1.968	12700	1.968	12487	3.014
2	12615	1.697	12615	1.697	12700	1.968
3	12581	1.670	12288	1.751	12615	1.697
4	12592	1.564	12581	1.670	12581	1.670
5	12543	1.449	12592	1.564	12592	1.564
6	12576	2.280	12543	1.449	12543	1.449
7	12484	2.388	12576	2.280	12576	2.280
8	12579	1.604	12484	2.388	12667	3.580
9	12428	2.217	12579	1.604	12484	2.388
10	12544	1.903	12428	2.217	12579	1.604
11	12540	2.488	12544	1.903	12488	2.780
12	12663	1.832	12540	2.488	12428	2.217
13	12656	1.201	12663	1.832	12405	3.491
14	12514	2.524	12656	1.201	12544	1.903
15	12621	1.376	12514	2.524	12540	2.488
16	12535	2.676	12476	1.216	12663	1.832
17	12556	1.516	12621	1.376	12496	3.106
18	16021	1.994	12535	2.676	12656	1.201
19	12521	1.676	12556	1.516	12514	2.524
20	12757	1.815	16021	1.994	12400	3.151
21	12469	1.776	12521	1.676	12585	2.879
22	12532	2.501	12757	1.815	12621	1.376
23	12573	1.988	12469	1.776	12622	3.250
24	12371	2.471	12532	2.501	12535	2.676
25	12558	2.510	12573	1.988	12556	1.516
26	12607	2.605	12371	2.471	16021	1.994
27	12648	2.439	12558	2.510	12418	3.440
28	12649	2.469	12607	2.605	12493	2.850
29	12589	2.239	12648	2.439	12499	3.261
30	12424	2.174	12649	2.469	12521	1.676
31	12486	1.773	12589	2.239	12757	1.815
32	12506	2.345	12424	2.174	12469	1.776
33	12611	1.478	12486	1.773	12532	2.501
34	12627	1.453	12506	2.345	12573	1.988
35	12466	2.572	12611	1.478	12371	2.471
36	12379	1.853	12627	1.453	12558	2.510
37	12383	1.264	12466	2.572	12607	2.605
38	12408	1.309	12379	1.853	12648	2.439
39	12511	1.327	12383	1.264	12649	2.469
40	12278	2.294	12408	1.309	12233	3.405
41	12014	1.460	12410	1.076	12589	2.239
42	12415	1.644	12511	1.327	12424	2.174
43	12427	1.904	12278	2.294	12486	1.773
44	12375	2.501	12014	1.460	12506	2.345
45	12561	2.251	12415	1.644	12611	1.478
46	12568	1.750	12427	1.904	12627	1.453

No	Regionalización 90%		Regionalización 95%		Regionalización 99%	
	Estación	Ri	Estación	Ri	Estación	Ri
47	12605	2.199	12713	1.612	12466	2.572
48	12221	1.821	12375	2.501	12379	1.853
49	12277	1.504	12553	1.541	12383	1.264
50	12341	1.243	12561	2.251	12408	1.309
51	12365	1.762	12568	1.750	12511	1.327
52	12588	1.587	12605	2.199	12278	2.294
53	12423	2.516	12221	1.821	12014	1.460
54	12539	2.162	12277	1.504	12415	1.644
55	12392	1.733	12312	1.458	12427	1.904
56	12402	1.773	12341	1.243	12440	3.600
57	12403	1.371	12365	1.762	12375	2.501
58	12534	2.307	12588	1.587	12553	1.541
59	12574	2.102	12423	2.516	12561	2.251
60	12578	1.764	12539	2.162	12568	1.750
61			12392	1.733	12605	2.199
62			12402	1.773	12221	1.821
63			12403	1.371	12277	1.504
64			12404	1.581	12312	1.458
65			12534	2.307	12341	1.243
66			12574	2.102	12365	1.762
67			12578	1.764	12588	1.587
68					12423	2.516
69					12539	2.162
70					12392	1.733
71					12402	1.773
72					12403	1.371
73					12404	1.581
74					12534	2.307
75					12574	2.102
76					12578	1.764
$\overline{Rm}$		<b>1.934</b>		<b>1.885</b>		<b>2.137</b>
$\sigma$		<b>0.418</b>		<b>0.427</b>		<b>0.626</b>
$\overline{Rm} + \alpha\sigma$		<b>2.621</b>		<b>2.738</b>		<b>3.748</b>

**Tabla 6.11.** Evaluación de intervalos de las series de  $Ri$  de estaciones homogéneas, Región XII

	Regionalización base		Regionalización final		Rangos		Comparación
	$Ri_{\min 0}$	$Ri_{\max 0}$	$Ri_{\min F}$	$Ri_{\max F}$	Base	Final	
<b>R90</b>	1.2641	220.9842	1.2013	2.6755	219.7201	1.4742	Final<Base
<b>R95</b>	1.2641	220.9842	1.0761	2.6755	219.7201	1.5994	Final<Base
<b>R99</b>	1.2434	220.9842	1.2013	3.6001	219.7407	2.3987	Final<Base

### *Validación cruzada*

Se realizó una validación (conocida como validación cruzada) en la cual se hace una comparación entre el ajuste de la distribución de frecuencias en alguna zona aforada y el gasto obtenido a partir de la curva regional de frecuencias, la cual se obtuvo sin considerar la estación del ajuste pero tomando como zona no aforada el área de la misma estación, utilizando el programa Regionalización y la modificación propuesta (proceso del “filtrado”) en los niveles de confianza del 90%, 95% y 99%.

Para validar la modificación propuesta al método se aplicó el método de la Avenida Índice en dos grupos de estaciones hidrométricas en la región de estudio. Un grupo se conformó al excluir desde inicio la estación 12514 (El Caimán) de la Región Lerma-Santiago, que pertenece a la cuenca Río Bolaños; en el segundo grupo la estación excluida desde el inicio fue la 12627 (Pasarela Solís) ubicada dentro de la cuenca Río Lerma-Toluca. Ambas estaciones se encuentran en las desembocaduras de sus respectivas cuencas.

Se obtuvieron los gastos para 3 periodos de retorno, los cuales corresponden a 20, 50 y 100 años. Fueron calculados los valores para los 3 rangos de las regiones homogéneas. Paralelamente se realizaron los ajustes de los gastos máximos anuales registrados en las 2 estaciones con la distribución Gumbel por momentos. Finalmente se calcularon los gastos para los mismos periodos de retorno elegidos anteriormente. Los resultados se muestran primero para la estación 12514 y luego para la estación 12627.

#### *Resultados para la estación 12514*

La estación 12514 (El Caimán) afora una superficie de 14755 km<sup>2</sup> y el periodo de registro es del año 1948 al año 2000. Se encuentra en la cuenca Río Bolaños. En las Tablas 6.12 a 6.16 se presentan los resultados de las comparaciones.

En este análisis se obtuvieron regiones homogéneas de 61, 62 y 74 estaciones para los niveles de confianza del 90,95 y 99% respectivamente. Los mejores estimados de los gastos en los 3 periodos de retorno seleccionados se obtuvieron para el nivel de confianza del 99%, en el cual también se generó la región homogénea con el mayor número de estaciones. Los estimados para el nivel de confianza del 90 y del 95% presentan una desviación apenas apreciable al igual que sus regiones homogéneas, tal comportamiento es lógico e indicativo de ausencia de errores en el proceso.

#### *Resultados para la estación 12617*

La estación 12627 (Pasarela Solís) afora una superficie de 8538 km<sup>2</sup> y el periodo de registro es del año 1967-1999. Se encuentra en la cuenca Lerma-Toluca. En las Tablas 6.17 a 6.21 se presentan los resultados de las comparaciones.

Las regiones homogéneas resultantes son exactamente las mismas que en el caso anterior, lo que garantiza que no hay efectos espurios en la validación. En este caso no se obtuvo una clara definición del nivel de confianza que generará los mejores estimados, ya que las

menores desviaciones que corresponden a los niveles de 90 y 95% son las mismas, efecto similar al análisis anterior aunque la diferencia es nula.

Para ambos casos de prueba, la aplicación del “filtrado” al método de la Avenida Índice, independientemente del nivel de confianza seleccionado, ocasiona una notable mejoría en los estimados en los diferentes periodos de retorno empleados. Las desviaciones de los gastos estimados obtenidas para los tres periodos de retorno en los dos análisis realizados, no presentaron variaciones importantes entre los niveles de confianza utilizados, lo que sugiere que mientras este nivel de confianza se mantenga mayor al 90% no se tendrá gran influencia en los estimados.

En la Ilustración 6.6, se muestra la posición de ambas estaciones en la Región XII. En el Anexo 4 se encontrarán los análisis complementarios.



**Ilustración 6.6.** Localización de las estaciones 12514 y 12617 dentro de la Región XII.

- Análisis para la estación 12514.

**Tabla 6.12.** Estaciones homogéneas del estudio de la Región XII, validación cruzada sobre la estación 12514.

	Regionalización base	Regionalización final	Variación (%)
<b>R90</b>	35	61	174.29
<b>R95</b>	47	62	131.91
<b>R99</b>	56	74	132.14

**Tabla 6.13.** Gastos regionales y del análisis de frecuencias, validación cruzada sobre la estación 12514

	Regionalización base			Regionalización final			Ajuste
	Q <sub>R90</sub>	Q <sub>R95</sub>	Q <sub>R99</sub>	Q <sub>R90</sub>	Q <sub>R95</sub>	Q <sub>R99</sub>	Q <sub>12514</sub>
Q <sub>20</sub>	1774.60	5132.58	4446.79	860.35	861.85	934.46	917.84
Q <sub>50</sub>	2350.24	6769.15	5850.68	1049.94	1051.48	1147.90	1120.39
Q <sub>100</sub>	2781.61	7995.53	6902.70	1192.01	1193.58	1307.84	1272.18

**Tabla 6.14.** Diferencias entre los gastos regionales y los gastos ajustados, validación cruzada sobre la estación 12514

	Desviaciones de los estimados de la Regionalización base			Desviaciones de los estimados de la Regionalización final		
	R90	R95	R99	R90	R95	R99
Q <sub>20</sub>	856.75	4214.74	3528.95	-57.49	-55.99	16.62
Q <sub>50</sub>	1229.85	5648.76	4730.29	-70.45	-68.92	27.50
Q <sub>100</sub>	1509.43	6723.35	5630.52	-80.16	-78.60	35.66

**Tabla 6.15.** Comparación entre las diferencias obtenidas de las regionalizaciones base y finales, validación cruzada sobre la estación 12514

	Nivel de 90% homogeneidad (Desviaciones de estimados)	Nivel de 95% homogeneidad (Desviaciones de estimados)	Nivel de 99% homogeneidad (Desviaciones de estimados)
Q <sub>20</sub>	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales
Q <sub>50</sub>	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales
Q <sub>100</sub>	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales

**Tabla 6.16.** Desviaciones menores obtenidas en la validación cruzada para la estación 12514

<u>Menor desviación</u>	
Q <sub>20</sub>	R99
Q <sub>50</sub>	R99
Q <sub>100</sub>	R99



- Análisis para la estación 12627.

**Tabla 6.17.** Estaciones homogéneas del estudio se la Región XII, validación cruzada sobre la estación 12627

	<b>Regionalización base</b>	<b>Regionalización final</b>	<b>Variación (%)</b>
<b>R90</b>	35	61	174.29
<b>R95</b>	47	62	131.91
<b>R99</b>	57	74	129.82

**Tabla 6.18.** Gastos regionales y del análisis de frecuencias, validación cruzada sobre la estación 12627

	<b>Regionalización base</b>			<b>Regionalización final</b>			<b>Ajuste</b>
	<b>Q<sub>R90</sub></b>	<b>Q<sub>R95</sub></b>	<b>Q<sub>R99</sub></b>	<b>Q<sub>R90</sub></b>	<b>Q<sub>R95</sub></b>	<b>Q<sub>R99</sub></b>	<b>Q<sub>12627</sub></b>
<b>Q<sub>20</sub></b>	1287.93	3801.55	3245.86	642.90	642.90	695.94	125.75
<b>Q<sub>50</sub></b>	1705.71	5013.71	4269.39	784.90	784.90	855.32	142.36
<b>Q<sub>100</sub></b>	2018.77	5922.05	5036.38	891.30	891.30	974.75	154.80

**Tabla 6.19.** Diferencias entre los gastos regionales y los gastos ajustados, validación cruzada sobre la estación 12627

	<b>Desviaciones de los estimados de la Regionalización base</b>			<b>Desviaciones de los estimados Regionalización final</b>		
	<b>R90</b>	<b>R95</b>	<b>R99</b>	<b>R90</b>	<b>R95</b>	<b>R99</b>
<b>Q<sub>20</sub></b>	1162.18	3675.80	3120.11	517.15	517.15	570.19
<b>Q<sub>50</sub></b>	1563.35	4871.35	4127.03	642.54	642.54	712.96
<b>Q<sub>100</sub></b>	1863.97	5767.24	4881.58	736.50	736.50	819.95

**Tabla 6.20.** Comparación entre las diferencias obtenidas de las regionalizaciones iniciales y finales, validación cruzada sobre la estación 12627

	<b>Nivel de 90% homogeneidad (Desviaciones de estimados)</b>	<b>Nivel de 95% homogeneidad (Desviaciones de estimados)</b>	<b>Nivel de 99% homogeneidad (Desviaciones de estimados)</b>
<b>Q<sub>20</sub></b>	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales
<b>Q<sub>50</sub></b>	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales
<b>Q<sub>100</sub></b>	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales	Estimados base > Estimados finales

**Tabla 6.21.** Desviaciones menores obtenidas en la validación cruzada para la estación 12627

	<u>Menor desviación</u>
<b>Q<sub>20</sub></b>	R90,R95
<b>Q<sub>50</sub></b>	R90,R95
<b>Q<sub>100</sub></b>	R90,R95

## **Capítulo VII. Conclusiones y recomendaciones**

### **7.1. Comentarios finales**

- La información hidrométrica disponible en México presenta discontinuidades o huecos en los registros, que en la mayoría de las ocasiones son completados con métodos que difieren entre sí produciendo resultados heterogéneos. En este trabajo se utilizó la estación más cercana y con registros completos sin previa manipulación para efectuar la correlación, un procedimiento estadístico básico para la complementación de datos. Sin embargo, es recomendable completar las series de datos hidrométricos con alguna metodología uniformizada o en su defecto promover la normalización para el llenado de series por parte de las autoridades competentes.
- Se encontraron discrepancias entre algunas ubicaciones geográficas de las estaciones hidrométricas obtenidas del BANDAS y los nombres de las localidades ó municipios a los que dichas estaciones pertenecen, así como casos de estaciones sin ubicación. Para el análisis hidrológico que fue realizado en este trabajo y cualquier otro que considere la distribución espacial de estaciones es indispensable contar con la información verídica sobre este aspecto. Las estaciones que presentaron incertidumbre en su ubicación no fueron consideradas dentro del estudio.
- Gran parte de la información empleada en este trabajo fue exportada del BANDAS por ser el sistema con la mayor recopilación de datos sobre aguas superficiales de México. Sin embargo la extracción de datos hidrométricos a archivo para su posterior manejo, sólo es posible desde el Sistema de Información de Aguas Superficiales (SIAS) en archivos de texto pero sin formato lo que dificulta el manejo de esta información para la mayoría de los usuarios. La extracción de los registros hidrométricos para el proyecto fue realizada mediante el manejador de

base de datos de FoxPro. Por lo tanto es recomendable el mejoramiento del sistema de consulta del BANDAS. Existe actualmente en el IMTA el proyecto para la creación de una nueva plataforma de consulta de información del BANDAS a través de un ambiente más amigable.

- La utilización del programa *Regionalización* para los análisis regionales por el método de la Avenida Índice es una herramienta eficaz, ya que permite obtener resultados confiables, reduce el tiempo de realización del proceso, es de aplicación sencilla, permite extraer los resultados en varias etapas del procedimiento y la visualización de los mismos en mapas.

## 7.2. Conclusiones

- La integración de modelos hidrológicos a los SIG se ha incrementado en los últimos años debido a la facilidad que estos sistemas ofrecen para el desarrollo de programas así como la capacidad para visualizar y analizar información espacial. La implementación efectuada del modelo de regionalización a un SIG permite realizar análisis regionales de manera simultánea y eficaz lo que aumenta las posibilidades y confiabilidad de las soluciones.
- El empleo del método de la Avenida Índice requiere de la selección de un periodo común de años y al tratarse de un gran número de estaciones de análisis además de la posibilidad de no continuidad en las series de tiempo iniciales, este resulta tedioso al realizarse de forma manual. El programa que se elaboró en el presente trabajo facilita el empleo de este método y permite obtener resultados confiables.
- La aplicación del programa *Regionalización* a unas cuencas que se tomaron como ejemplo, permitió comprobar que la presencia de puntos o estaciones en una región de estudio cuyos valores de  $R_i$  (relaciones de escala) mayores a  $R_m + \alpha\sigma$ , contribuyen a producir perturbaciones en la región homogénea, las cuales producen curvas de frecuencias poco confiables, tanto para el nivel de confianza del 95% como para el 90% y el 99%.
- Se encontró que al realizar el proceso de discriminación ó “filtrado” de estaciones con  $R_i > R_m + \alpha\sigma$  la región homogénea producida por el método de la Avenida Índice mejora independientemente de los niveles de homogeneidad utilizados, ya que se reducen los intervalos de la series de  $R_i$  notablemente y el número de estaciones homogéneas se incrementa. Esto resultó valido para los niveles de confianza de 90, 95 y 99%.
- La región más grande (con el mayor número de estaciones) no implica que esta sea la que ofrezca los mejores ajustes regionales. Del análisis a la Región XII se obtuvo que la región generada con un nivel de confianza del 90% después de la modificación propuesta (“filtrado”) fue la de mayor aumento en el número de

estaciones homogéneas y sin embargo, esto no significó el mejor ajuste en las pruebas de validación realizadas.

- A través de las pruebas de validación cruzada de gastos de diseño regionales sobre la Región Lerma-Santiago, empleando el método de la Avenida Índice de Dalrymple (1960) por medio del programa *Regionalización* así como las modificaciones a la prueba de homogeneidad, se comprobó que la curva regional de frecuencias produce notables mejorías en los estimados en forma autónoma de los niveles de confianza utilizados, ya que no se obtuvieron desviaciones determinantes en sus estimados correspondientes, siempre y cuando el nivel de confianza se mantenga arriba del 90%.
- De acuerdo a los argumentos anteriores se propone la siguiente modificación al método de la Avenida Índice original: realizar la discriminación total de las estaciones o puntos del estudio que presenten relaciones de  $R_i > R_m + \alpha \sigma$  donde  $\alpha$  corresponda al nivel de confianza del 90, 95 ó 99% normalizado, para obtener la región más homogénea y la curva de distribución de frecuencias con la menor incertidumbre.
- El acelerado desarrollo de las sociedades demanda respuestas acertadas y en tiempos de respuesta menores, por lo que la sistematización de los modelos de análisis hidrológico, entre muchos otros, se ha convertido en una necesidad en este campo de conocimiento.
- Debido al déficit de puntos de medición en la red hidrométrica del país, el empleo de métodos regionales para traslado de información resulta la opción más confiable, sin embargo estos métodos no han sido utilizados de acuerdo a todo su potencial, y con este trabajo se promueve su aplicación.
- El desarrollo de aplicaciones de modelos hidrológicos sobre los SIG permite el análisis de situaciones complejas, visualización de los problemas, así como la generación de soluciones en un ambiente amigable y accesible al público.

### 7.3. Recomendaciones

- Se recomienda emplear el nivel de confianza del 95% en la determinación de la región homogénea, debido a que en los casos analizados éste mostró un buen comportamiento que no probó su no aplicabilidad para la posible modificación del nivel de confianza del el método de la Avenida índice tradicional.
- Previamente a la implementación de un modelo hidrológico dentro de un SIG es de suma importancia la preparación, diseño y validación de la base de datos de manera que el acceso a los datos sea eficiente y los resultados sean confiables.

- Se recomienda el empleo de la información espacial más actual disponible para reducir los rangos de incertidumbre en los resultados obtenidos con los modelos.

## Capítulo VIII. Bibliografía y referencias

Acosta, Z. L., Ruiz, C. D. y Vélez, M. V. (1996), Adaptación del método GRADEX en una región de Colombia, *XVII Congreso latinoamericano de hidráulica*, Guayaquil, Ecuador, Vol. 2.

Adamowsky, K. (2000), Regional análisis of annual maximum and partial duration flood data by nonparametric and L-moment methods, *Journal of hydrology*, vol. 229, pp. 219-231.

Aparicio M., F. J. (1987), Fundamentos de hidrología de superficie, Editorial Limusa, México.

ASCE (1996), *American society of civil engineers, Task committee on hydrology handbook*, 2nd Edition, ASCE Manuals and reports on engineer practice 28, New York, U. S. A.

BANDAS (1999), Banco Nacional de Aguas Superficiales, IMTA, México.

Bobée, B. (1975), The log Pearson type 3 distribution and its application in hydrology, *Water resources research*, vol. 11, num. 5, pp. 681-689

Bocchiola, D., Michele, C., y Rosso, R. (2003), Review of recent advances in index flood estimation, *Hydrology and earth system sciences*, Vol. 7, num. 3, pp. 283-296.

- Boughton, W. C. (1980), A frequency distribution for annual floods, *Water Resources Research*, vol. 16, num. 2, pp. 347-354
- Box, G. E. P., y Jenkins, G. M. (1976), *Time series analyses, forecasting and control*, Holden-Day, San Francisco, Calif., U. S. A
- Burn, D. (1988), Delineation of groups for regional flood frequency analysis, *Journal of hydrology*, Vol. 104, pp. 345-361
- Burn, D. (1990), Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach, *Water resources research*, Vol. 26, num 10, pp. 2257-2265
- Burn, D. (1997), Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures, *Journal of hydrology*, Vol. 202, pp. 212-230
- Burn, D. (2000), The formation of groups for regional flood frequency analysis, *Hydrological Sciences*, vol. 45, num. 1, pp. 97-112
- Burrough, P. A., y McDonnell, R. A. (1998), *Principles of Geographical Information Systems*, 2nd ed., New York: Oxford University Press.
- Campos A., D. F. (1984), *Manual para la estimación de avenidas de diseño en cuencas menores de 15 km<sup>2</sup>*, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subdirección regional noreste de obras hidráulicas e Ingeniería agrícola para el desarrollo rural, San Luis Potosí, S. L. P., México.
- Campos A., D. F. (1994), *Aplicación de técnicas del análisis regional de frecuencias de crecientes en la región hidrológica No 10 Sinaloa*, UASLP, 1ª ed., México, pp. 1-14.
- Campos A., D. F. (1995), *Modelos probabilísticos recientes para el análisis de frecuencia de crecientes*, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Centro de investigación y estudios de posgrado, San Luis Potosí, S. L. P., México.
- Campos A., D. F. (1997), *Análisis de frecuencias de crecientes con métodos no paramétricos*, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Centro de invstigación y estudios de posgrado, San Luis Potosí, S. L. P., México.
- Campos A., D. F. (1998), *Técnicas no convencionales para el análisis de frecuencias de crecientes*, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Centro de invstigación y estudios de posgrado, San Luis Potosí, S. L. P., México.
- Campos A., D. F. (1999), Hacia el enfoque global en el análisis de frecuencias, *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. XIV, núm 1, pp. 23-42
- CENAPRED (2001a), *Diagnostico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*, Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México.



CENAPRED (2001b), *Programa especial de prevención y mitigación del riesgo de desastres 2001-2006*, Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México.

CFE (1983), *Manual de diseño de obras civiles*, CFE, Instituto de investigaciones eléctricas, México.

Chockmani, K., y Ouarda, T. (2004), Physiographical space-based kriging for regional flood frequency estimation at ungauged sites, *Water resources research*, Vol. 40, pp. W12514

Chow, V. T. (1964), *Handbook of applied hydrology. A compendium of water-resources technology*, Editor in chief, McGraw-Hill, N. Y., U. S. A.

Clark C., Web J.(1998), *Microsoft Visual Basic 6. Developers workshop*, Redmond-Microsoft.

Cluis, D., y Quentin E. (1993), Un système d'information géographique adapté à l'évaluation de la pollution agricole diffuse, HydroGIS 93: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management, *IAHS Publication No. 211*, pp 355-362.

Cornel G.(1999),*Visual Basic 6, Manual de referencia*, Osborne-McGraw-Hill, Madrid, España.

Crippen, J. R. (1982), Envelope Curves for Extreme, Flood Events, *Hydraulic Journal, American Society of Civil Engineers*, Vol. 108, num. HY10, pp 1208-1212.

Cunderlik, J., y Burn, D. (2002), Analysis of the linkage between rain and flood regime and its application to regional flood frequency estimation, *Journal of hydrology*, vol. 261, pp. 115-131

Cunderlik, J., y Burn, D. (2001), The use of flood regime information in regional flood frequency analysis, *Hydrological Sciences*, vol. 47, num. 1, pp. 77-92

Cunnane C. (1988), Methods and merits of regional flood frequency analysis. *Journal of hydrology*, Vol. 100, pp. 269-290

Dalrymple, T.(1960), Flood frequency analysis. *USGS Water Supply*, Paper 1543-a, pp. 1-74.

Dangermond, J. (2005), GIS Helping manage our world, *ArcNews*, Vol. 27, num. 3, ESRI, Redlands, California, U. S. A.

- Daviaud, J. L., Adamowsky, K., y Patry, G. G. (2000), Regional flood frequency analysis using GIS, L-moment and geostatistical methods, *Hydrological processes*, vol. 14, pp. 2731-2753.
- Dawson, C.W., Abrahart, R.J., Shamseldin, A.Y, y Wilby, R.L. (2006), Flood estimation at engaged sites using artificial neural networks, *Journal of Hydrology*, Vol. 319, num. 1-4, pp. 391-409.
- Díaz, C., Mamado, K., Iturbe, A., Esteller, Ma. V., y Reyna, F. (1999), Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: Caso del curso del Río Lerma, Estado de México, *Ciencia Ergo Sum*, vol. 6, num. 2, pp. 124-134.
- Díaz-Granados, M., y M., Deeb P., A. (1988), Análisis regional de frecuencias usando momentos ponderados con probabilidad. *XIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Bogotá Colombia, pp- 73-83
- EAM (2005), *Estadísticas del agua en México*, Comisión Nacional del Agua, México.
- Espey, W. H. y Winslow, D. E. (1974), *Urban flood frequency characteristics*, Proc. ASCE, 100, HY2, 179-293.
- Escalante S., C. (1994), Análisis regional de eventos extremos, *XIII Congreso Nacional de Hidráulica*, pp. 1-6
- Escalante S., C. (1996), Estimación conjunta de gasto pico y volumen total de avenidas, *XVII Congreso latinoamericano de hidráulica*, Guayaquil, Ecuador, Vol. 2.
- Escalante S., C., y Domínguez, J., (2001), Análisis regional de precipitación con base en una distribución bivariada ajustada por máxima entropía, *Ingeniería hidráulica en México*, vol. XVI, num. 3, pp. 91-102
- Escalante S., C., y Reyes C., L., (1998) Identificación y análisis de sequías en la Región Hidrológica Número 10, Sinaloa, *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. XIII, núm 2, pp. 23-43
- Escalante S., C., y Reyes C., L., (2000), Estimación regional de avenidas de diseño, *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. XV, núm. 2, pp. 47-61
- Escalante S., C. y Reyes C., L. (2002) *Técnicas estadísticas en hidrología*, UNAM, Facultad de Ingeniería, México.
- Escoufier, J. B. y Mejía Z., R. (1996), Cálculo de gastos de avenidas con el método GRADEX aplicación a una cuenca mexicana, *XVII Congreso latinoamericano de hidráulica*, Guayaquil, Ecuador, Vol. 2.

ESRI (2002a), *Introduction to programming ArcObjects with VBA*, Lectures, ESRI Press Redlands, California

ESRI (2002b), *Introduction to programming ArcObjects with VBA*, Exercises, ESRI Press Redlands, California

Fill, H. y Stedinger, J. (1995), Homogeneity tests based upon Gumbel distribution and a critical appraisal of Dalrymple's test, *Journal of hydrology*. Vol. 166, pp. 81-105.

Fisher, T. R. (1993), Integrated three-dimensional geoscientific information system (GSIS) technologies for groundwater and contaminant modelling, HydroGIS 93: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management, *IAHS Publication No. 211*, pp 227-234.

Florentino, M., Versace, P., Rossi, F. (1985), Regional flood frequency estimation using the two-component extreme value distribution, *Hydrological Sciences*, vol. 30, num. 1, pp. 51-64

Fortin, V., Ouarda, T.B.M.J, Rasmussen, P.F. y Bobée, B. (1997), Revue bibliographique des méthodes de prévision des débits, *Revue des sciences de l'eau*, pp. 461-487

Francou, J., y Rodier, J. A. (1967), Essai de classification des crues maximales, *Proc. Leningrad symposium on floods and their computation*, UNESCO.

Ghosh S. N. (1997), *Flood control and drainage engineering*, A. A. Balkema Publishers 2nd edition, U. S. A.

Gingras, D., y Adamowsky, K., (1993), Homogeneous region delineation based on annual flood generation mechanisms, *Hydrological Sciences*, vol. 37, num. 2.

Gómez M, J. F. (2003), *Modelos regionales de gastos máximos para la vertiente del Golfo de México*, Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, DEPMI

Gioia, A., Fiorentino, M., Iacobellis, V., y Margiotta, M. R. (2005), Theoretical derivation of the index flood, *Advances in geosciences*, Vol. 2, pp. 249-253

GREHYS (1996a), (Groupe de Recherche en Hydrologie Statistique) Inter-comparison of regional flood frequency procedures for Canadian rivers, *Journal of hydrology*, Vol. 186, num. 1-4, pp. 85-103.

GREHYS (1996b), (Groupe de Recherche en Hydrologie Statistique). Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis, *Journal of hydrology*, Vol. 186, num. 1-4, pp. 63-84.

Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C. y Wallis, J. R. (1979), Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form, *Water resources research*, vol. 15, num. 5, pp. 1049-1054.

Griffiths, G. A. (1989), A theoretically based Wakeby distribution for annual floods series, *Hydrological Sciences*, vol. 34, num. 3, pp. 231-248.

Grover, P., Burn, D. H., y Cunderlik, J.M. (2002), A comparison of index flood estimation procedures for ungauged cathments, *National Research Council Canada*, Vol. 29, num. 5, pp. 734-741.

Gutiérrez L., M. A. (1996), Identificación de regiones hidrológicamente homogéneas con base en las curvas de Andrews, *XVII Congreso latinoamericano de hidráulica*, Guayaquil, Ecuador, Vol. 2.

Gutiérrez L., M. A. (2003), Modélisation stochastique des régimes pluviométriques a l'échelle régionale pour la prévision des crues au Nord-Mexique. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería, Instituto Nacional Politecnico de Grenoble. Francia.

Gutiérrez L., M. A., Descroix, L., y Lebel, T. (2002), Rainfalls regionalisation, in north México generating regional vectors, *Conference on water resources planning and management*, Roanoke, Virginia U. S. A.

Gutiérrez L., M. A., Lebel T., y Descroix L., (2004), Reflexiones sobre el concepto de cuencas hidrologicamente homogéneas, *XXI Congreso latinoamericano de hidráulica*.

Gutiérrez L., M. A., y Ramírez O., A. I. (2005), Predicción hidrológica mediante el método de la avenida índice para dos poblaciones, *Ingeniería hidráulica en México*, Vol. XX, núm., pp.37-47.

Gutiérrez L., M. A., y Reyes B., J. L. (1998), Prospective damage by flood using index flood method, *Internacional Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering*, Dobrovnik, Croacia.

Hann, C. T. (1977), *Statistical methods in hydrology*, The Iowa State University, U.S.A.

Heo, J., Salas, J., y Boes, D. (2001a), Regional flood frequency análisis base on a Weibull model:Part 1. Simulations and applications, *Journal of hydrology*, Vol. 242, num. 3-4, pp. 171-182.

Heo, J., Salas, J., Boes, D. (2001b), Regional flood frequency analysis base on a Weibull model:Part 2. Simulations and applications, *Journal of hydrology*, Vol. 242, num. 3-4, pp. 171-182.

Hoghton, J.C. (1978), Birth of a parent:the Wakeby distribution for modeling floods flows, *Water Resources Research*, vol. 14, num. 6, pp. 1105-1109.

Hosking, J. R. M. y Wallis, J. R. (1993), Some statistics useful in regional frequency analysis, *Water Resources Research*, vol. 29, num. 2, pp. 271-281.

Hosking, J. R. M. y Wallis, J. R., (1997), *Regional frequency analysis: An approach based on l-moments*, Cambridge University Press, London, UK.

IDEAM (2004) *Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales*, Subdirección de hidrología, Guía para el monitoreo y seguimiento del agua, Bogota, Colombia.

Javelle, P., Ouarda, T., Lang, M., Bobee, B., Galea, G., y Gresillon, J. (2002), Development of regional flood-duration-frequency curves based on the index-flood method, *Journal of hydrology*, Vol. 258, num. 1-4, pp. 249-259.

Jenkinson, A. F. (1969), Statistics of extremes, Chapter 5, *Estimation of maximum floods*, Technical note No. 98, WMO-No 233, TP. 126, Geneva: Secretary of the World Meteorological Organization.

Jia, Y., y Culver T. B (2006), Bootstrapped artificial neural networks for synthetic flow generation with a small data sample, *Journal of Hydrology*, In press Corrected proof.

Jingyi, Z., y May, M., (2004), Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming River basin in China, *Journal of hydrology*, Vol. 296, pp. 98-117

Kaden, S. (1993), GIS in water-related environmental planning and management: problems and solutions, HydroGIS 93: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management, *IAHS Publication No. 211*, pp 385-398.

Kirby, W.H., Moss, M.E. (1987), Summary of flood-frequency analysis in the United States, *Journal of hydrology*, vol. 96, pp. 5-14

Kite, G., (1988), *Frequency and risk analysis in hydrology*, Water resources publications, 4<sup>th</sup> Ed., Littleton, Colorado, U.S.A.

Kjeldsen, T., Smithers, J., y Schulze, R. (2002), Regional flood frequency analysis in the KwaZulu-Natal province, South Africa, using the index-flood method, *Journal of hydrology*, Vol. 255, num. 1-4, pp. 194-211.

Kjeldsen, T.R., y Jones, D. A. (2005), Prediction uncertainty in a median-based index flood method using L-moments, *Geophysical Research*, Vol. 7, 01012

Kovar, K., y Nachtnebel, H.P. (1993), HydroGIS 93: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management, *IAHS Publication No. 211*, Wallingford, Oxfordshire, U.K.

- Kumar, R., Chatterjee, C., Kumar, S., Lohani, A. K., y Singh, R. D. (2003), Development of regional flood frequency relationships using L-moments for middle Ganga plains subzone 1(f) of India, *Water Resources Management*, Vol. 17, pp. 243-257
- Laguna O., O. (2004), *Estimación de la vulnerabilidad y el riesgo de inundación utilizando el GRADEX Pluviométrico*, Tesis para obtener el título de licenciado en Ingeniería Civil, Universidad La Salle, Cuernavaca, Morelos.
- Lang de, W. J., y Meji van der, J. L. (1993), A national groundwater model combined with a GIS for water management in The Netherlands, HydroGIS 93: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management, *IAHS Publication No. 211*, pp 333-344
- Lang L. (1998), *Managing natural resources with GIS*, ESRI, Redlands CA.USA.
- Lin G., y Chen L. (2003), A reliability-based selective index for regional flood frequency analysis methods, *Hydrological Processes*, Vol. 17, pp. 2653-2663
- Lin, G., y Chen, L. (2003), A reliability-based selective index for regional flood frequency analysis methods, *Hydrological processes*, Vol. 17, num. 13, pp. 2653-2663.
- Linsley, R. (1986), Flood estimates:How good are they ?, *Water Resources Research*, vol. 22, num. 9, pp. 159s-164s
- Linsley, R., Kohler, M., y Paulhus, J. (1994), *Hidrología para ingenieros*, 2da edición, McGraw-Hill, México.
- Longley, P.A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., y Rhind, D. W., (2005), *Geographical information systems, Principles, techniques, management and applications*, John Wily and Sons, Inc., 2<sup>nd</sup> Edition, Hoboken, New Jersey, U. S.A.
- Madsen, H., Pearson, C. P., y Rosbjerg, D., (1997), Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events 2. Regional modeling, *Water resources research*, vol. 33, num. 4, pp. 759-769
- Magaña, J., y Ramírez O., A. I. (2000), Parámetros regionales de ajuste de la distribución Gumbel doble en la cuenca Lerma-Balsas, *XVI Congreso Nacional de Hidráulica*, pp. 137-142
- Maidment, D. R. (1993), *Handbook of hydrology*, McGraw-Hill, New York, U.S.A.
- Maidment, D. R. (1993b), Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS, HydroGIS 93: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management, *IAHS Publication No. 211*, pp 181-192.

Maidment, D. R. y Djokic, D., (2000), *Hydrologic and hydraulic, Modeling support with geographic information systems*, ESRI Press, Redlands, California, U. S. A.

Maidment, D. R. y Morehouse, S. (2002), *ArcHydro: GIS for Water Resources*, ESRI Press, Redlands, California

Mkhandi, S. (1995) Choosing a distribution for flood frequency analysis, VII South African hydrology symposium, Grahamstows, RSA.

Mkhandi, S., y Kachroo, S., (1997), Regional flood frequency analysis for southern Africa, Southern African FRIEND, *Technical documents in hydrology No.15 UNESCO*, Paris, France.

Marini, G. W. y Weilguni, H. (2003), Hydrological information system based on on-line monitoring- from strategy to implementation in the Brantas River Basin, East Java, Indonesia, *Water Science and Technology*, vol. 47, num. 2, pp. 189-196.

Matthai, H. F. (1969), Flood of June 1965 in South Platte River Basin, Colorado, Water Supply Paper,U.S., *Geological Survey*, ,1850-B, Washington, DC., U. S. A.

Minami, M. (2000), *Using ArcMap*, Gis by ESRI Press, Redlands CA., USA.

Molina A., P. (2006), *Transito de avenidas en cauces mediante redes neuronales artificiales*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, DEPI UNAM.

Monrad, M. y Triviño P., A. (2001), Sistemas de información geográfica y modelizaciones hidrológicas: Una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación, *Boletín de la A. G. E.*, num. 31, pp. 23-46.

NERC (1975), Natural Environment Research Council, *Flood studies report*, Vol. 1, Chapter 1: Statistics for flood hydrology, theme 1.3: Estimation and inference, London, England.

Nouh M. (1987), A comparison of three methods for regional flood frequency analysis in Saudi Arabia, *Water resources research*, Vol. 10, pp. 212-219

Ouarda, T., Girard, C., Cavadias, G., y Bobee, B. (2001), Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis, *Journal of hydrology*, Vol. 254, num. 1-4, pp. 157-173.

Pandey, G., y Nguyen, V. (1999), A comparative study of regression based methods in regional flood frequency analysis, *Journal of hydrology*, Vol. 225, num. 1-2, pp. 92-101

Parida, B., Kachroo, R. y Shrestha, B. (1998), Regional flood frequency analysis of Mahi-Sabarmati basin ( subsona 3-a) using index flood procedure with L-Moments, *Water resources management*, Vol. 12, num. 1-12, pp. 1-20.

Pearson, C. P., McKerchart, A. L., y Woods, R. A. (1991), Regional flood frequency of western Australian data using L-moments, *International hydrology and Water Resources symposium*, Perth, Australia, pp. 631-632

Ponce, V. M. (1989), *Engineering hydrology: Principles and practices*, Prentice Hall, Englewood Clifs, U.S.A.

Portela, M. M., y Dias, A. T. (2005), Application of the index-flood method to the regionalization of flood peak discharges on the Portugal mainland, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 83.

Potter, K. W. y Lettenmaier, D. P. (1990), A comparison of regional flood frequency estimation methods using resampling method, *Water resources research*, vol. 26, pp. 415-424

Powell, R. W. (1943), A simple method of estimating flood frequencies, *Civil Eng.* Vol. 13, num. 2, pp. 105-106.

Raghunath, H. M. (1985), *Hydrology principles analysis and design*, Ed. John Wiley & Sons, N.Y.,U. S. A.

Ramírez O., A. I. (1995), *Estimación de avenidas en redes de ríos*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, DEPMI UNAM.

Ramírez O., A. I. y Aldama, A. A. (1996), Estimación de parámetros para distribuciones conjuntas de extremos aplicadas a hidrología de avenidas, *XVII Congreso latinoamericano de hidráulica*, Guayaquil, Ecuador, Vol. 2.

Ramírez O., A. I. (2004), Técnicas Estadísticas en Hidrología, curso de la Maestría en Ingeniería Hidráulica, UNAM, DEPMI UNAM.

Ramírez O., A. I., y Aldama, A. (2000), *Análisis de frecuencias conjunto para la estimación de avenidas de diseño*, Avances en hidráulica 7, Editorial AMH-IMTA, México.

Rasmussen, P. F. (1994a), A regional index flood procedure based on partial duration series, *INRS-Eau internal report*, NSER Strategic grant No STR0118482, 17 pp.

Raudkivi, A. (1979), *Hydrology. An advanced introduction to hydrological processes and modeling*, Pergamon Press, 1ª ed., New Zealand.



Raynal V., J. A. (1984), La distribución general de valores extremos en hidrología, *VIII Congreso Nacional de Hidráulica*, tomo 1, pp. B9-b19, Toluca, Estado de México.

Robinson, J., y Sivapalan, M., (1997), An investigation into the physical causes of scaling and heterogeneity of regional flood frequency, *Water resources research*, vol. 33, num. 5, pp. 1045-1059.

Rosbjerg D., y Madsen H. (1995), Uncertainty measures of regional flood frequency estimators, *Journal of hydrology*, Vol. 167, num., pp. 209-224

Ruland, P., Arnold, U., y Rouvé, G. (1993), An integrated information system for environmental hydraulics using Smallworld GIS, *HydroGIS 93: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management*, *IAHS Publication No. 211*, pp 51-60.

Sahoo, G.B., Ray, C., y Carlo De, E. H. (2006), Use of neural network to predict flash flood and attendant water qualities of a mountainous stream on Oahu, Hawaii, *Journal of Hydrology*, Vol. 327, num. 3-4, pp. 525-538.

SARH (1972), *Estudio de regionalización y predicción de tormentas y avenidas de diseño*, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Dirección de proyectos de irrigación, México.

Schultz, G. A. (1993), Application of GIS and remote sensing in hydrology, *HydroGIS 93: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management*, *IAHS Publication No. 211*, pp 127-140.

SIGA (2004), *Sistema de información geográfica del agua*, Comisión Nacional del Agua, México.

Simonovic, S. P., (1993), Flood control management by integrating GIS with expert systems: Winnipeg City case study, *HydroGIS 93: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management*, *IAHS Publication No. 211*, pp. 61-72.

Skaugen, T., y Vaeringstad, T., (2005), A methodology for regional flood frequency estimation based on scaling properties, *Hydrological processes*, vol. 19, pp. 1481-1495

Smith J. (1989), Regional flood frequency analysis using extreme order statistics of the annual peak record, *Water resources research*, Vol. 25, num. 2, pp. 311-317

Smithers, J. C., y Schulze, R. E. (1999), Long duration design rainfall estimates for south Africa, *Reports to Water researches commission*, RSA.

Smithers, J. C., y Schulze, R. E. (2000), Development and evaluation of techniques for estimating short duration rainfall in south Africa, WRC Report No 681/1/100 *Water research commission*, Pretoria, RSA.

Smithers, J. C., y Schulze, R. E. (2001), A methodology for the estimation of short duration design storms in south Africa using a regional approach based on L-moments, *Journal of hydrology*, vol. 241, pp. 42-52.

Spiegel, M.(1991), *Probabilidad y estadística*, McGraw-Hill, México.

St. Hilaire A., Ouarda T., Lachance M., Bobbe B., Barbet M., y Bruneau P. (2003), La régionalisation des précipitations. : une revue bibliographique des développements récents, *Revue des sciences de l'eau*, Vol. 16, pp. 27-54

Stedinger, J.(1983), Estimating a regional flood frequency distribution, *Water resources research*, Vol. 19, num. 2, pp. 503-510.

Sveinsson, O., Boes, D. y Salas, J.(2001), Population index flood method for regional frequency analysis, *Water resources research*, Vol. 37, num. 11, pp. 2733-2748.

Troutman, B., y Karlinger, M. (2001), Regional flood probabilities, *Water resources research*, Vol. 39, num. 4, pp. 1095

Valverde R., M. C., Fraga de Campos V., H., y Ferreira, N. J. (2005), Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the São Paulo region, *Journal of Hydrology*, Vol. 301, num. 1-4, pp. 146-162.

Varas, E., y Lara, S., (1998), Métodos regionales para estimar la probabilidad de frecuencia de crecidas, *Ingeniería del agua*, Vol. 5, núm. 3, pp. 51-58

Vera H., L. E. (2002), *Análisis de aforo de la estación hidrométrica Obrajillo periodo 2000-2001*, Tesis para obtener el grado de ingeniero civil, UMSNH.

Viessman, W., Knapp, J., Lewis, G. y Harbaug, T. (1989), *Introduction to hydrology*, Harper & Row Publishers, 3a ed., New York, pp. 201-224.

Vogel, R. M., Thomas, W. O. y McMahon, T. A., (1993a) Flood-flow frequency model selection in southwestern United States, *Journal of water resources planning and management*, vol. 119, num 3, pp. 353-366.

Wang O.(1997), LH moments for statistical analysis of extreme events, *Water resources research*, Vol. 33, num. 12, pp. 2841-2848

Wang, Q. J. (1990), Estimation of the GVE distribution from censored samples by method of partial probability weighted moments, *Journal of Hydrology*, vol. 120, pp. 103-114.

Wang, W., Gelder van, Pieter H. A. J. M., Vrijling, J. K., y Ma, Jun. (2006), Forecasting daily streamflow using hybrid ANN models, *Journal of Hydrology*, Vol. 324, num. 1-4, pp. 383-399.

- Wanielista, M., Kersten, R., y Eaglin, R. (1997), *Water quantity and quality control. Hydrology*, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, N. Y., U. S.A.
- Wiltshire, S. (1985) Grouping basins for regional flood frequency analysis, *Hydrological Sciences*, vol. 30, num. 1, pp. 151-159
- Wiltshire, S. (1986a), Regional flood frequency analysis I: Homogeneity test, *Hydrological Sciences*, vol. 31, num. 3, pp. 321-333
- Wiltshire, S. (1986b), Regional flood frequency analysis II: Multivariate classification of drainage basins, *Hydrological Sciences*, vol. 31, num. 3, pp. 335-346
- WRC (1977), Water resources council, *Guidelines for determining flood flow frequency*, Bulletin 17A of the Hydrology Committee, Washington D. C. , U.S.A.
- Wittenberg, H. (1975), A model to predict the effects of urbanization on watershed response, *Proc. Nat. Symp. on urban Hydrol. and sediment control*, Univ. of Kentucky, Lexington, 161-167.
- Yevjevich, V. (1982), *Probability and statistics in hydrology*, Water resources publications, Littleton, Colorado, U. S.A.
- Young, A. (2006), Stream flow simulation within UK engaged catchments using a daily rainfall-runoff model, *Journal of hydrology*, Vol. 320, num., pp. 155-172
- Yue S., y Wang C. (2004), Possible regional probability distribution type of Canadian annual stream flow by L-moments, *Water resources research*, Vol. 18, pp. 425-438
- Yue, S., Ouarda, T., Bobbe, B., Legendre, P. y Bruneau, P. (1999), The Gumbel mixed model for flood frequency analysis, *Journal of hydrology*, Vol. 226, num. 1-2, pp. 88-100.
- Zrinji, Z., y Burn, D., (1994), Flood frequency analysis for engaged sites using a region of influence approach, *Journal of hydrology*, Vol. 153, pp. 1-21
- Zuffo, A. C., Genovez, A. M., y Bernardes, M. (1994), Estudo Comparativo do Método GRADEX para pequenas bacias hidrográficas no Estado de São Paulo - Brasil. *XVI Congresso Americano de Hidráulica*, Santiago, Chile, pp. 279-90.
- Zuffo, A. C., Porto, R. L. L. E., y Hernandez, V. (1993a), Relações estatísticas entre precipitações intensas e vazões máximas: Método GRADEX, *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos*, vol.11, no 2, dezembro, pp. 05-20.
- Zuffo, A. C., Porto, R. L. L. E, y Hernandez, V. (1993b), Variabilidade do parâmetro GRADEX, *X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul*, tomo VI, Gramado. RS, pp. 193-202.

## ANEXOS

### Anexo 1. Catálogo de subcuencas, R. H. 12

**Tabla 1a.** Subcuencas pertenecientes a la R. H. 12.

Cuenca	Subcuenca	Área (Km <sup>2</sup> )
L. Patzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriria	Lago de Cuitzeo	940
L. Patzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriria	Lago de Patzcuaro	4127
L. Patzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriria	Lago de Yuriria	1128
Lago Chapala	Lago Chapala	2290
Lago Chapala	Lago de Sayula	1497
Lago Chapala	Lago de Zapotlán	470
Lago Chapala	Lago San Marcos	1225
Lago Chapala	Río Sahuayo	998
Río Bolaños	Río Valparaiso	1546
Río Bolaños	Río Bolaños Alto	1481
Río Bolaños	Río Bolaños Bajo	2166
Río Bolaños	Río Carbonera	781
Río Bolaños	Río Chico	168
Río Bolaños	Río Colotlán	2080
Río Bolaños	Río Jeréz	2038
Río Bolaños	Río San Mateo	1707
Río Bolaños	Río Tepetongo	539
Río Bolaños	Río Tlaltenango	2583
Río Huaynamota	Arrollo El Aleman	1395
Río Huaynamota	Río Atengo	3746
Río huaynamota	Río Huajimic	572
Río huaynamota	Río huaynamota	484
Río Huaynamota	Río Huejuquilla	736
Río Huaynamota	Río Huejuquilla	393
Río Huaynamota	Río Huichol	2418
Río Huaynamota	Río San Andres	1687
Río Huaynamota	Río San Juan	2695
Río Huaynamota	Río San Pedro	4480
Río Juchipila	Río Calvillo	1402
Río Juchipila	Río Colotlán	454
Río Juchipila	Río Juchipila-Jalpa	1837
Río Juchipila	Río Juchipila-Malpaso	1757
Río Juchipila	Río Juchipila-Moyahua	2238
Río Juchipila	Río Mezquital	531
Río Juchipila	Río Tlaltenango	306
Río Laja	Presa Ignacio Allende	657
Río Laja	Río Apaseo	3105
Río Laja	Río Laja-Celaya	2026
Río Laja	Río Laja-Peñuelita	6526
Río Lerma-Chapala	Briseñas Chapala	302
Río Lerma-Chapala	Río Angulo	1992
Río Lerma-Chapala	Río Angulo-Briseñas	4163
Río Lerma-Chapala	Río Duero	2672
Río Lerma-Chapala	Río Huascato	496
Río Lerma-Salamanca	A. Temascalio	760
Río Lerma-Salamanca	P. Solis-Salamanca	2557
Río Lerma-Salamanca	Río Guanajuato	3004
Río Lerma-Salamanca	Río Turbio Corralejo	1566

<b>Cuenca</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Área (Km²)</b>
Río Lerma-Salamanca	Río Turbio- Presa Palote	1958
Río Lerma-Salamanca	Río Turbio-Manuel Doblado	1252
Río Lerma-Salamanca	Salamanca-Río Angulo	1777
Río Lerma-Toluca	A. Cauichi	786
Río Lerma-Toluca	A. Tarandacuao	265
Río Lerma-Toluca	Atlacomulco-Paso de Ovejas	1630
Río Lerma-Toluca	Presa solís	262
Río Lerma-Toluca	Río Almoloya-Otzolotepec	1295
Río Lerma-Toluca	Río Gavia	583
Río Lerma-Toluca	Río Jaltepec	492
Río Lerma-Toluca	Río Otzolotepec	60
Río Lerma-Toluca	Río Otzolotepec-Atlacomulco	945
Río Lerma-Toluca	Río Sila	615
Río Lerma-Toluca	Río Tejalpa	279
Río Lerma-Toluca	Río Tigre	681
Río Lerma-Toluca	Río Tlalpujahuá	560
Río Lerma-Toluca	Río Verdiguél	188
Río Santiago - Aguamilpa	L. Magdalena-L. El Palo Verde	516
Río Santiago - Aguamilpa	Río Barranquitas	401
Río Santiago - Aguamilpa	Río Bolaños - Río Huaynamota	2643
Río Santiago - Guadalajara	Corona-Río Verde	1508
Río Santiago - Guadalajara	Laguna Chapala-Corona	558
Río Santiago - Guadalajara	Presa Santa Rosa-Río Bolaños	1038
Río Santiago - Guadalajara	Río Calderón	726
Río Santiago - Guadalajara	Río Chico	831
Río Santiago - Guadalajara	Río Cuixtla	861
Río Santiago - Guadalajara	Río Gigantes	501
Río Santiago - Guadalajara	Río La Laja	356
Río Santiago - Guadalajara	Río Verde-Presa Santa Rosa	1966
Río Santiago - Guadalajara	Río Zula	2158
Río Santiago-Aguamilpa	Río de la Manga	633
Río Santiago-Aguamilpa	Río huaynamota-Oceano	1711
Río Santiago-Aguamilpa	Río Mojarras	380
Río Santiago-Aguamilpa	Río Tepic	633
Río Verde Grande	Cuenca Cerrada Ocampo	970
Río Verde Grande	Río Aguas Calientes	1462
Río Verde Grande	Río Chicalote	1444
Río Verde Grande	Río de los Lagos	4400
Río Verde Grande	Río Del Valle	748
Río Verde Grande	Río Encarnación	2503
Río Verde Grande	Río Grande	790
Río Verde Grande	Río San Miguel	1125
Río Verde Grande	Río San Pedro	3496
Río Verde Grande	Río Teocaltiche	534
Río Verde Grande	Río Tepatitlán	472
Río Verde Grande	Río Verde-Grande	3123
Río Verde-Grande	Río Morcinique	254
		1682

## Anexo 2. Catálogo de estaciones climatológicas, R. H. 12.

**Tabla 2a.** Estaciones climatológicas en la R. H. 12.

Cve estac	Localidad	latitud	longitud	Altitud	Estado
1001	AGUASCALIENTES, AGS.	21.88	-102.30	1908	AGUASCALIENTES
1003	CALVILLO, CALVILLO	21.88	-102.72	1702	AGUASCALIENTES
1004	CAÑADA, HONDA, AGS.	22.00	-102.20	1925	AGUASCALIENTES
1006	EL TULE, ASIENTOS	22.08	-102.10	1970	AGUASCALIENTES
1007	JESUS MARIA, JESUS MARIA	21.95	-102.35	1800	AGUASCALIENTES
1008	P.LA CONCEPCION TEPEZALA	22.20	-102.14	2300	AGUASCALIENTES
1009	LA LABOR, CALVILLO	21.97	-102.70	1600	AGUASCALIENTES
1010	LA TINAJA, SAN JOSE DE G	22.16	-102.55	2425	AGUASCALIENTES
1011	MALPASO, CALVILLO	21.86	-102.66	1775	AGUASCALIENTES
1012	P. MEDIA LUNA, CALVILLO	21.79	-102.80	1585	AGUASCALIENTES
1013	MESILLAS, TEPEZALA	22.31	-102.17	1990	AGUASCALIENTES
1014	PABELLON DE ARTEAGA P.A.	22.17	-102.29	1909	AGUASCALIENTES
1015	PALO ALTO, EL LLANO	21.92	-101.97	2015	AGUASCALIENTES
1016	GANADERIA PEÑUELAS AGS.	21.70	-102.30	1878	AGUASCALIENTES
1017	PRESA POTRERILLO S.J.G.	22.23	-102.44	2090	AGUASCALIENTES
1018	PRESA CALLES, SAN J. G.	22.14	-102.42	2020	AGUASCALIENTES
1019	PRESA JOCOQUE P.A.	22.13	-102.36	1970	AGUASCALIENTES
1020	PSA.LA CODORNIZ CALVILLO	22.00	-102.67	1783	AGUASCALIENTES
1021	RANCHO VIEJO, SAN J.G.	22.12	-102.51	2090	AGUASCALIENTES
1022	SAN BARTOLO, AGS.	21.75	-102.17	1965	AGUASCALIENTES
1023	CALVILLO, CALVILLO	21.84	-102.71	1665	AGUASCALIENTES
1024	SAN ISIDRO, AGS.	21.78	-102.10	1895	AGUASCALIENTES
1025	SAN F.DE LOS ROMOS (SMN)	22.25	-102.28	1800	AGUASCALIENTES
1026	TEPEZALA, TEPEZALA	22.22	-102.17	2110	AGUASCALIENTES
1027	VENADERO, JESUS MARIA	21.88	-102.46	1996	AGUASCALIENTES
1028	V. JUAREZ, ASIENTOS	22.10	-102.07	1970	AGUASCALIENTES
1029	ASIENTOS, ASIENTOS	22.24	-102.42	2155	AGUASCALIENTES
1030	AGUASCALIENTES, AGS.	21.90	-102.31	1865	AGUASCALIENTES
1031	EL NOVILLO, EL LLANO	22.02	-102.00	2010	AGUASCALIENTES
1032	LAS FRAGUAS, EL LLANO	22.04	-101.89	2020	AGUASCALIENTES
1033	LOS CONOS, AGS.	21.90	-101.99	2015	AGUASCALIENTES
1034	SAN DOVALES, AGS.	21.88	-102.11	2000	AGUASCALIENTES
1035	SAN FCO. DE LOS VIVEROS	21.93	-102.15	1970	AGUASCALIENTES
1036	SANTA ROSA, AGS.	21.82	-102.30	2000	AGUASCALIENTES
1037	VIÑEDOS RIVIER, J. MARIA	21.98	-102.42	1925	AGUASCALIENTES
1041	PABELLON DE ARTEAGA P.A.	22.18	-102.33	1912	AGUASCALIENTES
1043	ESC.TEC.AGROP.127, AGS.	21.88	-102.30	1825	AGUASCALIENTES
1044	VIÑEDOS EL MORO P.A.	22.25	-102.42	1925	AGUASCALIENTES
1045	EL TULE, ASIENTOS (DGE)	22.08	-102.09	1960	AGUASCALIENTES
1046	LA LABOR, CALVILLO (DGE)	21.96	-102.70	1770	AGUASCALIENTES
1047	AGUA ZARCA, JESUS MARIA	21.97	-102.58	2300	AGUASCALIENTES
1048	CAMPO EXP., PABELLON	22.15	-102.28	1912	AGUASCALIENTES
1053	PRESA CALLES, R. ROMOS	22.13	-102.43	2020	AGUASCALIENTES
1057	VENADERO,JESUS MARIA	21.87	-102.97	1900	AGUASCALIENTES
1062	ARELLANO, AGUASCALIENTES	21.80	-102.27	1890	AGUASCALIENTES
1063	PEÑUELAS, AGUASCALIENTES	21.80	-102.12	2010	AGUASCALIENTES
1067	E.T.A. 241, S. J. GRACIA	22.15	-102.40	1800	AGUASCALIENTES
1068	PRESA O. VIEJA, CALVILLO	21.97	-102.73	1822	AGUASCALIENTES
1073	LA TINAJA II, EL LLANO	21.81	-102.13	2010	AGUASCALIENTES
1074	CIENEGUILLA, AGS.	21.73	-102.45	1780	AGUASCALIENTES
1075	MONTORO, AGS.	21.76	-102.30	1855	AGUASCALIENTES

<b>Cve_estac</b>	<b>Localidad</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
1076	LOS NEGRITOS, AGS.	21.87	-102.35	1845	AGUASCALIENTES
1077	EL OCOTE I, AGS.	21.78	-102.52	2005	AGUASCALIENTES
1078	EL OCOTE II, CALVILLO	21.89	-102.83	2275	AGUASCALIENTES
1079	PEÑUELAS, AGS.	21.73	-102.27	1860	AGUASCALIENTES
1080	PRESA CANUTILLO, J.MARIA	21.84	-102.52	1930	AGUASCALIENTES
1081	RANCHO SECO, ASIENTOS	22.09	-101.97	2055	AGUASCALIENTES
1082	RINCON DE ROMOS R. de R.	22.23	-102.32	1947	AGUASCALIENTES
1083	SAN FCO. DE LOS ROMOS	22.08	-102.27	1885	AGUASCALIENTES
1084	SAN GIL, ASIENTOS	22.21	-102.02	2010	AGUASCALIENTES
1085	TEPETATILLO, ASIENTOS	22.09	-102.18	2020	AGUASCALIENTES
1086	ARELLANO, AGS. (DGE)	21.80	-102.27	1890	AGUASCALIENTES
1088	COSIO, COSIO	22.36	-102.30	1885	AGUASCALIENTES
1089	ANIVERSARIO 50, S. J. G.	22.19	-102.46	2050	AGUASCALIENTES
1090	JESUS MARIA, JESUS M.DGE	21.95	-102.34	1907	AGUASCALIENTES
1091	LOS ALISOS, CALVILLO	21.74	-102.72	2040	AGUASCALIENTES
1092	JALTOMATE, AGS.	22.17	-102.00	1700	AGUASCALIENTES
1094	EL CHAYOTE, TEPEZALA	22.29	-102.23	1930	AGUASCALIENTES
1095	MILPILLAS DE ARRIBA, J M	21.93	-102.55	2140	AGUASCALIENTES
1096	CALVILLITO, AGS.	21.84	-102.18	1950	AGUASCALIENTES
1097	AGUASCALIENTES 2, AGS.	21.91	-102.27	1890	AGUASCALIENTES
1098	LA POSTA U.A.A.,J.MARIA	21.97	-102.36	1905	AGUASCALIENTES
1099	JESUS TERAN (EL MUERTO)	21.98	-102.06	2040	AGUASCALIENTES
1101	LAS PRESAS, EL LLANO	21.91	-102.09	2025	AGUASCALIENTES
1102	PABELON DE ARTEAGA	22.15	-102.28	1901	AGUASCALIENTES
1103	ALAMITOS, S. J. G.	22.18	-102.59	2550	AGUASCALIENTES
1104	ABELARDO L.RODRIGUEZ,J M	21.91	-102.43	1974	AGUASCALIENTES
1105	LOS CUARTOS, JESUS MARIA	21.99	-102.33	1910	AGUASCALIENTES
1106	LA PRIMAVERA,JESUS MARIA	21.96	-102.48	2064	AGUASCALIENTES
1107	OBSERVATORIO U. A. A.	21.92	-102.37	1860	AGUASCALIENTES
1108	ARROLLO HONDO(CYCNA) AGS	22.18	-102.21	1985	AGUASCALIENTES
10032	HUATZAMOTA, MEZQUITAL	22.57	-104.42	0	DURANGO
10151	LA MICHILA, SUCHIL	23.38	-104.25	2480	DURANGO
11001	ABASOLO, ABASOLO	20.45	-101.53	1760	GUANAJUATO
11002	ACAMBARO, ACAMBARO	20.03	-100.72	1846	GUANAJUATO
11003	AGUA TIBIA, PENJAMO	20.52	-101.63	1700	GUANAJUATO
11004	ALDAMA, IRAPUATO	20.82	-101.32	1775	GUANAJUATO
11005	APASEO, APASEO EL GRANDE	20.55	-100.68	1767	GUANAJUATO
11006	APASEO EL ALTO,APASEO A.	20.47	-100.62	1767	GUANAJUATO
11007	CALDERONES, GUANAJUATO	21.00	-101.20	1900	GUANAJUATO
11008	CAÑADA GONZALEZ	21.17	-101.13	0	GUANAJUATO
11009	CELAYA, CELAYA (SMN)	20.53	-100.82	1752	GUANAJUATO
11010	CERANO, YURIRIA	20.10	-101.38	1850	GUANAJUATO
11011	CINCO SEÑORES	20.97	-100.92	1850	GUANAJUATO
11012	CORONEO, CORONEO	20.13	-100.33	2239	GUANAJUATO
11013	CORTAZAR, CORTAZAR	20.48	-100.97	1750	GUANAJUATO
11014	CUERAMARO, CUERAMARO	20.62	-101.68	1765	GUANAJUATO
11015	CHARCAS SAN J. ITURBIDE	21.13	-100.33	2125	GUANAJUATO
11016	DOLORES HIDALGO (DGE)	21.17	-100.93	1987	GUANAJUATO
11017	DOLORES HGO. C.CAP.RURAL	21.15	-100.93	1895	GUANAJUATO
11018	EL CHILARILLO, PENJAMO	20.50	-101.95	0	GUANAJUATO
11019	EL HUIZACHE	20.78	-101.78	1880	GUANAJUATO
11020	EL PALOTE, LEON	21.13	-101.68	1842	GUANAJUATO
11021	EL SABINO, SALVATIERRA	20.28	-101.02	1775	GUANAJUATO
11022	EL TERRERO, APASEO ALTO	20.38	-100.55	1800	GUANAJUATO
11023	GUANAJAL, S. FCO. RINCON	21.07	-101.87	1778	GUANAJUATO
11024	GUANAJUATO, GUANAJUATO	21.02	-101.25	2050	GUANAJUATO

<b>Cve_estac</b>	<b>Localidad</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
11025	HACIENDA DE ARRIBA, LEON	21.20	-101.70	1950	GUANAJUATO
11026	HACIENDA SAN JUAN	21.50	-100.88	2093	GUANAJUATO
11027	IRAMUCO, ACAMBARO (SMN)	19.98	-100.92	1950	GUANAJUATO
11028	IRAPUATO, IRAPUATO (SMN)	20.68	-101.35	1724	GUANAJUATO
11029	JALPA, P. DEL RINCON	20.88	-101.98	1840	GUANAJUATO
11031	JERECUARO, JERECUARO	20.15	-100.48	1787	GUANAJUATO
11032	STA.CRUZ DE J.ROSAS(DGE)	20.65	-101.00	1697	GUANAJUATO
11033	LA BEGOÑA,SAN M. ALLENDE	20.85	-100.83	1850	GUANAJUATO
11034	LA GOLONDRINA, PENJAMO	20.43	-101.77	1939	GUANAJUATO
11035	LA SANDIA, LEON	20.92	-101.70	1753	GUANAJUATO
11036	LAS ADJUNTAS	20.68	-101.85	1500	GUANAJUATO
11038	LEON PREPARATORIA (SMN)	21.12	-101.68	1885	GUANAJUATO
11039	LEON, LEON (SMN)	21.10	-101.68	1850	GUANAJUATO
11040	LOS CASTILLOS, LEON	21.15	-101.68	1895	GUANAJUATO
11041	LOS RAZOS, SALAMANCA	20.70	-101.12	0	GUANAJUATO
11042	LOS RODRIGUEZ	21.03	-100.70	2000	GUANAJUATO
11043	LOURDES, S. LUIS DE LA P	21.30	-100.70	2013	GUANAJUATO
11044	MANDUJANO, STA. CRUZ J.R	20.75	-101.03	0	GUANAJUATO
11045	MEDIA LUNA, LEON	21.22	-101.53	2090	GUANAJUATO
11047	MOROLEON, MOROLEON	20.13	-101.20	1780	GUANAJUATO
11048	NEUTLA, COMONFORT	20.72	-100.85	0	GUANAJUATO
11049	NUEVO VALLE MORENO, LEON	21.20	-101.43	2200	GUANAJUATO
11050	OCAMPO, OCAMPO (SMN)	21.63	-101.52	1238	GUANAJUATO
11051	PEÑUELITAS, D. HIDALGO	21.12	-100.88	1850	GUANAJUATO
11052	PERICOS, SALAMANCA	20.53	-101.12	1772	GUANAJUATO
11053	POZOS,SAN LUIS DE LA PAZ	21.22	-100.50	0	GUANAJUATO
11054	PUEBLO NUEVO, P. NUEVO	20.52	-101.37	0	GUANAJUATO
11055	PURISIMA DE BUSTOS	21.03	-101.88	1767	GUANAJUATO
11056	PLANTA RAMOS MILLAN V.	20.52	-100.95	1750	GUANAJUATO
11057	RIO LAJAS, DOLORES HGO.	21.20	-100.92	1906	GUANAJUATO
11058	ROMITA, ROMITA	20.87	-101.52	1777	GUANAJUATO
11059	SALAMANCA, SALAMANCA	20.57	-101.20	1721	GUANAJUATO
11060	SALVATIERRA, SALVATIERRA	20.22	-100.85	1782	GUANAJUATO
11061	SAN ANTON, DOLORES HGO.	21.08	-101.03	0	GUANAJUATO
11063	SAN CRISTOBAL, S. L. P.	21.28	-101.53	1935	GUANAJUATO
11064	SAN DIEGO DE LA UNION	21.47	-100.87	2080	GUANAJUATO
11065	SAN FELIPE,S. FELIPE DGE	21.48	-101.20	2100	GUANAJUATO
11066	SAN JOSE ITURBIDE	21.00	-100.40	1870	GUANAJUATO
11067	SAN J. DE LOS LLANOS SMN	21.28	-101.32	2020	GUANAJUATO
11068	SAN LUIS DE LA PAZ	21.30	-100.52	2020	GUANAJUATO
11070	SANTA JULIA, CORTAZAR	20.38	-101.03	1730	GUANAJUATO
11071	SANTA MARIA YURIRIA(DGE)	20.22	-101.13	1761	GUANAJUATO
11072	SANTA RITA, JARAL DEL P	20.30	-101.07	1783	GUANAJUATO
11073	SANTA ROSA MINERAL	21.07	-101.20	2350	GUANAJUATO
11074	SILAO, SILAO (DGE)	20.95	-101.45	1777	GUANAJUATO
11075	SOLEDAD NUEVA,D. HIDALGO	21.28	-100.92	1935	GUANAJUATO
11076	SOLIS, ACAMBARO	20.05	-100.67	1900	GUANAJUATO
11077	TARANDACUARO	20.00	-100.52	1930	GUANAJUATO
11078	TARIMORO, TARIMORO	20.30	-100.77	1772	GUANAJUATO
11079	VALLE DE SANTIAGO	20.40	-101.18	1721	GUANAJUATO
11080	VILLA DOCTOR MORA (SMN)	21.15	-100.32	2125	GUANAJUATO
11084	CELAYA, CELAYA (DGE)	20.52	-100.82	1754	GUANAJUATO
11085	DOS ARROYOS, S.MIGUEL. A	20.83	-101.05	2200	GUANAJUATO
11086	LA MEDIA LUNA, LEON	20.92	-101.12	1900	GUANAJUATO
11088	SAN JOSE ITURBIDE (DGE)	21.00	-100.38	1870	GUANAJUATO
11089	SILAO, SILAO (SMN)	20.95	-101.43	1777	GUANAJUATO



<b>Cve_estac</b>	<b>Localidad</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
11090	PURUAGUA,JERECUARO (SMN)	20.08	-100.42	1980	GUANAJUATO
11091	PENJAMO, PENJAMO	20.43	-101.72	1700	GUANAJUATO
11093	SAN MIGUEL ALLENDE (SMN)	20.92	-100.75	1852	GUANAJUATO
11094	GUANJUATO, GUANAJUATO	21.02	-101.25	2057	GUANAJUATO
11095	LEON (LA CALZADA), (DGE)	21.12	-101.68	1850	GUANAJUATO
11096	SALAMANCA, SALAMANCA	20.57	-101.18	1722	GUANAJUATO
11097	SANTA MARIA (YURIRIA)	20.23	-101.13	1761	GUANAJUATO
11098	STA.CRUZ DE J.ROSAS(SMN)	20.65	-101.00	1697	GUANAJUATO
11099	MARIANO ABASOLO, PENJAMO	20.50	-101.95	0	GUANAJUATO
11100	ROQUE, CELAYA	20.57	-100.83	0	GUANAJUATO
11101	CAMPO AGRICOLA EXP. LEON	21.12	-101.68	0	GUANAJUATO
11103	VALENCIANA, GUANAJUATO	21.02	-101.25	2220	GUANAJUATO
11104	SAN J. DE LOS LLANOS DGE	21.28	-101.32	2020	GUANAJUATO
11105	AMECHE, APASEO EL GRANDE	20.55	-100.58	0	GUANAJUATO
11106	IRAPUATO, IRAPUATO	20.68	-101.37	1733	GUANAJUATO
11107	LA QUEMADA, SAN FELIPE	21.32	-101.10	0	GUANAJUATO
11108	OCAMPO, OCAMPO	21.63	-101.48	1238	GUANAJUATO
11110	TRES ENCINOS, SAN FELIPE	21.38	-101.42	0	GUANAJUATO
11112	CD. MANUEL DOBLADO	20.72	-101.95	1721	GUANAJUATO
11113	COMONFORT, COMONFORT	20.72	-100.75	0	GUANAJUATO
11114	EL REFUGIO, ACAMBARO	20.03	-100.93	2070	GUANAJUATO
11116	HACIENDA SAN LUCAS	20.28	-100.55	0	GUANAJUATO
11117	LOBOS, SAN FELIPE	21.35	-101.62	0	GUANAJUATO
11118	SAN MIGUEL ALLENDE	20.92	-100.75	1904	GUANAJUATO
11120	PENJAMO E.T.A. 21	20.43	-101.70	1850	GUANAJUATO
11121	EL PINILLO, GUANAJUATO	20.92	-101.12	0	GUANAJUATO
11122	PRESA JALPA, S.M.ALLENDE	20.77	-100.62	0	GUANAJUATO
11123	BUENAVISTA, SAN FELIPE	21.38	-101.05	0	GUANAJUATO
11124	EL CHAPIN, GUANAJUATO	20.87	-101.25	0	GUANAJUATO
11125	EL NOPAL, PENJAMO	20.45	-100.58	0	GUANAJUATO
11126	EL SAVILAR, CELAYA	20.38	-100.80	2070	GUANAJUATO
11128	JOYA DE CALVILLO,ABASOLO	21.72	-101.60	0	GUANAJUATO
11129	LA CHIRIMOYA, SAN FELIPE	20.60	-101.08	0	GUANAJUATO
11130	LA LUZ, GUANAJUATO	21.07	-101.35	0	GUANAJUATO
11131	LAS TROJES, OCAMPO	20.58	-101.37	0	GUANAJUATO
11132	PURUAGUA, JERECUARO	20.08	-100.42	1980	GUANAJUATO
11133	SANTA MARIA SANABRIA	20.35	-101.37	0	GUANAJUATO
11134	EL CONEJO, IRAPUATO	20.73	-101.37	1720	GUANAJUATO
11135	ARPEROS, GUANAJUATO	21.17	-101.40	0	GUANAJUATO
11136	LA JOYITA, J. ROSAS	20.75	-101.15	0	GUANAJUATO
11137	PRESA LA PURISIMA	20.42	-101.28	0	GUANAJUATO
11138	PRESA LA GAVIA, ROMITA	20.83	-101.60	0	GUANAJUATO
11139	CAMINO BLANCO, JERECUARO	20.17	-100.63	0	GUANAJUATO
11140	EL CARBON, DOLORES HGO.	21.27	-101.13	2100	GUANAJUATO
11141	CIENEGA DE NEGROS, GTO.	21.17	-101.23	2450	GUANAJUATO
11142	EL CUBO, SALVATIERRA	20.27	-101.88	1782	GUANAJUATO
11143	EL GALLO, PENJAMO	20.52	-101.82	2300	GUANAJUATO
11144	EL CHARAPE,S.JOSE ITURBI	20.90	-100.42	2200	GUANAJUATO
11145	LA GAVIA, CORTAZAR	20.38	-101.82	2330	GUANAJUATO
11146	LAS JICAMAS, V. SANTIAGO	20.27	-101.35	0	GUANAJUATO
11147	MIRAFLORES, COMONFORT	20.77	-100.92	1980	GUANAJUATO
11148	EL OBRAJE,APASEO EL GDE.	20.67	-100.60	2010	GUANAJUATO
11149	PARACUARO, ACAMBARO	20.15	-100.75	0	GUANAJUATO
11150	SAN JOSE EL ALTO,ABASOLO	20.57	-101.53	1695	GUANAJUATO
11151	TACUBAYA, PENJAMO	20.30	-101.77	1700	GUANAJUATO
11153	LA LABORCITA, LEON	21.10	-101.55	2419	GUANAJUATO

<b>Cve_estac</b>	<b>Localidad</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
11154	SAN FRANCISCO DE DURAN	21.00	-101.62	0	GUANAJUATO
11155	CORRAL DE PIEDRAS,S.M.A.	20.97	-100.58	0	GUANAJUATO
11156	EL DORMIDO, S.MARAVATIO	20.15	-101.02	2290	GUANAJUATO
11157	PEÑUELAS,FCO. DEL RINCON	21.05	-101.83	0	GUANAJUATO
11158	PINICUARO, MOROLEON	20.05	-101.23	0	GUANAJUATO
11159	PRESA EL BARRIAL	21.05	-101.83	0	GUANAJUATO
11160	SAN ISIDRO, OCAMPO	21.52	-101.53	2125	GUANAJUATO
11161	EL VERGEL,S.LUIS DE LA P	21.45	-101.67	0	GUANAJUATO
11162	COMANJILLA, SILAO	21.07	-101.48	0	GUANAJUATO
11163	LA JAULA, SAN D. DE LA U	21.52	-100.75	0	GUANAJUATO
11164	EL COPAL E.A.Z.IRAPUATO	20.68	-101.35	1750	GUANAJUATO
13122	PRESA JAVIER ROJO GOMEZ,	20.73	-103.33	0	HIDALGO
14001	ACATIC, ACATIC (SMN)	20.80	-102.92	1685	JALISCO
14002	ACATLAN DE JUAREZ,	20.43	-103.58	1366	JALISCO
14003	ACHIMEC, HUEJUCAR	22.33	-103.18	1726	JALISCO
14004	AGOSTADERO,S.J.DE LOS L.	21.42	-102.30	1875	JALISCO
14006	AJOJUCAR, TEOCALTICHE	21.42	-102.40	1745	JALISCO
14008	AMACUECA, AMACUECA (DGE)	20.03	-103.43	1485	JALISCO
14012	ARENAL, ARENAL (SMN)	20.78	-103.68	1381	JALISCO
14013	ATEMAJAC DE BRISUELA,	20.18	-103.70	2065	JALISCO
14016	ATEQUIZA (CHAPALA),	20.42	-103.08	1521	JALISCO
14017	ATOTONILCO, ATOTONILCO	20.57	-102.52	1600	JALISCO
14018	ATOYAC, ATOYAC	20.00	-103.52	1408	JALISCO
14020	AYO EL CHICO,A. EL CHICO	20.53	-102.33	1650	JALISCO
14023	BOLAÑOS, BOLAÑOS	21.82	-103.80	850	JALISCO
14025	CALERA, TEOCALTICHE	20.47	-103.15	1840	JALISCO
14026	CASA LLANTA, COLOTLAN	22.05	-103.37	1775	JALISCO
14029	CONCEP. DE BUENOS AIRES,	20.10	-103.30	0	JALISCO
14030	CD, GUZMAN, JALISCO	19.70	-103.47	1507	JALISCO
14032	COLOTLAN, JALISCO	22.12	-103.27	1673	JALISCO
14033	COMANJA DE CORONA,	21.32	-101.75	1942	JALISCO
14038	CUIXTLA, SAN C. DE LA B.	21.07	-103.45	816	JALISCO
14039	CUQUIO, CUQUIO	20.95	-103.05	1799	JALISCO
14040	CHAPALA, CHAPALA	20.30	-103.20	1523	JALISCO
14047	EL FUERTE, OCOTLAN	20.32	-102.78	1542	JALISCO
14053	EL PINITO, H.EL ALTO	22.60	-103.92	1859	JALISCO
14054	EL PUESTO, L. DE MORENO	21.62	-101.93	0	JALISCO
14055	INGENIO EL REFUGIO, TALA	20.42	-103.28	0	JALISCO
14057	EL SALTO, EL SALTO	20.53	-103.18	1508	JALISCO
14058	EL TECUAN, E. DE DIAZ	21.68	-102.02	1990	JALISCO
14060	EL TULE, ARANDAS	20.73	-102.40	1850	JALISCO
14061	EL VERGEL, ATENGUILLO	20.72	-102.40	0	JALISCO
14062	ENCARNACION DE DIAZ,	21.53	-102.23	1815	JALISCO
14063	ETZATLAN, ETZATLAN (SMN)	20.77	-104.10	1312	JALISCO
14064	EX-HACIENDA SAN DIEGO,	21.25	-102.38	1570	JALISCO
14065	GUADALAJARA, GUADALAJARA	20.68	-103.38	1551	JALISCO
14066	GUADALAJARA, GUADALAJARA	20.72	-103.38	1583	JALISCO
14068	HOTOTIPAQUILLO (SMN)	21.07	-104.07	1079	JALISCO
14069	HUEJUCAR, HUEJUCAR (SMN)	22.37	-103.22	1895	JALISCO
14070	HUASCATO, DEGOLLADO	20.50	-102.28	0	JALISCO
14071	HUEJUQUILLA EL ALTO(DGE)	22.65	-103.90	1700	JALISCO
14072	HUERTA VIEJA,IXTLAHUACAN	20.42	-103.25	800	JALISCO
14073	IXTLAHUACAN DEL RIO,	20.87	-103.33	1700	JALISCO
14074	JALOSTOTITLAN	21.18	-102.47	1772	JALISCO
14075	JAMAY, JAMAY	20.30	-102.72	1521	JALISCO
14076	JESUS MARIA, JESUS MARIA	20.62	-102.22	2110	JALISCO

<b>Cve_estac</b>	<b>Localidad</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
14077	JOCOTEPEC, JOCOTEPEC	20.28	-103.43	1580	JALISCO
14080	LA CUÑA, YAHUALICA DE G.	21.00	-102.85	1700	JALISCO
14083	LAGOS DE MORENO, JAL.	21.35	-101.92	1880	JALISCO
14084	LAGOS DE MORENO (DGE)	21.37	-101.92	1942	JALISCO
14086	LA MANZANILLA DE LA PAZ	20.00	-103.17	1937	JALISCO
14087	LA RED, TEPATITLAN DE M.	20.73	-102.80	1793	JALISCO
14088	LA SOLEDA, ZAPOPAN	20.80	-103.37	1000	JALISCO
14090	LA YERBABUENA, TOTOTLAN	20.57	-102.80	1570	JALISCO
14093	MAGDALENA, MAGDALENA	20.92	-103.97	1359	JALISCO
14097	MATANZAS, OJUELOS DE J.	21.60	-101.65	2110	JALISCO
14098	MEZQUITIC, MEZQUITIC	22.38	-103.68	1743	JALISCO
14100	MEXTICACAN, MEXTICACAN	21.23	-102.73	1875	JALISCO
14101	MICHOACANEJO,TEOCALTICHE	21.55	-102.58	1890	JALISCO
14102	OCOTLAN, OCOTLAN (SMN)	20.35	-102.75	0	JALISCO
14105	PASO DE ANALCO (CFE)	21.22	-104.02	525	JALISCO
14106	PASO DE CUARENTA	21.50	-101.80	1940	JALISCO
14107	PASO DE LA YESCA	21.25	-103.60	730	JALISCO
14108	PASO DEL SABINO	21.32	-102.53	1735	JALISCO
14110	PLAN DE BARRANCAS	21.03	-104.18	800	JALISCO
14111	PONCITLAN, PONCITLAN	20.38	-102.93	1530	JALISCO
14113	PRESA HURTADO	20.48	-103.67	1250	JALISCO
14114	PRESA LA DUQUESA	21.75	-101.87	2135	JALISCO
14115	PUENTE ARCEDIANO (CFE)	20.75	-103.30	1044	JALISCO
14121	GUADALAJARA (RAYON 388)	20.70	-103.38	1567	JALISCO
14122	SAN BERNARDO,TEOCALTICHE	21.63	-102.33	1085	JALISCO
14123	SAN DIEGO DE ALEJANDRIA	21.00	-102.00	1830	JALISCO
14124	SAN DIEGO, QUITUPAN	21.25	-102.38	1800	JALISCO
14126	SAN JUAN DE LOS LAGOS	21.25	-102.33	1741	JALISCO
14127	SAN JUANICO, V. HIDALGO	21.72	-102.57	1810	JALISCO
14128	SAN JULIAN, SAN JULIAN	21.03	-102.18	2129	JALISCO
14131	SAN MIGUEL EL ALTO	21.05	-102.40	1860	JALISCO
14132	TLAQUEPAQUE (SAN PEDRO)	20.58	-103.32	1593	JALISCO
14134	SANTA CLARA, MEXQUITIC	22.30	-104.08	0	JALISCO
14135	SANTA MA. DE LOS ANGELES	22.18	-103.23	1745	JALISCO
14136	SANTA ROSA, AMATITAN	20.92	-103.72	710	JALISCO
14144	TENASCO, COLOTLAN	22.18	-103.22	0	JALISCO
14145	TEOCALTICHE (DGE)	21.45	-102.58	1800	JALISCO
14146	TEOCUITATLAN	20.10	-103.38	1352	JALISCO
14147	TEPATITLAN	20.82	-102.77	1746	JALISCO
14149	TIZAPAN EL ALTO (SMN)	20.18	-103.05	1310	JALISCO
14153	TOTATICHE, TOTATICHE	21.93	-103.45	1770	JALISCO
14154	TOTOTLAN, TOTOTLAN	20.55	-102.80	1790	JALISCO
14156	TUXCUECA,TUXCUECA	20.17	-103.20	1540	JALISCO
14157	UNION DE SAN ANTONIO	21.13	-101.98	1858	JALISCO
14159	VALLE DE GUADALUPE	21.00	-102.62	1880	JALISCO
14161	VAQUERIAS, OJUELOS	21.17	-102.33	2210	JALISCO
14162	VASO PRESA STA. ROSA	20.92	-103.72	755	JALISCO
14163	VILLA CORONA, V. CORONA	20.42	-103.68	0	JALISCO
14164	VILLA GUERRERO	21.98	-103.60	1785	JALISCO
14165	VILLA OBREGON, VILLA O.	21.12	-102.72	1610	JALISCO
14167	YAHUALICA GLEZ. G.(DGE)	21.18	-102.90	1880	JALISCO
14168	ZACOALCO DE TORRES	20.23	-103.58	1880	JALISCO
14169	ZAPOPAN, ZAPOPAN	20.72	-103.37	1575	JALISCO
14171	ZAPOTLANEJO, ZAPOTLANEJO	20.63	-103.07	0	JALISCO
14173	ATEQUIZA-NORM.RURAL(SMN)	20.40	-103.13	1511	JALISCO
14175	COLOTLAN, COLOTLAN (DGE)	22.12	-103.27	1735	JALISCO

Cve_estac	Localidad	latitud	longitud	Altitud	Estado
14176	HUEJUQUILLA EL ALTO(SMN)	22.63	-103.90	1480	JALISCO
14182	SAN JULIAN, SAN JULIAN	21.00	-102.18	2005	JALISCO
14186	TEOCALTICHE, TEOCALTICHE	21.43	-102.58	1800	JALISCO
14187	TEQUILA, TEQUILA	20.90	-103.83	1218	JALISCO
14189	TIZAPAN, TIZAPAN (DGE)	20.18	-103.05	0	JALISCO
14192	YAHUALICA GLEZ. GALLO	21.18	-102.88	1840	JALISCO
14194	VILLA HIDALGO, V.HIDALGO	21.65	-102.60	1884	JALISCO
14195	ANTONIO ESCOBEDO,(DGE)	20.77	-103.97	1360	JALISCO
14196	COLOTLAN, COLOTLAN (SMN)	22.12	-103.27	1589	JALISCO
14266	SAN GASPAR DE LOS REYES,	21.30	-102.50	1971	JALISCO
14272	LAS NORIAS, TEQUILA	20.83	-103.83	0	JALISCO
14273	SAYULA, SAYULA (SMN)	19.87	-103.58	0	JALISCO
14276	BARRANCAS FFCC.,	21.22	-104.02	0	JALISCO
14277	ETZATLAN FFCC., ETZATLAN	20.77	-104.10	0	JALISCO
14278	EMP. ORENDAIN FFCC.,EL A	20.78	-103.68	0	JALISCO
14279	GUADALAJARA FF.CC.,GUAD.	20.68	-103.38	0	JALISCO
14280	LA QUEMADA FF.CC., D.	20.50	-102.25	0	JALISCO
14283	TEQUILA, FF.CC., TEQUILA	20.90	-103.83	0	JALISCO
14288	SAN MARTIN HIDALGO,S.M.H	20.43	-103.60	1254	JALISCO
14292	ESC. AGRIC., ZAPOPAN	20.70	-103.38	1700	JALISCO
14294	TLAJOMULCO DE ZUÑIGA,	20.42	-103.53	0	JALISCO
14295	UNIV. A. GUADALAJARA, G.	20.68	-103.38	0	JALISCO
14298	LA BARCA JAL., LA BARCA	20.28	-102.53	0	JALISCO
14299	OBRAS PUBLICAS DEL EDO.	20.73	-103.33	1250	JALISCO
14302	DEGOLLADO, DEGOLLADO SMN	20.43	-102.07	0	JALISCO
14304	LAGOS DE MORENO, (SMN)	21.37	-101.92	0	JALISCO
14306	TENZOMPA, HUEJUQUILLA A.	22.37	-103.92	1750	JALISCO
14307	ACATIC, ACATIC (DGE)	20.78	-102.92	1678	JALISCO
14308	ARANDAS, ARANDAS	20.70	-102.33	1792	JALISCO
14313	DEGOLLADO, DEGOLLADO	20.45	-102.12	1799	JALISCO
14315	GOMEZ FARIAS, GOMEZ F.	19.80	-103.48	1528	JALISCO
14318	EL REFUGIO, BOLANOS	21.87	-103.07	1640	JALISCO
14319	SAN JUAN DEL POTRERO,	21.70	-103.58	2265	JALISCO
14320	LA SAUCEDA, LAGOS DE M.	21.35	-101.85	1940	JALISCO
14321	SAYULA, SAYULA (DGE)	19.90	-103.60	0	JALISCO
14323	TECHALUTA, TECHALUTA	20.07	-103.55	1406	JALISCO
14324	TEMASTIAN, TOTATICHE	21.97	-103.52	1940	JALISCO
14326	TOTUATE, MEXQUITIC	22.45	-103.73	1440	JALISCO
14327	SAN MARTIN DE BOLAÑOS,	21.68	-103.80	800	JALISCO
14329	LA EXPERIENCIA, GUAD.	20.73	-103.33	0	JALISCO
14330	SAUCES CHICOS, E.DE DIAZ	21.33	-102.13	1480	JALISCO
14331	EL ZAPOTE, COLOTLAN	22.05	-103.38	1463	JALISCO
14332	AMACUECA, AMACUECA (SMN)	20.17	-103.37	0	JALISCO
14334	GUADALAJARA, GUADALAJARA	20.68	-103.33	1500	JALISCO
14337	APOZOL YAHUALICA	21.02	-102.82	0	JALISCO
14340	BAJO DE LOS AMOLES,MEX.	22.05	-103.92	2485	JALISCO
14341	LA EXPERIENCIA, GUAD.	20.73	-103.33	0	JALISCO
14345	AHUETITA, TEOCALTICHE	22.37	-103.92	1711	JALISCO
14346	BOCAS, MEZQUITIC	22.40	-103.72	1450	JALISCO
14347	JALISCO DEL REFUGIO, C.	21.98	-103.25	1720	JALISCO
14355	LA BARCA, LA BARCA (DGE)	20.28	-102.53	0	JALISCO
14356	LA CAÑADA, TLAJOMULCO	20.37	-103.25	0	JALISCO
14360	LAS LAGUNAS, JESUS MARIA	20.67	-102.10	0	JALISCO
14361	OCOTLAN, OCOTLAN (DGE)	20.30	-102.77	1551	JALISCO
14362	SAN LUCAS EVANGELISTA	20.42	-103.37	0	JALISCO
14363	TACUBAYA,LAGOS DE MORENO	21.78	-101.97	2015	JALISCO

<b>Cve_estac</b>	<b>Localidad</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
14364	TANACO, STA. MA. ANGELES	22.17	-103.22	1850	JALISCO
14365	TEOCALTITAN DE GUADALUPE	21.13	-102.38	1820	JALISCO
14367	TLACUITLAPAN,LAGOS DE M.	21.20	-102.12	1800	JALISCO
14368	USMAJAC, SAYULA	19.87	-103.53	0	JALISCO
14369	LA VAQUERA, ARANDAS	20.87	-102.23	0	JALISCO
15001	ACAMBAY, ACAMBAY	19.97	-99.85	2252	MEXICO
15003	ALMOLOYA DE JUAREZ,(SMN)	19.37	-99.77	2595	MEXICO
15004	ALMOLOYA DEL RIO, (DGE)	19.15	-99.48	2670	MEXICO
15009	ATLACOMULCO, ATLACOMULCO	19.80	-99.88	2526	MEXICO
15010	ATOTONILCO, A. DE JUAREZ	19.47	-99.77	2560	MEXICO
15011	ATARASQUILLO, LERMA	19.32	-99.47	2500	MEXICO
15014	CHAPULHUAC, OTZOLOTEPEC	19.45	-99.48	0	MEXICO
15025	EJIDO LLANO GRANDE,	19.53	-99.67	2538	MEXICO
15026	ENYEGE, IXTLAHUACA	19.57	-99.85	2548	MEXICO
15030	HACIENDA DE LA Y,	19.42	-99.60	2580	MEXICO
15031	HACIENDA SOLIS,	19.98	-100.07	2372	MEXICO
15036	IXTLAHUACA, IXTLAHUACA	19.57	-99.75	2040	MEXICO
15037	JIQUIPILCO, JIQUIPILCO	19.55	-99.60	2565	MEXICO
15049	LERMA, LERMA	19.30	-99.52	2597	MEXICO
15051	LOS VELAZQUEZ (ALMOLOYA)	19.53	-99.78	2560	MEXICO
15056	MEXICALCINGO,	19.85	-99.98	2617	MEXICO
15057	MIMIAPAN, XONACATLAN	19.42	-99.50	2916	MEXICO
15063	NVA. STA. ELENA V. COLON	19.43	-99.72	2640	MEXICO
15070	PRESA BEOCKMAN, EL ORO	19.77	-100.13	2929	MEXICO
15072	PRESA EMBAJOMUY,	19.72	-99.92	2690	MEXICO
15076	PRESA TEPETITLAN,	19.67	-99.97	2564	MEXICO
15078	PSA.FCO. TRINIDAD FABELA	19.80	-99.78	2610	MEXICO
15085	SAN BARTOLO DEL LLANO,	19.60	-99.70	2547	MEXICO
15086	SAN BERNABE, TEMOAYA	19.47	-99.72	2569	MEXICO
15087	SAN FELIPE, DEL PROGRESO	19.70	-99.97	2550	MEXICO
15089	SAN FCO. TLALCILALCALPA,	19.30	-99.77	2000	MEXICO
15093	SAN LORENZO MALACOTA,	19.65	-99.63	2640	MEXICO
15102	SAN ONOFRE, SAN FELIPE	19.67	-100.13	2743	MEXICO
15104	S.P. POTLA,TEMASCALCINGO	19.87	-99.98	2450	MEXICO
15105	SAN PEDRO TECHUCHULCO,	19.12	-99.53	2680	MEXICO
15111	SANTA MARIA NATIVITAS,	19.58	-99.58	2600	MEXICO
15112	SANTIAGO YECHE,JOCOTITLA	19.70	-99.72	2696	MEXICO
15113	SANTIAGO TIANGUISTENCO,	19.20	-99.47	2336	MEXICO
15117	TEMASCALCINGO,	19.92	-100.03	2570	MEXICO
15119	TEMOAYA, TEMOAYA	19.48	-99.60	2620	MEXICO
15122	TENAGO DEL VALLE,	19.10	-99.58	2660	MEXICO
15126	TOLUCA, MEXICO.	19.30	-99.67	2720	MEXICO
15128	TULTENANGO, EL ORO	19.85	-100.08	2580	MEXICO
15139	ATLACOMULCO, ATLACOMULCO	19.75	-99.78	2526	MEXICO
15142	EL PESCADO 2,S.B.MORELOS	19.78	-99.80	2749	MEXICO
15148	SAN FELIPE DEL PROGRESO,	19.70	-99.97	2550	MEXICO
15158	SAN PEDRO DE LOS BAÑOS,	19.62	-99.78	2538	MEXICO
15164	TOLUCA (OFICINAS),TOLUCA	19.30	-99.67	2640	MEXICO
15175	TOLUCA (VIVEROS COLON),	19.27	-99.65	2677	MEXICO
15176	ALMOLOYA DEL RIO,	19.18	-99.48	2530	MEXICO
15179	LA CRUZ,COATEPEC HARINAS	19.57	-99.77	2500	MEXICO
15183	EL ORO, EL ORO	19.80	-100.13	2740	MEXICO
15194	AGOSTADERO, ACAMBAY	20.05	-100.03	2506	MEXICO
15202	TEXCOCO, TEXCOCO (CFE)	19.52	-99.85	2245	MEXICO
15203	CALIXTLAHUACA, TOLUCA	19.33	-99.70	2630	MEXICO
15206	EL GUARDA, EL ORO	19.77	-100.05	2780	MEXICO

<b>Cve_estac</b>	<b>Localidad</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
15207	EL MOLINO, ZINACANTEPEC	19.27	-99.75	2750	MEXICO
15208	EL POZO 4, IXTLAHUACA	19.68	-99.82	2538	MEXICO
15211	TOLUCA PONIENTE, TOLUCA	19.30	-99.67	2660	MEXICO
15222	COAXAPA, JALATLACO	19.17	-99.33	2240	MEXICO
15227	CONCEPCION DEL MONTE,	19.65	-100.13	2800	MEXICO
15229	LOMA ALTA, ZINACANTEPEC	19.18	-99.80	3200	MEXICO
15230	PALO AMARILLO,	19.65	-100.22	3080	MEXICO
15231	PSA.ITURBIDE,OTZOLOTEPEC	19.45	-99.48	275	MEXICO
15232	SAN BARTOLO DEL PROGRESO	19.13	-99.42	2756	MEXICO
15233	SAN NICOLAS MAVATI,	19.60	-99.93	2975	MEXICO
15236	OCOYOTEPEC,ALMOLOYA DE J	19.40	-99.88	2660	MEXICO
15238	SANTA MARIA DEL LLANO,	19.63	-99.80	2565	MEXICO
15239	SAN ANTONIO TROJES,	19.73	-99.65	2770	MEXICO
15240	SAN FRANCISCO PUTLA,	19.12	-99.63	2710	MEXICO
15242	SAN PEDRO ATLAPULCO,	19.23	-99.38	2950	MEXICO
15243	PRESA JUANACATLAN,	19.92	-100.07	2488	MEXICO
15244	MUYTEJE, ACAMBAY	19.32	-99.88	3120	MEXICO
15245	LA JORDANA, EL ORO	19.78	-99.97	2620	MEXICO
15247	LA CIENEGA, SAN FELIPE	19.63	-100.05	2610	MEXICO
15250	C.I.D.A.G.E.M., METEPEC	19.25	-99.58	2445	MEXICO
15251	ATLACOMULCO (PREPA),	19.78	-99.87	2500	MEXICO
15255	IXTLAHUACA VILLADA E-30,	19.57	-99.77	2544	MEXICO
15258	SAN BUENAVENTURA, TOLUCA	19.45	-99.80	2610	MEXICO
15262	ESC.SEC.8 MANUEL BERNAL,	19.45	-99.80	2610	MEXICO
15264	BUENOS AIRES, JIQUIPILCO	19.62	-99.67	2580	MEXICO
15266	CODAGEM, METEPEC	19.25	-99.58	2240	MEXICO
15267	CHICHILPA, S. FELIPE P.	19.72	-100.05	2880	MEXICO
15269	JUQUIPILCO EL VIEJO,	19.47	-99.58	2694	MEXICO
15271	MINA MEXICO, ALMOLOYA J.	19.42	-99.73	2680	MEXICO
15276	SAN JOSE DEL CONTADERO,	19.23	-99.82	3045	MEXICO
15277	SAN MIGUEL TENOCHTITLAN,	19.77	-99.92	2820	MEXICO
15278	SANTIAGO ACUTZILAPAN,	19.78	-99.77	2710	MEXICO
15279	SANTIAGO CUACHOCHITLAN,	19.87	-100.03	2400	MEXICO
15282	TRES BARRANCAS, A. DE J.	19.33	-99.80	2610	MEXICO
15289	EL MOLINO A-9,COATEPEC H	19.27	-99.75	2750	MEXICO
15293	S. JUAN LAS HUERTAS E-24	19.25	-99.75	2840	MEXICO
15300	STA. MARTHA E-29,OCUILAN	19.07	-99.45	2820	MEXICO
15304	XOCANATLAN, XOCANATLAN	19.40	-99.53	2580	MEXICO
15306	CHAPULTEPEC, CHAPULTEPEC	19.20	-99.57	2585	MEXICO
15308	S.CRISTOBAL DE LOS BAÑOS	19.70	-99.88	2570	MEXICO
15309	SAN LUCAS TUNCO, METEPEC	19.23	-99.53	2575	MEXICO
15310	SAN PEDRO EL ALTO,	19.88	-99.97	2930	MEXICO
15312	COL.ALVARO OBREGON,LERMA	19.38	-99.50	2770	MEXICO
15315	CASETA LERMA, LERMA	19.28	-99.53	2580	MEXICO
15316	RAYON, STA. MA. RAYON	19.15	-99.55	2565	MEXICO
15317	SAN.JOSE LA EPIFANIA,	19.72	-99.72	2710	MEXICO
15318	STA. ANA JILOTZINGO,	19.45	-99.48	2860	MEXICO
15337	EL POZO 1, IXTLAHUACA	19.58	-99.75	2558	MEXICO
15341	SAN ANTONIO NIGINI	19.67	-99.68	2545	MEXICO
15344	SAN MATEO EL VIEJO,	19.83	-99.90	2575	MEXICO
15345	SN. NICOLAS AMEALCO	19.33	-99.88	2800	MEXICO
15347	TEPETITLAN, SN FELIPE	19.67	-99.97	2605	MEXICO
15355	DOSTEJE, ACAMBAY	19.97	-99.95	2590	MEXICO
15360	POZO # 7, ACAMBAY	19.93	-99.88	2555	MEXICO
15363	PUEBLO NUEVO, EL ORO	19.78	-100.02	2930	MEXICO
16001	ACUITZIO DEL CANJE,(SMN)	19.48	-101.33	2070	MICHOACAN

Cve_estac	Localidad	latitud	longitud	Altitud	Estado
16004	ALVARO OBREGON, (SMN)	19.83	-101.03	0	MICHOACAN
16005	ANGAMACUTIRO, (SMN)	20.15	-101.72	1500	MICHOACAN
16014	CAMECUARO, TANGANCICUARIO	19.93	-102.23	1630	MICHOACAN
16015	CARAPAN, CHILCHOTA	19.87	-102.05	2050	MICHOACAN
16016	CARRILLO PUERTO, A. O.	19.92	-101.08	0	MICHOACAN
16017	CASA BLANCA, PURUANDIRO	20.30	-101.50	1700	MICHOACAN
16018	CASA FUERTE, SAHUAYO	20.07	-102.68	1523	MICHOACAN
16019	CERRITO PELON, JIQUILPAN	20.03	-102.70	1540	MICHOACAN
16022	COINTZIO, MORELIA	19.60	-101.25	1950	MICHOACAN
16023	COPANDARO DE GALEANA,	19.95	-101.62	1500	MICHOACAN
16024	CORRALES(A.LOS CORRALES)	20.23	-101.95	1750	MICHOACAN
16027	CUITZEO, CUITZEO	19.97	-101.32	1831	MICHOACAN
16028	CUITZILLO GRANDE,	19.77	-101.12	0	MICHOACAN
16029	CUMUATILLO, V. CARRANZA	20.13	-102.63	1522	MICHOACAN
16030	CUMUATO,BRIENAS D MATAM	20.27	-102.58	1524	MICHOACAN
16031	CHAPARACO, ZAMORA	19.98	-102.28	1633	MICHOACAN
16033	CHINCUA, SENGUO	19.80	-100.33	2456	MICHOACAN
16034	EL JACAL, CHUCANDIRO	19.92	-101.33	1500	MICHOACAN
16040	EL GIGANTE, MARAVATIO	19.98	-100.45	1980	MICHOACAN
16042	EL PLATANAL, JACONA	19.97	-102.27	1550	MICHOACAN
16044	EL SALTO, LA PIEDAD	20.38	-102.10	1650	MICHOACAN
16045	EL TEMASCAL, CHARO	19.68	-101.03	0	MICHOACAN
16048	ZAMORA, ZAMORA (DGE)	20.00	-102.38	0	MICHOACAN
16050	HUANIQUEO, HUANIQUEO	19.90	-101.50	1950	MICHOACAN
16052	HUINGO, ZINAPECUARIO	19.92	-100.83	1832	MICHOACAN
16054	IXTLAN DE LOS HERVORES,	20.20	-102.38	1560	MICHOACAN
16055	JESUS DEL MONTE, MORELIA	19.67	-101.12	1250	MICHOACAN
16057	JIMENEZ, VILLA JIMENEZ	19.93	-101.75	0	MICHOACAN
16060	LA ESTANZUELA, IXTLAN	20.22	-102.37	1550	MICHOACAN
16063	LA PALMA, V. CARRANZA	20.15	-102.75	1522	MICHOACAN
16065	LA PIEDAD CABADAS (DGE)	20.37	-102.03	1700	MICHOACAN
16066	LA PIEDAD CABADAS (SMN)	20.13	-102.03	0	MICHOACAN
16067	LA RAYA, SAHUAYO	20.07	-102.87	1890	MICHOACAN
16068	LAS FUENTES, SAHUAYO	20.03	-102.83	1800	MICHOACAN
16078	MARAVATIO, MARAVATIO	19.90	-100.45	2080	MICHOACAN
16080	MORELIA, MORELIA	19.68	-101.17	1903	MICHOACAN
16081	MORELIA, MORELIA (DGE)	19.70	-101.18	1915	MICHOACAN
16083	PAJACUARAN, PAJACUARAN	20.12	-102.57	1538	MICHOACAN
16084	PANINDICUARIO,	19.98	-101.77	1638	MICHOACAN
16086	PASTOR ORTIZ, PURUANDIRO	20.30	-101.60	1692	MICHOACAN
16087	PATZCUARO, PATZCUARO	19.53	-101.62	2043	MICHOACAN
16091	PLANTA BOMBEO A.ZINZIMEO	19.88	-100.98	0	MICHOACAN
16093	PSA.GONZALO,VISTAHERMOSA	20.30	-102.43	1533	MICHOACAN
16094	PRESA GUARACHA, VILLAMAR	19.97	-102.58	1570	MICHOACAN
16095	PRESA JARIPO, VILLAMAR	19.97	-102.62	1570	MICHOACAN
16096	PSA. MALPAIS, QUERENDARO	19.75	-100.88	1831	MICHOACAN
16100	PUENTE SAN ISIDRO,	19.85	-101.53	1989	MICHOACAN
16103	PUREPERO, PUREPERO	19.92	-102.05	1850	MICHOACAN
16104	PURUANDIRO, PURUANDIRO	20.08	-101.52	1994	MICHOACAN
16105	QUIRIO, INDAPARAPEO	19.80	-100.98	1830	MICHOACAN
16106	SAN ANGEL, TINGUINDIN	19.88	-102.53	1870	MICHOACAN
16108	SAN CRISTOBAL, IXTLAN	20.20	-102.43	1523	MICHOACAN
16111	SAN JOSE, MARAVATIO	19.92	-100.30	2100	MICHOACAN
16114	S.MIGUEL DEL MONTE, MOR.	19.62	-101.13	2000	MICHOACAN
16115	SAN NICOLASITO,MARAVATIO	19.92	-100.42	0	MICHOACAN
16116	SAN SEBASTIAN,QUERENDARO	19.82	-100.95	2070	MICHOACAN

<b>Cve_estac</b>	<b>Localidad</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
16117	SANTA FE DEL RIO,	20.20	-101.78	1700	MICHOACAN
16118	SANTA FE, QUIROGA	19.73	-101.53	0	MICHOACAN
16119	STA.RITA,COPANDARO DE G.	19.92	-101.23	0	MICHOACAN
16120	SANTIAGO UNDAMEO,MORELIA	19.60	-101.30	2000	MICHOACAN
16121	SENGUIO, SENGUIO	19.73	-100.35	2511	MICHOACAN
16124	TEMASCALES, CONTEPEC	20.07	-100.23	2470	MICHOACAN
16125	TANGANCICUARO A.ETUCUARO	19.88	-102.22	1700	MICHOACAN
16126	TANHUATO, TANHUATO (SMN)	20.27	-102.35	1540	MICHOACAN
16129	TEPUXTEPEC, CONTEPEC	20.00	-100.25	2345	MICHOACAN
16131	TICUITACO, LA PIEDAD	20.30	-102.02	1750	MICHOACAN
16133	TURICATO, TURICATO	19.57	-101.42	795	MICHOACAN
16137	UREPETIRO, TANGANCICUARO	19.93	-102.15	1754	MICHOACAN
16141	YURECUARO, YURECUARO	20.35	-102.28	1534	MICHOACAN
16142	ZACAPU, ZACAPU (DGE)	19.82	-101.78	1980	MICHOACAN
16143	ZAMORA, ZAMORA (SMN)	19.98	-102.28	1561	MICHOACAN
16144	ZAMORA, ZAMORA (SMN)	20.00	-102.28	1540	MICHOACAN
16145	ZINAPECUARO, ZINAPECUARO	19.88	-100.67	1920	MICHOACAN
16155	COPANDARO, JIMENEZ	19.93	-101.08	1981	MICHOACAN
16159	EL ROSARIO, ANGAMACUTIRO	20.12	-101.70	1720	MICHOACAN
16162	ORANDINO, JACONA	19.98	-102.33	1633	MICHOACAN
16171	ZACAPU, ZACAPU (SMN)	19.82	-101.78	1980	MICHOACAN
16174	SAHUAYO, SAHUAYO	20.07	-102.72	0	MICHOACAN
16175	TEPUXTEPEC, CONTEPEC	20.00	-100.23	0	MICHOACAN
16186	EMILIANO ZAPATA,VILLAMAR	20.00	-102.57	1550	MICHOACAN
16188	TIRINDARO, ZACAPU	19.77	-101.75	0	MICHOACAN
16191	CUATRO ESQUINAS,BRISEÑAS	20.32	-102.38	1522	MICHOACAN
16196	SAN GREGORIO, PAJACUARAN	20.18	-102.53	1523	MICHOACAN
16197	JIQUILPAN, JIQUILPAN	20.00	-102.70	1536	MICHOACAN
16198	LA ARENA, V. CARRANZA	20.18	-102.68	1527	MICHOACAN
16199	SAN MIGUEL CURAHUANGO,	19.87	-100.45	0	MICHOACAN
16204	E.T.A. 132, VILLAMAR	20.00	-102.57	1500	MICHOACAN
16205	CHILCHOTA E.T.A. 140,	19.73	-102.17	1500	MICHOACAN
16211	VENUSTIANO CARRANZA,	20.10	-102.67	1525	MICHOACAN
16215	ZAMORA, ZAMORA	20.00	-102.38	0	MICHOACAN
16220	SAN SIMON, IXTLAN	20.05	-102.40	0	MICHOACAN
16221	UCAREO UNION DE FRUT.	19.92	-100.83	0	MICHOACAN
16222	RINCONADA, RINCONADA	20.03	-102.28	0	MICHOACAN
16223	LA ESPERANZA, CHAVINDA	20.05	-102.40	0	MICHOACAN
16224	TANHUATO, TANHUATO (DGE)	20.28	-102.33	1545	MICHOACAN
16225	VILLA JIMENEZ, V.JIMENEZ	19.92	-101.75	1980	MICHOACAN
16229	ADJUNTAS, TANGANDICUARO	19.95	-102.20	1630	MICHOACAN
16231	LAS CRUCES, PURUANDIRO	19.93	-101.38	0	MICHOACAN
16233	EPITACIO HUERTA, E. H.	20.13	-100.28	0	MICHOACAN
16234	GALEANA, PURUANDIRO	20.03	-101.57	0	MICHOACAN
16240	EL PUEBLITO, ZACAPU	19.82	-101.92	0	MICHOACAN
16243	ZIQUITARO, PENJAMILLO	20.05	-101.88	0	MICHOACAN
16247	CAPULA, MORELIA	19.67	-101.38	0	MICHOACAN
16248	CAURIO DE GUADALUPE	19.92	-101.85	0	MICHOACAN
16250	HUANDACARO, CUITZEO	19.82	-101.27	0	MICHOACAN
16251	PATAMBAN, TANGANCICUARO	19.88	-102.22	0	MICHOACAN
16252	SAN LORENZO, HIDALGO	19.65	-100.05	0	MICHOACAN
16253	TANACO, CHERAN	22.17	-103.22	0	MICHOACAN
16254	TEREMENDO, MORELIA	19.78	-101.48	0	MICHOACAN
16255	UCAREO, MORELIA	19.90	-100.68	2800	MICHOACAN
16256	EX-HACIENDA DE GUADALUPE	19.60	-101.25	0	MICHOACAN
16257	STA. ISABEL DE AJUNO	19.53	-101.62	2550	MICHOACAN



<b>Cve_estac</b>	<b>Localidad</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
18004	CAPOMAL, STGO. IXCUINTLA	21.85	-105.12	27	NAYARIT
18005	CERRO BLANCO	21.38	-104.55	2121	NAYARIT
18008	DESPEÑADERO, NAYAR	21.85	-104.73	600	NAYARIT
18009	EL CARRIZAL,NAYAR (CFE)	21.83	-104.80	0	NAYARIT
18011	GUADALUPE OCOTLAN,YESCA	21.87	-104.45	1200	NAYARIT
18013	HUAJIMIC, LA YESCA	21.70	-104.32	0	NAYARIT
18014	HUAYNAMOTA, NAYAR	21.87	-104.72	0	NAYARIT
18018	JESUS MARIA, NAYAR	21.25	-104.52	610	NAYARIT
18020	LA YESCA, LA YESCA	21.35	-104.03	0	NAYARIT
18025	PASO DE AROCHA	21.83	-105.13	30	NAYARIT
18026	PUERTO DE PLATANARES	21.92	-104.97	0	NAYARIT
18031	SAN JUAN PEYOTAN, NAYAR	22.38	-104.33	400	NAYARIT
18034	SANTIAGO IXCUINTLA	21.82	-105.22	11	NAYARIT
18038	TEPIC, TEPEC (DGE)	21.50	-104.88	920	NAYARIT
18039	TEPIC, NAYARIT	21.52	-104.90	922	NAYARIT
18045	EL CARRIZAL, NAYAR (DGE)	21.83	-104.80	0	NAYARIT
18050	SANTA TERESA, EL NAYAR	22.50	-104.77	2115	NAYARIT
18053	AGUIRRE TEPEC (FF.CC.)	21.48	-104.72	0	NAYARIT
18058	ROSETA, TEPEC (FF.CC)	21.63	-104.68	0	NAYARIT
18060	TEPIC, TEPEC (FF.CC)	21.48	-104.88	0	NAYARIT
18061	TETITLAN,FF.CC AHUACATLA	21.03	-103.47	0	NAYARIT
18063	CHAPALACANA, JESUS MARIA	21.95	-104.48	0	NAYARIT
18065	AMADO NERVO	21.73	-105.03	0	NAYARIT
18073	PRESA DEL BAÑO, TEPEC	21.63	-104.68	0	NAYARIT
18075	CACALUTAN,IXTLAN DEL RIO	21.17	-104.30	0	NAYARIT
18079	TRIGOMIL, JALISCO	21.38	-104.78	0	NAYARIT
18082	CORDON DEL JILGERO, RUIZ	21.58	-104.58	0	NAYARIT
19103	SAN MARTIN DE BOLAÑOS	21.68	-103.80	330	NUEVO LEON
22004	EL BATAN, CORREGIDORA	20.48	-100.47	0	QUERETARO
22006	V.PUEBLITO A.CORREGIDORA	20.53	-100.45	1810	QUERETARO
22014	RANCHO DE VENEGAS	20.62	-100.27	1892	QUERETARO
22018	VILLA CORREGIDORA	20.53	-100.43	1800	QUERETARO
22029	HUIMILPAN, HUIMILPAN	20.37	-100.28	1980	QUERETARO
22041	LA JOYA, SANTA ROSA	20.80	-100.55	0	QUERETARO
22043	COYOTILLOS, EL MARQUEZ	20.62	-100.23	1915	QUERETARO
22045	JURIQUILLA, QUERETARO	20.70	-100.45	1885	QUERETARO
22046	NOGALES, COLON	20.70	-100.13	0	QUERETARO
22050	LA CEJA, HUIMILPAN	20.37	-100.38	0	QUERETARO
22058	SANTA TERESA, HUIMILPAN	20.48	-100.30	0	QUERETARO
22061	""""""CONAFRUT "L"	20.78	-100.52	0	QUERETARO
22063	QUERETARO (DGE), QRO.	20.58	-100.38	0	QUERETARO
25191	MAZATLAN 11 (P.T.)	23.13	-104.23	0	SINALOA
32002	BOCA DEL TEZORO, JEREZ	22.85	-102.95	2045	ZACATECAS
32009	JEREZ DE G. S. (SMN)	22.63	-103.00	2027	ZACATECAS
32013	EL CHIQUE, TABASCO	22.00	-102.90	1575	ZACATECAS
32016	EL PLATANITO, VALPARAISO	22.58	-104.05	875	ZACATECAS
32017	EL TECOMATE, JALPA	21.97	-103.05	1425	ZACATECAS
32019	EXCAME III, TEPECHITLA	21.63	-103.35	1666	ZACATECAS
32025	HUANUSCO, HUANUSCO	21.75	-102.98	1495	ZACATECAS
32026	JEREZ DE GARCIA SALINAS	22.65	-102.98	2027	ZACATECAS
32027	JIMENEZ DE TEUL	23.10	-104.13	2419	ZACATECAS
32029	JUCHUIPILA, JUCHUIPILA	21.42	-103.13	1190	ZACATECAS
32030	LA FLORIDA, VALPARAISO	22.68	-103.62	1950	ZACATECAS
32032	LA VILLITA, TEPECHITLAN	21.67	-103.35	1686	ZACATECAS
32035	ROSALES, JEREZ	22.72	-102.90	2055	ZACATECAS
32037	MONTE ESCOBEDO	22.30	-103.57	2070	ZACATECAS

<b>Cve_estac</b>	<b>Localidad</b>	<b>latitud</b>	<b>longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
32039	NOCHISTLAN, NOCHISTLAN	21.37	-102.85	1930	ZACATECAS
32041	OJOCALIENTE, OJOCALIENTE	22.58	-102.23	2114	ZACATECAS
32042	PALOMAS, VILLANUEVA	22.28	-102.82	1955	ZACATECAS
32051	SAN PEDRO PIEDRA GORDA	22.47	-102.33	2055	ZACATECAS
32055	TAYAHUA, VILLANUEVA	22.10	-102.85	2000	ZACATECAS
32056	TEUL DE GLEZ. ORTEGA SMN	21.47	-103.58	2000	ZACATECAS
32057	TLALTENANGO DE SANCHEZ R	21.78	-103.32	1723	ZACATECAS
32060	VILLA GARCIA (SMN)	22.15	-101.95	2400	ZACATECAS
32062	VILLANUEVA, V. (SMN)	22.35	-102.88	1955	ZACATECAS
32067	JUCHIPILA (DGE)	21.42	-103.13	1350	ZACATECAS
32069	SAN JUAN CAPISTRANO	22.50	-104.08	1325	ZACATECAS
32070	TEUL DE GLEZ. ORTEGA	21.45	-103.47	1787	ZACATECAS
32072	VILLA GARCIA (DGE)	22.15	-101.95	2400	ZACATECAS
32073	VILLANUEVA, VILLANUEVA	22.33	-102.90	1933	ZACATECAS
32079	NOCHISTLAN (SMN)	21.42	-102.97	1930	ZACATECAS
32085	SANTA LUCIA, VALPARAISO	22.40	-104.20	2300	ZACATECAS
32090	COL.GLZ.ORTEGA E.T.A.144	21.50	-103.67	2192	ZACATECAS
32095	PAJARITOS DE LA SIERRA	22.65	-104.28	2700	ZACATECAS
32097	TENAYUCA, APULCO	21.42	-102.72	2000	ZACATECAS
32098	VALPARAISO, VALPARAISO	22.77	-103.58	1950	ZACATECAS
32099	MALPASO, VILLANUEVA	22.60	-102.78	2077	ZACATECAS
32100	SAN ISIDRO DE LOS GLEZ.	22.83	-103.38	2000	ZACATECAS
32101	SAN JOSE DE LLANETES	22.92	-103.30	2000	ZACATECAS
32102	TONALA, VALPARAISO	22.92	-104.00	2045	ZACATECAS
32103	AMECA LA VIEJA	22.92	-103.72	2280	ZACATECAS
32104	RANCHO DE ENMEDIO	22.55	-103.53	2000	ZACATECAS
32105	TLACHICHILA, NOCHISTLAN	21.55	-102.78	2000	ZACATECAS
32106	CUEVA GRANDE, VALPARAISO	22.65	-103.35	2000	ZACATECAS
32108	CORRALES, SOMBRERETE	22.22	-103.63	2190	ZACATECAS
32109	SAN PEDRO DE LA SIERRA	22.77	-103.93	1850	ZACATECAS
32111	JALPA, JALPA	21.63	-102.97	1390	ZACATECAS
32112	MILPILLAS DE ALLENDE	21.32	-103.60	1920	ZACATECAS
32113	PASTORIA, MONTE ESCOBEDO	22.55	-103.37	1855	ZACATECAS
32117	LAS ANIMAS, VALPARAISO	22.48	-103.83	2040	ZACATECAS
32118	LOS CAMPOS, VILLA GARCIA	22.02	-101.83	2000	ZACATECAS
32119	F. ANGELES, VILLANUEVA	22.53	-102.78	2090	ZACATECAS
32120	GENARO GODINA, CUAUHTEMOC	22.48	-102.45	2130	ZACATECAS
32122	LUIS MOYA, LUIS MOYA	22.43	-102.23	1940	ZACATECAS
32124	MOMAX, MOMAX	21.92	-103.30	2000	ZACATECAS
32125	MOYAHUA DE ESTRADA	21.25	-103.12	1108	ZACATECAS
32126	PALMILLAS, OJO CALIENTE	22.65	-102.35	2205	ZACATECAS
32130	EL ROMERILLO, VALPARAISO	22.62	-103.65	2030	ZACATECAS
32132	TEPETONGO, TEPETONGO	22.45	-103.13	2000	ZACATECAS
32133	F. ANGELES, ESTACION A.	22.50	-103.60	2160	ZACATECAS
32134	MILPILLAS DE LA SIERRA	23.23	-103.57	2060	ZACATECAS
32135	POTRERO DE GALLEGOS	22.63	-103.68	2075	ZACATECAS
32136	VICENTE GUERRERO	22.32	-103.43	1925	ZACATECAS
32138	CANOAS, VILLANUEVA	22.10	-102.85	1660	ZACATECAS
32139	HUITZILA, TEUL GLEZ. O.	21.22	-103.60	1675	ZACATECAS
32140	MEZQUITAL DEL ORO	21.20	-103.37	1200	ZACATECAS
32143	GARCIA DE LA CADENA	21.20	-103.47	1740	ZACATECAS

### Anexo 3. Resultados complementarios a la modificación propuesta.

**Tabla 3a.** Discriminación de estaciones, región homogénea para el rango del 90%.

Sim. 1	Sim. 2	Sim. 3	Sim. 4	Sim. 5	Sim. 6	Sim. 7	Sim. 8	Sim. 9	Sim. 10	Sim. 11	Sim. 12
12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548
	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422
		12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350
			12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454
				12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425
					12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370
						12382	12382	12382	12382	12382	12382
							12128	12128	12128	12128	12128
								12162	12162	12162	12162
									12391	12391	12391
										12224	12224
											12352

Continuación...

Sim. 13	Sim. 14	Sim. 15	Sim. 16	Sim. 17	Sim. 18	Sim. 19	Sim. 20	Sim. 21	Sim. 22	Sim. 23
12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548
12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422
12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350
12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454
12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425
12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370
12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382
12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128
12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162
12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391
12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224
12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352
12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376
	12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358
		12619	12619	12619	12619	12619	12619	12619	12619	12619
			12209	12209	12209	12209	12209	12209	12209	12209
				12440	12440	12440	12440	12440	12440	12440
					12667	12667	12667	12667	12667	12667
						12405	12405	12405	12405	12405
							12418	12418	12418	12418
								12233	12233	12233
									12499	12499
										12622

Continuación...

Sim. 24	Sim. 25	Sim. 26	Sim. 27	Sim. 28	Sim. 29
12548	12548	12548	12548	12548	12548
12422	12422	12422	12422	12422	12422
12350	12350	12350	12350	12350	12350
12454	12454	12454	12454	12454	12454
12425	12425	12425	12425	12425	12425
12370	12370	12370	12370	12370	12370
12382	12382	12382	12382	12382	12382
12128	12128	12128	12128	12128	12128
12162	12162	12162	12162	12162	12162
12391	12391	12391	12391	12391	12391
12224	12224	12224	12224	12224	12224
12352	12352	12352	12352	12352	12352
12376	12376	12376	12376	12376	12376
12358	12358	12358	12358	12358	12358
12619	12619	12619	12619	12619	12619
12209	12209	12209	12209	12209	12209
12440	12440	12440	12440	12440	12440
12667	12667	12667	12667	12667	12667
12405	12405	12405	12405	12405	12405
12418	12418	12418	12418	12418	12418
12233	12233	12233	12233	12233	12233
12499	12499	12499	12499	12499	12499
12622	12622	12622	12622	12622	12622
12400	12400	12400	12400	12400	12400
	12496	12496	12496	12496	12496
		12487	12487	12487	12487
			12585	12585	12585
				12493	12493
					12488

Filtrado de  $R_i$  en el análisis al 90% de homogeneidad en la Región XII

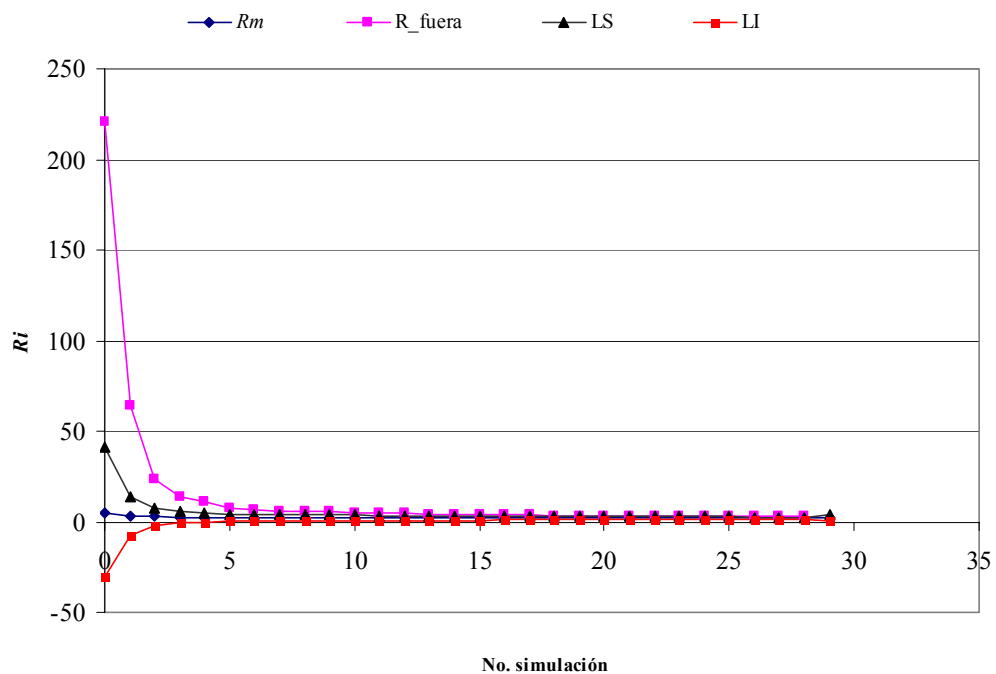


Ilustración 3a. Cambio en la serie de  $R_i$  al realizar el filtro de estaciones al 90%

**Tabla 3b.** Parámetros estadísticos de las estaciones discriminadas en el análisis regional de la Región XII en el rango del 90% de homogeneidad.

<b>Sim.</b>	<b>Rm</b>	<b><math>\sigma</math> (sim)</b>	<b>LS</b>	<b>LI</b>	<b>Ri(fuera)</b>	<b>Rm+1.645<math>\sigma</math></b>
0	5.29	21.74	41	30	220.98	41.05
1	3.29	6.50	14	-7	64.17	13.97
2	2.72	2.76	7.26	-2	23.86	7.26
3	2.52	1.85	5.57	-1	13.69	5.57
4	2.41	1.51	4.89	-0	11.30	4.89
5	2.33	1.24	4.36	0.3	7.19	4.36
6	2.28	1.14	4.16	0.4	6.78	4.16
7	2.24	1.06	3.98	0.5	5.99	3.98
8	2.2	1.00	3.84	0.6	5.83	3.84
9	2.16	0.93	3.7	0.6	5.71	3.70
10	2.13	0.86	3.55	0.7	4.82	3.55
11	2.1	0.83	3.46	0.7	4.97	3.46
12	2.07	0.78	3.35	0.8	4.47	3.35
13	2.05	0.74	3.26	0.8	4.21	3.26
14	2.02	0.71	3.19	0.9	3.89	3.19
15	2	0.69	3.13	0.9	3.88	3.13
16	1.98	0.66	3.07	0.9	3.60	3.07
17	1.96	0.64	3.02	0.9	3.58	3.02
18	1.95	0.62	2.97	0.9	3.49	2.97
19	1.93	0.61	2.93	0.9	3.44	2.93
20	1.91	0.59	2.88	0.9	3.41	2.88
21	1.9	0.57	2.83	1	3.26	2.83
22	1.88	0.55	2.79	1	3.25	2.79
23	1.86	0.54	2.75	1	3.15	2.75
24	1.85	0.52	2.71	1	3.11	2.71
25	1.83	0.50	2.66	1	3.01	2.66
26	1.82	0.49	2.63	1	2.88	2.63
27	1.81	0.48	2.6	1	2.85	2.60
28	1.79	0.47	2.56	1	2.78	2.56
29	1.9	1.15	3.78	0		

**Tabla 3c.** Discriminación de estaciones, región homogénea para el rango del 95%.

Sim. 1	Sim. 2	Sim. 3	Sim. 4	Sim. 5	Sim. 6	Sim. 7	Sim. 8	Sim. 9	Sim. 10	Sim. 11	Sim. 12	Sim. 13	Sim. 14
12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422
	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548
		12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350
			12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454
				12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425
					12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370
						12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382
							12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128
								12162	12162	12162	12162	12162	12162
									12352	12352	12352	12352	12352
										12391	12391	12391	12391
											12224	12224	12224
												12376	12376
													12358

Continuación.....

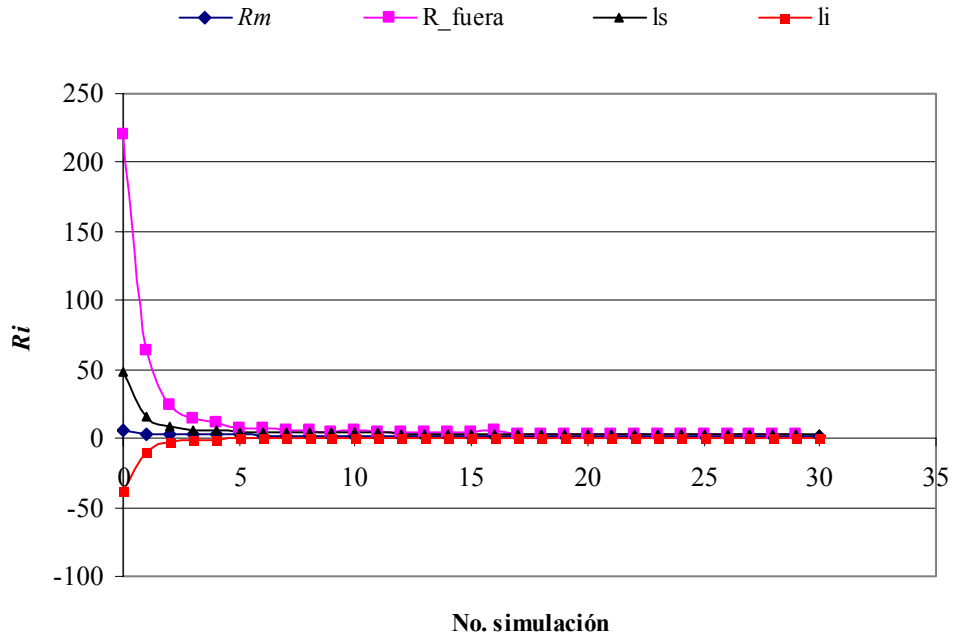
Sim. 15	Sim. 16	Sim. 17	Sim. 18	Sim. 19	Sim. 20	Sim. 21	Sim. 22	Sim. 23	Sim. 24	Sim. 25	Sim. 26	Sim. 27
12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422
12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548
12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350
12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454
12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425
12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370
12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382
12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128	12128
12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162
12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352	12352
12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391	12391
12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224	12224
12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376	12376
12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358	12358
12619	12619	12619	12619	12619	12619	12619	12619	12619	12619	12619	12619	12619
	12209	12209	12209	12209	12209	12209	12209	12209	12209	12209	12209	12209
		12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162	12162
			12440	12440	12440	12440	12440	12440	12440	12440	12440	12440
				12667	12667	12667	12667	12667	12667	12667	12667	12667
					12405	12405	12405	12405	12405	12405	12405	12405
						12418	12418	12418	12418	12418	12418	12418
							12233	12233	12233	12233	12233	12233
								12499	12499	12499	12499	12499
									12622	12622	12622	12622
										12400	12400	12400
											12496	12496
												12487

Continuación...

<u>Sim. 28</u>	<u>Sim. 29</u>	<u>Sim. 30</u>
12422	12422	12422
12548	12548	12548
12350	12350	12350
12454	12454	12454
12425	12425	12425
12370	12370	12370
12382	12382	12382
12128	12128	12128
12162	12162	12162
12352	12352	12352
12391	12391	12391
12224	12224	12224
12376	12376	12376
12358	12358	12358
12619	12619	12619
12209	12209	12209
12162	12162	12162
12440	12440	12440
12667	12667	12667
12405	12405	12405
12418	12418	12418
12233	12233	12233
12499	12499	12499
12622	12622	12622
12400	12400	12400
12496	12496	12496
12487	12487	12487
12585	12585	12585
	12493	12493
		12488



### Filtrado de $R_i$ en el análisis al 95% de homogeneidad en la Región XII



**Ilustración 3b.** Cambio en la serie de  $R_i$  al realizar el filtro de estaciones, al 95% de homogeneidad.

**Tabla 3d.** Parámetros estadísticos de las estaciones discriminadas en el análisis regional de la Región XII, al 95% de homogeneidad.

<b>Sim.</b>	<b>Rm</b>	<b><math>\sigma</math> (sim)</b>	<b>LS</b>	<b>LI</b>	<b>Ri(fuera)</b>	<b>Rm+1.9694<math>\sigma</math></b>
0	5.29	21.74	48.76	-38.19	220.98	48.76
1	3.29	6.50	16.28	-9.70	64.17	16.28
2	2.72	2.76	8.24	-2.80	23.86	8.24
3	2.52	1.85	6.23	-1.19	13.69	6.23
4	2.41	1.51	5.43	-0.60	11.30	5.43
5	2.33	1.24	4.80	-0.14	7.19	4.80
6	2.28	1.14	4.57	-0.01	6.78	4.57
7	2.24	1.06	4.35	0.12	5.99	4.35
8	2.20	1.00	4.19	0.21	5.83	4.19
9	2.16	0.93	4.03	0.30	4.97	4.03
10	2.13	0.89	3.92	0.35	5.71	3.92
11	2.10	0.82	3.74	0.46	4.82	3.74
12	2.07	0.78	3.62	0.52	4.47	3.62
13	2.05	0.74	3.52	0.57	4.21	3.52
14	2.02	0.71	3.44	0.60	3.89	3.44
15	2.00	0.69	3.38	0.63	3.88	3.38
16	2.13	0.77	3.66	0.59	5.83	3.66
17	1.98	0.66	3.31	0.66	3.60	3.31
18	1.96	0.64	3.25	0.68	3.58	3.25
19	1.95	0.62	3.20	0.70	3.49	3.20
20	1.93	0.61	3.14	0.72	3.44	3.14
21	1.91	0.59	3.09	0.74	3.41	3.09
22	1.88	0.55	2.99	0.77	3.26	2.99
23	1.88	0.55	2.99	0.77	3.25	2.99
24	1.86	0.54	2.94	0.79	3.15	2.94
25	1.85	0.52	2.89	0.81	3.11	2.89
26	1.83	0.50	2.84	0.82	3.01	2.84
27	1.82	0.49	2.80	0.84	2.88	2.80
28	1.81	0.48	2.77	0.85	2.85	2.77
29	1.79	0.47	2.73	0.86	2.78	2.73
30	1.78	0.46	2.70	0.87		

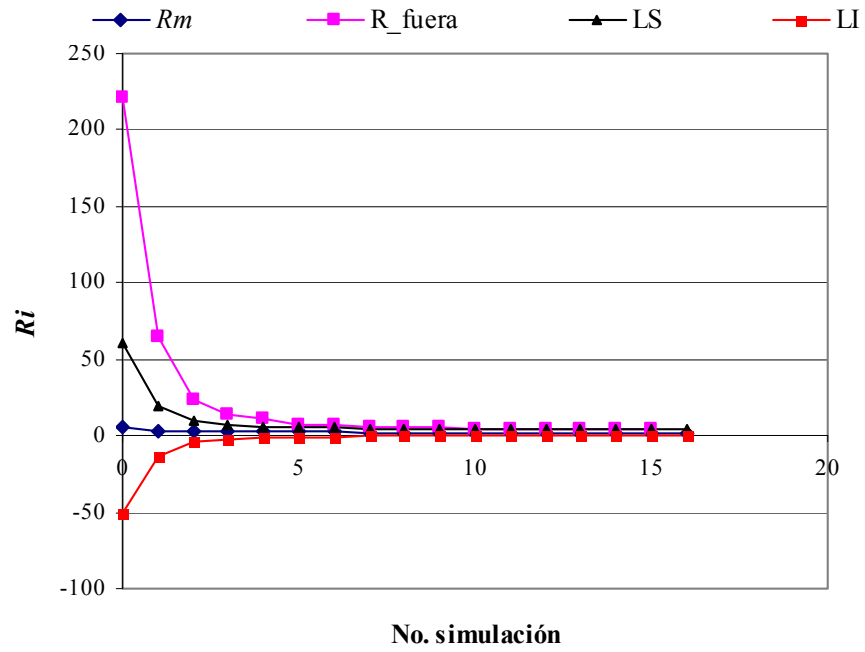
**Tabla 3e.** Discriminación de estaciones, región homogénea para el rango del 99%.

Sim. 1	Sim. 2	Sim. 3	Sim. 4	Sim. 5	Sim. 6	Sim. 7	Sim. 8	Sim. 9	Sim. 10	Sim. 11	Sim. 12	Sim. 13
12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548	12548
	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422	12422
		12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350	12350
			12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454	12454
				12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425	12425
					12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370	12370
						12382	12382	12382	12382	12382	12382	12382
							12128	12128	12128	12128	12128	12128
								12162	12162	12162	12162	12162
									12391	12391	12391	12391
										12352	12352	12352
											12224	12224
												12376

Continuación....

Sim. 14	Sim. 15	Sim. 16
12548	12548	12548
12422	12422	12422
12350	12350	12350
12454	12454	12454
12425	12425	12425
12370	12370	12370
12382	12382	12382
12128	12128	12128
12162	12162	12162
12391	12391	12391
12352	12352	12352
12224	12224	12224
12376	12376	12376
12358	12358	12358
	12609	12609
		12209

**Filtrado de  $R_i$  en el análisis al 99% de homogeneidad en la Región XII**



**Ilustración 3c.** Cambio en la serie de  $R_i$  al realizar el filtro de estaciones, al 99% de homogeneidad.

**Tabla 3f.** Parámetros estadísticos de las estaciones discriminadas en el análisis regional de la Región XII, al 99% de homogeneidad.

<b>Sim.</b>	<b>Rm</b>	<b><math>\sigma</math> (sim)</b>	<b>LS</b>	<b>LI</b>	<b>Ri(fuera)</b>	<b>Rm+2.575<math>\sigma</math></b>
0	5.29	21.74	61.26	-50.69	220.98	61.26
1	3.29	6.50	20.01	-13.44	64.17	20.01
2	2.72	2.76	9.83	-4.39	23.86	9.83
3	2.52	1.85	7.29	-2.25	13.69	7.29
4	2.41	1.51	6.29	-1.47	11.30	6.29
5	2.33	1.24	5.51	-0.85	7.19	5.51
6	2.28	1.14	5.23	-0.66	6.78	5.23
7	2.24	1.06	4.96	-0.49	5.99	4.96
8	2.20	1.00	4.76	-0.36	5.83	4.76
9	2.16	0.93	4.56	-0.24	5.71	4.56
10	2.13	0.86	4.35	-0.10	4.97	4.35
11	2.10	0.82	4.21	-0.01	4.82	4.21
12	2.07	0.78	4.07	0.07	4.47	4.07
13	2.05	0.74	3.95	0.14	4.21	3.95
14	2.02	0.71	3.85	0.20	3.89	3.85
15	2.00	0.69	3.77	0.23	3.88	3.77
16	1.98	0.66	3.69	0.28		

#### Anexo 4. Resultados complementarios de validación a la modificación propuesta.

**Tabla 4a.** Gastos máximos registrados por la estación 12514

<b>No</b>	<b>año</b>	<b>g. anual</b>
1	1948	210.899
2	1949	158.116
3	1950	56.249
4	1951	159.618
5	1952	182.414
6	1953	360.625
7	1954	163.070
8	1955	401.782
9	1956	421.636
10	1957	92.134
11	1958	481.333
12	1959	572.677
13	1960	259.452
14	1961	364.267
15	1962	427.691
16	1963	725.225
17	1964	461.566
18	1965	528.623
19	1966	547.414
20	1967	776.614
21	1968	360.203
22	1969	126.050
23	1970	556.479
24	1971	465.534
25	1972	151.202
26	1973	908.633
27	1974	145.101
28	1975	1150.946
29	1976	745.487
30	1977	411.381
31	1978	359.696
32	1979	258.521
33	1980	354.700
34	1981	360.368
35	1982	319.564
36	1983	337.400
37	1984	633.200
38	1985	319.800
39	1986	154.590
40	1987	246.761
41	1988	24.600
42	1991	714.537
43	1992	1455.322
44	1993	167.360
45	1994	234.191
46	1995	647.078
47	1996	562.722
48	1997	167.078
49	1998	150.903
50	1999	360.304
51	2000	93.760

**Tabla 4b.** Ajuste de los gastos registrados con la distribución Gumbel a la estación 12514

<b>No</b>	<b>T</b>	<b>Q</b>	<b>Qcalculado</b>	<b>error2</b>
1	52	1455.32	1131.27	105011.14
2	26	1150.95	978.04	29899.14
3	17.33	908.63	887.48	447.52
4	13	776.61	822.55	2110.46
5	10.4	745.49	771.65	684.47
6	8.67	725.23	729.61	19.21
7	7.43	714.54	693.67	435.51
8	6.5	647.08	662.18	228.02
9	5.78	633.2	634.08	0.77
10	5.2	572.68	608.63	1292.67
11	4.73	562.72	585.33	511.3
12	4.33	556.48	563.79	53.4
13	4	547.41	543.71	13.7
14	3.71	528.62	524.87	14.09
15	3.47	481.33	507.08	663.04
16	3.25	465.53	490.2	608.72
17	3.06	461.57	474.11	157.33
18	2.89	427.69	458.71	962.29
19	2.74	421.64	443.91	495.96
20	2.6	411.38	429.64	333.37
21	2.48	401.78	415.83	197.45
22	2.36	364.27	402.43	1456.55
23	2.26	360.63	389.4	827.62
24	2.17	360.37	376.68	265.97
25	2.08	360.3	364.24	15.49
26	2	360.2	352.03	66.71
27	1.93	359.7	340.04	386.69
28	1.86	354.7	328.21	701.57
29	1.79	337.4	316.53	435.4
30	1.73	319.8	304.97	219.97
31	1.68	319.56	293.49	679.71
32	1.63	259.45	282.06	511.43
33	1.58	258.52	270.67	147.56
34	1.53	246.76	259.27	156.39
35	1.49	234.19	247.83	185.98
36	1.44	210.9	236.32	646.06
37	1.41	182.41	224.7	1788.29
38	1.37	167.36	212.93	2076.22
39	1.33	167.08	200.95	1147.22
40	1.3	163.07	188.72	657.7
41	1.27	159.62	176.15	273.27
42	1.24	158.12	163.17	25.52
43	1.21	154.59	149.67	24.22
44	1.18	151.2	135.5	246.4
45	1.16	150.9	120.48	925.18
46	1.13	145.1	104.34	1661.3
47	1.11	126.05	86.67	1550.45
48	1.08	93.76	66.84	724.91
49	1.06	92.13	43.67	2348.81
50	1.04	56.25	14.7	1726.6
51	1.02	24.6	-27.35	2698.29

<b>No</b>	<b>T</b>	<b>Q</b>	<b>Qcalculado</b>	<b>error2</b>
		$\bar{X} =$	397.939	
		$\sigma =$	279.54	
		$g =$	1.552	
		$k =$	6.512	
		$\alpha =$	0.0046	
		$\beta =$	272.1459	
		EE =	58.679	

**Tabla 4c.** Pronósticos de gastos en la estación 12514

<b>T</b>	<b>Prob</b>	<b>Q (m3/s)</b>
2	0.5	351.82
5	0.8	598.22
10	0.9	761.36
20	0.95	917.84
50	0.98	1120.39
100	0.99	1272.18
200	0.995	1423.41
500	0.998	1622.93
1000	0.999	1773.73
5000	0.9998	2123.72
10000	0.9999	2274.35

**Tabla 4d.** Gastos máximos registrados por la estación 12627

<b>No</b>	<b>año</b>	<b>g anual</b>
1	1967	100.60
2	1968	122.40
3	1969	66.79
4	1970	73.74
5	1971	139.00
6	1972	53.53
7	1973	113.90
8	1974	71.32
9	1975	76.78
10	1976	115.30
11	1977	66.47
12	1978	80.27
13	1979	72.19
14	1980	84.74
15	1981	68.49
16	1982	78.76
17	1983	84.13
18	1984	70.36
19	1985	81.63
20	1986	72.33
21	1987	80.31
22	1988	81.00
23	1989	78.22
24	1990	14.01
25	1991	103.30
26	1995	86.60



No	año	g_anual
27	1996	94.81
28	1997	84.98
29	1998	73.80
30	1999	102.85

**Tabla 4e.** Ajuste de los gastos registrados con la distribución Gumbel a la estación 12627

No	T	Q	Qcalculado	Error2
1	31	139	133.68	28.33
2	15.5	122.4	121.03	1.87
3	10.33	115.3	113.5	3.23
4	7.75	113.9	108.06	34.1
5	6.2	103.23	103.76	0.28
6	5.17	102.85	100.17	7.15
7	4.43	100.6	97.08	12.4
8	3.88	94.81	94.34	0.22
9	3.44	86.6	91.87	27.78
10	3.1	84.98	89.6	21.38
11	2.82	84.74	87.5	7.63
12	2.58	84.13	85.53	1.95
13	2.38	81.63	83.66	4.13
14	2.21	81	81.88	0.77
15	2.07	80.31	80.17	0.02
16	1.94	80.27	78.51	3.1
17	1.82	78.76	76.89	3.5
18	1.72	78.22	75.31	8.51
19	1.63	76.78	73.74	9.27
20	1.55	73.8	72.17	2.63
21	1.48	73.74	70.61	9.82
22	1.41	72.33	69.02	10.98
23	1.35	72.19	67.4	22.94
24	1.29	71.32	65.73	31.3
25	1.24	70.36	63.97	40.9
26	1.19	68.49	62.09	40.95
27	1.15	66.79	60.04	45.57
28	1.11	66.47	57.7	76.94
29	1.07	53.53	54.85	1.73
30	1.03	14.01	50.83	1356.1

$$\bar{X} = 83.084$$

$$\sigma = 22.843$$

$$g = -0.169$$

$$k = 5.788$$

$$\alpha = 0.0561$$

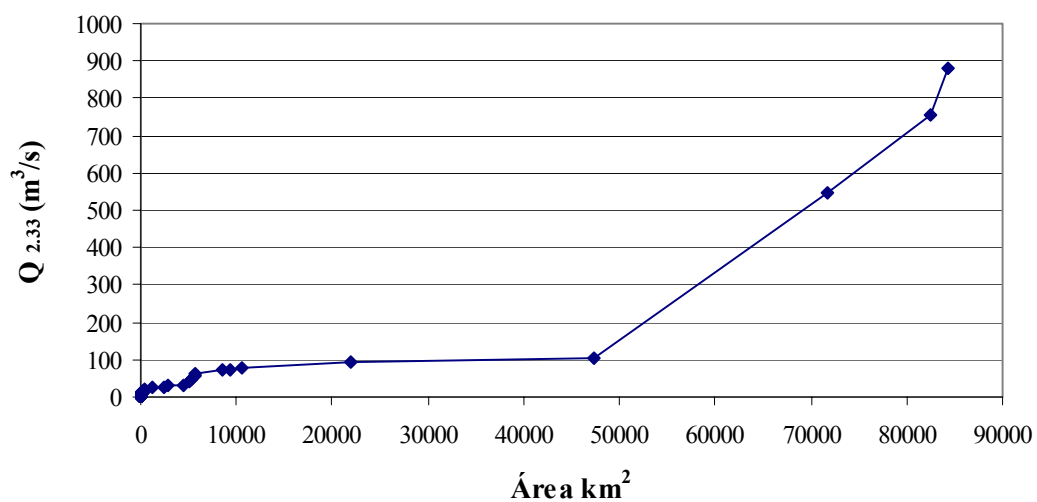
$$\beta = 72.8052$$

$$EE = 8.052$$

**Tabla 4f.** Pronósticos de gastos en la estación 12627

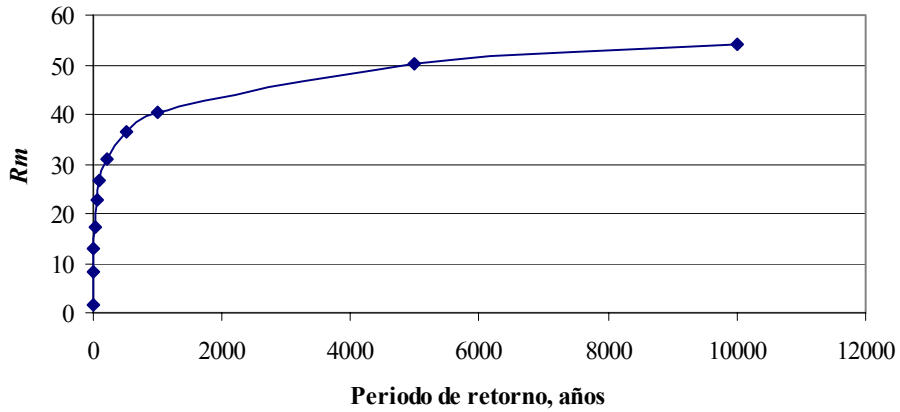
T	Prob	Q (m3/s)
2	0.5	79.34
5	0.8	99.54
10	0.9	112.92
20	0.95	125.75
50	0.98	142.36
100	0.99	154.80
200	0.995	167.20
500	0.998	183.56
1000	0.999	195.93
5000	0.9998	224.63
10000	0.9999	236.98

**Curva Área vs  $Q_{2.33}$ , R90 base, est. 12514**



**Ilustración 4a.** Curva Áreas- $Q_{2.33}$  para la regionalización base, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12514 (Ejemplo)

**Curva regional , R90 base, est. 12514**



**Ilustración 4b.** Curva regional para la simulación regional base, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12514 (Ejemplo)

Para el área de la Estación 12514 se obtuvo de la curva en la Ilustración 4a el gasto correspondiente a T=2.33 años.

$$A = 14755 \text{ km}^2$$

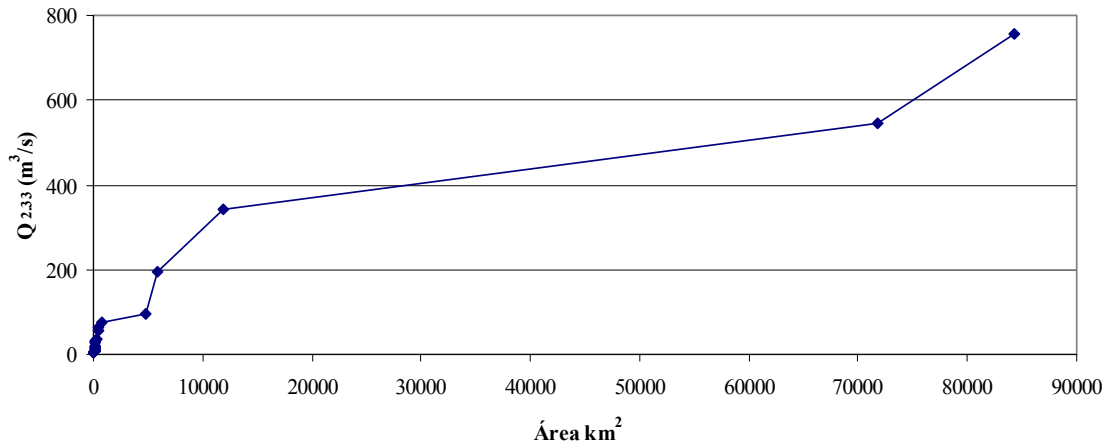
$$Q_{2.33} = 103.8535 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se obtuvieron las relaciones de escala para los periodos de retorno de 20, 50 y 100 años, de la curva regional de la Ilustración 4b. En la Tabla se muestran los gastos de diseño resultantes.

**Tabla 4g.** Pronósticos de gastos en la estación 12514, regionalización base.

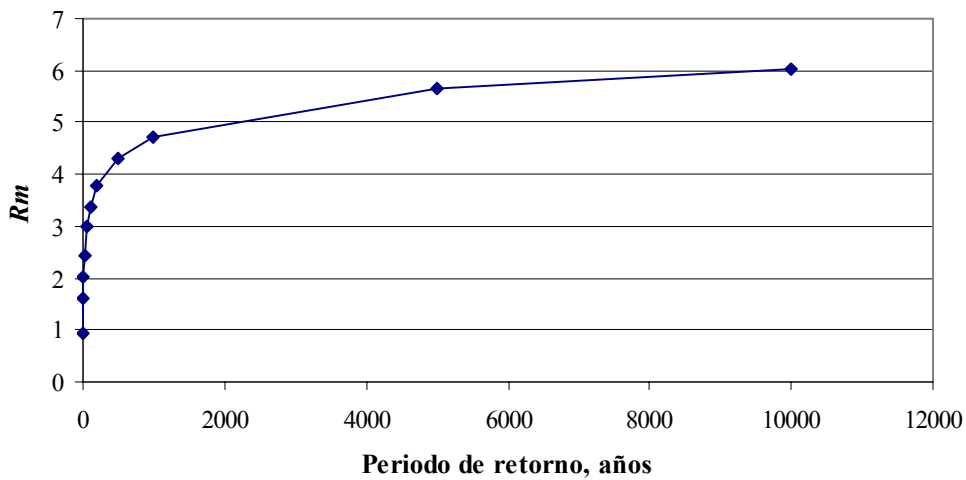
	<u>Rm</u>	<u>Q<sub>diseño</sub></u>
<b>T20</b>	17.09	1774.60
<b>T50</b>	22.63	2350.24
<b>T100</b>	26.78	2781.61

**Curva Área vs  $Q_{2.33}$ , R90 final, est. 12514**



**Ilustración 4c.** Curva Áreas- $Q_{2.33}$  para la regionalización final, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12514 (Ejemplo)

**Curva regional , R90 final, est. 12514**



**Ilustración 4d.** Curva regional para la simulación regional final, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12514 (Ejemplo)

Para el área de la Estación 12514 se obtuvo de la curva en la Ilustración 4c el gasto correspondiente a  $T=2.33$  años.

$$A = 14755 \text{ km}^2$$

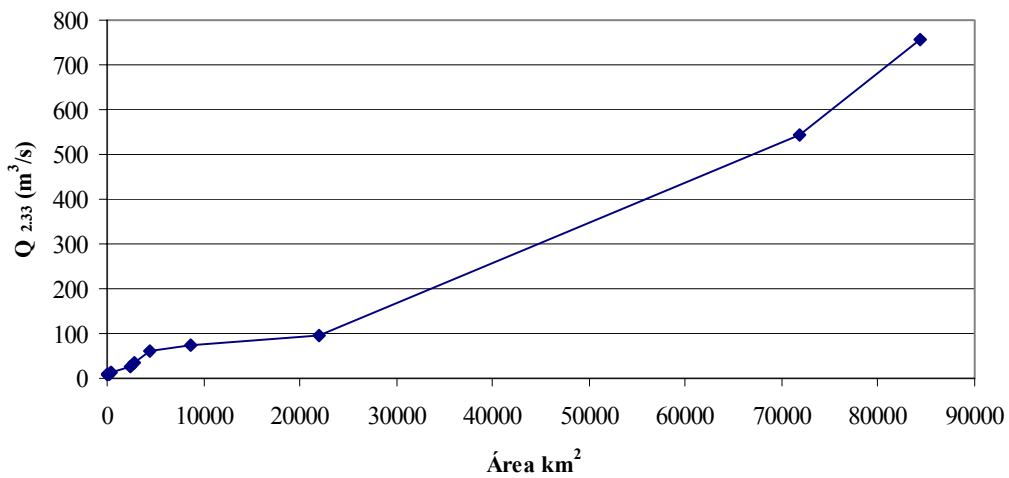
$$Q_{2.33} = 352.6311 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se obtuvieron las relaciones de escala para los periodos de retorno de 20, 50 y 100 años, de la curva regional de la Ilustración 4d. En la Tabla se muestran los gastos de diseño resultantes.

**Tabla 4h.** Pronósticos de gastos en la estación 12514, regionalización final.

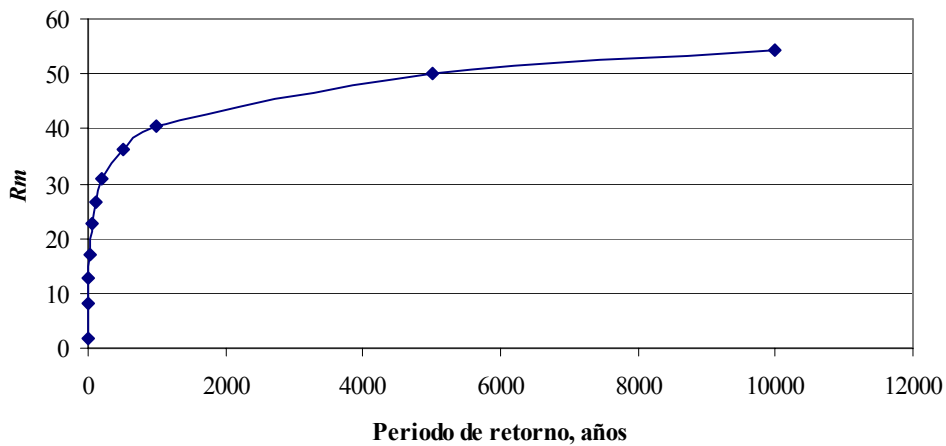
	<i>Rm</i>	<i>Q</i> <sub>diseño</sub>
<b>T20</b>	2.44	860.35
<b>T50</b>	2.98	1049.94
<b>T100</b>	3.38	1192.01

**Curva Área vs *Q*<sub>2.33</sub>, R90 base, est. 12617**



**Ilustración 4e.** Curva Áreas-*Q*<sub>2.33</sub> para la regionalización base, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12617 (Ejemplo)

**Curva regional , R90 base, est. 12627**



**Ilustración 4f.** Curva regional para la simulación regional base, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12627 (Ejemplo)

Para el área de la Estación 12627 se obtuvo de la curva en la Ilustración 4e el gasto correspondiente a T=2.33 años.

$$A = 8538 \text{ km}^2$$

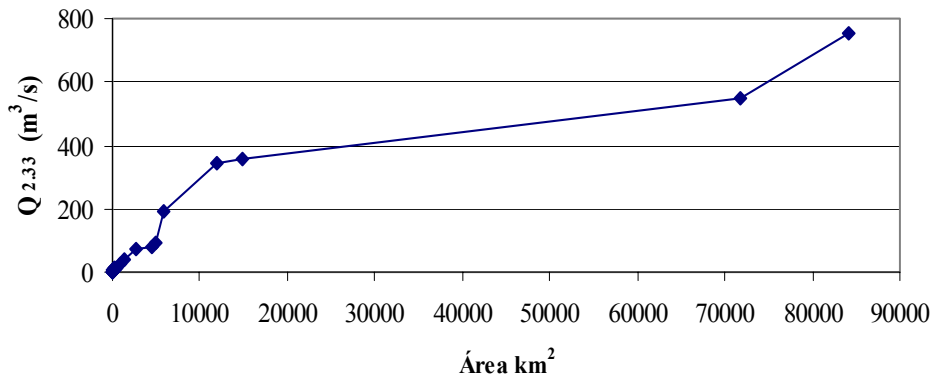
$$Q_{2.33} = 75.37255 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se obtuvieron las relaciones de escala para los periodos de retorno de 20, 50 y 100 años, de la curva regional de la Ilustración 4f. En la Tabla se muestran los gastos de diseño resultantes.

**Tabla 4i.** Pronósticos de gastos en la estación 12627, regionalización base.

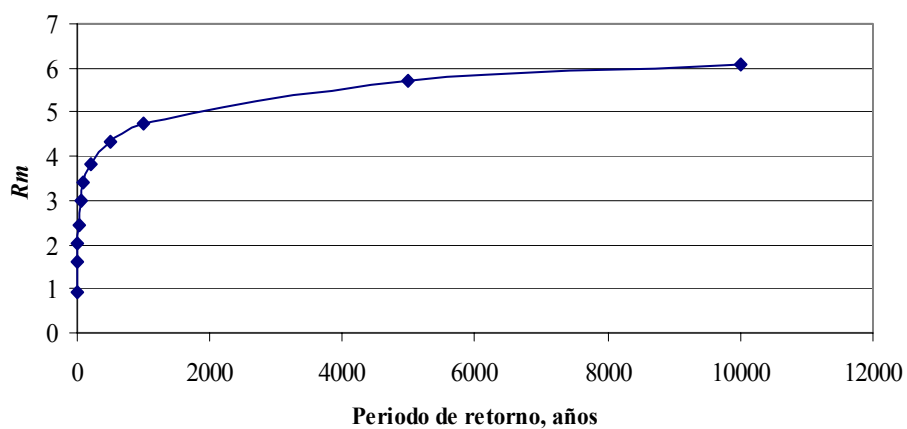
	<i>Rm</i>	<i>Q</i> <sub>diseño</sub>
<b>T20</b>	17.09	1287.93
<b>T50</b>	22.63	1705.71
<b>T100</b>	26.78	2018.77

**Curva Área vs  $Q_{2.33}$ , R90 final, est. 12627**



**Ilustración 4g.** Curva Áreas- $Q_{2.33}$  para la regionalización final, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12627 (Ejemplo)

**Curva regional , R90 final, est. 12627**



**Ilustración 4h.** Curva regional para la simulación regional final, al 90% de homogeneidad, estudio para la est. 12627 (Ejemplo)

Para el área de la Estación 12627 se obtuvo de la curva en la Ilustración 4g el gasto correspondiente a T=2.33 años.

$$A = 8538 \text{ km}^2$$

$$Q_{2.33} = 261.1831 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se obtuvieron las relaciones de escala para los periodos de retorno de 20, 50 y 100 años, de la curva regional de la Ilustración 4h. En la Tabla se muestran los gastos de diseño resultantes

**Tabla 4j.** Pronósticos de gastos en la estación 12627, regionalización final.

	<u>Rm</u>	<u>Q<sub>diseño</sub></u>
<b>T20</b>	2.46	641.87
<b>T50</b>	3.00	783.86
<b>T100</b>	3.41	890.26