

01162



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y PRONÓSTICO PROBABILÍSTICO
DE GASTOS MÁXIMOS EN LA REGIÓN LERMA-SANTIAGO

BEN-HUR RUIZ MORELOS

TESIS

PRESENTADA A LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA
(HIDRÁULICA)

Director de tesis: **DR. ALDO IVÁN RAMÍREZ OROZCO**



Campus Morelos, 2005

0346445



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: Ben-Hur Ruiz
Morelos
FECHA: 01/AGO/10S
FIRMA: [Firma]

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: DR. FRANCISCO JAVIER APARICIO MIJARES

VOCAL: DR. ALDO IVÁN RAMÍREZ OROZCO

SECRETARIO: DR. MARTÍN ALFONSO GUTIÉRREZ LÓPEZ

SUPLENTE: M. EN I. ROBERTO MEJÍA ZERMEÑO

SUPLENTE: M. EN I. CARLOS GUTIÉRREZ OJEDA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ALDO IVÁN RAMÍREZ OROZCO

SUSTENTANTE:

BEN-HUR RUIZ MORELOS

DEDICATORIAS:

Este trabajo lo dedico a Dios, agradeciéndole cada instante de mi existir por darme la fuerza necesaria para cumplir mis metas.

A mis padres por su apoyo y bendiciones recibidas en todo momento. Este logro es producto de su esfuerzo y lo comparto con ustedes.

A mis hermanos y a mi abuelita que hacen que los momentos a su lado sean inolvidables.

A mis familiares y amigos por su gran apoyo y por estar conmigo en todo momento. Sé que cada uno de mis logros es motivo de satisfacción para ustedes.

AGRADECIMIENTOS:

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por la oportunidad de superación y crecimiento profesional.

Al **Instituto Mexicano de Tecnología del Agua** por apoyarme en el desarrollo de este trabajo.

A mi asesor de tesis, **Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco** por su tiempo dedicado a la realización de este trabajo y por compartir sus conocimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por su apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

A los ingenieros **Jaime Velásquez Álvarez** y **Jaime Rivera Benítez** por el apoyo recibido para llevar a cabo este trabajo y por su valiosa amistad. Primos, gracias por su tiempo y ayuda.

A mis **amigos de la maestría** que fueron parte importante en este proceso, y a los **amigos de siempre**, por que aún lejos siguen apoyando mis proyectos.

A cada una de las personas que contribuyeron de alguna manera para la realización de este trabajo. Con su ayuda he logrado una meta más...

...de verdad, gracias.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Estado del Arte	4
1.3 Objetivos	10
1.4 Organización del trabajo	11
CAPÍTULO 2 EL CONCEPTO DE GASTO MÁXIMO Y ENVOLVENTES	12
2.1 Generalidades	12
2.2 Análisis de frecuencias de gastos máximos	14
2.2.1 Conceptos básicos sobre probabilidad	14
2.2.2 Selección de datos	19
2.2.3 Análisis de frecuencias de eventos hidrológicos	19
2.2.4 Distribuciones de probabilidad	21
2.2.5 Funciones de distribución de probabilidad	22
2.3 Envolventes	25
2.3.1 Modelos empíricos	27
2.4 Historia de las envolventes en México	32
2.5 Contexto mundial	36
CAPÍTULO 3 DATOS GENERALES DE LA REGIÓN E HIDROMETRÍA	41
3.1 Región en Estudio	41
3.1.1 Sistema Lerma-Santiago	41
3.1.2 Ubicación	42
3.1.3 Fisiografía	44
3.1.4 Geología-Edafología	47
3.1.5 Uso del suelo	48
3.1.6 Clima	48
3.1.6.1 Precipitación	50
3.1.6.2 Evaporación	50
3.1.6.3 Temperatura	50
3.1.7 Aguas subterráneas	50
3.1.7.1 Infraestructura para aprovechar las aguas subterráneas	51

3.1.8 Aguas superficiales	52
3.1.8.1 Infraestructura para aprovechar las aguas subterráneas	53
3.1.9 Redes de Monitoreo	54
3.1.9.1 Redes meteorológicas y climatológicas	54
3.1.9.2 Red geohidrológica	54
3.1.9.3 Red de monitoreo de calidad del agua	55
3.1.9.4 Red hidrométrica	56
3.1.9.4.1 Generalidades	56
3.1.9.4.2 Estaciones hidrométricas en la región Lema-Santiago	57
3.2 Datos disponibles	58
CAPÍTULO 4 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS ENVOLVENTES Y PRONÓSTICO PROBABILÍSTICO DE GASTOS MÁXIMOS	64
4.1 Actualización de las envolventes	64
4.2 Tendencia de las envolventes y pronóstico probabilístico de gastos máximos	67
4.2.1 Procedimiento de cálculo	67
4.2.2 Análisis Escalonado	68
4.2.3 Análisis continuo	82
4.2.4 Estación máxima	86
4.3 Presentación de resultados	89
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS	103
APÉNDICE A UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS POR CUENCA HIDROLÓGICA	108
APÉNDICE B TABLAS DE RESULTADOS	122

Capítulo 1 Introducción

1.1 Antecedentes

El conocimiento de las grandes avenidas es esencial para resolver muchos problemas en el manejo de los recursos hidráulicos y para evaluar el riesgo de inundación de estructuras o de desbordamientos en ríos.

A través de la historia, las zonas limítrofes de corrientes y lagos han sido regiones importantes en donde las actividades humanas se han centralizado. Desde épocas pasadas la subsistencia, el trabajo y transporte han requerido que su desarrollo se efectúe cerca de corrientes de agua, de lagos o del mar.

La mayoría de las veces los ríos benefician al hombre, pero ocasionalmente su flujo se vuelve no manejable y puede repentinamente convertirse en una amenaza. Por lo tanto se debe conocer lo más posible acerca de la magnitud de los caudales, especialmente de las grandes avenidas.

Una avenida extrema es causada usualmente por lluvia excesiva además de las condiciones del suelo que permiten grandes escurrimientos. La magnitud de la máxima avenida probable no puede definirse con exactitud, sin embargo, se puede establecer un rango donde se logra presentar, basado en avenidas pasadas sobre corrientes con similar potencial de caudal. En otras palabras, lo que ha ocurrido en el pasado provee la mejor estimación de lo que podría pasar en el futuro.

Los máximos flujos de avenidas en cuencas pequeñas son generalmente causados por tormentas intensas y a menudo de corta duración sobre un área pequeña. Por otro lado, las máximas avenidas en cuencas grandes son causadas generalmente por tormentas de varios días de duración sobre grandes áreas. Cualquiera que haya sido la cantidad de lluvia que ha ocasionado el caudal más grande conocido, algún día una lluvia más grande podría causar un gasto aún mayor.

El comienzo más lógico de un estudio de gastos máximos probables sobre una corriente es un análisis de los gastos que han ocurrido en el área de estudio. Esto proveerá las bases para la evidencia preliminar. Se asume que la corriente en cuestión tendrá características del gasto tan grandes como las que han sido registradas en las estaciones de medición. Existe claro, la posibilidad de que la avenida pueda mostrar características del flujo aún más grandes que el dato máximo registrado.

Las actividades humanas como la explotación forestal insostenible y las prácticas agrícolas inadecuadas agudizan la erosión del suelo, incrementándose los escurrimientos y la posibilidad de que haya avalanchas, deslaves e inundaciones. También, la urbanización creciente y generalmente carente de planeación que sufren las grandes ciudades trae consigo grandes inconvenientes, como el incremento de la impermeabilidad del suelo y la falta de infiltración de las aguas pluviales que obliga a conducir los excesos hídricos por conductos, y por ende el aumento de los caudales y de los volúmenes a evacuar.

La frecuencia probable de un gasto de una magnitud dada puede determinarse sobre una base matemática por las leyes de la probabilidad, dependiendo si los registros de la corriente en estudio son realmente representativos de condiciones similares.

Los procesos hidrológicos se comportan mayormente de una manera más aleatoria que determinista, es decir, los procesos hidrológicos son generalmente descritos por leyes probabilísticas.

Los registros de eventos de un mismo tipo medidos por una estación hidrométrica son una parte de la infinidad de eventos tipo que se han presentado en ese lugar. A la parte de esta información en la que se tienen registros se le conoce como muestra, y a todos los valores posibles que los eventos pueden tomar se le conoce como población. Estadísticamente la diferencia importante entre estos conceptos es que una población contiene toda la información posible y las muestras sólo contienen una

pequeña fracción de la información de la población por lo que diferentes muestras tomadas de la misma población pueden tener propiedades estadísticas distintas.

Las propiedades estadísticas de una muestra pueden obtenerse fácilmente, pero si se quieren obtener las características de una población se vuelve complicado debido a que es imposible conocer el resto de los eventos o registros que integren la población. La manera de hacerlo es utilizando funciones de distribuciones de probabilidad.

El ajuste de una distribución se lleva a cabo calculando los parámetros de la distribución con base en las características de la muestra. Para calcular los parámetros existen varios métodos como el método de momentos, el método de máxima verosimilitud y algunos otros menos probados.

La utilidad de un análisis de frecuencia para el diseño de una obra civil es indiscutible. A lo largo de la vida útil de una construcción se presentarán eventos que pondrán a prueba la estructura y si se tiene una idea de estos requerimientos el diseño podrá ser más eficiente.

El objetivo primordial del análisis de frecuencias es relacionar la magnitud de los eventos con su frecuencia de ocurrencia por medio de distribuciones de probabilidad. Un evento es extremo cuando la variable aleatoria excede algún límite grande. Si se tiene una muestra suficientemente grande se logrará observar que los eventos que superan ese límite están separados por cierto tiempo. Al promedio de esos tiempos se le conoce como periodo de retorno.

En este contexto, cualquier estudio que nos brinde mayor información de la evolución y el comportamiento de los eventos será de utilidad para los hidrólogos. Es precisamente ese fin el que persigue este trabajo.

1.2 Estado del Arte

Las avenidas son escurrimientos causados por tormentas ocasionales que provocan gastos por encima de los normales. De los volúmenes llovidos, calculados como el producto de las alturas de lluvia por el área de la cuenca, solamente escurre una parte, pues la otra queda retenida momentáneamente, se evapora o se infiltra en el terreno. Es necesario contar con datos recientes de escurrimientos y precipitaciones producidas por tormentas ocurridas en el pasado, para predecir posibles fenómenos que pudieran presentarse en el futuro y que constituyen la base para los estudios destinados a estimar las avenidas de diseño.

Existen fundamentalmente dos tipos de métodos para la determinación de avenidas de diseño, uno es el estadístico y proporciona información solamente sobre el pico de la avenida; el otro es el de relación lluvia-escurrimiento, según el cual se fija un hidrograma modelo que puede modificarse según las lluvias que puedan llegar a ocurrir. Una variante de este segundo tipo está constituida por los métodos llamados empíricos, los cuales constituyen el último recurso al que se acude en ausencia total de información hidrológica.

Los métodos estadísticos permiten ajustar una función de distribución de probabilidades a los gastos máximos registrados en el pasado, para, extrapolando dicha función, determinar el gasto que corresponde a la probabilidad deseada.

La aplicación de métodos estadísticos basados en hidrometría implica disponer de mediciones de caudal con periodos de registro relativamente largos en los sitios (o cerca de éstos) en los cuales se proyectan las obras. Sin embargo, en la actualidad, estos métodos sirven también de apoyo para el desarrollo de modelos regionales, aplicables a cuencas no aforadas o con periodos cortos de registro histórico (Kirby y Moss, 1987).

En el análisis de frecuencias de avenidas se realiza una descripción probabilística de la ocurrencia de los gastos máximos anuales (Chow, 1964; Kirby y Moss, 1987) por medio de una función de distribución, a la cual se le determinan sus parámetros utilizando la información histórica disponible, que se considera como una muestra aleatoria. El proceso de determinación de los parámetros de distribución se conoce comúnmente como “ajuste de la distribución”.

Entre las distribuciones más utilizadas en el análisis de frecuencias se encuentran principalmente la lognormal, Pearson III, log-Pearson III, Gumbel, Wakeby, Weibull y general de valores extremos (GVE). Todas las distribuciones anteriores corresponden a la consideración de que la muestra provenga de una sola población.

En opinión de McCuen (1988) y Bouvard (1988), el gasto máximo es una variable de diseño aceptable solamente cuando la variación temporal del almacenamiento de la cuenca no es un factor importante en el proceso de generación del escurrimiento. Este hecho solo se cumple en cuencas pequeñas de respuesta rápida.

Con frecuencia puede resultar útil un mínimo de información básica como por ejemplo el caudal máximo, en las actividades de lucha contra las inundaciones. Los caudales máximos específicos (relación entre el caudal máximo y la superficie de la cuenca) están a menudo estrechamente relacionados con la superficie de la cuenca de recepción (Rodier y Roche, 1984). Por ello, es posible hacer una evaluación de ciertos elementos del hidrograma de una crecida a partir de una interpolación geográfica, como se hace frecuentemente cuando los datos hidrológicos son insuficientes o inexistentes.

En ciertas circunstancias, puede resultar útil hasta una descripción general del régimen del caudal en aquellas zonas de fisiografía similar, a fin de tener por lo menos una idea del orden de magnitud del caudal máximo, cuando no se disponga de datos sobre esas zonas.

Debido a lo complejo del fenómeno y a que la cantidad y calidad de la información disponible varía de un problema a otro, se ha desarrollado una gran cantidad de métodos para relacionar la lluvia con el escurrimiento. Dichos métodos van desde simples fórmulas empíricas, hasta modelos extremadamente detallados basados en principios de la física (Fuentes *et al*, 1981).

Una manera de clasificarlos es de acuerdo con la información que se requiere para su calibración; de esta manera los modelos de precipitación-escurrimiento se dividen en tres grupos:

- El primer grupo corresponde a las **fórmulas empíricas**, que han sido obtenidas relacionando mediciones simultáneas de lluvia y de escurrimiento con las características físicas promedio de las cuencas. Tal es el caso del Método de Envolventes y de la Fórmula Racional.

El método de las “Curvas Envolventes” no es más que un procedimiento gráfico para condensar y utilizar las informaciones disponibles sobre crecidas, ocurridas en el pasado, en un conjunto de cuencas tan homogéneas como sea posible; tiene el mérito de concretar la dispersión natural de los resultados y dar directamente su orden de magnitud (Remenieras, 1971).

Consiste en graficar el área de la cuenca contra los valores de gastos máximos. Esta serie se ajusta a una curva que envuelve estos puntos medidos mediante diferentes ecuaciones que representan el comportamiento de la curva envolvente. Estas ecuaciones quedan definidas por sus coeficientes que varían de acuerdo con la región o zona de estudio.

Se han establecido ábacos de este género para numerosos países como Australia, Croacia, Estados Unidos, Francia, Italia, México, Suiza y Turquía entre otros, así como para el conjunto del globo terráqueo. Las ecuaciones de envolventes más empleadas son las de Creager, Crippen, Francou-Rodier, Lowry y Matthai. En Europa y África se emplean más la de Francou-Rodier y la de Creager, mientras que

en América las formulaciones propuestas por Creager y Lowry tienen mayor aceptación.

El método de las curvas envolventes, y las fórmulas $Q = f(A)$ suscita algunas críticas. En primer lugar, no da indicación precisa sobre la probabilidad de la avenida máxima admitida, e ignora todas las características físicas de la cuenca excepto su área, sin embargo dentro de la región de aplicación, proporcionan evidencia de las magnitudes máximas creíbles de los gastos máximos. Es muy cierto que la frecuencia de las diversas avenidas que componen el diagrama no es la misma y que algunas cuencas compuestas de vertientes abruptas figuran en la vecindad de otras de igual superficie, pero menos sujetas a avenidas violentas por razón de sus pendientes más suaves y sus terrenos más permeables.

En fin, ocurre que a medida que los años pasan, sobrevienen avenidas catastróficas de una amplitud jamás observada, que obligan a desplazar la curva envolvente sin que se pueda saber si se ha alcanzado así el límite superior de los fenómenos hidrológicos posibles.

Se han realizado estudios para calcular las curvas envolventes de gastos extremos para grandes e importantes regiones en casi todo el mundo. Tal es el caso del estudio hecho por Bondić *et al*, (2002), para la determinación de las envolventes para la cuenca del río Danubio en Europa, mediante las formulaciones propuestas por Creager y Francou-Rodier. Así mismo estudios realizados en Brazil (Papp, 2002), Italia (Castellarin, *et al*, 2005), India (Rakhecha, 2002), Francia (Herschly, 2002), Turquía (Bayazit, 2004), y muchos otros países europeos y asiáticos empleando sobre todo las formulaciones de Creager y Francou-Rodier.

En México, los trabajos sobre la determinación de las envolventes se han enfocado más a las formulaciones propuestas por Creager y Lowry. Desde la década de los 70s se han trabajado estas curvas envolventes con la finalidad de registrar los eventos máximos presentados en el país. Recientemente se realizó una

actualización para las envolventes mexicanas (Ramírez, *et al*, 2003), como continuidad a los estudios realizados por la SARH en 1975.

Fórmula Racional

Es de las más antiguas, ya que data de 1889, y probablemente sea todavía una de las más utilizadas. En este método se incorporan las características medias de la lluvia y, a través del coeficiente de escurrimiento y del tiempo de concentración, algunas características de la cuenca además de su área. Considera que el gasto máximo se alcanza cuando la precipitación se mantiene con una intensidad constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración (Fuentes *et al*, 1981).

La fórmula racional es:

$$Q = C i A$$

Donde: Q = Gasto máximo, en m³/s
 C = Coeficiente de escurrimiento
 i = Intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/h
 A = Área de la cuenca, en Km²

La mayoría de los modelos empíricos que se han desarrollado para relacionar la precipitación y el escurrimiento se basan en los datos particulares de alguna región, por lo que su aplicación muchas veces se restringe a ella.

- El segundo grupo se conoce como modelos de **caja negra**. Se calibran a partir de datos de ingreso y salida de la cuenca sin tomar en cuenta explícitamente sus características físicas. Lo que se pretende con estos modelos es encontrar una función de transformación de lluvias a escurrimientos, con la cual se puedan reproducir aproximadamente los valores simultáneos de dichas variables. Para

establecer esta función de transformación no se toman en cuenta explícitamente las características de la cuenca, lo que justifica denominarlos modelos de caja negra. Como ejemplos se tienen los métodos del hidrograma unitario y el de los hidrogramas unitarios sintéticos.

Hidrograma Unitario

El hidrograma unitario asociado a una duración d , se define como el hidrograma de escurrimiento directo que produce una precipitación efectiva unitaria (la unidad más utilizada es el milímetro), distribuida uniformemente en la cuenca y en el tiempo t (Sherman, 1932).

El método del hidrograma unitario fue desarrollado originalmente por Sherman en 1932. La utilización del método se basa en las hipótesis de linealidad; esto es, que dos tormentas con la misma duración producirán dos hidrogramas cuyas ordenadas estarán en la misma proporción que las respectivas intensidades de lluvia, y de validez del principio de superposición de causas y efectos.

Hidrogramas Unitarios Sintéticos

Cuando en la zona de estudio no se dispone de registros simultáneos de lluvias y escurrimientos, se puede inferir un hidrograma unitario a partir de las características físicas de la cuenca con ayuda de hidrogramas unitarios obtenidos en otros lugares, cuyas características se han relacionado con las de las cuencas. Los hidrogramas así obtenidos se denominan sintéticos, y debido a su importancia se han desarrollado una gran cantidad, como los son el hidrograma unitario triangular y el hidrograma unitario adimensional.

- Al tercer grupo pertenecen los modelos que, a partir de la información detallada de las características físicas de la cuenca y de la aplicabilidad de las fórmulas fundamentales de la Hidráulica, pretenden simular el proceso de escurrimiento en toda la cuenca. Un caso característico de este tipo es el Modelo de Stanford

(Fuentes, 1981). Aunque estos métodos son los más completos, ya que ofrecen un conocimiento detallado del proceso precipitación-escorrentía, su aplicación se restringe a cuencas donde se dispone de una amplia información topográfica y geológica, uso de suelo, condición de la superficie del suelo, etc., y se conoce con precisión la distribución de la lluvia en la cuenca y en el tiempo.

Debido a que en problemas de hidrología es común que lo que interese sea la probabilidad de que una variable exceda un determinado valor y a que frecuentemente se trabaja con probabilidad de excedencia muy cercana a cero, se ha introducido el concepto de periodo de retorno, que se define como el tiempo promedio que se requiere para que la variable en cuestión exceda un determinado valor (González, 1970).

1.3 Objetivos

Este estudio parte de las ecuaciones que describen las curvas envolventes de gastos máximos anuales más empleadas en la ingeniería hidrológica como son las de Creager, Lowry y Francou-Rodier. Estas ecuaciones serán alimentadas por series históricas de gastos máximos correspondientes a una de las regiones hidrológicas más importantes del país.

El objetivo principal es realizar un estudio sobre la evolución de dichas envolventes y el pronóstico de su comportamiento en la región hidrológica Lerma-Santiago. El estudio consiste en el planteamiento de un enfoque probabilístico sobre las curvas envolventes para la determinación de gastos extremos.

Principalmente se estimará el desplazamiento de los coeficientes que describen las curvas envolventes antes mencionadas y a partir de estas curvas se estaría en condiciones de estimar los gastos máximos que podrían presentarse en el futuro para esta región.

1.4 Organización del trabajo

El capítulo uno, como se pudo ya constatar, presenta las razones y los objetivos del estudio así como la revisión de la literatura y estado del arte acerca de la determinación de gastos máximos probables y envolventes.

El capítulo dos contiene los conceptos del gasto máximo y las diferentes envolventes que se utilizan en México. Además se presenta el sustento teórico y el desarrollo del análisis de frecuencias y la descripción de algunas funciones de distribución de probabilidades.

El capítulo tres contiene la descripción de la zona de estudio y sus datos generales así como las estaciones hidrométricas consideradas en el desarrollo de este trabajo.

El capítulo cuatro presenta la evolución histórica de las envolventes en la región de estudio e introduce un nuevo enfoque para la estimación probabilística a futuro de gastos máximos anuales para la Región Hidrológica Lerma-Santiago.

Por último, el capítulo cinco establece las conclusiones generales del trabajo, emitiendo las recomendaciones pertinentes.

Capítulo 2 El concepto de gasto máximo y envolventes

2.1 Generalidades

La ingeniería hidrológica se preocupa principalmente de tres características de los caudales de un río: volúmenes mensuales y anuales disponibles para almacenamiento y utilización; los periodos de estiaje que limitan la utilización del agua de las corrientes; y las avenidas. En general son de mucha importancia los análisis de los hidrogramas de crecientes en cuanto a atenuación del daño por inundaciones, predicción de avenidas o para fijar las descargas de diseño de un gran número de estructuras que deben transportar el agua proveniente de avenidas.

La mayoría de la información utilizada por los hidrólogos sirve además para diferentes fines en meteorología, climatología y otras ciencias naturales. Los hidrólogos obtienen la información sobre caudales principalmente para estudios hidrológicos. Para el ingeniero hidrólogo, el caudal es una variable dependiente en la mayoría de los estudios, puesto que la ingeniería hidrológica se dedica principalmente a estimar tasas o volúmenes de flujo, o los cambios en estos valores debidos a la acción del hombre.

La unidad básica de flujo utilizada en los países con el sistema métrico es metros cúbicos por segundo (m^3/s), la unidad básica en el sistema inglés es el pie cúbico por segundo (ft^3/s). El volumen de flujo se puede expresar en metros cúbicos o pies cúbicos, pero como esto lleva a números demasiado grandes, a menudo se utilizan unidades de volumen mucho mayores. Es por esto que el volumen frecuentemente se expresa en algún múltiplo de los metros cúbicos, comúnmente millones de metros cúbicos o hectómetros.

Los datos de caudal por lo general se publican en la forma de caudales medios diarios. Esto es, la tasa de descarga promedio en metros cúbicos por segundo en un determinado intervalo de tiempo. En ríos grandes esta forma de publicación es bastante satisfactoria, pero en los más pequeños deja aún algo que desear. En los

ríos grandes el caudal máximo instantáneo puede ser apenas algo mayor que el máximo caudal medio diario. En corrientes pequeñas el caudal máximo instantáneo es por lo general muchísimo más grande que el mayor caudal medio diario. Siempre y cuando sea posible, el hidrólogo debe tratar de obtener copias de limnógrafos y trabajar con hidrogramas de caudal instantáneo cuando trabaja en cuencas pequeñas.

Es común que no se cuente con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés para determinar los parámetros necesarios para el diseño y operación de obras hidráulicas. Generalmente los registros de precipitación son más abundantes que los de escurrimiento y, además no se afectan por cambios en la cuenca, como construcción de obras de almacenamiento y derivación, talas, urbanización, etc. (Aparicio, 1992).

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento son los siguientes: área de la cuenca, altura de precipitación, características generales de la cuenca, distribución de la lluvia en el tiempo, etc. Debido a que la cantidad y calidad de los datos disponibles varían de un problema a otro y a que no siempre se requiere la misma precisión en los resultados, se han desarrollado varios métodos para analizar la relación lluvia-escurrimiento.

El método de envolventes toma en cuenta solo el área de la cuenca. Y a pesar de que no analizan propiamente la relación entre la lluvia y el escurrimiento, sí es de enorme utilidad en los casos que se requiere estimación gruesa de gastos máximos probables, o cuando la información es muy escasa.

Las envolventes se construyen al graficar el área de la cuenca contra los valores de gastos máximos. Esta serie se ajusta a una curva que envuelve estos puntos medidos mediante diferentes ecuaciones que representan el comportamiento de la curva envolvente. Estas ecuaciones quedan definidas por sus coeficientes que varían de acuerdo con la región o zona de estudio.

A partir de los registros diarios de caudal se puede hacer una consulta de los gastos máximos presentados en cada mes y de manera similar se pueden estimar los gastos máximos anuales. Estos valores máximos anuales del gasto alimentarán este estudio donde se pretende determinar el valor futuro del gasto que se podría presentar en las corrientes dentro de la cuenca.

2.2 Análisis de Frecuencias de gastos máximos

2.2.1 Conceptos básicos sobre probabilidad.

La probabilidad es la posibilidad de que algo suceda. Las probabilidades se expresan como fracciones o como decimales que están entre uno y cero. Tener una probabilidad de cero significa que algo nunca va a suceder; una probabilidad de uno indica que algo va a suceder siempre.

En la teoría de la probabilidad, un *evento* es uno o más de los posibles resultados de hacer algo. La actividad que origine uno de dichos eventos se conoce como *experimento aleatorio*. Al conjunto de todos los resultados posibles de un experimento se le llama *espacio muestral* del experimento.

Existen tres maneras básicas de clasificar la probabilidad. Estas tres formas presentan planteamientos conceptuales bastante diferentes:

- Planteamiento clásico
- Planteamiento de frecuencia relativa
- Planteamiento subjetivo

Probabilidad clásica

Se define la probabilidad de que un evento ocurra como:

Número de resultados en los que se presenta el evento entre el número total de resultados posibles.

Cada uno de los resultados posibles debe ser igualmente posible.

La probabilidad clásica, a menudo, se le conoce como probabilidad *a priori*, debido a que si se utilizan ejemplos previsibles como monedas no alteradas, dados no cargados y mazos de barajas normales, entonces se puede establecer la respuesta de antemano, sin necesidad de lanzar una moneda, un dado o tomar una carta. No se tienen que efectuar experimentos para poder llegar a conclusiones.

Este planteamiento de la probabilidad tiene serios problemas cuando se intenta aplicar a problemas de toma de decisiones menos previsibles. El planteamiento clásico supone un mundo que no existe, supone que no existen situaciones que son bastante improbables pero que se pueden concebir como reales. La probabilidad clásica supone también una especie de simetría en el mundo.

Frecuencia relativa

En el siglo XIX, los estadísticos británicos, interesados en la fundamentación teórica del cálculo del riesgo de pérdidas en las pólizas de seguros de vida y comerciales, empezaron a recoger datos sobre nacimientos y defunciones. En la actualidad, a este planteamiento se le llama *frecuencia relativa de presentación* de un evento y define la probabilidad como:

- La frecuencia relativa observada de un evento durante un gran número de intentos, o
- La fracción de veces que un evento se presenta a la larga, cuando las condiciones son estables.

Este método utiliza la frecuencia relativa de las presentaciones pasadas de un evento como una probabilidad. Se determina qué tan frecuente ha sucedido algo en el pasado y se usa esa cifra para predecir la probabilidad de que suceda de nuevo en el futuro.

Cuando se emplea el planteamiento de frecuencia relativa para establecer probabilidades, el número que se obtiene como probabilidad adquirirá mayor

precisión a medida que aumentan las observaciones. Una dificultad presente con este planteamiento es que la gente lo utiliza a menudo sin evaluar el número suficiente de resultados.

Probabilidades subjetivas.

Las probabilidades subjetivas están basadas en las creencias de las personas que efectúan la estimación de probabilidad. La probabilidad subjetiva se puede definir como la probabilidad asignada a un evento por parte de un individuo, basada en la evidencia que se tenga disponible. Esa evidencia puede presentarse en forma de frecuencia relativa de presentación de eventos pasados o puede tratarse simplemente de una creencia meditada.

Las valoraciones subjetivas de la probabilidad permiten una más amplia flexibilidad que los otros dos planteamientos. Los tomadores de decisiones pueden hacer uso de cualquier evidencia que tengan a la mano y mezclarlas con los sentimientos personales sobre la situación.

Las asignaciones de probabilidad subjetiva se dan con más frecuencia cuando los eventos se presentan sólo una vez o un número muy reducido de veces. Como casi todas las decisiones sociales y administrativas de alto nivel se refieren a situaciones específicas y únicas, los responsables de tomar decisiones hacen un uso considerable de la probabilidad subjetiva.

Variables aleatorias

Una variable es aleatoria si toma diferentes valores como resultado de un experimento aleatorio. Puede ser discreta o continua. Si puede tomar sólo un número limitado de valores, entonces es una variable aleatoria discreta. En el otro extremo, si puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo dado, entonces se trata de una variable aleatoria continua.

Se puede pensar en una variable aleatoria como un valor o una magnitud que cambia de una presentación a otra, sin seguir una secuencia predecible. Los valores

de una variable aleatoria son los valores numéricos correspondientes a cada posible resultado de un experimento aleatorio.

La distribución de probabilidad de una variable aleatoria proporciona una probabilidad para cada valor posible, y estas probabilidades deben sumar 1.

Valor esperado de una variable aleatoria

El valor esperado es una idea fundamental en el estudio de las distribuciones de probabilidad. Para obtener el valor esperado de una variable aleatoria discreta, se multiplica cada valor que la variable puede tomar por la probabilidad de presentación de ese valor y luego se suman esos productos. Es un promedio pesado de los resultados que se esperan en el futuro. El valor esperado pesa cada resultado posible con respecto a la frecuencia con que se espera que se presente. En consecuencia, las presentaciones más comunes tienen asignadas un peso mayor que las menos comunes.

El valor esperado también puede ser obtenido a partir de estimaciones subjetivas. En ese caso, el valor esperado no es más que la representación de las convicciones personales acerca del resultado posible.

En muchas situaciones se encontrará que es más conveniente, en términos de los cálculos que se deben hacer, representar la distribución de probabilidad de una variable aleatoria de una manera algebraica. Al hacer esto, se pueden llevar a cabo cálculos de probabilidad mediante la sustitución de valores numéricos directamente en una fórmula algebraica.

Variabes aleatorias continuas

En este caso, en lugar de trabajar con la probabilidad de valores particulares de la variable, resulta más apropiado calcular probabilidades asociadas a intervalos. Para distribuir propiedades se usa una función que mide "concentración" de probabilidades alrededor de un punto, que se denomina **función de densidad** de probabilidad (fdp) y se denota como $f(x)$.

Una función de densidad de probabilidad debe cumplir con las siguientes propiedades:

- $F(x) \geq 0$ (la función es no negativa para cualquier valor de x , $f(x)$ no es una probabilidad, y puede valer más de 1).
- $\int_{-\infty}^x f(x) dx = 1$ (la acumulada para todos los valores de la variable suma 1, el área bajo la curva de la función vale 1).

La función de distribución para una variable aleatoria continua se calcula:

$$F(a) = P(X \leq a) = \int_{-\infty}^a f(x) dx \quad (2.1)$$

Donde $f(x)$ es la función de densidad de probabilidad, la cual no representa una probabilidad pero sí una medida de la "intensidad" de ésta en el punto a . $F(x)$ es monótonamente no decreciente y cumple con $0 \leq F(x) \leq 1$.

Así mismo se cumple que:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (2.2)$$

La probabilidad de que la variable esté dentro de un intervalo $[a - b]$ se calcula:

$$P(a \leq x \leq b) = F(b) - F(a) \quad (2.3)$$

La probabilidad de que la variable tome un valor particular se puede expresar como:

$$F(c) - F(c) = 0 \quad (2.4)$$

Esto explica la idea de que para el caso de una variable aleatoria continua no tiene sentido trabajar con la probabilidad de un valor particular.

2.2.2 Selección de datos

Dado que la planeación y el diseño se refieren a eventos del futuro cuyo tiempo de ocurrencia o magnitud no pueden predecirse, se debe recurrir al estudio de la probabilidad o frecuencia con la cual un determinado caudal o volumen de flujo puede ser igualado o excedido. La selección del nivel de probabilidad apropiado para un diseño, es decir, el riesgo que se considera aceptable, depende de condiciones económicas y políticas. La alternativa de diseñar contra el peor evento posible que pueda ocurrir, es generalmente tan costosa que se puede justificar solamente cuando las consecuencias de una falla son especialmente graves.

Para que el análisis probabilístico produzca resultados útiles, debe comenzar con una serie de datos significativos, adecuados y precisos. Cuando se dice que los datos son significativos implica que deben estar relacionados estrechamente con el problema. La mayoría de los estudios de las crecientes están relacionados con caudales picos y la serie de datos consistirá de una selección de caudales máximos observados.

La serie de datos debe ser adecuada. Esto se refiere primordialmente a la longitud del registro, pero incluye también el problema muy frecuente de escasez de datos apropiados. El registro observado es simplemente una muestra de la población de crecientes que han ocurrido y que puede esperarse que ocurran de nuevo. Si la muestra es muy pequeña las probabilidades obtenidas no resultan muy confiables.

2.2.3 Análisis de Frecuencias de eventos hidrológicos

El análisis de frecuencias busca asignar a cada caudal de creciente una probabilidad p de ser igualado o excedido en un año cualquiera. El periodo de retorno T_r se usa comúnmente en lugar de la probabilidad para definir crecientes de diseño. El periodo de retorno y la probabilidad son recíprocos, es decir:

$$T_r = \frac{1}{P(x \geq x)} \quad (2.5)$$

o bien como:

$$T_r = \frac{1}{1 - P(x \leq x)} = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (2.6)$$

A partir de la expresión (2.6), la determinación de eventos para diferentes periodos de retorno, una vez que se ha elegido una función de distribución de probabilidad, es prácticamente directa, ya que para un T_r dado, se calcula $F(x)$ y con la FDP considerada se determina el valor de la variable aleatoria.

Existen varias fórmulas para posiciones gráficas; sin embargo la de Weibull es la más usada (Weibull, 1939). El procedimiento para una muestra de n gastos máximos anuales registrados, consiste en ordenar los datos de mayor a menor asignándoles un número de orden m , creciente, de tal forma que al valor más grande le corresponderá $m=1$ y al más pequeño $m=n$.

$$p = \frac{m}{(n+1)} \quad \text{o} \quad T_r = \frac{(n+1)}{m} \quad (2.7)$$

La ecuación que relaciona la probabilidad de no excedencia con el periodo de retorno es:

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{1}{T_r} = \int_{-\infty}^x p(x) dx \quad (2.8)$$

Donde $P(X \leq x)$ es la probabilidad de no excedencia, T_r es el periodo de retorno, $p(x)$ la función de distribución de probabilidad y x es la variable aleatoria.

Ahora solo hace falta conocer los parámetros de la distribución para poder calcular los eventos máximos correspondientes al periodo de retorno deseado, para lo cual el método de momentos y el de máxima verosimilitud serán de gran ayuda.

El método de momentos tiene su origen en un procedimiento usado en estática para el cálculo de centroides. Si a cada valor de la información se le asigna una masa hipotética correspondiente a su frecuencia relativa y se multiplica por su brazo de palanca que será la magnitud de la variable aleatoria, entonces la suma de estos productos será el primer momento respecto al origen que corresponde a la media de la muestra. Transportando este procedimiento a las distribuciones de probabilidad se pueden obtener los parámetros estadísticos de la distribución deseada.

Otro método que se utiliza con frecuencia es el de máxima verosimilitud el cual maximiza la probabilidad conjunta de ocurrencia de la muestra observada. Hacer esto equivale a maximizar la función de verosimilitud. Este método es, teóricamente el más correcto para calcular los parámetros de las distribuciones, pero para algunas distribuciones de probabilidad no tienen solución analítica para todos los parámetros por lo que se debe maximizar numéricamente, lo cual puede resultar bastante difícil. Para el desarrollo de este trabajo solo se trabajará con el método de momentos.

2.2.4 Distribuciones de probabilidad

Las distribuciones de probabilidad están relacionadas con las distribuciones de frecuencias. Una distribución de frecuencias teórica es una distribución de probabilidades que describe la forma en que se espera que varíen los resultados. Debido a que estas distribuciones tratan sobre expectativas de que algo suceda, resultan ser modelos útiles para hacer inferencias y para tomar decisiones en condiciones de incertidumbre.

Una distribución de frecuencias es un listado de las frecuencias observadas de todos los resultados de un experimento que se presentaron realmente cuando se efectuó el

experimento, mientras que una distribución de probabilidad es un listado de las probabilidades de todos los posibles resultados que podrían obtenerse si el experimento se lleva a cabo.

Tipos de distribuciones de probabilidad

Las distribuciones de probabilidad se clasifican como continuas y discretas. En la distribución de probabilidad discreta está permitido tomar sólo un número limitado de valores. En una distribución de probabilidad continua, la variable que se está considerando puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo dado. Las distribuciones continuas son una forma conveniente de presentar distribuciones discretas que tienen muchos resultados posibles, todos muy cercanos entre sí.

2.2.5 Funciones de distribución de probabilidad

Debido a que la longitud de los registros es normalmente corta, no es posible determinar la distribución de frecuencias más apropiada para ser usada al analizar las probabilidades asociadas con crecientes. No obstante, varios autores (Remenieras, 1967) han sugerido varias distribuciones, empleando como prueba a su favor la habilidad de estas distribuciones para ajustarse a los datos de uno o varios ríos.

A pesar de que se han dedicado grandes esfuerzos para definir la mejor distribución para crecientes, varios ensayos sugieren que no existe una distribución claramente superior. Intuitivamente no existe razón alguna para que una distribución única sirva para todos los ríos.

La distribución log-Pearson Tipo III, ha sido recomendada (Benson, 1968) para las agencias federales de los Estados Unidos. La distribución de valores extremos tipo I, comúnmente llamada la distribución de Gumbel, también tiene amplia aceptación, sobre todo en nuestro país.

Distribución Gumbel

En hidrología la distribución de Gumbel ha sido utilizada frecuentemente para determinar las probabilidades de ocurrencia de valores extremos de diversas variables, entre ellas la precipitación y los gastos máximos. La función de distribución de probabilidad de Gumbel, también denominada doble exponencial, primera asíntota de Fisher-Tippet o función de distribución de valores extremos de tipo I, es una función biparamétrica, en cuya deducción se supone fundamentalmente, que las observaciones de las cuales se toma el máximo son muy numerosas, independientes y que se distribuyen de acuerdo a lo que se denomina una distribución de tipo exponencial. Así mismo se supone que se está interesado únicamente en los valores grandes de la variable aleatoria (Gumbel, 1958).

La función de distribución de probabilidad acumulada puede expresarse como:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (2.9)$$

La variable x puede tomar cualquier valor en el rango $-\infty < x < \infty$. La función de densidad de probabilidad es entonces:

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]} \quad (2.10)$$

Donde α y β son los parámetros (de ubicación y escala respectivamente) de la función.

Estimación de parámetros

Método de Momentos

Aplicando la ecuación estándar para la generación de momentos respecto al origen a la función de densidad de distribución valores extremos tipo I y obteniendo el segundo momento respecto a la media, se tiene, Kite (1988):

$$\mu_2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2} \quad (2.11)$$

Reagrupando se tienen las siguientes ecuaciones para los parámetros de ubicación y escala, respectivamente:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad (2.12)$$

$$\beta = \mu - 0.45S \quad (2.13)$$

Donde σ y μ son la desviación estándar y la media de la muestra. Los coeficientes de asimetría y curtosis son 1.1396 y 5.4002 respectivamente, siendo constantes para la distribución de valores extremos tipo I.

O bien, para muestras pequeñas los parámetros se estiman con las siguientes formulaciones:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{\sigma} \quad (2.14)$$

$$\beta = \mu - \frac{\mu_y}{\alpha} \quad (2.15)$$

Los valores de σ_y y μ_y se obtienen a partir de la siguiente tabla:

n	μ_y	σ_y
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124

35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.5600	1.2065

Tabla 2. 1 Media y desviación estándar para muestras de datos pequeñas (Kite, 1988).

2.3 Envolventes

La información acerca de escurrimientos en una sección de interés sobre una corriente es necesaria para diseñar obras de aprovechamientos o de protección. En muchas ocasiones, el diseñador se encuentra con poca o ninguna información de mediciones directas que le permitan conocer la historia de los escurrimientos en el sitio de interés, por lo que se tiene que recurrir a estimarlos a partir de los datos de precipitación.

En esos casos, y evidentemente en los problemas de predicción de avenidas, es necesario contar con un modelo que permita estimar los escurrimientos a partir de las características de la lluvia tomando en cuenta las características de la cuenca.

Debido a lo complejo del fenómeno y a que la cantidad y calidad de la información disponible varía de un problema a otro, se ha desarrollado una gran cantidad de métodos para relacionar la lluvia con el escurrimiento. Dichos métodos van desde simples fórmulas empíricas, hasta modelos extremadamente detallados basados en principios de la física.

Como existe una gran variedad de modelos precipitación-escorrimento, conviene agruparlos en diferentes categorías a efecto de escoger el más adecuado para cada caso particular. Una manera de clasificarlos es de acuerdo con la información que se requiere para su calibración; de esta manera los modelos de precipitación-escorrimento se dividen en tres grupos:

- a) Modelos que requieren únicamente las principales características físicas promedio de la cuenca en estudio.
- b) Modelos para los que es necesario contar con registros simultáneos de precipitación y escurrimento.
- c) Modelos para los que se debe disponer además de los registros simultáneos de precipitación y escurrimento, de las características físicas detalladas de la cuenca.

Al primer grupo corresponden las fórmulas empíricas, las que han sido obtenidas relacionando mediciones simultáneas de lluvia y de escurrimento con las características de la cuenca.

El segundo grupo se conoce como modelos de caja negra; se calibran a partir de datos de ingreso y salida de la cuenca sin tomar en cuenta explícitamente sus características físicas. Tal es el caso del método del hidrograma unitario.

Al tercer grupo pertenecen los modelos que, a partir de la información detallada de las características físicas de la cuenca y de la aplicación de las fórmulas fundamentales de la hidráulica, pretenden simular el proceso de escurrimento en toda la cuenca. Como ejemplo de este tipo se tiene el modelo de cuenca que toma en cuenta todas las características de la cuenca.

2.3.1 Modelos empíricos

La mayoría de los modelos empíricos que se han desarrollado para relacionar la precipitación y el escurrimiento se basa en los datos particulares de alguna región, por lo que su aplicación muchas veces se restringe a ella; sin embargo son de utilidad cuando no se tiene información de gastos y sólo se conocen características físicas promedio de la cuenca y registros de precipitación.

Entre estos métodos se encuentra el de las envolventes. El método de las “curvas envolventes” no es más que un procedimiento gráfico para condensar y utilizar las informaciones disponibles sobre crecidas ocurridas en el pasado, en un conjunto de cuencas tan homogéneas como sea posible; tiene el mérito de concretar la dispersión natural de los resultados y dar directamente su orden de magnitud.

Al llevar a un gráfico los caudales específicos de las más grandes crecidas observadas en una región hidrológicamente homogénea en función del área de las cuencas vertientes, se puede apreciar el comportamiento general de los gastos máximos anuales. La curva suave que cubre la nube de puntos en la gráfica se conoce como “curva envolvente de gastos máximos” o simplemente “envolvente”. Las envolventes no están asociadas con probabilidades de ocurrencia específicas por lo cual no representan frecuencia o periodo de retorno alguno, sin embargo, dentro de la región de aplicación, proporcionan evidencia de las magnitudes máximas creíbles de los gastos esperados.

La idea fundamental de una fórmula envolvente de gastos máximos es relacionar el gasto o caudal máximo observado con el área de la cuenca a través de una expresión del tipo (Aparicio, 1992):

$$Q = \alpha A^\beta \quad (2.16)$$

Donde Q es el gasto máximo, α y β son parámetros empíricos y A es el área de la cuenca.

Existe un gran número de fórmulas envolventes, sin embargo en México las que más se utilizan corresponden a las propuestas por Creager (Creager *et. al*, 1945) y Lowry (Aparicio, 1992). En este trabajo también se analizará la propuesta por Francou y Rodier (1967), ampliamente utilizada en Europa y África.

Envolvente de Creager

Creager *et. al* (1945) obtuvo datos sobre avenidas máximas registradas en diferentes cuencas del mundo y formó una gráfica en la que relacionó el área de la cuenca, A , con el gasto por unidad de área, q . En la gráfica trazó una envolvente cuya ecuación resultó:

$$q = 1.303 C_c (0.386 A)^\alpha A^{-1} \quad (2.17)$$

Donde: $\alpha = \frac{0.936}{A^{0.048}} \quad (2.18)$

A = área de la cuenca, en Km^2

q = gasto máximo por unidad de área de la cuenca, en $\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$

C_c = parámetro empírico que define la envolvente.

Creager encontró que $C_c=100$ para la envolvente de los datos con los que trabajó, a la cual se le conoce como envolvente mundial. Esta ecuación es una de las más utilizadas en el mundo y se planteó para estimar la magnitud de eventos extraordinarios en los Estados Unidos.

Envolvente de Lowry

La envolvente de Lowry es muy usada en Latinoamérica. La expresión para el cálculo del gasto específico está dada por:

$$q = \frac{C_L}{(A + 259)^{0.85}} \quad (2.19)$$

Donde: A = área de la cuenca, en Km^2
 q = gasto máximo por unidad de área de la cuenca, en $\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$
 C_L = parámetro empírico que define la envolvente.

Envolvente de Francou-Rodier

Los franceses J. Francou y J. A. Rodier publicaron en 1976 una fórmula envolvente que es usada en Europa y África. Los autores consideraron que los escurrimientos máximos se cubrían con una curva envolvente expresada como:

$$\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{A}{A_0} \right)^{1-K/10} \quad (2.20)$$

Donde: Q = gasto máximo, en m^3/s
 $Q_0 = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$
 A = área de la cuenca, en Km^2
 $A_0 = 10^8 \text{ Km}^2$
 K = parámetro empírico que define la envolvente.

Con base en la ecuación 2.20, para un evento en particular el coeficiente de Francou-Rodier puede calcularse como:

Aplicando logaritmos:
$$\log\left(\frac{Q}{Q_0}\right) = \left(1 - \frac{K}{10}\right) \log\left(\frac{A}{A_0}\right) \quad (2.20')$$

Despejando a K:
$$\left(1 - \frac{K}{10}\right) = \frac{\log\left(\frac{Q}{Q_0}\right)}{\log\left(\frac{A}{A_0}\right)} \quad (2.20'')$$

Cambiando de signo:
$$K = 10 \left[1 - \frac{\log\left(\frac{Q}{Q_0}\right)}{\log\left(\frac{A}{A_0}\right)} \right] \quad (2.20''')$$

Aplicando las propiedades de los logaritmos nuevamente:

$$K = 10 \left[1 - \frac{\log Q - \log(10^6)}{\log A - \log(10^8)} \right] \quad (2.20'''')$$

Finalmente se obtiene el valor del coeficiente:
$$K = 10 \left[1 - \frac{\log Q - 6}{\log A - 8} \right] \quad (2.21)$$

Según Papp (2001), valores de K entre 6 y 7 son indicativos de eventos que pueden clasificarse como extremos en una escala global y que han ocurrido generalmente en cuencas tropicales o ecuatoriales. En climas continentales el coeficiente de Francou-Rodier difícilmente alcanza valores superiores a 4.

Envolvente de Matthai

Matthai (1969) prefirió trabajar con la ecuación básica expresada en (2.16) al realizar la estimación de las avenidas generadas en las cuencas de Colorado durante 1965. La ecuación correspondiente es:

$$q = \alpha A^\beta \quad (2.22)$$

Donde α y β son los parámetros que definen la curva envolvente.

Envolvente de Crippen

Con base en los datos obtenidos en un trabajo de 1977 (Crippen y Blue, 1977), John Crippen planteó una curva envolvente para eventos máximos, la cual se expresa como (Crippen, 1982):

$$q = K_1 A^{(K_2-1)} (A^{0.5} + 5)^{K_3} \quad (2.23)$$

Donde K_1 , K_2 , K_3 son los parámetros empíricos de la curva.

Para este estudio en específico, solo se trabajará con las tres primeras ecuaciones debido a la naturaleza de los datos. Estas ecuaciones tienen un solo parámetro que puede determinarse con valores dados de área y gasto. Las formulaciones de Matthai y Crippen trabajan con 2 y 3 coeficientes respectivamente, los cuales no pueden despejarse y no hay un par único de valores que cumplan con la igualdad.

2.4 Historia de las envolventes en México

La hoy extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) calculó el valor de los coeficiente de Creager y Lowry (C_C y C_L , respectivamente) para las regiones en que ha sido dividida la República Mexicana.

Primeramente se publicaron los valores de los coeficientes de Creager (Tabla 2.2) para cada una de las 23 regiones en que previamente se había organizado al país (Fuentes *et al*, 1981). Utilizando esta ecuación la SARH determinó que el valor máximo encontrado alcanzó un $C_C = 100$ para algún dato analizado en la entonces definida región Pacífico Centro. Ver figura 2.1.

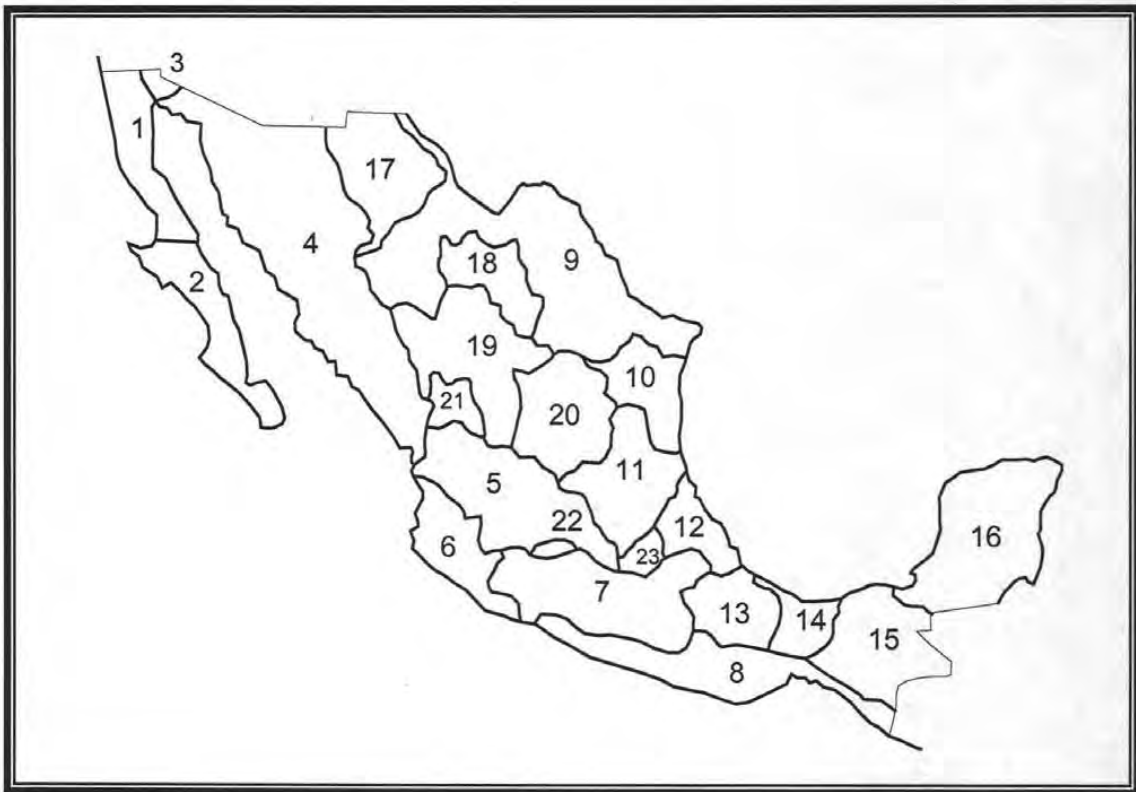


Figura 2.1 Regionalización de la República Mexicana en 1978.

No.	Región	Coefficiente de Creager
1	Baja California Norte	30
2	Baja California Sur	72
3	Río Colorado	14
4	Noroeste	
	a)Zona Norte	35
	b)Zona Sur	64
5	Sistema Lerma-Chapala-Santiago	
	a)Lerma-Chapala	16
	b)Santiago	19
6	Pacífico Centro	100
7	Cuenca Río Balsas	
	a)Alto Balsas	18
	b)Bajo Balsas	32
8	Pacífico Sur	62
9	Cuenca Río Bravo	
	a)Zona Conchos	23
	b)Zona Salado y San Juan	91
10	Golfo Norte	61
11	Cuenca Río Pánuco	
	a)Alto Pánuco	14
	b)Bajo Pánuco	67
12	Golfo Centro	59
13	Cuenca Río Papaloapan	36
14	Golfo Sur	36
15	Sistema Grijalva-Usumacinta	50
16	Península de Yucatán	3.7
17	Cuencas Cerradas del Norte, zona norte	4
18	Cuencas Cerradas del Norte, zona sur	26
19	El Salado, zona Sur	45
20	Durango	8.4
21	Cuencas de Cuitzeo y Pátzcuaro	6.8
22	Valle de México	19
23	Cuenca del río Metztlán	37

Tabla 2.2 Valores del coeficiente de Creager para las Regiones de la República Mexicana (Fuentes *et al*, 1981).

Las regiones hidrológicas no están determinadas geográficamente por divisiones político-administrativas, pues sus límites físicos no son coincidentes con los límites municipales. La República Mexicana fue dividida en 1969 en 37 regiones hidrológicas que corresponden a las cuencas de los principales ríos del país. Más tarde, en 1978 la misma SARH publicó los valores del coeficiente de Lowry para cada una de las 37 regiones hidrológicas previamente definidas (Tabla 2.3). Para el cálculo de los

coeficientes se utilizaron datos observados de gastos máximos hasta 1975. Con esos datos, la envolvente nacional estaba dada por $C_L = 5270$, valor estimado para la región Costa de Jalisco Figura 2.2.

No.	Descripción	C_L
1	BAJA CALIFORNIA NOROESTE (ENSENADA)	980
2	BAJA CALIFORNIA CENTRO OESTE (VIZCAINO)	530
3	BAJA CALIFORNIA SUROESTE (MAGDALENA)	2190
4	BAJA CALIFORNIA NORESTE (LAGUNA SALDA)	1050
5	BAJA CALIFORNIA CENTRO ESTE (SANTA ROSALIA)	990
6	BAJA CALIFORNIA SURESTE (LA PAZ)	5120
7	RIO COLORADO	1050
8	SONORA NORTE	760
9	SONORA SUR	2140
10	SINALOA	3290
11	PRESIDIO - SAN PEDRO ZONA COSTERA	4630
11	PRESIDIO - SAN PEDRO ZONA ALTA	470
12	LERMA - SANTIAGO	1290
13	HUICICILA	760
14	AMECA	600
15	COSTA DE JALISCO	5270
16	ARMERIA - COAHUAYANA	4940
17	COSTA DE MICHOACAN	2100
18	BALSAS ALTO	1090
18	BALSAS MED Y BAJO	4450
19	COSTA GRANDE	2100
20	COSTA CHICA RIO VERDE	3180
20	ALTO RIO VERDE	390
21	COSTA DE OAXACA (PUERTO ANGEL)	3000
22	TEHUANTEPEC	2170
23	COSTA DE CHIAPAS	1190
24A	ALTO BRAVO-CONCHOS	1020
24B	MEDIO BRAVO	5170
24C	RIO SALADO	1410
24D	BAJO BRAVO	2130
25	SAN FERNANDO - SOTO LA MARINA	2330
26A	ALTO PANUCO	1360
26B	BAJO PANUCO	3010
26C	VALLE DE MEXICO	760
27	TUXPAN - NAUTLA	2450
28	PAPALOAPAN	1750
29	COATZACOALCOS	1840
30	GRIJALVA - USUMACINTA	2130
30	ALTO GRIJALVA	610
31	YUCATAN OESTE (CAMPECHE)	370

32	YUCATAN NORTE (YUCATAN)	sin datos
33	YUCATAN ESTE (QUINTANA ROO)	sin datos
34	CUENCAS CERRADAS DEL NORTE (CASAS GRANDES)	230
35	MAPIMI	
36	NAZAS	1510
36	AGUANAVAL	380
37	EL SALADO	1310

Tabla 2.3 Coeficientes de la envolvente de Lowry con datos hasta 1975.



Figura 2.2 División del país en 37 Regiones Hidrológicas.

En determinado momento, fue necesario mantener la integridad en la administración de las aguas nacionales y aplicar las políticas de manejo del agua en el marco de un desarrollo regional. Por esto, en 1997 la CNA dividió el territorio nacional en 13 regiones administrativas, referidas a límites municipales de amplias regiones hidrológicas.



Figura 2.3 División del país en 13 Regiones Administrativas.

2.5 Contexto mundial

Las avenidas son una seria amenaza en cualquier parte del mundo. La información recabada por las Naciones Unidas para la Conferencia Mundial sobre Reducción de Desastres Naturales, mostró que las avenidas causan más muertes y grandes daños que desastres de cualquier otro tipo. Debastantes avenidas en Mozambique, China, India, América Central, Polonia, Alemania y la República Checa, han ocurrido en años recientes, demostrando los grandes problemas que causan. Con el incremento de la población mundial y también con el cambio climático, es muy probable que el problema de avenidas empeore en el futuro. Desafortunadamente los datos sobre avenidas, particularmente datos hidrológicos sobre grandes avenidas, continúan siendo difíciles de obtener en los niveles nacional e internacional. Sin embargo, hay inmensos beneficios al mejorar el acceso a estos datos, principalmente porque son la base para salvar vidas y reducir daños y destrucción.

Debido a esto, hacia el final de la Década Internacional para la Reducción de Desastres Naturales (1990-2000), la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas (IAHS, por sus siglas en inglés), la UNESCO y la Organización Meteorológica Mundial (WMO), acordaron actualizar el Catálogo Mundial de Grandes Avenidas (*World Catalogue of Very Large Floods*), que contiene datos de 35 países, el cual fue publicado en 1976. El catálogo de 1984, preparado por el Dr. J. A. Rodier y el Dr. M. Roche fue el resultado de este trabajo comenzado en 1976. Estaba basado sobre los datos y características de avenidas y cuencas pertenecientes a 102 países. Cuando fue publicado, el catálogo de 1984 fue ampliamente solicitado por la comunidad hidrológica mundial, pero rápidamente se convirtió en un libro agotado debido a la alta demanda de copias requeridas. Esta actualización aspiraría a incrementar la cantidad de registros de avenidas máximas y extender la cobertura del catálogo a partes del mundo que no estaban incluidas originalmente.

Rodier y Roche previeron que el catálogo debería tener dos aspiraciones principales:

- Garantizar en cada país la revisión y veracidad de datos sobre grandes avenidas por lo menos de las principales estaciones; y
- Permitir una exhaustiva y posible revisión mundial de las grandes avenidas para los diferentes regímenes hidrológicos.

Los datos en el catálogo están listados por país; para la mayoría de ellos hay tres tablas de datos. La ubicación de los sitios de observación del flujo de las avenidas está definida en la tabla 1, así como la información fisiográfica relacionada con las cuencas de drenaje propensas a las crecidas, en términos de superficie y altitud media, así como otros tipos de información fisiográfica, como las referentes a las pendientes, la cubierta, etc., que podrán tenerse en cuenta en estudios más complejos de interpolación geográfica.

Para la mayoría de los eventos de avenidas se tiene la descarga máxima instantánea observada durante el evento y se reporta en la tabla 2. Si existe información adicional, como antecedentes de la lluvia o duración de la avenida, también se encuentra disponible en la tabla.

Además, para algunos sitios de observación en algunos países, las series de datos de descargas máximas instantáneas anuales están disponibles en la tabla 3.

En total, 120 países están incluidos en el catálogo. Además de los datos proporcionados recientemente por 48 países.

Australia	Finlandia	Mauritius	Eslovaquia
Austria	Alemania	Morocco	Eslovenia
Azerbaijón	Hungría	Nepal	Sudáfrica
Bután	Islandia	Holanda	Sri Lanka
Burundi	India	Nicaragua	Suecia
Burkina Faso	Irlanda	Nigeria	Suiza
China	Jamaica	Noruega	Taiwan
Colombia	Japón	Pakistan	Tailandia
Croacia	Lituania	Polonia	UK
Chipre	Malawi	Puerto Rico	Ucrania
Dinamarca	Malasia	Rumania	Estados Unidos
Ecuador	Mauritania	Ruanda	Venezuela

Tabla 2.4 Países que incorporaron datos recientemente

El catálogo del 2003 es el resultado de la excelente continuidad en la cooperación entre la IAHS, la UNESCO y la WMO, que ha caracterizado la hidrología internacional por más de 40 años.

Albania	Cyprus	Kazakhstan	Réunion
Algeria	Czech Republic	Kenya	Romania
Argentina	Denmark	Laos	Russiaa
Australia	Dominican Republic	Liberia	Rwanda
Austria	Ecuador	Lithuaniaa	Senegal
Azerbaijan	Egypt	Madagascar	Serbiab
Bangladesh	Finland	Malawi	Sierra Leone
Belarusa	France	Malaysia	Slovakiaf
Belgium	French Guiana	Mali	Sloveniab
Benin	French Polynesia, Tahiti	Martinique	South Africa
Bhutan	Gabon	Mauritania	South Korea
Bolivia	Georgiaa	Mauritius	Spain
Bosnia Herzegovinab	Germany	México	Sri Lanka
Brazil	Ghana	Morocco	Sudan
Bulgaria	Guatemala	Mozambique	Sweden
Burkina Fasoc	Guinea	Nepal	Switzerland
Burundi	Guyana	Netherlands	Taiwan
Cambodiad	Hungary	New Caledonia	Thailand
Cameroon	Iceland	New Zealand	Togo

Canada	India	Nicaragua	Tunisia
Cape Verde	Indonesia	Niger	Turkey
Central African	Iran	Nigeria	Uganda
Chad	Iraq	North Korea	Ukrainea
China	Ireland	Norway	United Kingdom
Colombia	Israel	Pakistan	United States
Congo	Italy	Panama	Uruguay
Congo, Democratic Republice	Ivory Coast	Philippines	Uzbekistana
Costa Rica	Jamaica	Poland	Venezuela
Croatiab	Japan	Portugal	Vietnam
Cuba	Jordan	Puerto Rico	Zimbabwe

Tabla 2.5 120 países con información en el catálogo de 1984.

A continuación se presentan algunos gastos máximos observados en diferentes partes del mundo. Cabe señalar que el dato del gasto máximo en la estación Cihuatlán reportado por IAHS en 1984 no se verifica de acuerdo con la información oficial contenida en el Bandas, actualizada a 2003.

No	Río	País	Área, Km ²	Gasto, m ³ /s
1	San Rafael	USA	3.2	250
2	L. San Gorgonio	USA	4.5	311
3	Halawua	USA	12	762
4	SF Wailua	USA	58	2,470
5	Buey	Cuba	73	2,060
6	Papenoo	Francia	78	3,200
7	San Bartolo	México	81	3,000
8	Quinne	Francia	143	4,000
9	Quaieme	Francia	330	10,400
10	Yate	Francia	435	5,700
11	Little Nemaha	USA	549	6,370
12	Haast	Nueva Zelanda	1,020	7,690
13	Midfork	USA	1,360	8,780
14	Cihuatlán	México	1,370	13,500
15	Pioneer	Australia	1,490	9,840
16	Hualien	Taiwán (China)	1,500	11,900
17	Nyoda	Japón	1,560	13,510
18	Kiso	Japón	1,680	11,150
19	West Nueces	USA	1,800	15,600
20	Machhu	India	1,930	16,307
21	Tamshui	Taiwán (China)	2,110	16,700
22	Shingu	Japón	2,350	19,025
23	Pedernales	USA	2,450	12,500

24	Daeryoung Gang	Corea del Norte	3,020	13,500
25	Yoshino	Japón	3,750	14,470
26	Cagayan	Filipinas	4,244	17,550
27	Tone	Japón	5,110	16,900
28	Nueces	USA	5,504	17,400
29	Eel	USA	8,060	21,300
30	Pecos	USA	9,100	26,800
31	Betsiboka	Madagascar	11,800	22,000
32	Toedong Gang	Corea del Norte	12,175	29,000
33	Han	Corea del Norte	23,880	37,000
34	Jhelum	Pakistán	29,000	31,100
35	Hanjiang	China	41,400	40,000
36	Mangoky	Madagascar	50,000	38,000
37	Narmada	India	88,000	69,400
38	Changjiang	China	1,010,000	110,000
39	Lena	URSS	2,430,000	189,000
40	Amazonas	Brasil	4,640,000	370,000

Tabla 2.6 Gastos máximos observados en el mundo (Rakhecha, 2002).

Capítulo 3 Datos generales de la región e hidrometría

3.1 Región en Estudio

3.1.1 Sistema Lerma-Santiago

Según la subdivisión del país en regiones hidrológicas, corresponde la número 12 al sistema Lerma-Chapala-Santiago, que destaca entre ellas por sus impresionantes dimensiones generales. Corresponde a este sistema un recorrido a lo largo del colector general desde los orígenes del Lerma hasta la desembocadura del Santiago en el Océano Pacífico de 1,194 Km., y una cuenca total de 132,700 Km² aproximadamente. De ellos corresponde el 39% a la cuenca del Lerma hasta su desembocadura en el lago de Chapala y el 61% a la cuenca del río Santiago (CNA, 2000).

La importancia múltiple de la cuenca, en particular desde el punto de vista hidrológico, dio lugar a que desde 1902 se iniciaran las observaciones en un punto de ella (estación hidrométrica La Piedad, Mich.), y la red de estaciones hidrométricas ha ido aumentando con el tiempo, en tal forma que en el año 1970 se operaban sobre varios ríos, 83 estaciones hidrométricas en toda la cuenca del Lerma.

De acuerdo con la regionalización administrativa para el manejo del agua de la Comisión Nacional del Agua, la región colinda con otras cinco regiones: al oriente con Valle de México, al nor-oriente con Golfo Norte, al norte con Centro Norte, al nor-poniente con Bajo Noroeste, al sur con Pacífico Centro y al poniente con el Océano Pacífico.

Considerando la división política del país, la región es compartida por diez estados: Aguascalientes con el 4%, Durango 3%, Guanajuato 19%, Jalisco 30%, México 4%, Michoacán 12%, Nayarit 8%, Querétaro 2%, San Luis Potosí 0.1% y Zacatecas 18%. Desde el punto de vista municipal administrativamente comprenden 321 municipios: Aguascalientes (11 municipios), Durango (2), Guanajuato (43), Jalisco (87), México (44), Michoacán (75), Nayarit (11), Querétaro (7), San Luis Potosí (1) y Zacatecas (40).

3.1.2 Ubicación

La región está delimitada por el parteaguas natural del sistema hidrológico conformado por el río Lerma, Lago de Chapala y río Santiago, desde sus orígenes en la Laguna de Almoloya hasta su desembocadura al Océano Pacífico, incluyendo las cuencas cerradas de Pátzcuaro, Cuitzeo y Sayula-San Marcos. Así, su extensión superficial es de 132,724.094 km² (CNA, 2000) que representa el 7% del territorio nacional. Se encuentra ubicada en el centro del país, delimitada por las coordenadas 23° 25' 0.40" y 19° 03' 37.46" de latitud norte y 105° 27' 10.71" y 99° 18' 14.16" de longitud oeste.

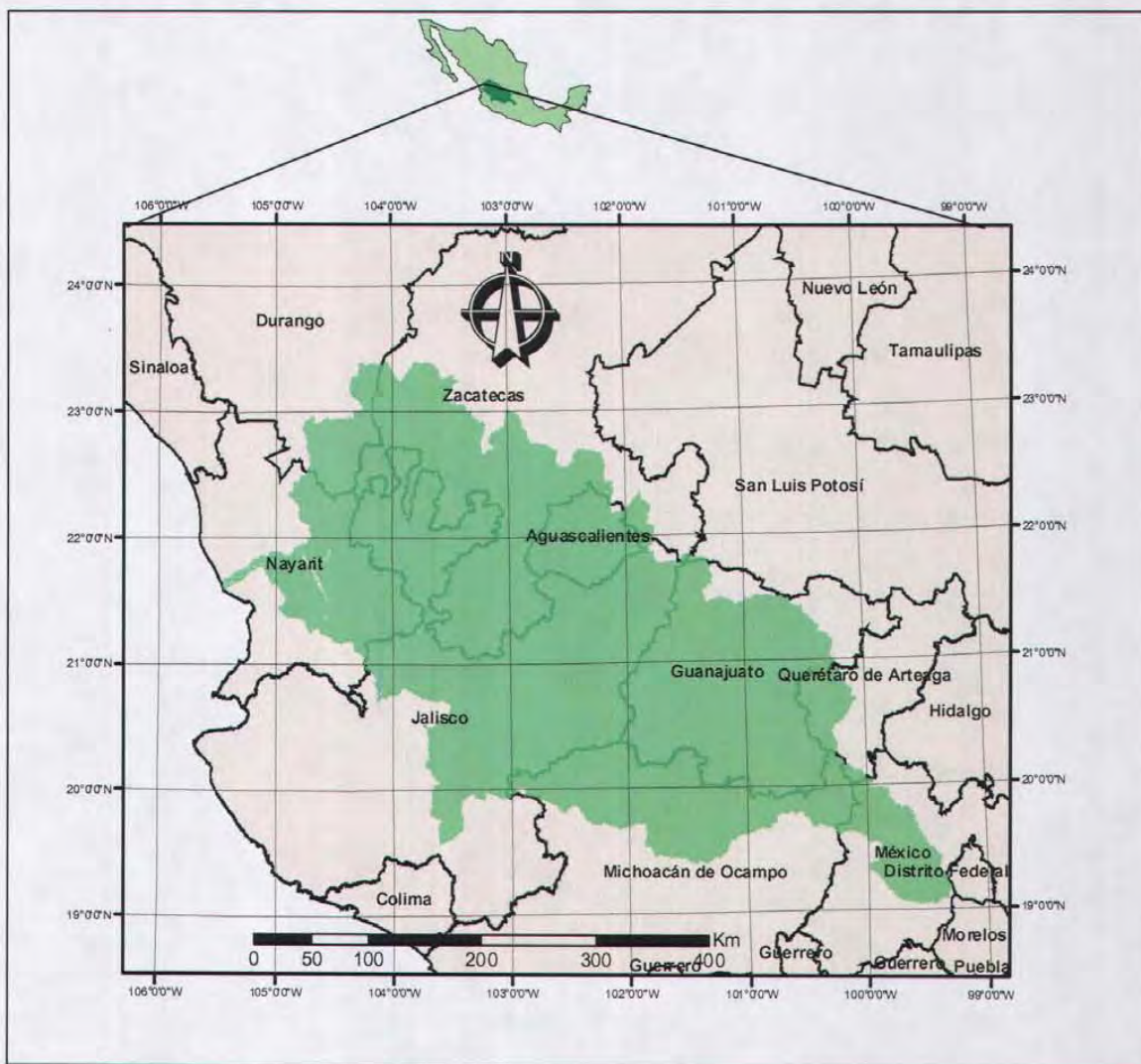


Fig. 3.1 Ubicación de la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago.

La porción superior de la cuenca es drenada por el río Lerma, mientras que la porción inferior desagua a través del Río Grande de Santiago. Ambos ríos sumados tienen una longitud de 1,194 Km. A ello hay que agregar los 76 Km., de extensión del Lago de Chapala que funciona dentro del sistema como un embalse natural e intermedio. Del desfogue del lago nace el Río Grande de Santiago con una longitud de 443 Km. hasta su desembocadura en el Océano Pacífico en Nayarit. Por su parte el Río Lerma vierte su caudal en el Lago de Chapala después de un recorrido de 708 Km. desde su nacimiento en el Altiplano del Valle de Toluca, Estado de México (CNA, 2000).

La región se subdividió para su mejor descripción en cinco subregiones: Alto Lerma, Medio Lerma, Bajo Lerma, para abarcar la cuenca Lerma-Chapala. Alto Santiago y Bajo Santiago para cubrir la cuenca del Río Santiago.

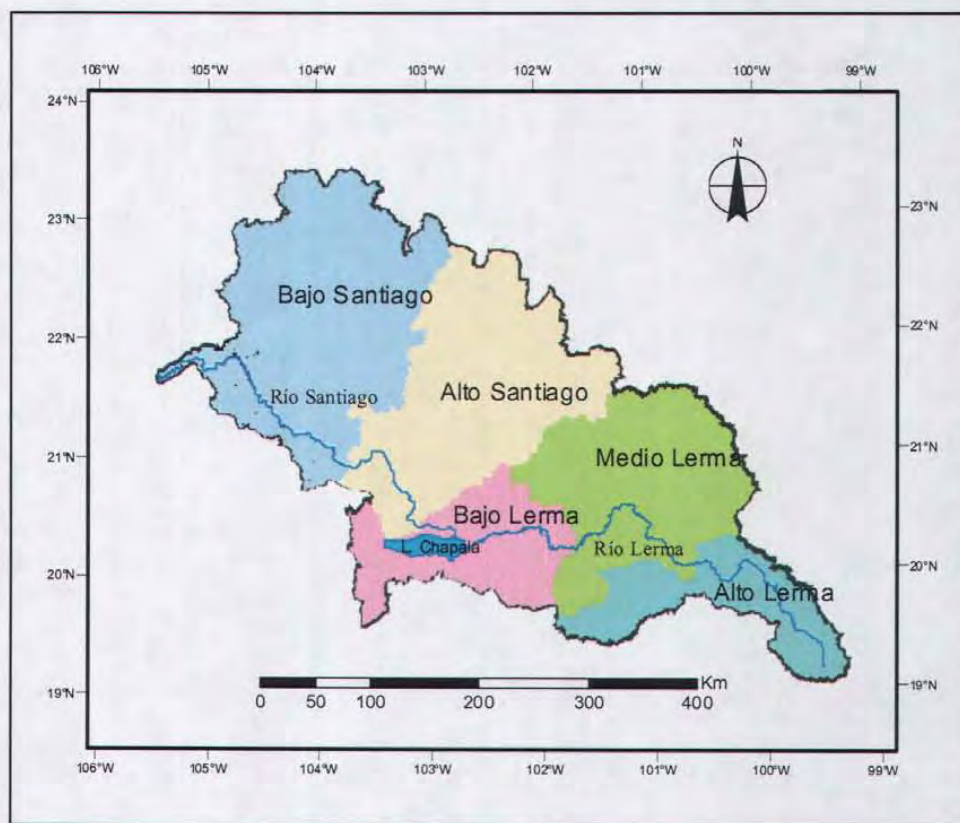


Fig. 3.2 División de la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago en subregiones

3.1.3 Fisiografía

Fisiográficamente la región está conformada por tres grandes provincias: Eje Neovolcánico que cubre el 49% de la superficie de la Región, Sierra Madre Occidental el 38% y la Meseta Central el 13% (Redagua, 2000).

Provincia del Eje Neovolcánico.- Esta provincia colinda al norte con la Llanura Costera del Pacífico, la Sierra Madre Occidental, la Mesa Central, la Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo Norte; al sur, con la Sierra Madre del Sur y la Llanura Costera del Golfo Sur. Por el oeste llega al Océano Pacífico y por el este al Golfo de México. Abarca parte de los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, México, Hidalgo, Colima, Puebla y Veracruz, así como todo el estado de Tlaxcala y el Distrito Federal.

Se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos, acumulada en innumerables y sucesivas etapas, desde mediados del Terciario (unos 35 millones de años atrás) hasta el presente. La integran grandes sierras volcánicas, grandes coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arena y cenizas.

El Eje Neovolcánico, desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México, tiene 880 Km. de largo y 130 Km. de ancho y se eleva en promedio 2,500 m. Incluye los picos más altos de México: Pico de Orizaba, Iztlacihuatl y Popocatépetl (más de 5,000 m de altura) y tiene algunos volcanes activos. Hay un intrincado sistema de desagüe en la región, del cual el componente más importante es el sistema Lerma-Santiago. Los lagos principales son Pátzcuaro, Chapala y Cuitzeo.

La actividad volcánica de este sistema montañoso es notable. Las montañas están constituidas de rocas volcánicas y lava, que las hacen más resistentes a la erosión. El Eje Neovolcánico o Sistema Volcánico Transversal, es considerado como la división fisiográfica y bigeográfica entre América del

Norte y Centroamérica (desde 1940), además de constituir una frontera climática.

En la provincia queda casi toda la cuenca del Lerma, que nace al este de Toluca y se dirige, atravesando el Bajío Guanajuatense, hacia el oeste hasta verter sus aguas en el lago de Chapala. Solamente los afluentes que bajan de la Mesa Central quedan fuera. En toda la parte sur de la provincia desde Michoacán hasta Puebla se originan afluentes del Balsas.

Provincia de la Sierra Madre Occidental.- La provincia de la Sierra Madre Occidental se inicia prácticamente en la frontera con Estados Unidos, dentro de los cuales tiene una muy pequeña penetración y se extiende de NO a SE hasta sus límites en el sur de la provincia del Eje Neovolcánico. Hacia el oeste limita con la provincia del Desierto Sonorense y de la Llanura Costera del Pacífico, y hacia el este con la provincia de Sierras y Bolsones, la extensión occidental de la Sierra Madre Oriental y la Mesa Central. Abarca parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco.

Esta sierra es producto de la acumulación de materiales volcánicos. Posee una longitud de unos 1,250 Km., desde la frontera con Estados Unidos de América hasta su unión con el eje Neovolcánico. Su anchura en promedio es de 150 Km., y alcanza alturas de 3,000 m sobre el nivel del mar. Las características geológicas permitieron la formación de espectaculares cañones, como el de la Barranca del Cobre, que se asemeja al cañón del Colorado, en Estados Unidos de América. Este sistema es continuación de las montañas del Oeste de Norteamérica, aunque geológicamente son diferentes.

Provincia Mesa Central.- Esta provincia que colinda al norte y oriente con la Sierra Madre Oriental, al oeste con la Sierra Madre Occidental y al sur con el Eje Neovolcánico; cubre parte de los estados de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco y Guanajuato. La caracterizan amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas, en su mayoría de naturaleza

volcánica. En ella predominan los climas semiseco y templado; la humedad aumenta de norte a sur y del centro hacia los extremos oriental y occidental de la provincia; los tipos de vegetación que predominan en ella son los característicos de zonas semiáridas. La Mesa Central abarca sectores de varias cuencas hidrológicas: Las cuencas cerradas áridas del norte, la del río Aguanaval, la parte media de la del Nazas, la del Grande de Santiago (ríos Juchipila, Verde, de Lagos y los afluentes más orientales de este sistema) y los afluentes del Lerma, como el Lajas que desciende de la Sierra de Guanajuato. La Mesa Central penetra al estado de Jalisco por el noroeste; ocupa el 3.44 % de la superficie total estatal y en ella se presentan parte de tres subdivisiones de la provincia que corresponden a la subprovincia Llanos de Ojuelos y las discontinuidades fisiográficas Sierra de la Cuatralba y Valles Paralelos del suroeste de la Sierra de Guanajuato.



Fig. 3.3 Provincias Fisiográficas en la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago

3.1.4 Geología-Edafología

La estructura geológica de la región se compone en un 72% por rocas ígneas extrusivas y un 28% por sedimentarias o volcanosedimentarias. Los tipos de suelos que se ubican en la región son en un 35% feozems, 20% vertisoles, 12% regosoles, 8% planosol, 25% otro.

Feozem.- Su principal distintivo es una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes. Son suelos abundantes en nuestro país, y los usos de que son objeto son variados, en función del clima, relieve y algunas condiciones del suelo. Muchos feozems son profundos y están situados en terrenos planos, que se utilizan para agricultura de riego o de temporal, con altos rendimientos. Los menos profundos, o los que se presentan en laderas y pendientes, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con mucha facilidad. Se pueden utilizar para ganadería.

Vertisol.- Se caracterizan por las grietas anchas y profundas que presentan en la época de sequía. Son suelos arcillosos de color café rojizo en el Norte del país. Son pegajosos cuando están húmedos, y muy duros cuando están secos. Ocasionalmente son salinos. Su utilización agrícola es muy extensa, variada y productiva. Son suelos generalmente muy fértiles pero presentan problemas para su manejo debido a su dureza, y con frecuencia ocasionan problemas de inundación y drenaje. En el Norte del país se utilizan para agricultura de riego con buenos rendimientos. Cuando tienen pastizales son muy adecuados para la actividad pecuaria. Presentan una baja susceptibilidad a la erosión.

Regosol.- Se caracterizan por no presentar capas distintas. En general son de tono claro. Se encuentran en las playas, dunas y, en mayor o menor grado, en las laderas de las sierras, muchas veces acompañados de litosoles y de roca o tepetate que aflora. Su fertilidad es variable, y su uso agrícola está condicionado principalmente a su profundidad y a la pedregosidad que

presenten. En este tipo de suelo se pueden desarrollar diferentes tipos de vegetación.

Planosol.- Se caracterizan por presentar, debajo de la capa superficial, una capa menos delgada de un material claro que es siempre menos arcilloso que las capas ubicadas arriba o abajo de él. Esta capa es infértil y ácida, y a veces impide el paso de las raíces. Debajo de la capa mencionada se presenta un subsuelo muy arcilloso e impermeable, o bien roca o tepetate, también impermeables. Se utiliza para actividades agropecuarias. Son muy susceptibles a la erosión, sobre todo en las capas superficiales que descansan sobre la arcilla o tepetate impermeable.

3.1.5 Uso del suelo

Del uso del suelo de la región destaca por la superficie que ocupa el temporal con el 21%, bosque con el 26%, pastizal con el 23%, matorral con el 4%, selva con el 4% y el riego un 5%, entre otros (figura 3.4). En consecuencia, el 26% de la superficie de la región se dedica a la agricultura (Semarnat, 2000-2001).

3.1.6 Clima

Se identifican tres climas dominantes semicálido, seco o estepario y templado húmedo con lluvias en verano. Con una temperatura media de 18.3 °C, la región está expuesta a la ocurrencia de eventos extremos como son: las sequías, granizadas, heladas, inundaciones y con baja ocurrencia con efectos secundarios los ciclones (figura 3.5)

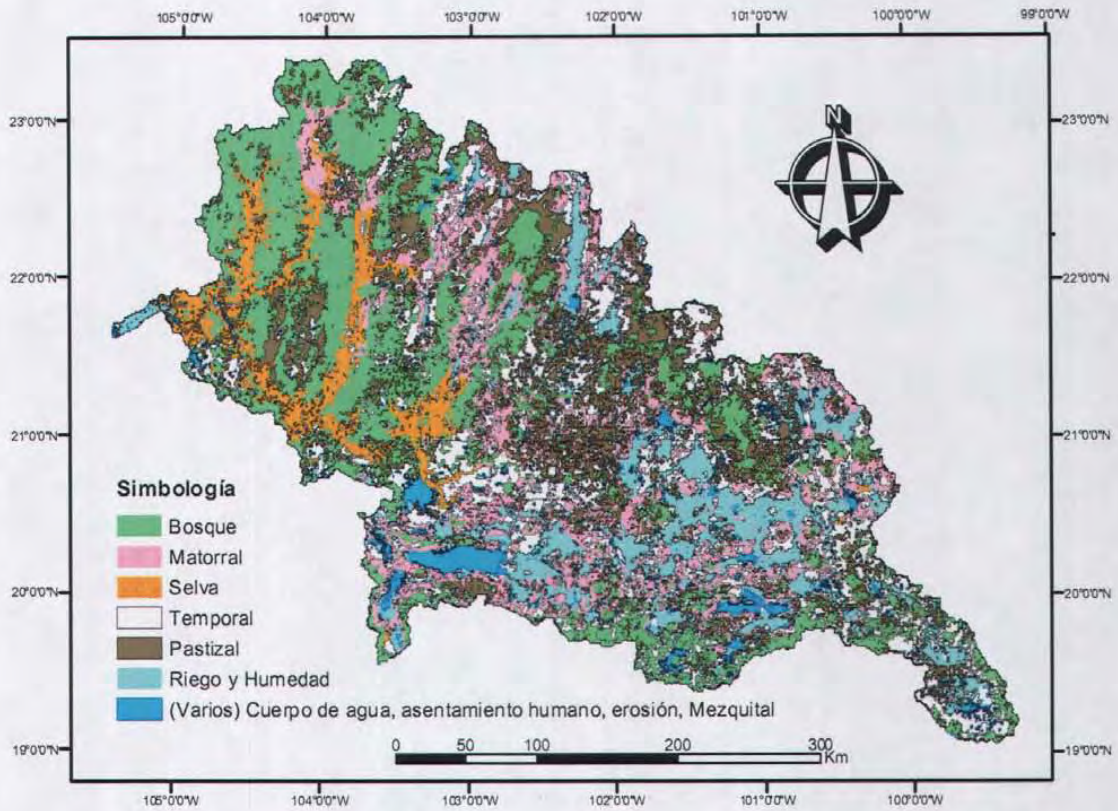


Fig. 3.4 Uso del suelo en la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago

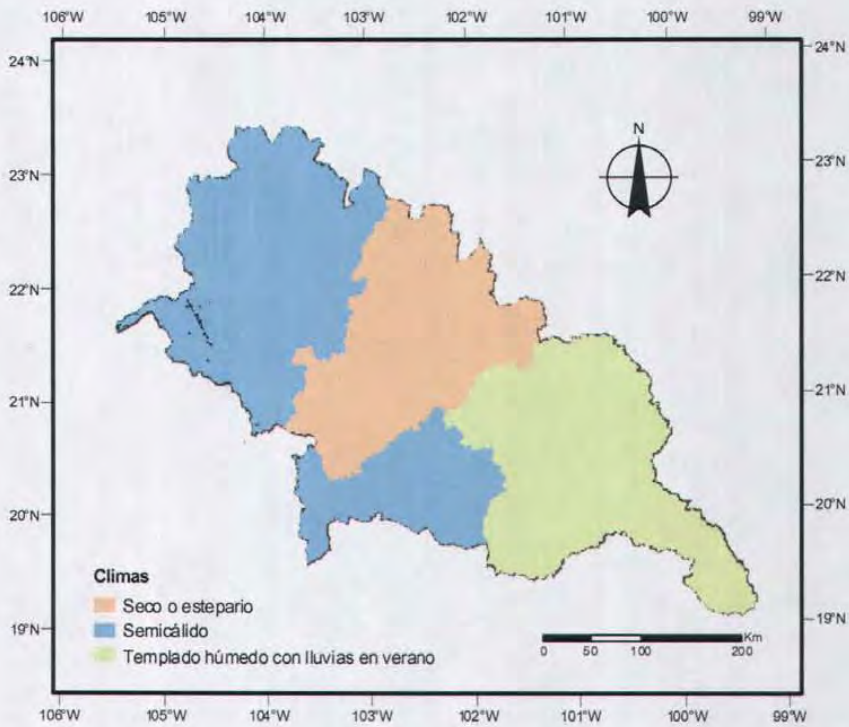


Fig. 3.5 Diversos tipos de clima en la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago

3.1.6.1 Precipitación

La precipitación anual es de 723 mm, menor en un 7% a la nacional, mostrando una concentración del 87% en los meses de junio a octubre. A nivel anual es escasa en el norte de la región con valores menores a 500 mm, en el 13% de su superficie; es abundante, mayor de 1000 mm, en el 5% de la región en los orígenes del sistema, al sur de las cuencas cerradas y al final del sistema, en este último caso con máximos de 1,400 mm. Su comportamiento histórico muestra fuertes variaciones anuales con máximos superiores en un 40% a la media y mínimos inferiores en un 67%. Además presenta periodos prolongados de años secos y húmedos, del orden de 20 años en ambos casos.

A nivel de las subregiones la precipitación en el Alto y Bajo Lerma y Bajo Santiago es mayor que la media regional y en el Medio Lerma y Alto Santiago es menor a la media regional.

3.1.6.2 Evaporación

La evaporación media anual es de 1977 mm, concentrándose el 44% en los meses de marzo a junio. El máximo mensual se registra en el mes de mayo y el mínimo en diciembre. La mayor evaporación anual se presenta en las subregiones Alto Santiago y Medio Lerma y la mínima en el Alto Lerma.

3.1.6.3 Temperatura

La temperatura media anual es de 18.3 °C, con variaciones mensuales de +- 3 °C, registrándose la máxima en los meses de mayo y junio, y la mínima en el mes de enero. A nivel de las subregiones en el Alto Lerma y Alto Santiago se registran temperaturas medias anuales menores a la media regional.

3.1.7 Aguas subterráneas

La recarga estimada es de 5,293 Mm³/año, que corresponde a un 9% del valor nacional. Existen 85 acuíferos en la región, 18% del total nacional. Especialmente la

recarga muestra una concentración del 73% en la cuenca del río Lerma y a nivel subregiones el Medio Lerma sobresale con el 44%, en Alto Lerma un 18%, y Alto Santiago un 22%.

La extracción es de 5,773 Mm³, en la cuenca del río Lerma se tiene el 77% y a nivel subregión destaca el Medio Lerma con el 53% y el Alto Santiago el 20%. La condición geohidrológica que prevalece en la región es de ligeramente sobre-explotada en un 109%. A nivel subregión en el Medio Lerma es de un 131% y en el Alto Santiago ligeramente mayor al 100%.

Por acuífero, 28 presentan una situación de sobre-explotado y 12 en equilibrio y el resto sub-explotados; desde el punto de vista legal los acuíferos de la región disponen de veda rígida o de control a nivel estatal con la excepción de Nayarit.

La calidad del agua medida como sólidos totales disueltos muestra que el promedio regional es de 480 p.p.m., con valores medios por subregión mínimos de 250 p.p.m. en el Alto Lerma y máximos de 600 p.p.m. en el Medio Lerma.

La profundidad promedio subregional del nivel del agua varía de 25 m en el Bajo Lerma a 60 m en el Bajo Santiago; observándose valores extremos por acuífero: mínimos de 10 m en la Ciénega de Chapala y máximos de 195 m en Colotlán Jal. Los abatimientos de los niveles del agua presenta valores promedio subregional que van de 70 cm en el Bajo Lerma hasta 165 cm en el Medio Lerma; con valores extremos en los acuíferos de 20 a 400 cm.

3.1.7.1 Infraestructura para aprovechar las aguas subterráneas

Se dispone de 32,689 obras, entre pozos, manantiales y galerías filtrantes. Con ello se dispone de una capacidad de extracción de 5,773 Mm³. El 70% se emplea en el sector agrícola y 23% en el sector municipal. Además el 75% de la infraestructura se ubica en la cuenca del río Lerma, destacando que del total regional el 54% se localiza en el Medio Lerma, y en la cuenca del Santiago la subregión con mayor infraestructura es el Alto Santiago con el 22% regional.

3.1.8 Aguas superficiales

La hidrografía de la región se distingue por tener un cauce principal que es dividido en dos tramos, río Lerma y río Santiago, por un parteaguas natural el Lago de Chapala. Sus principales afluentes, por la margen izquierda son: La Gavia, Jaltepec, Angulo y Duero. Por margen derecha: Laja, Guanajuato-Silao, Turbio, Zula, Calderón, Verde, Juchipila, Bolaños y Huaynamota.

El cauce principal en sus 1,194 Km. de desarrollo, 29% lo realiza a elevaciones superiores a 2,200 msnm, 50% entre 2,000 y 1,500 y una tercera parte abajo de los 500 msnm. Describe dos comportamientos diferentes: uno, en el tramo Lerma-Chapala en escalera pasando por grandes valles (Toluca, Bajío y Ciénega); el de Santiago con pendientes mayores y continuas. Los afluentes con más superficie drenada son: Verde, Huaynamota, Bolaños, Laja, y Juchipila; los tres primeros cubren el 40% de la superficie de la región.

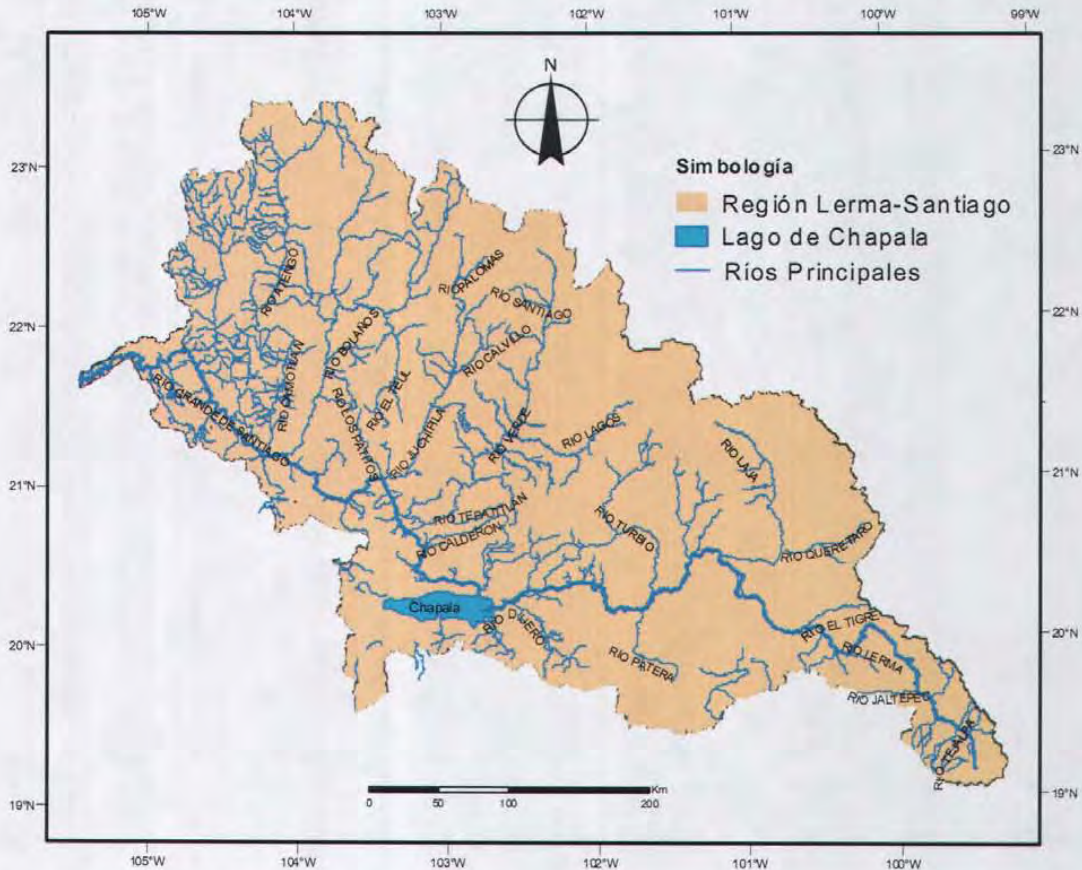


Figura 3.6 Ríos principales de la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago

3.1.8.1 Infraestructura para aprovechar las aguas superficiales

Se cuenta con 570 embalses, con una capacidad de conservación de 17,399 Mm³, sobresaliendo el Lago de Chapala con casi el 50% de esta capacidad y Aguamilpa con otro 26%. El 74% de las obras se localizan en la cuenca del Río Lerma. El 92% de los embalses se utilizan con fines de riego, 5% para el control de avenidas y el resto para otros usos. En promedio sólo se ocupa el 60% de la capacidad de conservación, y sin considerar el lago de Chapala será el 72%.

Su evaporación promedio anual representa el 16% de la capacidad de conservación: el 70% de la cuenca muestra problemas de erosión extrema, el 19% erosión severa, donde destacan: las partes altas del Valle de Toluca, del río de la Laja, Duero y Verde en el estado de Aguascalientes, en la cuenca del Lago de Pátzcuaro, en el Bajo Guanajuato a la altura de Salamanca y riberas del lago de Chapala.

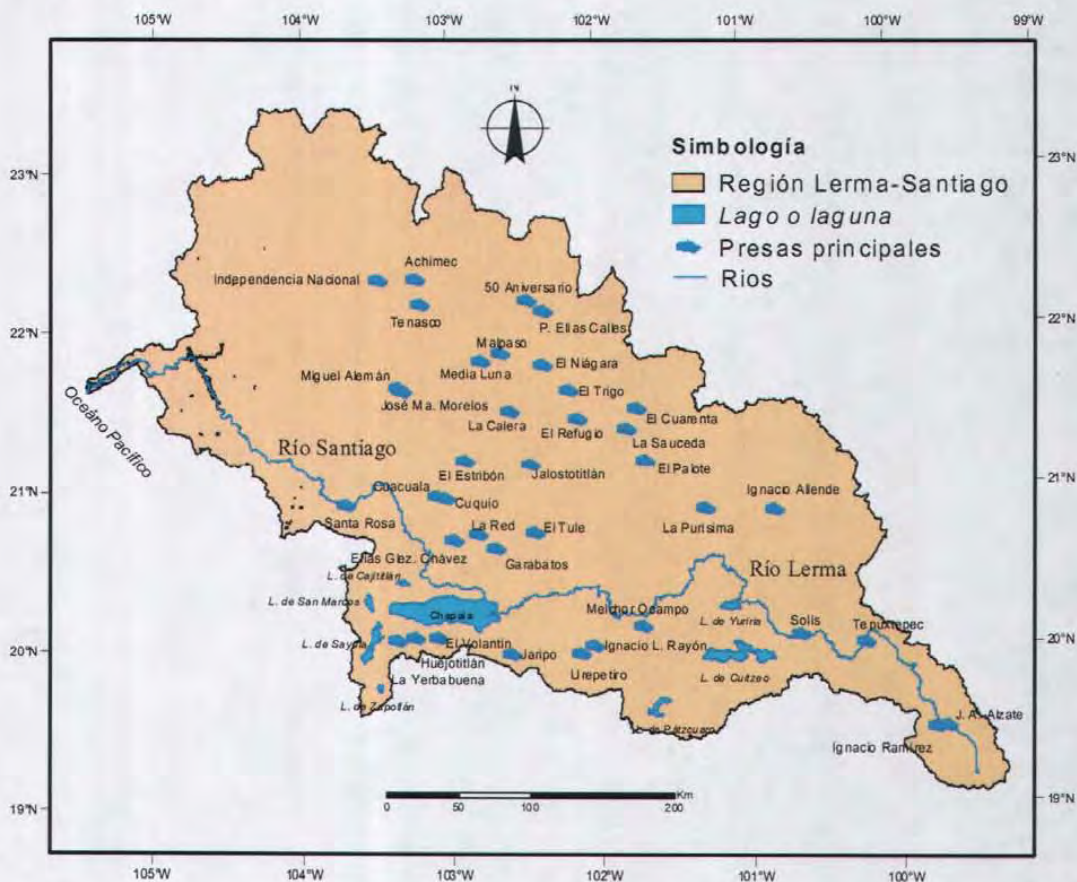


Figura 3.7 Principales Almacenamientos en la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago

3.1.9 Redes de monitoreo

3.1.9.1 Redes meteorológicas y climatológicas

En la región se da seguimiento a 504 estaciones climatológicas, de las cuales: 126 se encuentran operando y en buen estado, 166 estaciones requieren de reparación menor; 91 estaciones requieren de mantenimiento mayor; y 121 estaciones no operan, principalmente por el deterioro en el que se encuentran.

El flujo de la información presenta problemas desde la toma de datos; y en la recuperación de los formatos los de campo se llevan de uno a doce meses, a excepción de la red estratégica que reporta en el mismo día por vía telefónica o radio para la operación de la infraestructura a tiempo real.

3.1.9.2 Red geohidrológica

Las redes piezométricas, normalmente se basan en pozos en explotación, por lo que la medición no siempre es de niveles estáticos. Las características constructivas en ocasiones reflejan la situación promedio entre 2 o más capas acuíferas, por que las atraviesan con la tubería ranurada. En algunos casos los pozos de la red piezométrica no se encuentran nivelados topográficamente. Pocas son las redes con mediciones sistemáticas (dos mediciones al año), en algunos otros casos se ha abandonado la red.

No existe una red de medición de gastos o volúmenes de extracción, solo se realizan mediciones dentro de algún estudio específico para un acuífero, o a través de métodos indirectos, como el consumo de energía eléctrica en los pozos con equipo eléctrico y superficies, tipo de cultivos y láminas de riego; dotaciones para consumo humano, etc.

Para las características geológicas y geohidrológicas de los acuíferos es necesario consultar una gran cantidad de expedientes existentes, aunque no siempre

disponibles, en las diversas oficinas de la CNA, este mismo esquema existe para las características constructivas de los pozos.

De manera general, además de lo difícil que es obtener esta información, sólo está disponible para un número limitado de gente o instituciones, y no es ofrecida al público, solo en ocasiones se emiten documentos con información que ha recibido algún tipo de tratamiento, y aún así estos documentos no tienen una amplia difusión y no está disponible para todo público.

Es conveniente la perforación de pozos piezométricos de ubicación estratégica, entre 8 a 12 pozos por acuífero, con profundidades entre 100 y 200 metros, y con un diseño y terminación que permita medir los niveles de diferentes capas acuíferas si estas existen (Redagua, 2000).

3.1.9.3 Red de monitoreo de calidad del agua

La red nacional de monitoreo superficial en la región cuenta con 80 sitios. Se requiere una revisión y rediseño de la red que permita deducir con mayor claridad las condiciones de la calidad del agua en la región, apoyar en la labor de vigilancia de las condiciones particulares de descarga, mediante un seguimiento regional y bajo un análisis estratégico de los parámetros de cada descarga.

La red es apoyada básicamente por tres laboratorios regionales de calidad del agua de la propia CNA: Celaya Gto., Morelia Mich. y el Centro de Estudios Limnológicos, en la Ciudad de Guadalajara, Jal.; en general estos atienden los requerimientos de la Red, y los programas de Control de Malezas Acuáticas, de Agua Limpia, visitas de inspección, clasificación de cuerpos receptores entre otros y algunos específicos por laboratorio como para los estudios Limnológicos de Chapala. En general, los principales problemas consisten en la falta de apoyos financieros y materiales, situación que afecta la capacidad de procesamiento de muestras de los laboratorios regionales.

3.1.9.4 Red hidrométrica

3.1.9.4.1 Generalidades

La política de transferencia de los distritos de riego a los usuarios ha sido prioritaria en las actividades del gobierno. Para atender a esta prioridad, se ha necesitado desarrollar actividades de capacitación, comunicación y transferencia de tecnología como apoyo para lograr que la operación, la conservación y la administración de la infraestructura hidráulica, así como el desarrollo parcelario, continúen en evolución con un enfoque de aplicación de la tecnología, en el marco de la modernización del campo.

En los distritos de riego los aforos son la base del manejo eficiente del agua en el proceso de extracción, conducción y distribución; por lo que se ha considerado de gran importancia hacer los aforos con la mayor precisión posible y de fácil aplicabilidad en los diferentes niveles de medición del agua, como son: red mayor, red menor y parcelario. Los dispositivos para aforar deben ser fáciles de leer e instalar, hidráulicamente eficientes, precisos, autolimpiables y resistentes al uso, con la finalidad de reducir los costos de mantenimiento. Los equipos y estructuras de aforo deben usar escalas para determinar el valor del gasto directamente.

Para lograr la operación de las redes de ríos y canales es necesario aforar frecuentemente y en muchos sitios, por lo que se requieren muchos dispositivos de aforo. De acuerdo con la carga hidráulica disponible o de los desniveles del terreno, es necesario utilizar dispositivos de aforo que reúnan las características mencionadas anteriormente y sobre todo que sean hidráulicamente eficientes, es decir, que para funcionar adecuadamente, la pérdida de carga sea la mínima.

En la mayoría de las estaciones hidrométricas del país se aplica el método denominado sección-velocidad para calcular el gasto que pasa por la sección de un río, el cual es utilizado para diferentes fines como riego, agua potable, generación de energía eléctrica, etc. Por las diferentes condiciones que se presentan en cada estación, es importante unificar criterios que ayuden a aplicar adecuadamente la metodología en la aplicación de aforos.

3.1.9.4.2 Estaciones hidrométricas en la región Lerma-Santiago

Conforme a la información proporcionada por las Gerencias Estatales de la Comisión Nacional del Agua, en la región se reportan 282 estaciones; de las cuales 42 se encuentran operando y en buen estado; 152 requieren reparación menor; 20 requieren de mantenimiento mayor; y 68 no operan, principalmente por el deterioro en el que se encuentran.

Se efectúan mediciones con molinetes al menos una vez al día, y con mayor regularidad se miden las escalas en los ríos, en algunos casos existen limnógrafos que permiten la medición continua de niveles del río. Los datos son registrados en formatos que se recolectan con intervalos de uno a doce meses. Posteriormente, la información debe ser capturada en un sistema de cómputo para efectuar el cálculo hidrométrico, proceso que sufre muchos retrasos.

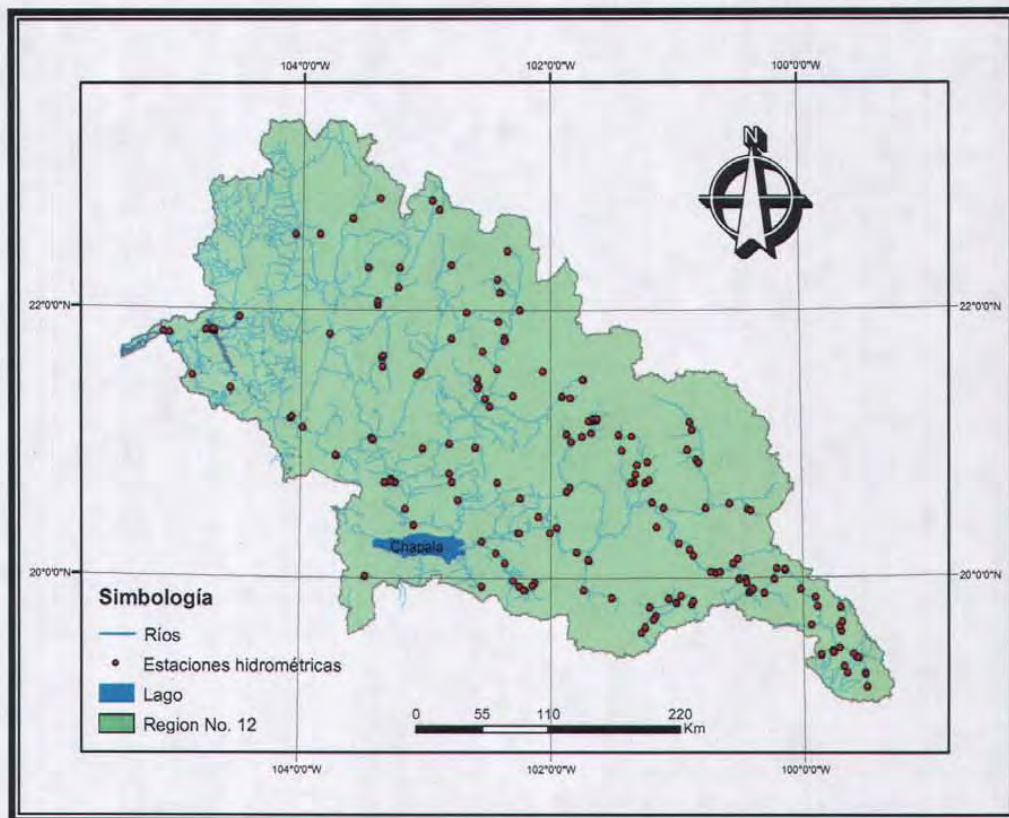


Figura 3.8 Red Hidrométrica en la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago

3.2 Datos disponibles

Como se mencionó en el capítulo anterior, para que el análisis probabilístico produzca resultados útiles se debe de tener una serie de datos significativos, adecuados y precisos. La mayoría de los casos de crecientes están relacionados con caudales picos y la serie de datos consistirá de una selección de caudales picos observados.

En 1996 el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión Nacional del Agua (CNA) editaron el Banco Nacional de Aguas Superficiales (Bandas), el cual contiene los datos hidrométricos de 1609 estaciones a lo largo de todo el país actualizados a 1994. Para 2000, el mismo IMTA liberó la segunda versión del Bandas, la cual contiene información de escurrimientos actualizada a 1999.

Una recopilación de gastos máximos anuales en las Gerencias Regionales y Estatales de la misma CNA permitió extender la base de datos, y actualmente se tienen los datos actualizados hasta el año 2003 pero no se han publicado de manera oficial por parte del IMTA, ya que algunos datos están en el proceso de corroboración por parte de la CNA.

En este trabajo se tomaron los datos de gastos máximos actualizados hasta el año 2003 de las estaciones hidrométricas ubicadas dentro de la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago.

Las estaciones hidrométricas dentro de esta Región Hidrológica que presenta el Bandas son un total de 386. A pesar del gran número de estaciones ya muchas han dejado de operar incluso han desaparecido. Algunas otras están ubicadas sobre corrientes artificiales como son canales y muchas otras están situadas aguas abajo de las cortinas de algunas presas, y sólo unas cuantas miden los caudales sobre las corrientes de ríos perennes.

De las 386 estaciones hidrométricas dentro de la Región, únicamente se trabajará con aquellas que están ubicadas sobre los ríos principales así como en corrientes tributarias naturales que los alimentan.

El número se reduce a 186 estaciones hidrométricas ubicadas sobre corrientes naturales. Y sobre las series de tiempo medidas en estas estaciones se hará el análisis de frecuencias de gastos máximos, ya que las estaciones ubicadas sobre canales reportan valores de gastos máximos desproporcionados en comparación a las que operan sobre corrientes naturales intermitentes.

A continuación se enlistan las estaciones hidrométricas que se emplearon en el desarrollo de este trabajo:

No.	Clave	Nombre	Area Km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de registro
1	12004	LA PIEDAD	35662.0	RIO LERMA	20.3417	-102.0167	1902-1942,2000-2002
2	12007	SALAMANCA	21846.0	RIO LERMA	20.3833	-101.1667	1922-1939,1993-2002
3	12011	PUNTE INGENIEROS	2318.0	RIO DUERO	20.1917	-102.4417	1928-1936
4	12014	PASARELA VILLA JIMENEZ	1417.0	RIO ANGULO	19.9167	-101.7458	1969-1988,1995-2002
5	12067	EMENGUARO	9277.0	RIO LERMA	20.1708	-100.8750	1928-1935,1970-2002
6	12093	ZINZIMEO	546.0	RIO QUERENDARO	19.8708	-100.9764	1929-1939
7	12095	YURECUARO	12095.0	RIO LERMA	20.3417	-102.2708	1922-1959
8	12096	CASA BLANCA	169.0	ARROYO CASA BLANCA	19.8944	-100.4353	1923-1936
9	12098	ANGAMACUTIRO	2064.0	RIO ANGULO	20.1319	-101.7042	1955-1972
10	12104	ACAMBARO	8706.0	RIO LERMA	20.0500	-100.7333	1922-1968
11	12113	MOLINOS DE CABALLERO	5352.0	RIO LERMA	20.0694	-100.2144	1922-1928
12	12117	MARAVATIO	465.0	ARROYO CACHIVI	19.9000	-100.4222	1929-1936
13	12128	CORONA	47386.0	RIO SANTIAGO	20.3961	-103.1017	1926-2002
14	12194	OJUELOS	10422.0	RIO LERMA	20.2625	-100.9875	1928-1942
15	12209	EL TAMBOR	5645.0	RIO LERMA	19.9944	-100.2375	1927-1999
16	12210	VERTEDOR POTRERILLOS	313.0	RIO PABELLON	22.2347	-102.4353	1927-1936
17	12213	PUNTE F.C. CHICALOTE	1518.0	RIO CHICALOTE	22.0061	-102.2542	1927-1933,1970
18	12218	EL AGUILA	558.0	RIO SANTIAGO	22.1364	-102.4100	1927-1935
19	12219	COINTZIO	490.0	RIO GRANDE DE MORELIA	19.6417	-101.2583	1927-1940,2000-2002
20	12221	ATAPANEO	912.0	RIO GRANDE DE MORELIA	19.7250	-101.1764	1927-1993,2000-2001
21	12224	CHIQUITO	78.0	RIO CHIQUITO	19.6958	-101.1903	1927-1989
22	12227	TIZCARENO	192.0	RIO MORCINIQUE	21.9208	-102.4250	1927-1933
23	12232	PASO DE OVEJAS	7161.0	RIO LERMA	19.9917	-100.4569	1928-1951,1988-1992
24	12233	CORRALES	34153.0	RIO LERMA	20.1958	-101.8042	1930-1999
25	12234	BRISENAS	38498.0	RIO LERMA	20.2750	-102.5583	1928-1931
26	12237	MUNGUIA (ZATEMAYE)	673.0	RIO TIGRE	20.1111	-100.5597	1928-1949
27	12238	PERICOS	9651.0	RIO DE LA LAJA	20.5250	-101.1083	1928-2002

No.	Clave	Nombre	Area Km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de registro
28	12239	SAN PEDRO PIEDRA GORDA	410.0	RIO SAN PEDRO	22.4458	-102.3508	1928-1958
29	12249	PATEO	485.0	RIO TLALPUJAHUA	19.8903	-100.3167	1928-1936
30	12257	TARANDACUAO	267.0	ARROYO TARANDACUAO	19.9944	-100.5125	1929-1948
31	12258	LAVADEROS	1290.0	RIO GRANDE DE MORELIA	19.8486	-101.0722	1929-1938
32	12268	EXCAME I	743.0	RIO TLALTENANGO	21.6511	-103.3575	1930-1949
33	12271	PALMITOS	558.0	RIO SANTIAGO	22.1375	-102.4122	1931-1942
34	12278	ATOYAC	157.0	RIO ATOYAC	20.0167	-103.4833	1942-2002
35	12310	LA ESTANZUELA	2198.0	RIO DUERO	20.1167	-102.3708	1936-1999
36	12314	QUERENDARO	133.0	RIO QUERENDARO	19.8117	-100.8894	1936-1985,1995-1996
37	12315	CALERA	279.0	RIO TEOCALTICHE	21.4903	-102.5958	1936-1954
38	12323	SALIDAS DE MALPAIS	335.0	RIO QUERENDARO	19.8319	-100.8756	1960-1985,2000-2002
39	12331	EL PUEBLITO	420.0	RIO DEL PUEBLITO	20.5125	-100.4375	1949-1951
40	12338	SAN ANTONIO GUARACHA	73.0	ARROYO LAS LIEBRES	19.9458	-102.5583	1938-1943
41	12341	SALIDA TUNEL	486.0	RIO GRANDE DE MORELIA	19.6333	-101.2592	1940-1992
42	12344	PLATANAL	1243.0	RIO DUERO	19.9417	-102.2583	1938-1942
43	12347	SANTIAGO UNDAMEO	388.0	RIO GRANDE DE MORELIA	19.6014	-101.2881	1939-1985
44	12349	SOLIS	8358.0	RIO LERMA	20.0500	-100.6667	1939-1958,2000-2002
45	12352	SALAMANCA II	22033.0	RIO LERMA	20.5667	-101.2000	1939-1998
46	12355	AGOSTADERO	354.0	RIO SAN MATIAS	21.3639	-102.3083	1940-1979
47	12358	AJOJUCAR	6597.0	RIO AGUASCALIENTES	21.5633	-102.4394	1939-2002
48	12359	EL SALTO	48541.0	RIO SANTIAGO	20.5167	-103.1694	1950-1985,1995
49	12361	YAGO	122767.0	RIO SANTIAGO	21.8208	-105.0722	1940-1963
50	12365	EL SALTO	489.0	RIO GRANDE DE MORELIA	19.6375	-101.2597	1941-2002
51	12369	CUARENTA	1652.0	RIO DE LAGOS	21.4847	-101.7458	1941-1965,1998-1999
52	12370	SAN GASPAR	4390.0	RIO DE LAGOS	21.2847	-102.4972	1941-2002
53	12371	VALLE DE GUADALUPE	394.0	RIO DEL VALLE	20.9806	-102.6097	1941-1988,1994-1995
54	12373	SAN BARTOLO	1346.0	RIO LERMA	19.3978	-99.5742	1942-1970
55	12374	LA "Y"	1582.0	RIO LERMA	19.4061	-99.5894	1942-2001
56	12375	TEMASCALES	5275.0	RIO LERMA	20.0583	-100.1500	1942-2002
57	12376	SALVATIERRA	9305.0	RIO LERMA	20.2167	-100.9042	1942-2002
58	12377	OTZOLOTEPEC	212.0	RIO OTZOLOTEPEC	19.4000	-99.5764	1942-1999
59	12378	PRESA CALLES	558.0	SALIDAS PRESA	22.1383	-102.4139	1942-1985,2000-2001
60	12379	JACONA	126.0	RIO CELIO	19.9833	-102.3042	1942-2002
61	12382	PASO DEL SABINO	10559.0	RIO AGUASCALIENTES	21.3406	-102.5350	1964-2002
62	12386	ATENCO	406.0	RIO LERMA	19.1819	-99.5125	1942-1960,1971-1985
63	12387	PUENTE CARRETERA I	888.0	RIO LERMA	19.2861	-99.5236	1949-1963
64	12388	PUENTE FERROCARRIL	886.0	RIO LERMA	19.2833	-99.5236	1942-1949
65	12389	EL NIAGARA I	5774.0	RIO AGUASCALIENTES	21.7889	-102.3722	1955-1958
66	12391	LAS ADJUNTAS	2913.0	RIO TURBIO	20.6792	-101.8542	1943-2002
67	12392	PUENTE MEXTEPEC	387.0	RIO JALTEPEC	19.6500	-99.9417	1943-2001
68	12395	UREPETIRO	453.0	RIO TLAZAZALCA	19.9750	-102.1375	1943-1960,1971-1978
69	12396	CAMECUARO	1221.0	RIO DUERO	19.9167	-102.2125	1943-1985,2000-2002
70	12397	CAMECUARO	4.0	DESAGUE DEL LAGO	19.9167	-102.2167	1943-1985,1995-2002
71	12400	LAS JUNTAS	49834.0	RIO SANTIAGO	20.7167	-103.2500	1951-1988,1994-1999
72	12405	EL TECOMATE	5775.0	RIO JUCHIPILA	21.5431	-103.0500	1948-1997
73	12411	LA CALZADA	357.0	RIO DE LOS GOMEZ	21.0875	-101.6833	1945-1956
74	12415	PUENTE SAN ISIDRO	257.0	RIO DE LA PATERA	19.8583	-101.5250	1947-1992
75	12418	LOS CASTILLOS	128.0	ARROYO LOS CASTILLOS	21.1750	-101.6792	1947-2001
76	12422	CUARENTA II	1703.0	RIO DE LAGOS	21.4889	-101.7528	1965-2002

No.	Clave	Nombre	Area Km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de registro
77	12423	PUENTE ATLACOMULCO	4436.0	RIO LERMA	19.7889	-99.8931	1947-1999
78	12428	BOLAÑOS	11900.0	RIO BOLAÑOS	21.8250	-103.7833	1947-2002
79	12436	LAS AMERICAS	528.0	RIO GUANAJUATO	20.8500	-101.3167	1958-1989
80	12438	LA YESCA	84559.0	RIO SANTIAGO	21.1931	-104.0903	1948-2002
81	12451	PUENTE CARRETERA II	885.0	RIO LERMA	19.2792	-99.5236	1963-1985,1995-1999
82	12452	ACHOQUEN	142.0	SALIDAS PRESA	21.5214	-103.0764	1950-1973
83	12454	LAGOS	2397.0	RIO DE LAGOS	21.3625	-101.9139	1950-2002
84	12456	PEÑUELITAS	395.0	RIO DE LA ERRE	21.1083	-100.8792	1950-1959
85	12466	JERECUARIO	600.0	RIO TIGRE O CORONEO	20.1417	-100.5222	1951-2002
86	12469	CUIXTLA	854.0	RIO CUIXTLA	21.0500	-103.4389	1951-2002
87	12470	HUAYNAMOTA	17528.0	RIO HUAYNAMOTA	21.8431	-104.7111	1951-1958
88	12471	SAN CRISTOBAL	80336.0	RIO SANTIAGO	21.0486	-103.4431	1951-1959,1995-1999
89	12472	ARCEDIANO	70339.0	RIO SANTIAGO	20.7417	-103.2806	1951-1981,1989
90	12473	SANTA ROSA	82352.0	RIO SANTIAGO	20.9139	-103.7181	1951-1979,1995-1997
91	12474	EL SAUZ	103367.0	RIO SANTIAGO	21.8353	-104.7092	1951-1956
92	12479	GUANAJAL	293.0	RIO PEDRITO	21.0792	-101.8792	1953-1970
93	12484	EL PLATANITO	5796.0	RIO SAN JUAN CAPISTRANO	22.5681	-104.0631	1954-2002
94	12485	EL ZAPOTE	2553.0	RIO TLALTENANGO	22.0483	-103.3994	1954-2002
95	12487	LA FLORIDA	1793.0	RIO VALPARAISO	22.6864	-103.6036	1954-2002
96	12488	LA GLORIA	3105.0	RIO COLOTLAN	22.0681	-103.3956	1954-2002
97	12489	TEOCALTICHE	306.0	RIO TEOCALTICHE	21.4417	-102.5800	1954-1964
98	12490	SAN NICOLASITO	6360.0	RIO LERMA	19.9194	-100.4061	1954-1971
99	12496	CAPOMAL	122960.0	RIO SANTIAGO	21.8250	-105.1181	1955-2003
100	12499	LA PATIÑA	91.0	ARROYO LA PATIÑA	21.1750	-101.7000	1955-1988
101	12504	LA CUNA	19097.0	RIO VERDE	21.0053	-102.8211	1947-2002
102	12505	ACHIMEC I	390.0	RIO TEPETONGO	22.3242	-103.2233	1966-1970
103	12506	BRANIFF	8611.0	RIO LERMA	20.0417	-100.6958	1956-1990
104	12507	DESPEÑADERO	120897.0	RIO SANTIAGO	21.8431	-104.7208	1956-1972
105	12508	BOQUILLA TENASCO	151.0	RIO CHICO	22.1722	-103.2292	1957-1961
106	12512	SILAO	372.0	RIO SILAO	20.9583	-101.4417	1957-1974,1980-1991
107	12513	VERTEDOR CASTILLOS	128.0	ARROYO LOS CASTILLOS	21.1944	-101.6667	1970-1982
108	12514	EL CAIMAN	14755.0	RIO BOLAÑOS	21.2014	-104.0806	1948-2002
109	12516	MOLOLOA	443.0	RIO TEPIC	21.5028	-104.8792	1958-1988,1994-2002
110	12517	CONTROL	742.0	EXTRACCIONES P. ALEMÁN	21.6500	-103.3644	1958-1967
111	12520	HUAYNAMOTA II	17125.0	RIO HUAYNAMOTA	21.8542	-104.7153	1958-1991
112	12521	SANTA ROSA II	82359.0	RIO SANTIAGO	20.9222	-103.7264	1958-2002
113	12522	EL NIAGARA II	5773.0	RIO AGUASCALIENTES	21.8014	-102.3750	1958-1961
114	12525	EL TULE	325.0	RIO TULE	20.7167	-102.4333	1959-1970
115	12526	YURECUARO II	36176.0	RIO LERMA	20.3375	-102.2583	1959-2002
116	12527	IBARRILLA	84.8	ARROYO IBARRILLA	21.1833	-101.6417	1971-1981
117	12532	SAN CRISTOBAL II	71783.0	RIO SANTIAGO	21.0389	-103.4292	1960-2002
118	12533	UREPETIRO II	479.0	RIO TLAZAZALCA	19.9500	-102.1542	1960-1985,1995-1999
119	12534	ATOTONILCO II	506.0	RIO LA GAVIA	19.4528	-99.7764	1965-2002
120	12535	CINCO SEÑORES	408.0	ARROYO SAN DAMIAN	20.9583	-100.9167	1960-1994,2000-2002
121	12539	SAN BERNABE	2142.0	RIO LERMA	19.4728	-99.7200	1995-2002
122	12540	LA VILLITA (EXCEDENCIAS P. LA VILLITA)	208.0	ARROYO LA VILLITA	21.5833	-103.3525	1960-2002
123	12541	LA RED	204.0	RIO CALDERON	20.7194	-102.7986	1961-1965
124	12543	CALIXTLAHUACA	225.0	RIO TEJALPA	19.3389	-99.6875	1961-2002
125	12545	EL NIAGARA III	5780.0	RIO AGUASCALIENTES	21.7792	-102.3750	1961-1979,1987-1990,2000

No.	Clave	Nombre	Area Km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de registro
126	12546	GONZALEZ	120.0	ARROYO TLAXCALILLA	20.8875	-100.8458	1961-1968
127	12556	CERRO BLANCO	196.0	RIO MOJARRAS	21.4150	-104.5728	1962-2002
128	12557	CUQUIO	64.0	RIO GIGANTES	20.9736	-103.0333	1962-1965
129	12558	EL BATAN	399.0	RIO DEL PUEBLITO	20.5042	-100.4167	1962-2002
130	12559	LAGUNILLAS	265.0	RIO TEPATITLAN	20.7861	-102.8194	1962-1972
131	12561	TEMASCALCINGO	4851.0	RIO LERMA	19.9144	-100.0208	1962-1999
132	12562	LA TRINIDAD	267.0	ARROYO TEMASCATIO	20.7167	-101.2542	1962-1970
133	12563	SAN JUANICO	100.0	RIO SANTA MONICA	21.6958	-102.5528	1972-1976
134	12568	EL TEJOCOTE	205.0	RIO CHIQUITO	19.8561	-99.9103	1962-2001
135	12570	LA CODORNIZ	173.0	RIO LA LABOR	21.9889	-102.6833	1963-2001
136	12573	LA EXPERIENCIA	217.0	RIO SAN JUAN DE DIOS	20.7167	-103.3333	1963-1999
137	12574	LOS VELAZQUEZ	35.0	RIO EL ROSARIO	19.4194	-99.8667	1963-2002
138	12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	163.0	RIO LA GAVIA	19.4242	-99.8681	1963-2002
139	12579	EL PINITO	190.0	RIO HUEJUQUILLA	22.5667	-103.8667	1964-2002
140	12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	175.0	RIO SILA	19.6000	-99.7097	1964-2002
141	12585	CALERITA	284.0	RIO TEOCALTICHE	21.4250	-102.5931	1964-2002
142	12588	EL PLAN	1270.0	RIO GRANDE DE MORELIA	19.8194	-101.0111	1966-2002
143	12589	HUASCATO	312.0	RIO HUASCATO	20.5972	-102.2528	1964-2002
144	12592	SANTA MARIA DEL LLANO	378.0	RIO SANTO DOMINGO	19.6333	-99.7222	1964-2002
145	12601	EL PESCADO NUMERO 2	36.0	RIO EL PESCADO	19.7792	-99.7125	1965-1999
146	12602	BOCA DEL TESORERO	467.0	RIO JEREZ	22.8253	-102.9578	1965-1974
147	12604	ROSALES	109.0	ARROYO ROSALES	22.7578	-102.9036	1965-1969
148	12605	TEMASCALES II	5275.0	RIO LERMA	20.0625	-100.1514	1966-1999
149	12606	SANTA ANA	313.0	ARROYO DE LOS OCOTES	20.3792	-101.9583	1965-1969
150	12607	LA YERBABUENA	484.0	RIO DE LOS MORALES	20.5833	-102.7500	1965-1995
151	12608	LOS FRESNOS	31.0	RIO ANDAMACUARO	20.4583	-102.1042	1965-1977
152	12615	PALOMAS (SALIDAS PRESA PALOMAS)	348.0	RIO PALOMAS	22.3450	-102.8069	1966-2002
153	12618	LOS GOMEZ	656.0	RIO DE LOS GOMEZ	21.0619	-101.7586	1979-1992
154	12620	TARIMBARO	95.0	ARROYO GUADALUPE	19.7894	-101.2236	1966-1985
155	12627	PASARELA SOLIS	8538.0	RIO LERMA	20.0500	-100.6667	1967-2001
156	12629	BOYICHA	250.0	RIO SANTO DOMINGO	19.6708	-99.7000	1967-1970
157	12652	LA BEGOÑA	4981.0	RIO DE LA LAJA	20.8625	-100.8292	1939-1965
158	12655	ATOTONILCO I	503.0	RIO LA GAVIA	19.4436	-99.7736	1960-1965
159	12663	EXCAME II Y III (SOBRANTES P. ALEMAN)	753.0	RIO TLALTENANGO	21.6611	-103.3486	1950-2002
160	12664	EL GIGANTE	7121.0	RIO LERMA	19.9667	-100.4500	1970-2002
161	12667	SAN ISIDRO (EXCEDENTES P. SAN ISIDRO)	414.0	ARROYO LOBATOS	22.8381	-103.3803	1969-2000
162	12668	SANTA TERESA	379.0	ARROYO SANTA TERESA	22.3228	-103.4767	1969-1982,1989-1994
163	12669	MEDIA LUNA	1029.0	RIO CALVILLO	21.7931	-102.8069	1970-2001
164	12673	GUANAJAL II	606.0	RIO PEDRITO	21.0208	-101.8417	1970-1992
165	12693	EL CARRIZAL	121220.0	RIO SANTIAGO	21.8422	-104.7747	1962-1990
166	12700	ACHIMEC II	391.0	RIO TEPETONGO	22.3231	-103.2233	1969-1997
167	12713	ANGAMACUTIRO II	2064.0	RIO ANGULO	20.1375	-101.7083	1955-1987,1995-1999
168	12715	PUENTE DOLORES	1711.0	RIO DE LA LAJA	21.1669	-100.8997	1972-2002
169	12716	IBARRILLA II	80.1	ARROYO IBARRILLA	21.1944	-101.6375	1972-1982
170	12717	EL CHAPIN	226.0	RIO LA SAUCEDA	20.8714	-101.2356	1974-2002
171	12718	AMECHE	2255.0	RIO QUERETARO	20.5583	-100.5875	1974-2002
172	12719	TRES GUERRAS	5849.0	RIO DE LA LAJA	20.5208	-100.7722	1974-2002
173	12729	TROJES	74.0	RIO TEMOAYA	19.4283	-99.6119	1974-2001
174	12733	CHAPALAGANA	11878.0	RIO CHAPALAGANA	21.9450	-104.5081	1974-2002

No.	Clave	Nombre	Area Km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de registro
175	12738	UNIVERSIDAD	51.0	RIO VERDIGUEL	19.2833	-99.6683	1976-1983
176	12743	SAN JUAN TEMASCATIO	251.0	ARROYO TEMASCATIO	20.7333	-101.2242	1977-1999
177	12744	COPALILLO	646.0	RIO GUANAJUATO	20.7217	-101.3467	1976-2002
178	12748	EL SAUZ	67.0	ARROYO ZARCO	20.7772	-101.3331	1977-1989
179	12757	PASO DE ANALCO	84258.0	RIO SANTIAGO	21.1222	-103.9903	1962-1989
180	12758	EL COLORADO	295.0	ARROYO COLORADO	20.6500	-101.8825	1977-2002
181	12760	SAUCES CHICOS	704.0	RIO ENCARNACION	21.5500	-102.0667	1977-1990
182	12761	LA YERBABUENA	18.6	ARROYO LA YERBABUENA	21.0625	-101.3636	1980-1989
183	12762	EL TIGRE	24.7	ARROYO EL TIGRE	21.0714	-101.4633	1979-1989
184	12764	ATEMAJAC	151.0	ARROYO ATEMAJAC	20.7236	-103.2881	1974-1979, 1986-2002
185	12767	LA SAUCEDA	117.0	RIO DE LA SAUCEDA	21.3514	-101.8511	1978-2002
186	12908	ARANDAS	2123.0	RIO DE LA LLAVE	20.7125	-101.3708	1974-2002

Tabla 3.1 Estaciones Hidrométricas (186) utilizadas para el análisis.

Geográficamente quedan representadas como se aprecia en la figura siguiente. Si se requiere mayor detalle, se puede consultar el apéndice A que contiene la ubicación de las estaciones hidrométricas localizadas por subcuena.

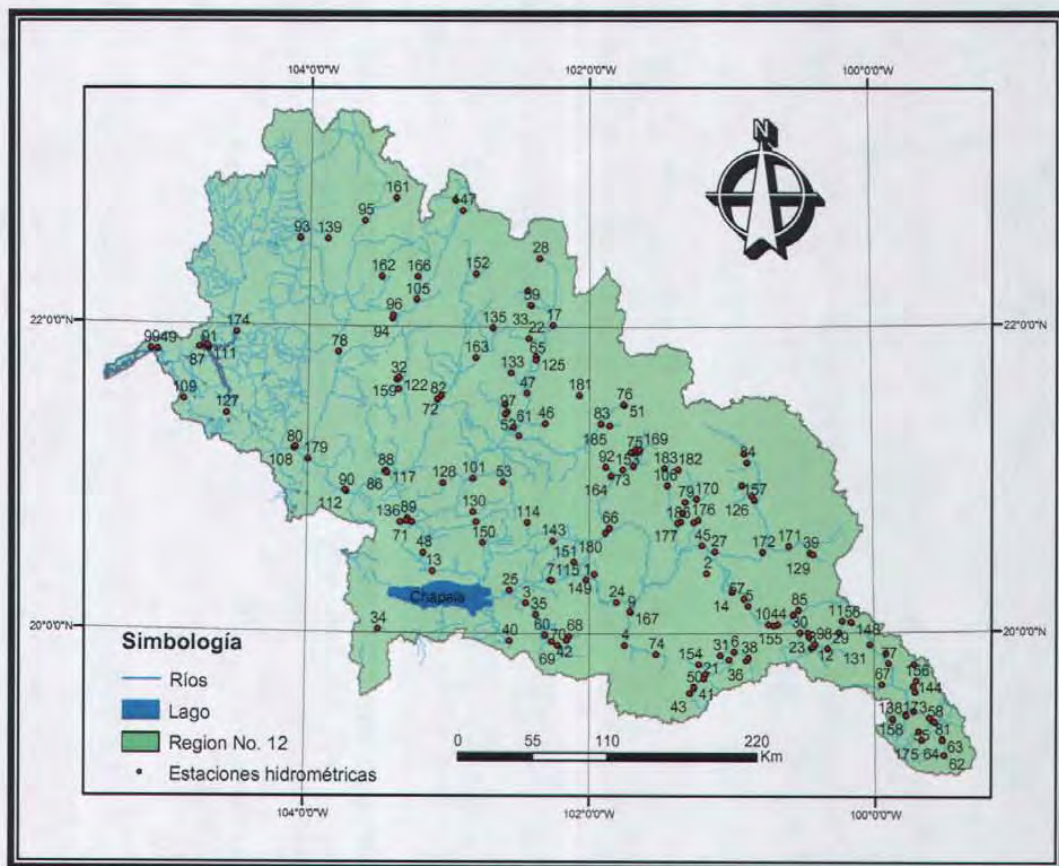


Figura 3.9 Ubicación de las estaciones en estudio dentro de la Región Hidrológica No. 12.

Capítulo 4 Evolución histórica de las envolventes y pronóstico probabilístico de gastos máximos

4.1 Actualización de las envolventes

Con el fin de establecer una comparación con los valores presentados en diferentes estudios sobre las envolventes en la región Lerma-Santiago, se determinaron las envolventes de Creager y Lowry. Adicionalmente se aplicó la formulación propuesta por Francou- Rodier (1967) para ver su comportamiento en regiones mexicanas, ya que esta fórmula surgió en la aplicación a regiones europeas.

Primeramente se determinaron los valores de los coeficientes de cada fórmula. El valor del coeficiente de Creager (C_c) se obtiene a partir de la ecuación 2.17 que representa la curva envolvente de Creager, resultando ser:

$$C_c = \frac{Q}{1.303(0.386A)^{\frac{0.936}{A^{0.048}}}} \quad (4.1)$$

Donde: C_c = coeficiente de Creager
 Q = gasto máximo en m^3/s
 A = área de la cuenca en Km^2

El gasto máximo así como el área de la cuenca son datos conocidos, por lo que se pueden obtener los valores de los coeficientes de cada una de las estaciones hidrométricas.

El procedimiento consistió en sustituir los valores del gasto máximo anual y del área drenada de cada una de las estaciones para encontrar el máximo valor del coeficiente, que será el que determine la curva envolvente.

Para el caso del coeficiente de Creager se encontró que el máximo valor corresponde a la estación "12543-Calixtlahuaca" con valor del gasto máximo de $Q = 912.56 \text{ m}^3/\text{s}$ presentado en el año 2000, y un área de $A = 225 \text{ Km}^2$. Estos datos arrojan un valor del coeficiente de Creager de $C_C = 27.929$.

De manera similar se procedió para determinar la envolvente de Lowry. Partiendo de la ecuación 2.19 se despeja el coeficiente C_L , y la expresión es:

$$C_L = \frac{Q(A + 259)^{0.85}}{A} \quad (4.2)$$

Donde: C_L = coeficiente de Lowry
 Q = gasto máximo en m^3/s
 A = área de la cuenca en Km^2

Para esta envolvente los datos que dieron origen al valor máximo se presentaron en la estación "12520-Huaynamota II", con un gasto máximo ocurrido en el año de 1990 de $Q = 5,205.007 \text{ m}^3/\text{s}$ y un área de $A = 17,125 \text{ Km}^2$. Estos datos originan un valor del coeficiente de Lowry de $C_L = 1,221.569$.

Con la finalidad de observar la aplicabilidad de la fórmula de Francou-Rodier a regiones mexicanas, se determinó su coeficiente máximo en la región estudiada para compararla con las dos fórmulas anteriores y emitir comentarios acerca de su comportamiento en el ajuste a los datos registrados.

La fórmula que determina el coeficiente de la fórmula envolvente de Francou-Rodier está dada por la ecuación 2.21, vista en el capítulo 2, y es:

$$K = 10 \left[1 - \frac{\log Q - 6}{\log A - 8} \right]$$

Donde: K = coeficiente de Francou-Rodier
 Q = gasto máximo, en m^3/s
 A = área de la cuenca, en Km^2

La determinación del máximo coeficiente K la originó la estación "12543-Calixtlahuaca" con valor del gasto máximo de $Q = 912.56 m^3/s$ presentado en el año 2000, y un área de $A = 225 Km^2$. Estos datos arrojan un valor del coeficiente de Francou-Rodier de $K = 4.6178$.

Al generar la gráfica de las envolventes anteriores se aprecia como cubren los datos históricos registrados en cada una de las estaciones hidrométricas dentro de la región. La figura 4.1 muestra las curvas envolventes generadas con los coeficientes máximos obtenidos anteriormente, siendo: $C_C = 27.9$, $C_L = 1,221$ y $K = 4.61$.

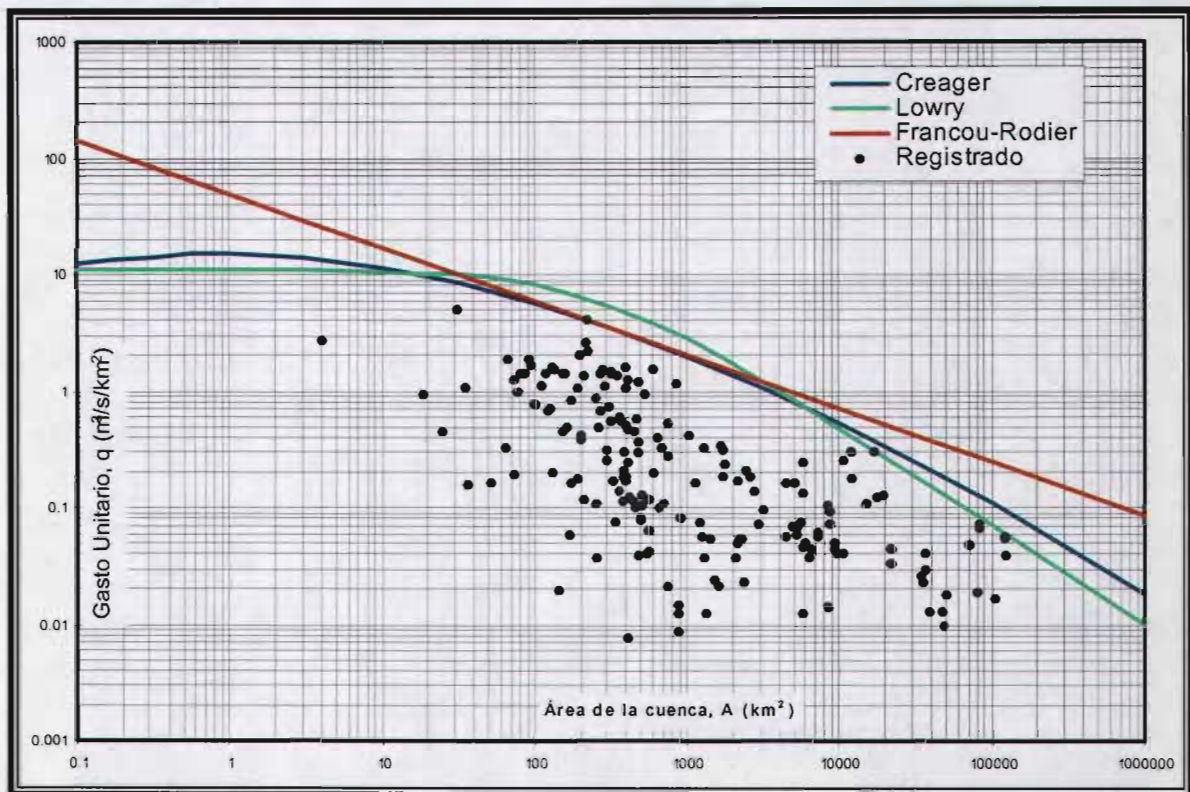


Figura 4.1 Gráfica de curvas envolventes de la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago.

4.2 Tendencia de las envolventes y pronóstico probabilístico de gastos máximos

Como se puede apreciar en el análisis anterior sobre la actualización de las curvas envolventes en la Región Hidrológica Lerma-Santiago, los coeficientes han variado un poco en los últimos 25 años. En esta parte del capítulo se estudiará su evolución histórica y su comportamiento probabilístico futuro, es decir, su tendencia en los próximos años en base a los coeficientes de las envolventes obtenidos a partir de los registros de gastos máximos anuales.

4.2.1 Procedimiento de cálculo

El trabajo empezó con la recopilación de la información de gastos máximos anuales registrados en las estaciones hidrométricas ubicadas en la Región de estudio. Para esto se consultó el banco de datos de aguas superficiales (Bandas, 1997) particularmente en el archivo que corresponde a los registros de gastos máximos anuales para cada una de las estaciones. Esta información anual fue complementada con los registros de gastos máximos a nivel mensual, ya que existen huecos en los registros anuales en muchos años en algunas estaciones debido a que el Bandas no reporta los datos anuales si el año en cuestión no contiene la información mensual completa, es decir, si en un año cualquiera no se tienen los 12 datos mensuales, el registro de gasto máximo para ese año no se reporta.

Pero en ocasiones resulta que hace sólo falta el dato de un mes por ejemplo febrero que corresponde a la época de secas, ya que los valores grandes del gasto se encuentran en el periodo de mayo a septiembre regularmente, entonces se considera el valor máximo del gasto para ese año, que aunque incompleto, se puede considerar bajo el criterio mencionado, y así se tiene un registro más completo de gastos máximos anuales para alimentar este estudio.

Una vez que se tuvieron las series completas por estación, se calcularon los coeficientes de las tres curvas envolventes descritas en el capítulo 2, mediante las ecuaciones 4.1, 4.2 y 2.21 que deducen el valor de los coeficientes de Creager, Lowry y Francou-Rodier respectivamente.

Posteriormente se obtuvieron los valores de los coeficientes máximos de todas las estaciones estudiadas para obtener los máximos de la región hidrológica, resultando ser los mencionados en la sección 4.1 de este capítulo, y son los que rigen las gráficas de las envolventes.

Para estimar los coeficientes que podrían presentarse en el futuro se graficaron los valores de los coeficientes en el tiempo para ver su comportamiento a lo largo de los periodos observados. Este proceso de graficación se llevó a cabo mediante dos criterios diferentes para llevar a cabo la estimación futura de los coeficientes. Al primero le llamaremos de ahora en adelante *Análisis Escalonado* y al segundo *Análisis Continuo*, los cuales se describen detalladamente a continuación.

4.2.2 Análisis Escalonado

Este proceso de estimación de los coeficientes de las tres envolventes estudiadas consiste en graficar los coeficientes presentados en cada una de las estaciones en el tiempo. La particularidad de este caso consiste en graficar los incrementos de los coeficientes solamente, es decir, se grafica el primer valor del coeficiente presentado en el primer año de observación, y si el siguiente es mayor también se grafica, en caso contrario, se conserva el primer valor hasta que aparezca uno mayor, por lo que se presentará una gráfica escalonada.

Un ejemplo de este caso se aprecia en la siguiente figura, para la estación "Corrales", con clave 12233 ubicada sobre el río Lerma. El primer valor del coeficiente de Creager es de 0.750 para el año de 1930, el siguiente es mayor para

1931 con 1.295; para 1932 es menor con 0.689 pero se grafica el valor anterior que es 1.295. El siguiente valor también es menor y se deja el mismo pero para 1934 aumenta a 1.690 por lo que se presenta un nuevo escalón.

Así sucesivamente se graficarán solamente los coeficientes que superen al valor anterior. La gráfica se mantiene constante al llegar al valor máximo, en este caso es para el año 1973 con un valor de 3.102, que es donde se presenta el gasto máximo histórico en esa estación.

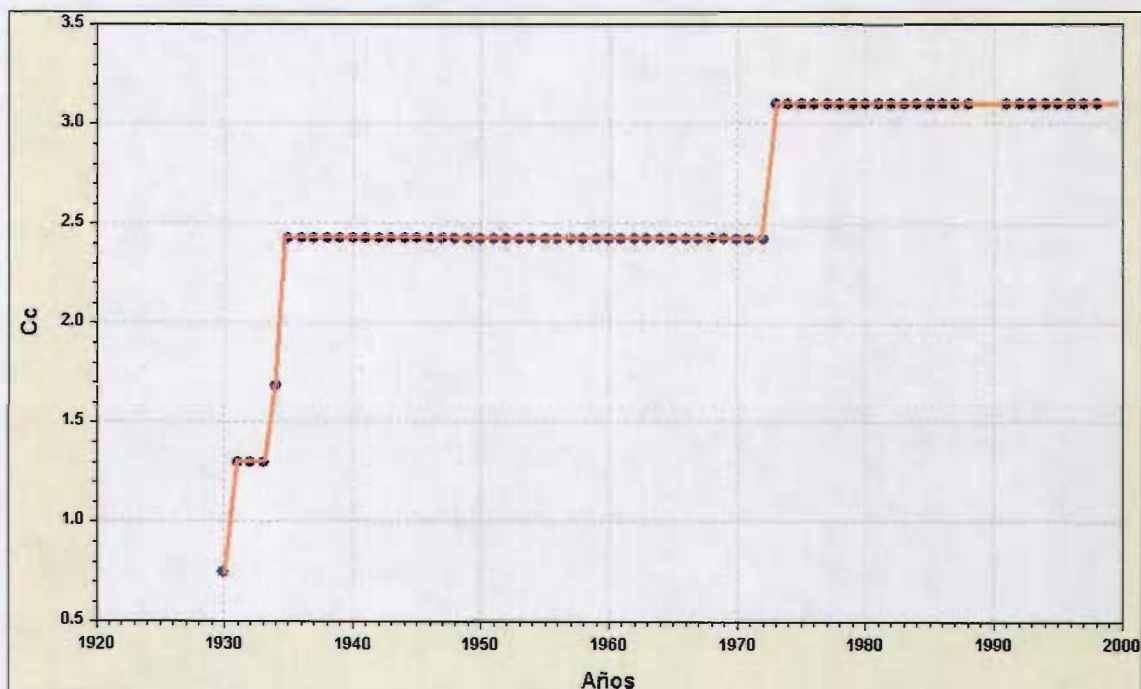


Figura 4.2 Coeficiente de Creager para la estación 12233

Para este primer caso de análisis escalonado para la estimación de los coeficientes futuros se hará un ajuste de tendencia lineal para cada una de las estaciones y para los tres coeficientes.

La línea de tendencia en esta estación presentó valores de los parámetros de $b = -38.071406$ y $m = 0.020707049$ con un coeficiente de correlación de $r = 0.8216668$.

De esta manera se puede hacer una estimación del valor del coeficiente de Creager para cualquier año mediante la ecuación del ajuste lineal con los parámetros obtenidos. El ajuste queda de la siguiente manera:

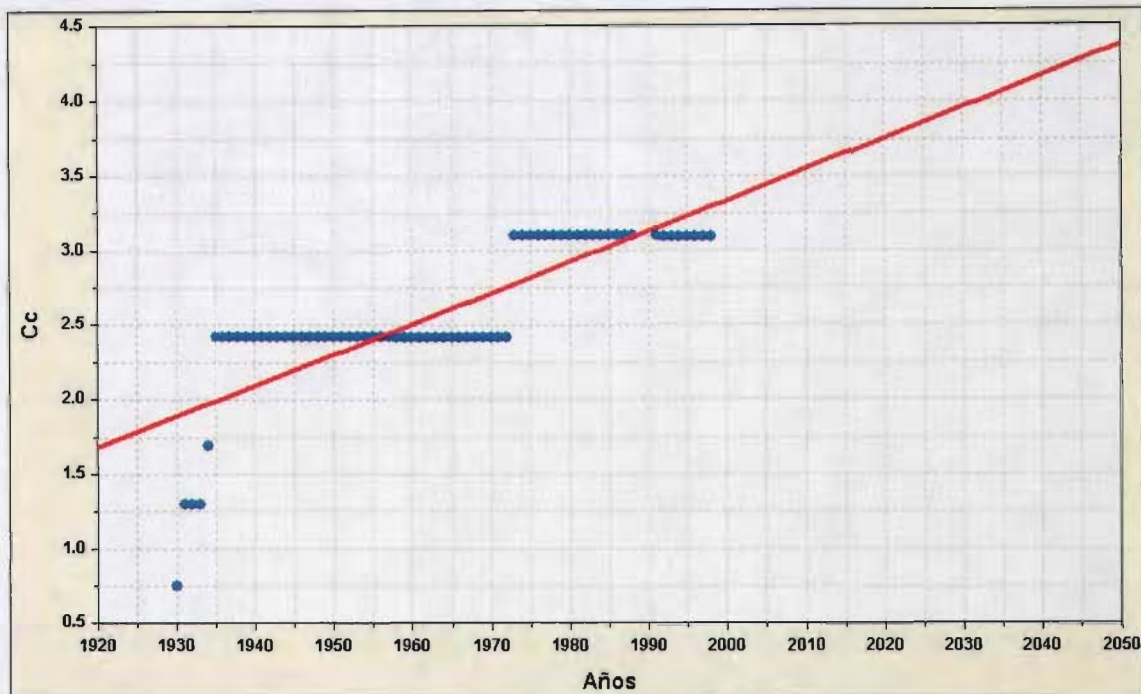


Figura 4.3 Ajuste lineal para el coeficiente de Creager para la estación 12233

La línea de ajuste marca la tendencia hasta el año 2050, y se espera un valor del coeficiente de $C_c=4.378$ lo que produciría un gasto máximo de $1238.08 \text{ m}^3/\text{s}$. El gasto máximo observado en esta estación es de $877.25 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año de 1973.

Otro ejemplo de este caso se aprecia en la siguiente figura para la estación "Acámbaro" con clave 12104 ubicada sobre el río Lerma. El primer valor es de 1.428 para el año de 1922, el siguiente es mayor para 1923 con 1.998; para 1924 es menor con 1.867 pero se grafica el valor anterior que es 1.998. Así sucesivamente se graficarán solamente los coeficientes que superen al valor anterior. La gráfica se mantiene constante al llegar al valor máximo, en este caso es para el año 1931 con un valor de 3.578, que es donde se presenta el gasto máximo histórico (figura 4.4).

La línea de tendencia en esta estación presentó valores de los parámetros de $b = -46.79016$ y $m = 0.02578$ con un coeficiente de correlación de $r = 0.700$.

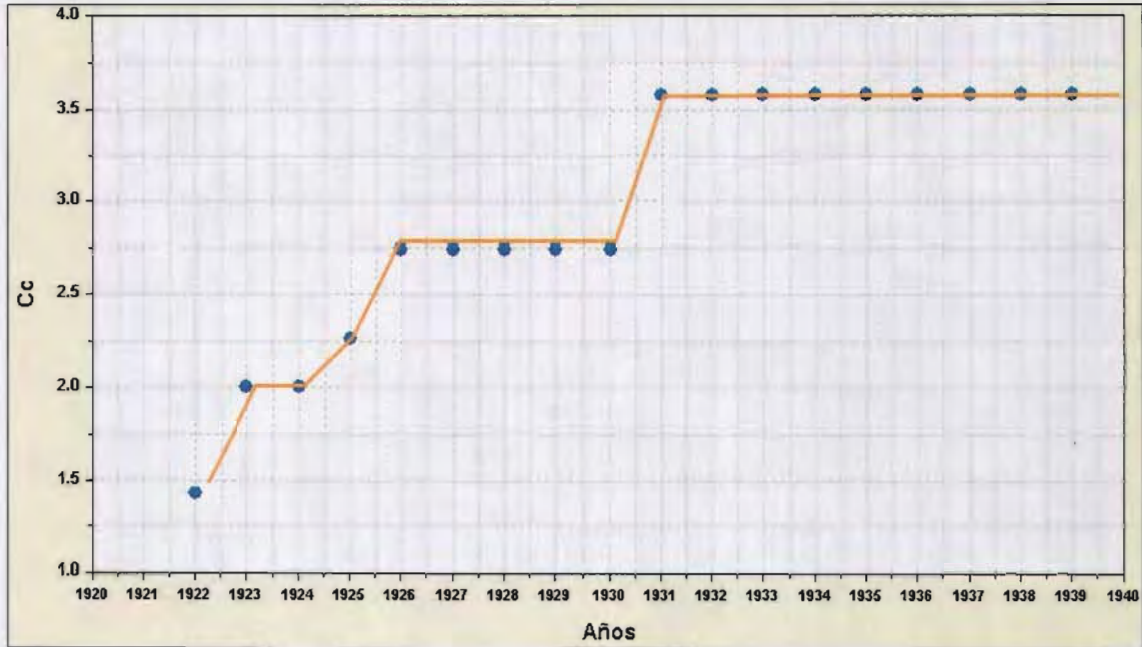


Figura 4.4 Coeficiente de Creager para la estación 12104

De esta manera se puede hacer una estimación del valor del coeficiente de Creager para cualquier año mediante la ecuación del ajuste lineal con los parámetros obtenidos. El ajuste queda de la siguiente manera:

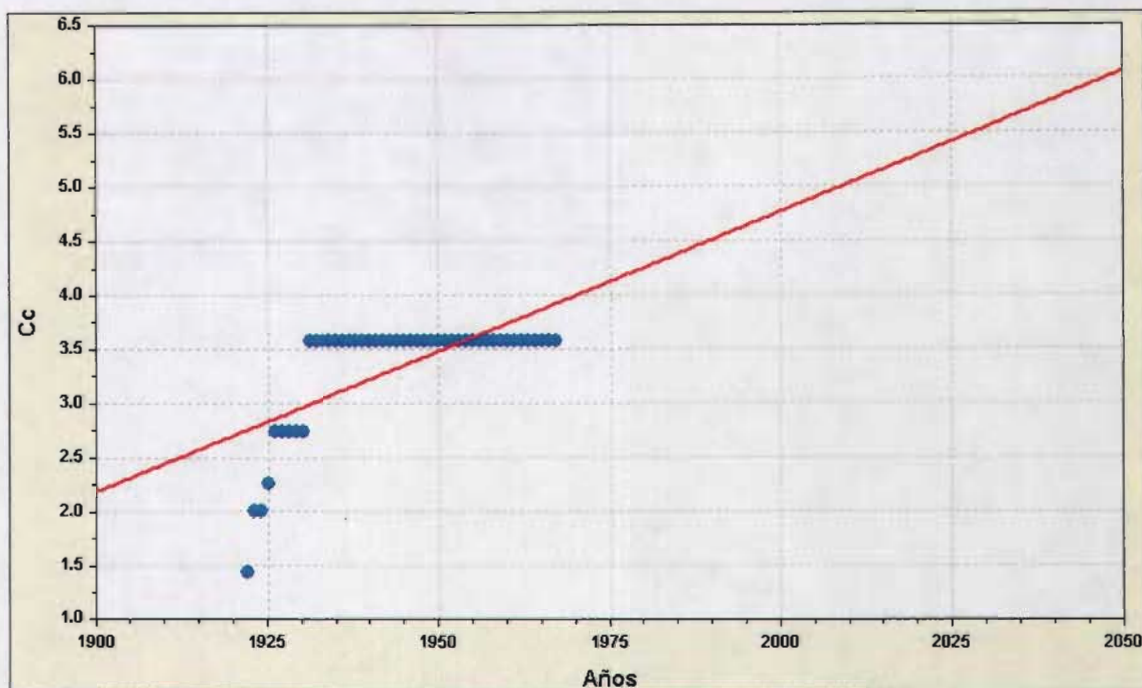


Figura 4.5 Ajuste lineal para el coeficiente de Creager para la estación 12104

La línea de ajuste marca la tendencia hasta el año 2050, y se espera un valor del coeficiente de $C_c=6.064$ lo que produciría un gasto máximo de $1079.44 \text{ m}^3/\text{s}$. El gasto máximo observado en esta estación es de $637.0 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año de 1931.

El mismo procedimiento se realizó al total de las estaciones estudiadas. El máximo coeficiente de Creager obtenido mediante el análisis lineal es de $C_c = 70.90273$. Los valores estimados de los coeficientes de Creager para cada una de las estaciones estudiadas se presentan en la tabla B.1 del apéndice B.

Para el caso del coeficiente de Lowry se aplica el mismo proceso a todas las estaciones y se lleva a cabo el ajuste lineal, tal como se aprecia en la figura siguiente:

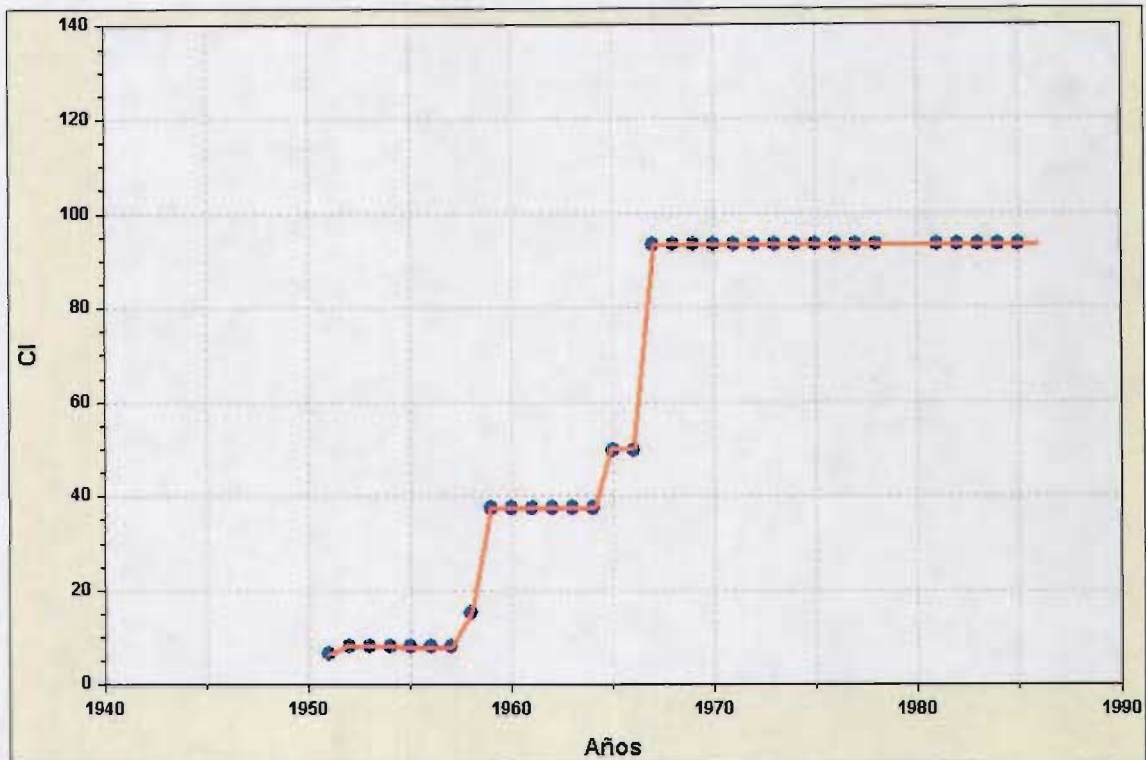


Figura 4.6 Coeficiente de Lowry para la estación 12359

La línea de tendencia en la estación “El Salto” con clave 12359 ubicada sobre el río Santiago, presentó valores de los parámetros de $b = -6386.8799$ y $m = 3.2770523$ con un coeficiente de correlación de $r = 0.91$.

De esta manera se puede hacer una estimación del valor del coeficiente de Creager para cualquier año mediante la ecuación del ajuste lineal con los parámetros obtenidos.

La línea de ajuste marca un valor del coeficiente de $C_c=331.07732$ para el año 2050 (Figura 4.7), lo que produciría un gasto máximo de $1662.96 \text{ m}^3/\text{s}$. El gasto máximo observado en esta estación es de $468.7 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año de 1967.

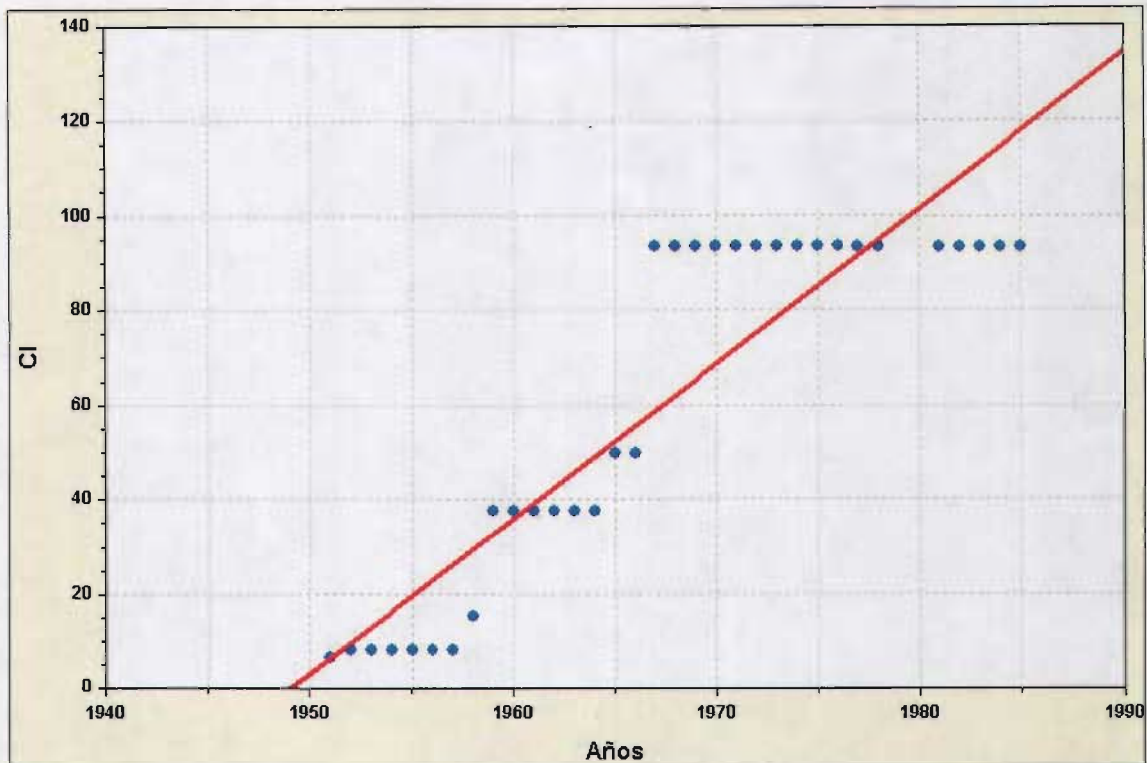


Figura 4.7 Ajuste lineal para el coeficiente de Lowry para la estación 12359

El mismo procedimiento se realizó al total de las estaciones estudiadas. El máximo coeficiente de Lowry obtenido mediante el análisis lineal es de $C_L = 3578.6909$. Los valores estimados de los coeficientes de Lowry para cada una de las estaciones estudiadas se presentan en la tabla B.2 del apéndice B.

También se muestra un ejemplo del coeficiente de Francou-Rodier para la estación "San Gaspar" con clave 12370 ubicada sobre el río Lagos, que de manera similar a los anteriores se realizó el ajuste lineal para la estimación de los valores de los coeficientes (figura 4.8).

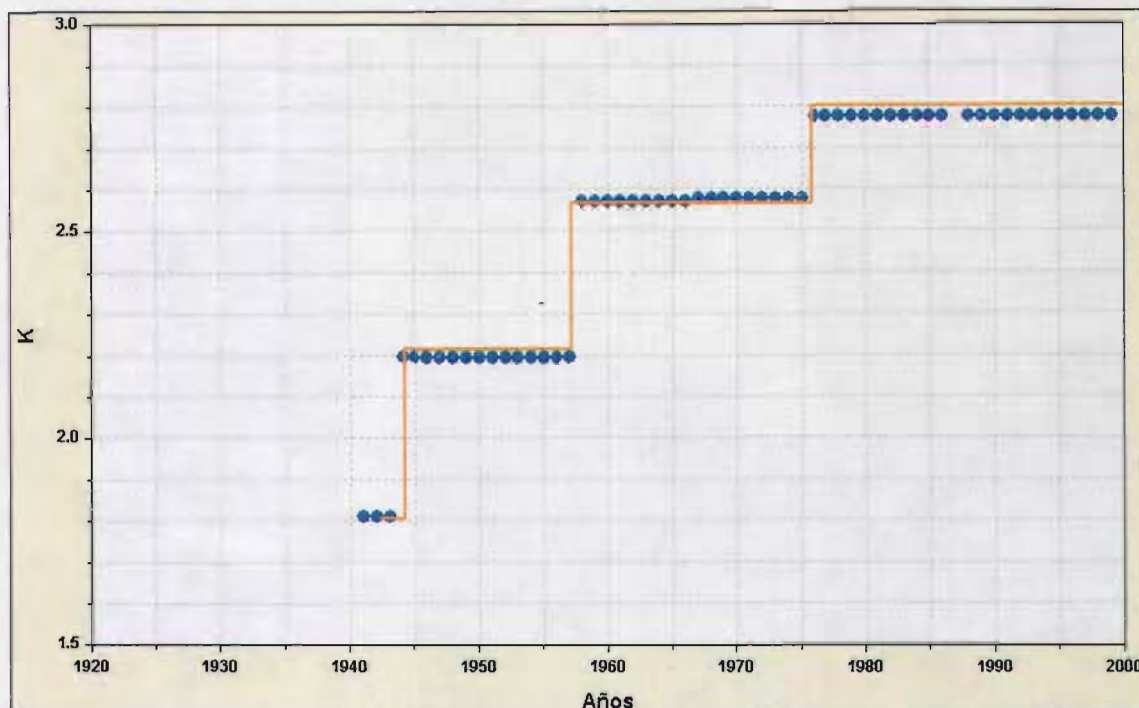


Figura 4.8 Coeficiente de Francou-Rodier para la estación 12370.

La línea de tendencia en esta estación presentó valores de los parámetros de $b = -24.642534$ y $m = 0.01378734$ con un coeficiente de correlación de $r = 0.89$.

La línea de ajuste marca un valor del coeficiente de $K = 3.62151$ para el año 2050 lo que produciría un gasto máximo de $1661.69 \text{ m}^3/\text{s}$. El gasto máximo observado en esta estación es de $711.0 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año de 1976 (figura 4.9).

El mismo procedimiento se realizó al total de las estaciones estudiadas. El máximo coeficiente de Francou-Rodier obtenido mediante el análisis lineal es de **$K = 8.52044$** .

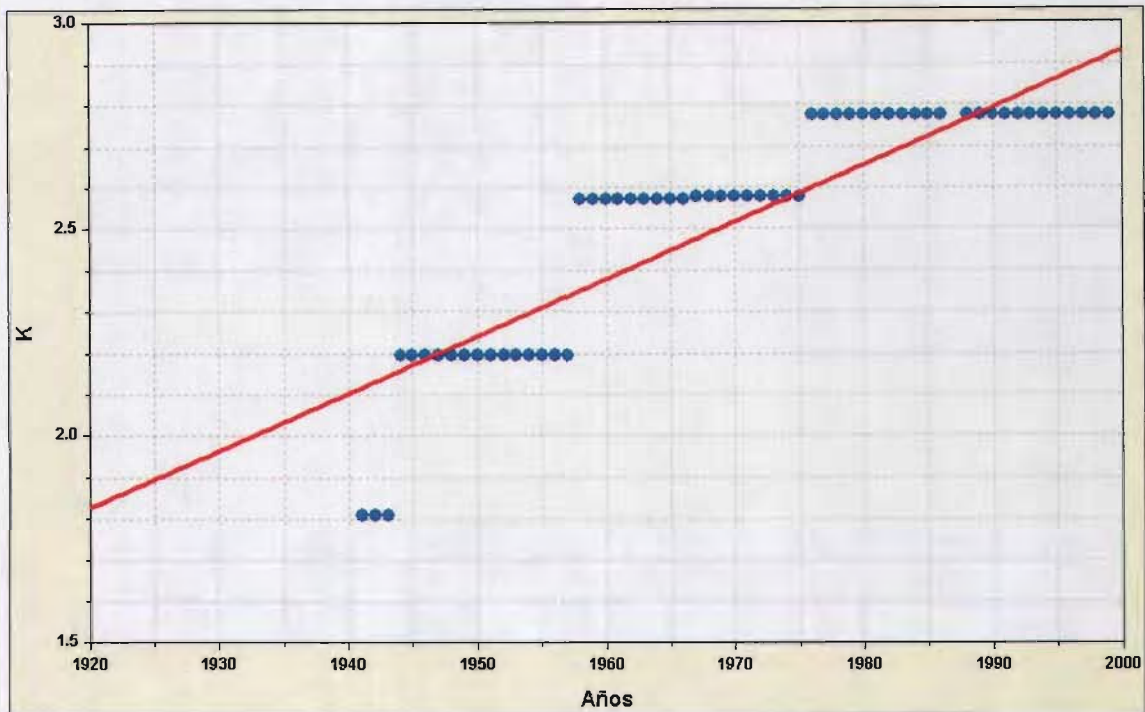


Figura 4.9 Ajuste lineal para el coeficiente de Francou-Rodier en la estación 12370.

También se tienen los resultados del ajuste lineal para determinar los valores esperados de los coeficientes de Francou-Rodier y de los gastos para cada una de las estaciones en la tabla B.3 del apéndice B.

Los coeficientes de Francou-Rodier ajustados a una tendencia lineal arrojan resultados muy grandes provocando gastos excesivos para la región. En la tabla B.3 estos valores del gasto se sustituyen por (*) indicando que el valor del coeficiente K está sobreestimado en este ajuste.

Los valores máximos de los coeficientes de las tres envolventes en estudio, obtenidos mediante el ajuste lineal se resumen a continuación:

$C_C = 70.90273$	$C_L = 3578.69090$	$K = 8.52044$
------------------	--------------------	---------------

Se puede apreciar que los valores son muy grandes respecto a los que actualmente prevalecen en la región, y como consecuencia se presentarían gastos de gran magnitud. Debido a esto, se introduce un método que toma en cuenta que los valores de los coeficientes siempre irán en aumento pero de una manera moderada a través del tiempo. Para lograr este fin, la curva propuesta se basa en dos valores medidos para ajustar una línea curva que se desarrolla asintóticamente a un valor límite de la ordenada paralelo al eje de las abscisas, tal como se muestra en la figura 4.10.

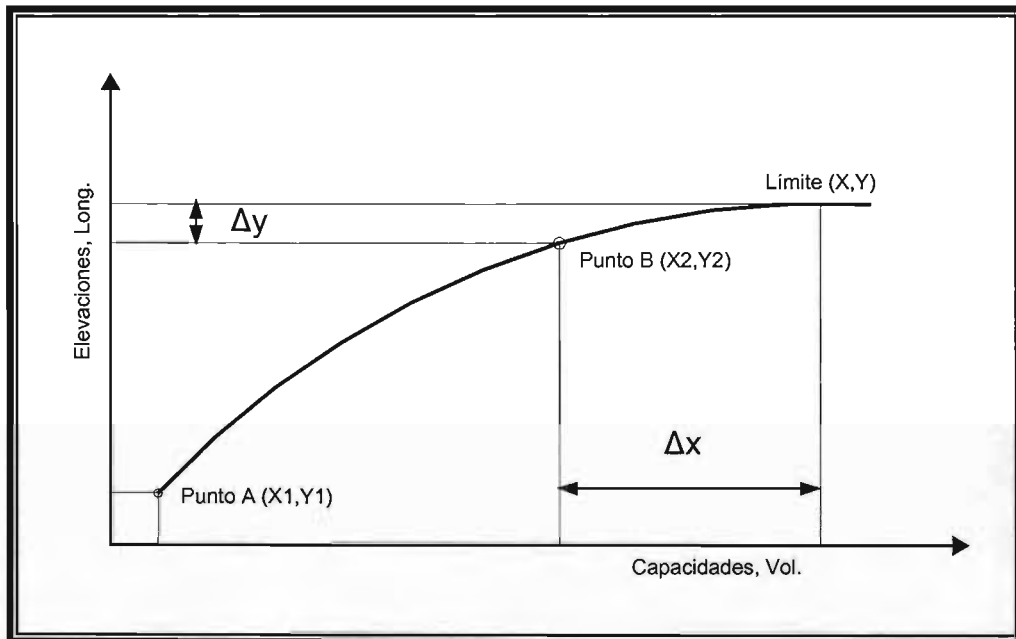


Figura 4.10 Línea de tendencia asintótica utilizando dos puntos.

La ecuación surge del comportamiento que se presenta en las curvas de elevaciones-capacidades de los vasos de almacenamiento. Al incrementarse la elevación del nivel de agua también aumenta el volumen almacenado dentro del vaso, de tal manera que llega un punto donde un pequeño incremento en el nivel del agua (Δy) origina un cambio grande en el almacenamiento (Δx), es ahí cuando se llega al valor límite de almacenamiento (X,Y).

La curva la originan los puntos A y B con coordenadas (X_1, Y_1) y (X_2, Y_2) respectivamente, siendo para nuestro caso el primer y el último valor del coeficiente para cada estación hidrométrica. La ecuación correspondiente de la curva es:

$$\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} = \left(\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \right)^\alpha \quad (4.3)$$

Lo que nos interesa encontrar son los valores de los coeficientes C_c , C_L y K representados por (Y) para el año $(X=2050)$, como una mejor alternativa al ajuste hecho con tendencia lineal.

Si se despeja la variable de interés se tiene la siguiente ecuación:

$$Y = \left(\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \right)^{\frac{1}{\alpha}} (Y_2 - Y_1) + Y_1 \quad (4.4)$$

Donde:

- Y = Valor del coeficiente para el año deseado (2050)
- X = Año para el cual se hace la estimación futura (2050)
- X1 = Año del primer registro en la estación hidrométrica
- X2 = Año del último registro en la estación hidrométrica
- Y1 = Valor del coeficiente (C_c , C_L , K) para el año X1
- Y2 = Valor del coeficiente (C_c , C_L , K) para el año X2
- α = Coeficiente de la ecuación

A continuación se muestra un ejemplo para estimar cada uno de los coeficientes de las envolventes ajustados mediante esta ecuación. Primeramente se tiene el coeficiente de Creager para la estación "Las Américas" con clave 12436 ubicada sobre el río Guanajuato. El punto A tiene valores de $X_1=1958$ y $Y_1= 3.144$ y el punto B de $X_2=1988$ y $Y_2=9.64418$, el valor del parámetro es de $\alpha =2.69254$.

Con estos datos el valor esperado del coeficiente de Creager para el año 2050 es de $C_c = 12.9992$, lo que origina un gasto máximo de $Q = 673.947 \text{ m}^3/\text{s}$, como se aprecia en la figura 4.11.

Todos los resultados obtenidos del ajuste a la función asintótica para los coeficientes de Creager de cada una de las estaciones estudiadas se encuentran en la tabla B.4 del apéndice B. El valor máximo para el coeficiente de Creager ajustado a la función asintótica es de **$C_c = 33.1926$** .

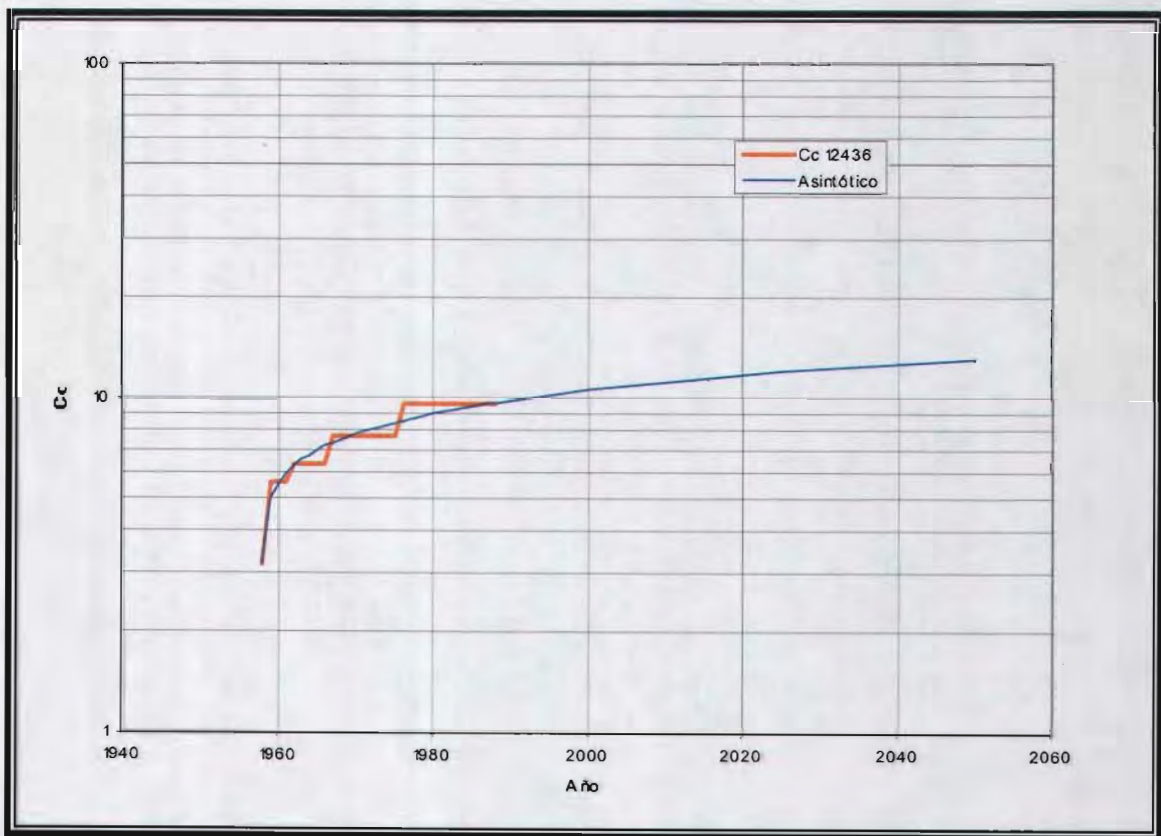


Figura 4.11 Ajuste del coeficiente de Creager para la estación 12436 a la función asintótica.

También los coeficientes de Lowry de todas las estaciones se ajustaron a esta función asintótica. Como ejemplo se muestran los datos de la estación "Bolaños" con clave 12428 ubicada sobre el río del mismo nombre.

El punto A tiene valores de $X_1=1947$ y $Y_1= 106.575$ y el punto B de $X_2=2002$ y $Y_2=878.568$, el valor del parámetro es de $\alpha =0.7718941$.

Con estos datos el valor esperado del coeficiente de Lowry para el año 2050 es de $C_L= 1359.5282$, lo que origina un gasto máximo de $Q= 5454.71 \text{ m}^3/\text{s}$, como se aprecia en la figura 4.12.

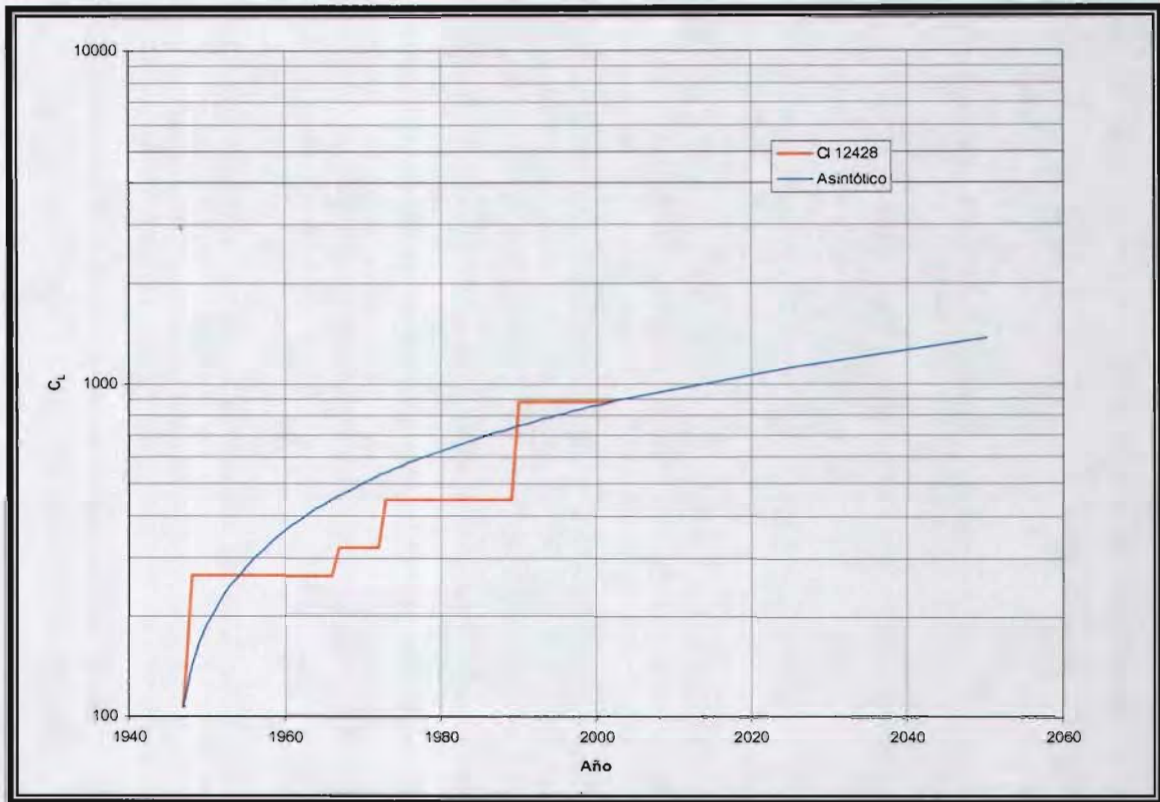


Figura 4.12 Ajuste del coeficiente de Lowry para la estación 12428 a la función asintótica.

Todos los resultados obtenidos del ajuste a la función asintótica para los coeficientes de Lowry de cada una de las estaciones estudiadas se encuentran en la tabla B.5 del apéndice B. El valor máximo para el coeficiente de Lowry ajustado a la función Gumbel es de $C_L = 2038.227$.

Por último también se ajustaron los coeficientes de la envolvente de Francou-Rodier para cada una de las estaciones hidrométricas tratadas en este estudio a la curva asintótica. El ejemplo siguiente corresponde a la estación "Jacona" con clave 12379 ubicada sobre el río Celio.

El punto A tiene valores de $X_1=1943$ y $Y_1= 1.1239$ y el punto B de $X_2=2002$ y $Y_2=3.14499$, el valor del parámetro es de $\alpha =2.9228$.

Con estos datos el valor esperado del coeficiente de Lowry para el año 2050 es de $K= 3.60154$, lo que origina un gasto máximo de $Q= 167.94 \text{ m}^3/\text{s}$, como se aprecia en la figura 4.13.

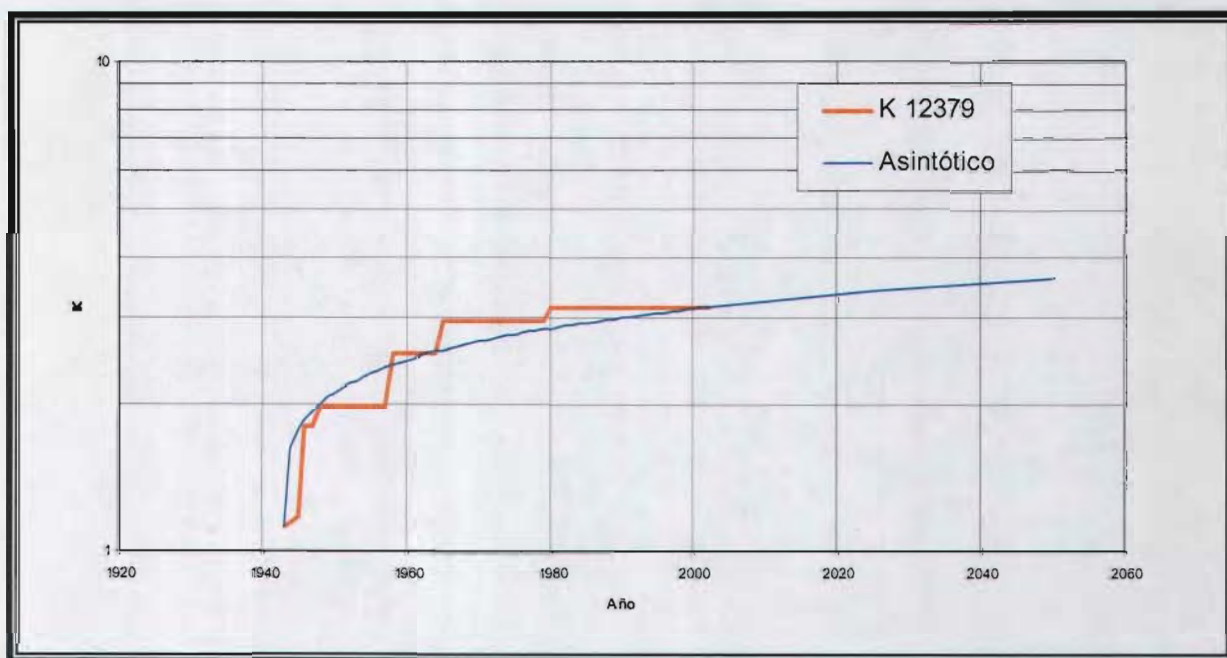


Figura 4.13 Ajuste del coeficiente de Francou-Rodier para la estación 12379 a la función asintótica.

Todos los resultados obtenidos del ajuste a la función asintótica para los coeficientes de Francou-Rodier de cada una de las estaciones estudiadas se encuentran en la tabla B.6 del apéndice B. El valor máximo para el coeficiente de Francou-Rodier ajustado a la función asintótica es de **K = 6.88**.

Los valores máximos de los coeficientes de las tres envolventes en estudio, obtenidos mediante el ajuste a la función asintótica se resumen a continuación:

$C_C = 33.1926$	$C_L = 2038.227$	$K = 6.88$
-----------------	------------------	------------

4.2.3 Análisis continuo

Este proceso de estimación de los coeficientes de las tres envolventes estudiadas consiste en ajustar todos los coeficientes presentados en cada una de las estaciones a la función de distribución de probabilidad de valores extremos tipo I ó Gumbel.

Cabe señalar que todos los coeficientes se ajustaron a varias funciones de distribución de probabilidades tales como la Normal, logNormal, Gumbel, Exponencial y Pearson III, siendo la de Gumbel la que arroja mejores resultados en general y el análisis probabilístico está basado en esta función.

Como ejemplo de este análisis se tiene la estación "Pasarela Villa Jiménez" con clave 12014 ubicada sobre el río Angulo, en la cual se presentan los coeficientes de Creager para cada año durante su periodo de observación, así como el ajuste de la función de probabilidad de Gumbel.

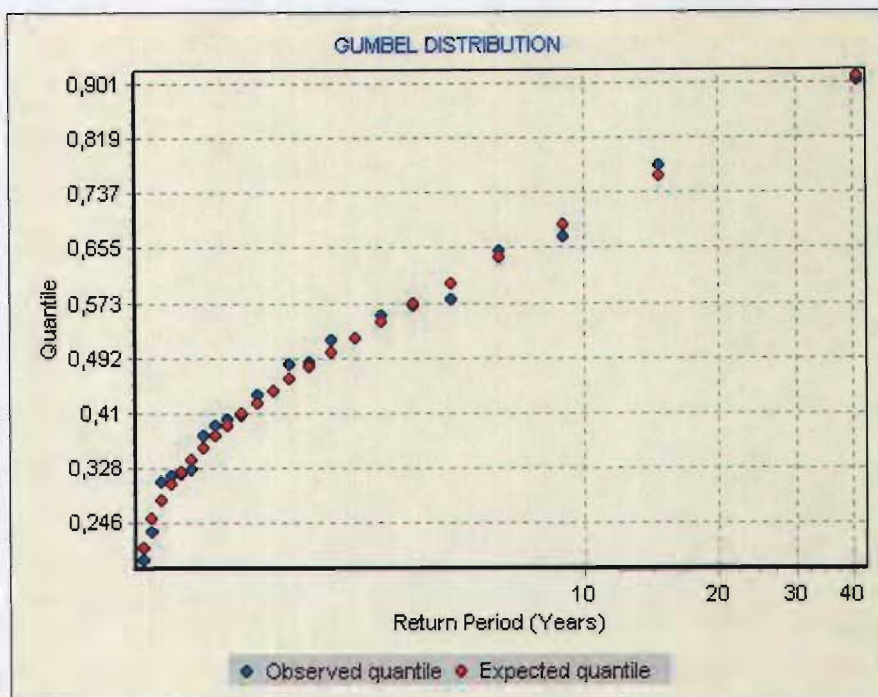


Figura 4.14 Ajuste del coeficiente de Creager para la estación 12014 a la función Gumbel

Del ajuste a la función Gumbel se obtuvieron los valores de los parámetros de ubicación y escala de 0.3912 y 0.1397 respectivamente. También dio el valor del coeficiente para un periodo de retorno de $Tr = 1000$ años igual $Cc = 1.616$ y se estimó el valor del gasto esperado para el mismo periodo de retorno en $Q = 135.64 \text{ m}^3/\text{s}$.

Todos los resultados obtenidos del ajuste a la función Gumbel para los coeficientes de Creager de cada una de las estaciones estudiadas se encuentran en la tabla B.7 del apéndice B. El valor máximo para el coeficiente de Creager ajustado a la función Gumbel es de **$Cc = 35.842$** .

También los coeficientes de Lowry de todas las estaciones se ajustaron a esta función de distribución de probabilidad. Como ejemplo se muestran los datos de la estación "Pericos" con clave 12238 ubicada sobre el río Laja.

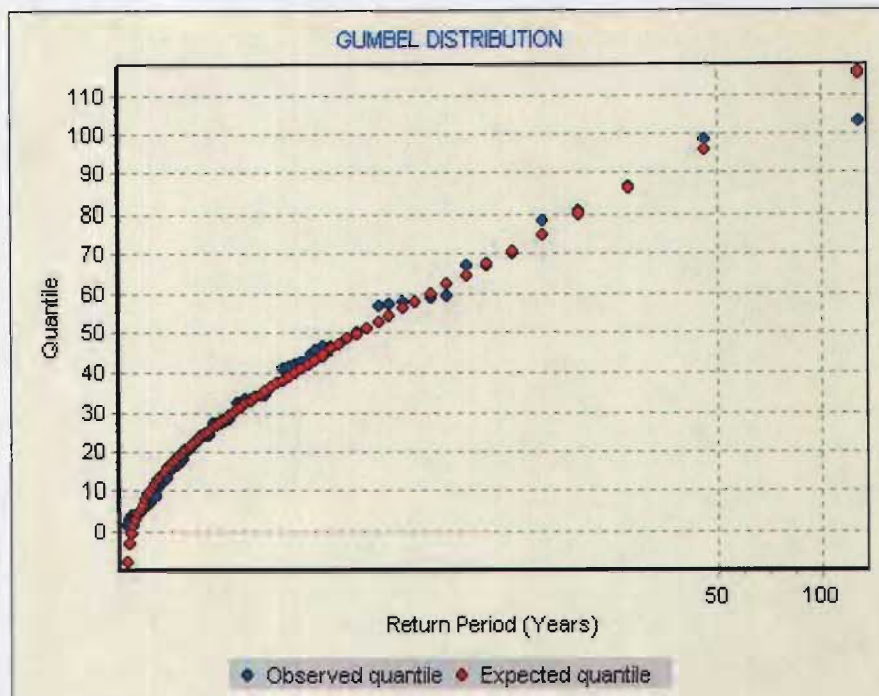


Figura 4.15 Ajuste del coeficiente de Lowry para la estación 12238 a la función Gumbel.

Del ajuste a la función Gumbel se obtuvieron los valores de los parámetros de ubicación y escala de 22.4784 y 19.1615 respectivamente. También dio el valor del coeficiente para un periodo de retorno de $Tr = 1000$ años igual $C_L = 190.456$ y se estimó el valor del gasto esperado para el mismo periodo de retorno en $Q = 737.40$ m^3/s .

Todos los resultados obtenidos del ajuste a la función Gumbel para los coeficientes de Lowry de cada una de las estaciones estudiadas se encuentran en la tabla B.8 del apéndice B. El valor máximo para el coeficiente de Lowry ajustado a la función Gumbel es de $C_L = 2145.588$.

Por último también se ajustaron los coeficientes de la envolvente de Francou-Rodier para cada una de las estaciones hidrométricas tratadas en este estudio. El ejemplo siguiente corresponde a la estación "Camécuaro" con clave 12396 ubicada sobre el río Duero.

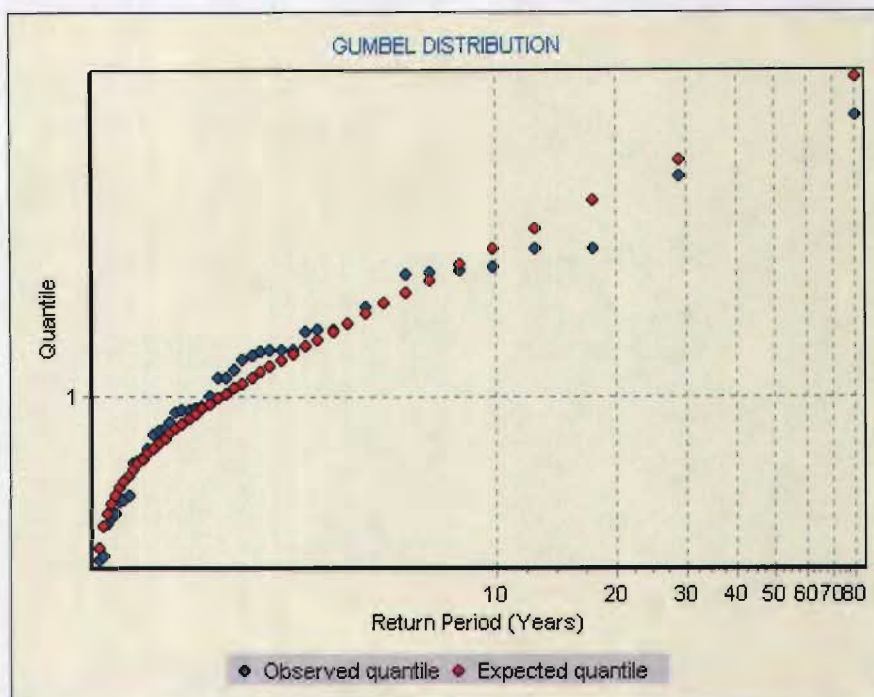


Figura 4.16 Ajuste del coeficiente de Francou-Rodier para la estación 12396 a la función Gumbel.

Del ajuste a la función Gumbel se obtuvieron los valores de los parámetros de ubicación y escala de 0.9082 y 0.2271 respectivamente. También dio el valor del coeficiente para un periodo de retorno de $Tr = 1000$ años igual $K = 2.899$ y se estimó el valor del gasto esperado para el mismo periodo de retorno en $Q = 324.397 \text{ m}^3/\text{s}$.

Todos los resultados obtenidos del ajuste a la función Gumbel para los coeficientes de Francou-Rodier de cada una de las estaciones estudiadas se encuentran en la tabla B.9 del apéndice B. El valor máximo para el coeficiente de Francou-Rodier ajustado a la función Gumbel es de **$K = 7.856$** .

Los valores máximos de los coeficientes de las tres envolventes en estudio, obtenidos mediante el ajuste a la función Gumbel se resumen a continuación:

$C_C = 35.842$	$C_L = 2145.588$	$K = 7.856$
----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------

Como se puede apreciar, el ajuste realizado con la función de probabilidad de Gumbel arroja valores más razonables que los obtenidos mediante la tendencia lineal. Sin embargo, el ajuste lineal se realizó debido a que los coeficientes siempre irán en aumento y se considera como un análisis extremo de los valores de los coeficientes que definen a las curvas envolventes. En cambio el ajuste asintótico presentó los mejores resultados.

4.2.4 Estación Máxima

También se agruparon los coeficientes máximos para cada año de todas las estaciones hidrométricas registradas y como resultado se obtuvo una estación máxima, que está compuesta de los valores máximos para cada año. También se ajustó a la distribución Gumbel para ver su comportamiento futuro. La gráfica para el coeficiente de Creager para la estación máxima se muestra en la siguiente figura:

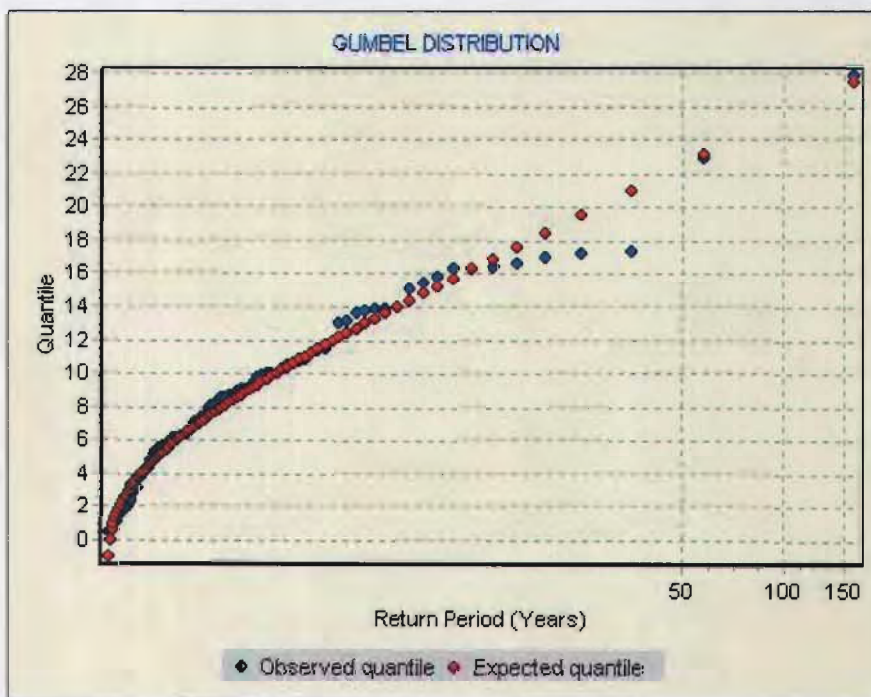


Figura 4.17 Ajuste del coeficiente de Creager para la estación máxima a la función Gumbel.

Los valores obtenidos mediante este ajuste para los parámetros de ubicación y escala son 5.913 y 4.265 respectivamente y estiman un valor del coeficiente para un periodo de retorno de $Tr = 1000$ años igual $C_c = 43.298$ lo que origina un gasto máximo de $Q = 17,938.57 \text{ m}^3/\text{s}$.

La gráfica para el coeficiente de Lowry para la estación máxima se muestra en la siguiente figura:

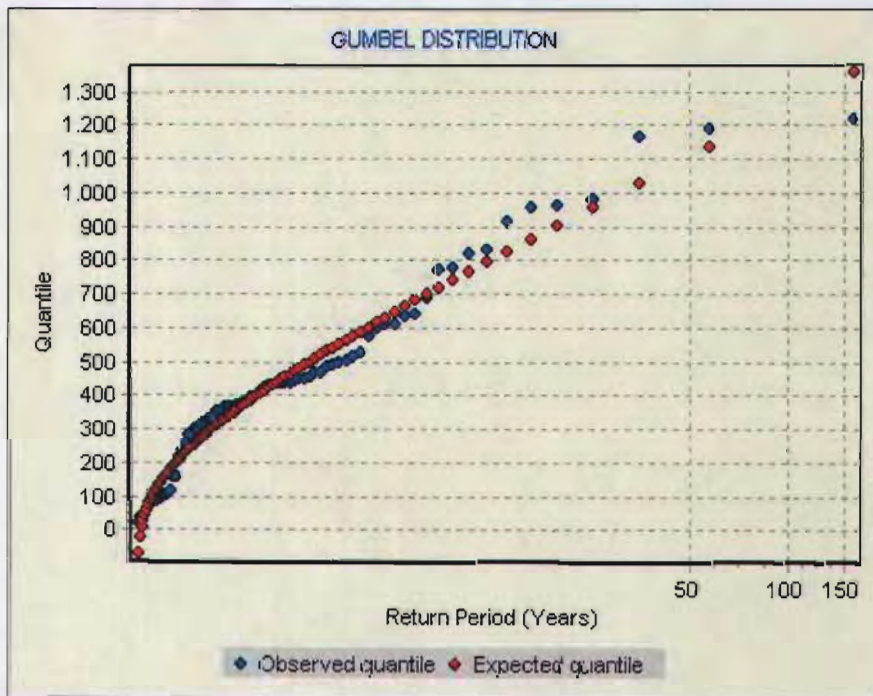


Figura 4.18 Ajuste del coeficiente de Lowry para la estación máxima a la función Gumbel.

Los valores obtenidos mediante este ajuste para los parámetros de ubicación y escala son 279.9331 y 212.6486 respectivamente y estiman un valor del coeficiente para un periodo de retorno de $Tr = 1000$ años igual $C_L = 2141.098$ lo que origina un gasto máximo de $Q = 12,541.78 \text{ m}^3/\text{s}$.

La gráfica para el coeficiente de Francou-Rodier para la estación máxima se muestra en la figura 4.19:

Los valores obtenidos mediante este ajuste para los parámetros de ubicación y escala son 2.9779 y 0.6020 respectivamente y estiman un valor del coeficiente para un periodo de retorno de $Tr = 1000$ años igual $K = 8.255$ lo que origina un gasto máximo de $Q = 314,742.02 \text{ m}^3/\text{s}$.

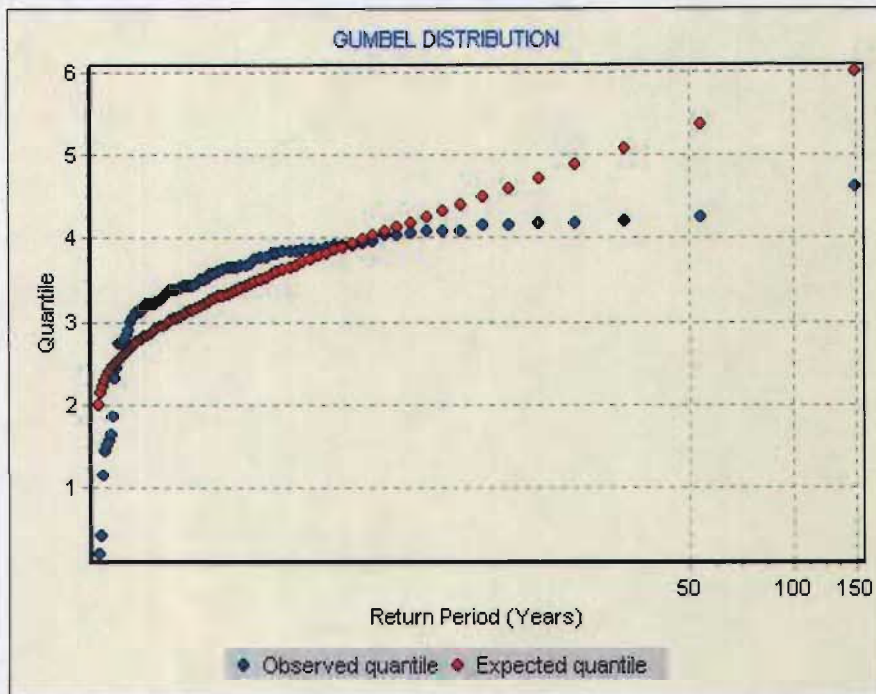


Figura 4.19 Ajuste del coeficiente de Francou-Rodier para la estación máxima a la función Gumbel.

Como se puede apreciar, los resultados de los coeficientes C_C , C_L y K obtenidos mediante el ajuste a la función Gumbel analizando cada una de las estaciones, son muy parecidos a los valores que se obtienen a partir de la estación máxima. Quizás este último caso del coeficiente de Francou-Rodier se ajustaría mejor a otra función de distribución de probabilidad, arrojando un dato más parecido a los otros análisis.

La estación máxima toma el valor máximo presentado en cada año de todas las estaciones, es decir, para cada año se presenta un valor del gasto más grande dentro de la región en cualquiera de las estaciones, y dichos valores conforman la estación máxima.

Los valores máximos de los coeficientes de las tres envolventes en estudio para la estación máxima, obtenidos mediante el ajuste a la función Gumbel se resumen a continuación:

$C_C = 43.298$	$C_L = 2141.098$	$K = 8.255$
----------------	------------------	-------------

4.3 Resultados

A continuación se muestran los valores que se obtuvieron de los diferentes análisis para estimar los valores futuros de los coeficientes que definen las curvas envolventes estudiadas.

Debido a que es muy difícil pronosticar o predecir en forma exacta los valores de los gastos que podrían presentarse en las corrientes de la región, se presentan primeramente las curvas envolventes de Creager, Lowry y Francou-Rodier obtenidas mediante los análisis escalonados (ajustados a una tendencia lineal y con la línea de tendencia asintótica) y el análisis continuo (ajustado a la función de distribución Gumbel) para observar su evolución en el tiempo. También se presentan mapas de la región Lerma-Santiago donde se definen zonas que establecen los rangos para los posibles gastos máximos anuales.

La figura 4.20 muestra las curvas envolventes definidas por los coeficientes esperados mediante una tendencia lineal.

La figura 4.21 muestra las curvas envolventes definidas por los coeficientes esperados a partir del ajuste a la función asintótica.

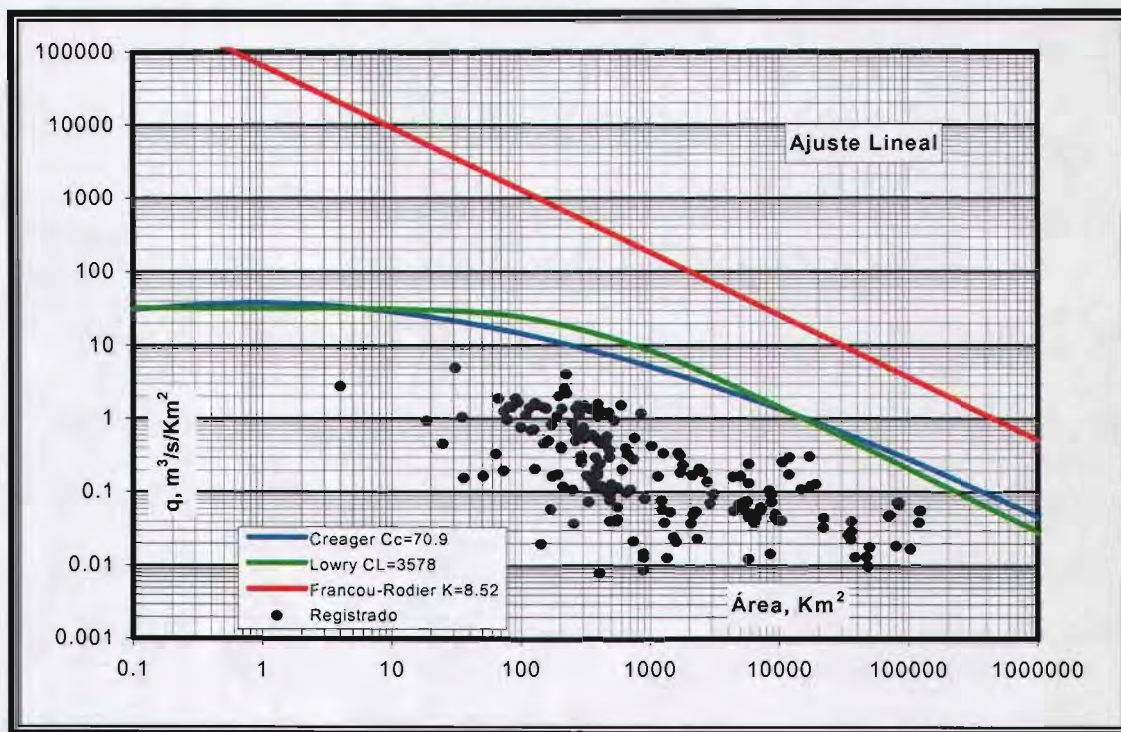


Fig. 4.20 Curvas envolventes esperadas para el año 2050 con tendencia lineal.

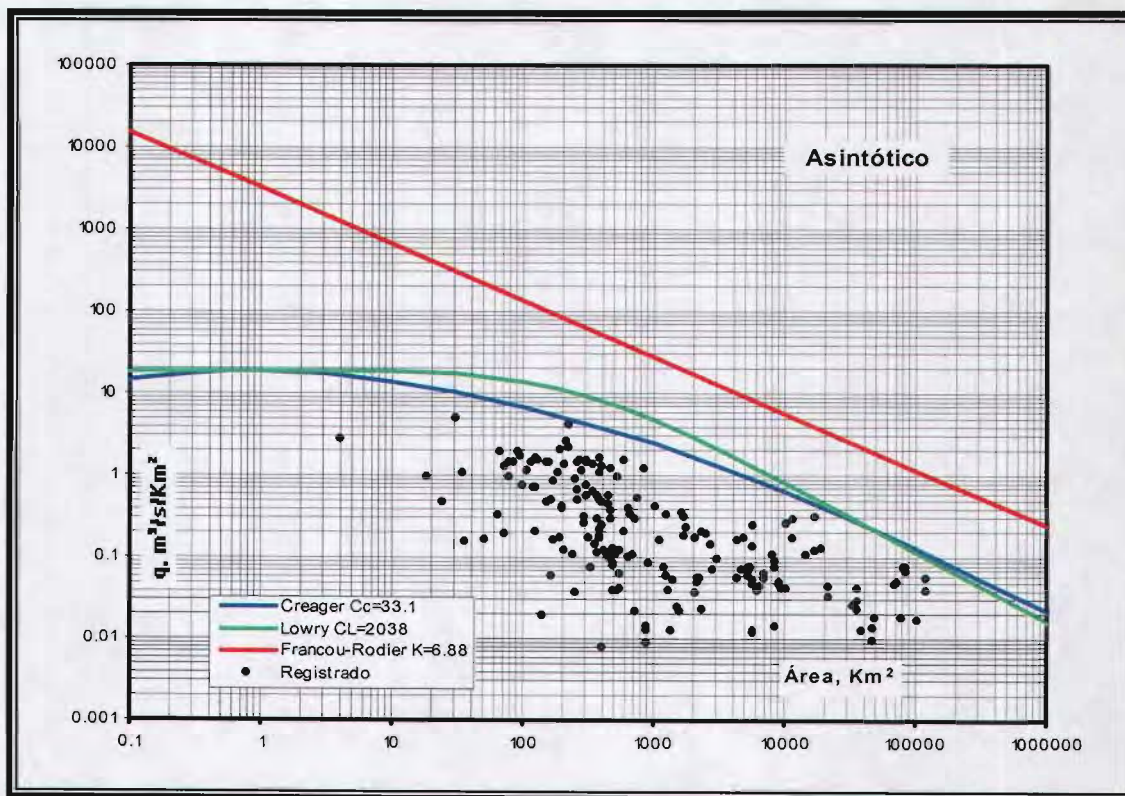


Fig. 4.21 Curvas envolventes esperadas para el año 2050 con tendencia asintótica

La figura 4.22 muestra las curvas envolventes definidas por los coeficientes esperados a partir del ajuste a la distribución Gumbel.

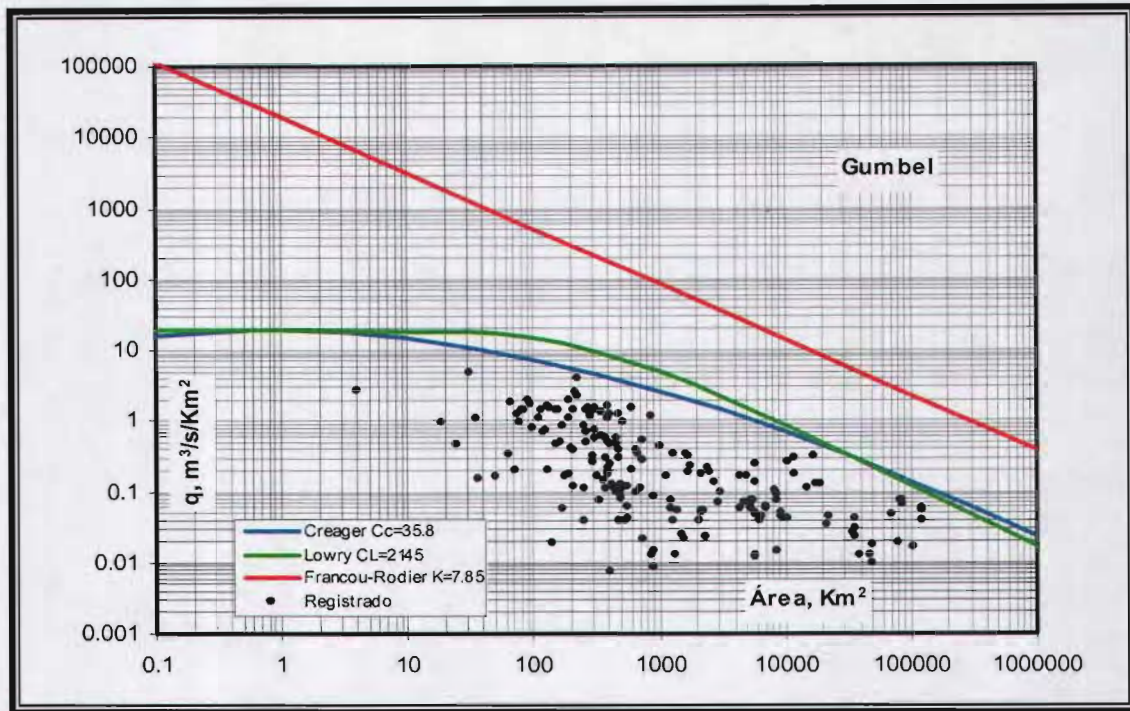


Fig. 4.22 Curvas envolventes para un $T_r = 1000$ años ajustada con la función Gumbel

Como se puede observar en las tres gráficas anteriores, la curva envolvente de Francou-Rodier es la que menos se ajusta a la nube de puntos registrados en los tres ajustes realizados. Esta variación respecto a las curvas actuales de la figura 4.1 se debe en gran parte a que esta envolvente sobreestima el gasto máximo, y si a esto se le suma que el ajuste lineal puede incrementar el error, es de esperarse que se tengan grandes valores mediante esta formulación.

A continuación se presentan los mapas de gastos máximos esperados en la región Lerma-Santiago de acuerdo a los análisis vistos anteriormente para cada una de las tres fórmulas estudiadas.

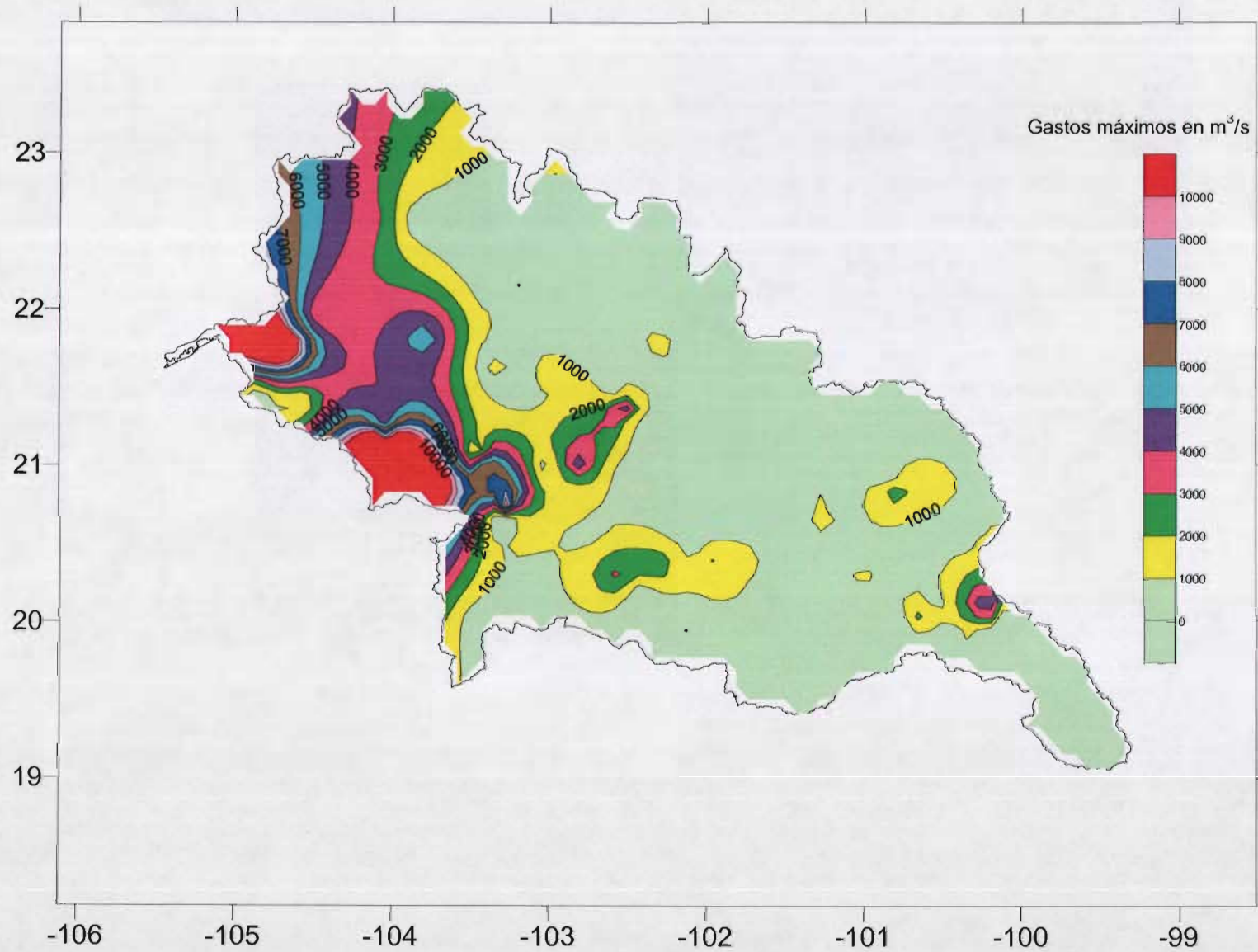


Figura 4.20 Gastos máximos probables a partir del coeficiente de Creager con ajuste Lineal.

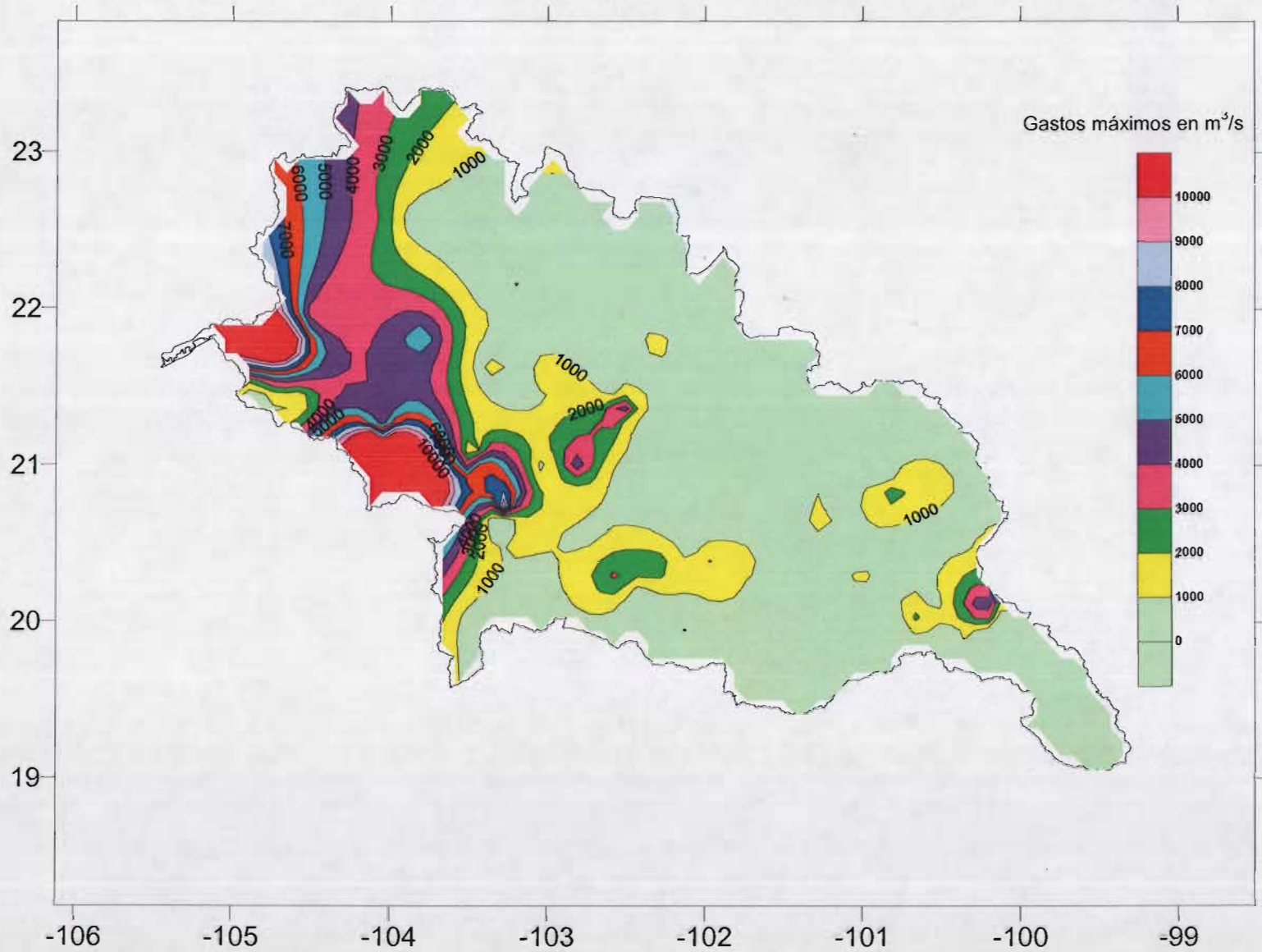


Figura 4.21 Gastos máximos probables a partir del coeficiente de Lowry con ajuste Lineal.

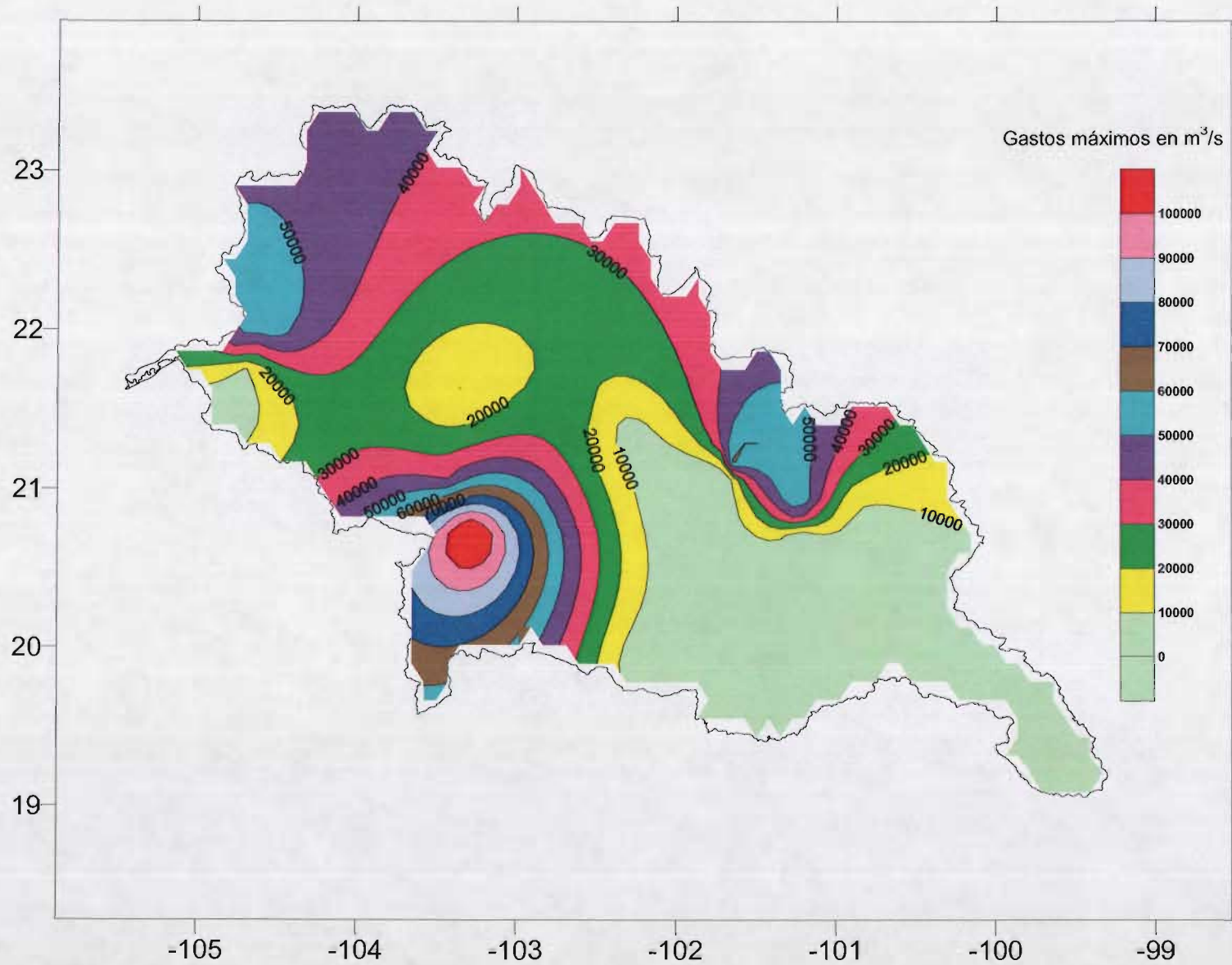


Figura 4.22 Gastos máximos probables a partir del coeficiente de Francou-Rodier con ajuste Lineal.

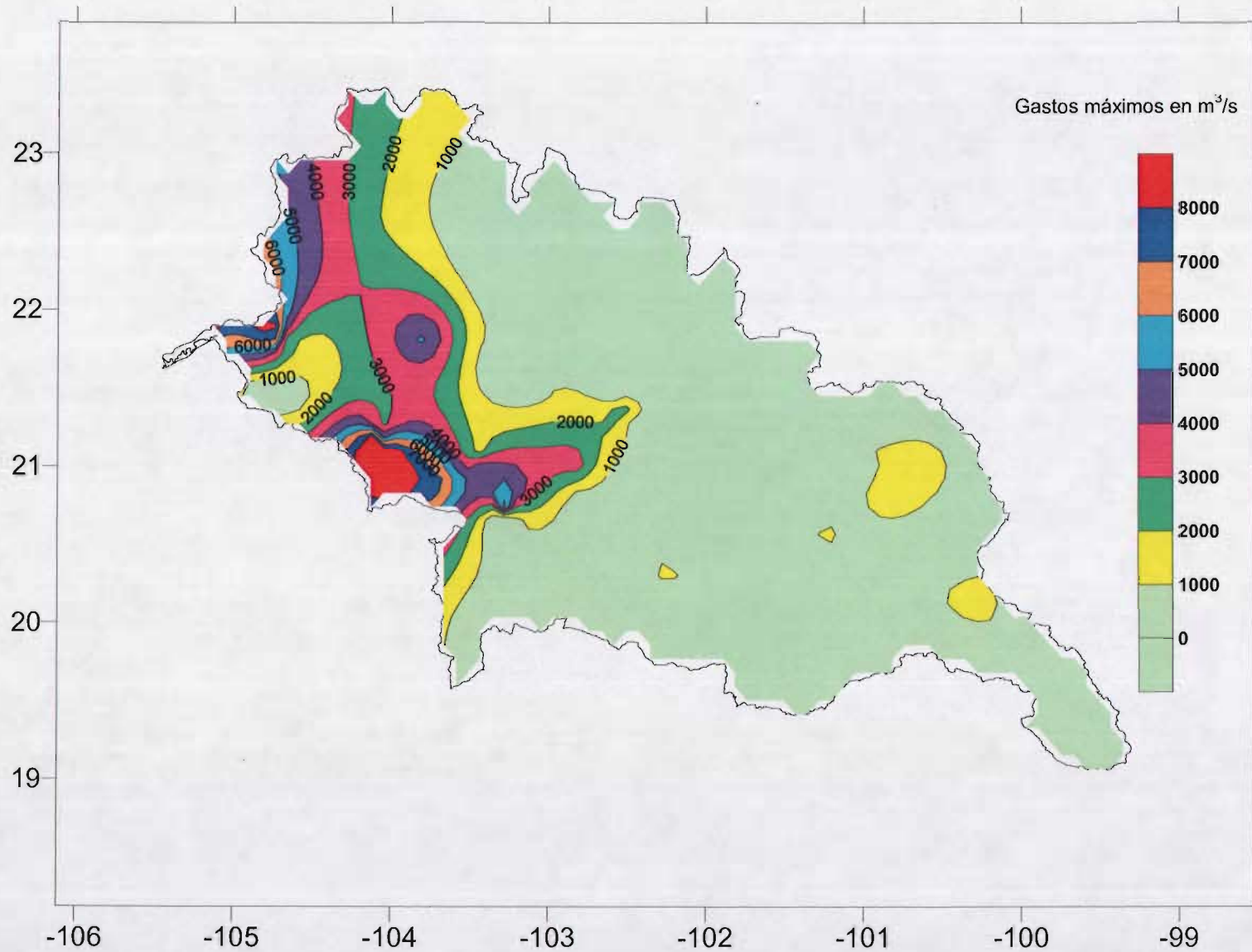


Figura 4.23 Gastos máximos probables a partir del coeficiente de Creager con ajuste Asintótico.

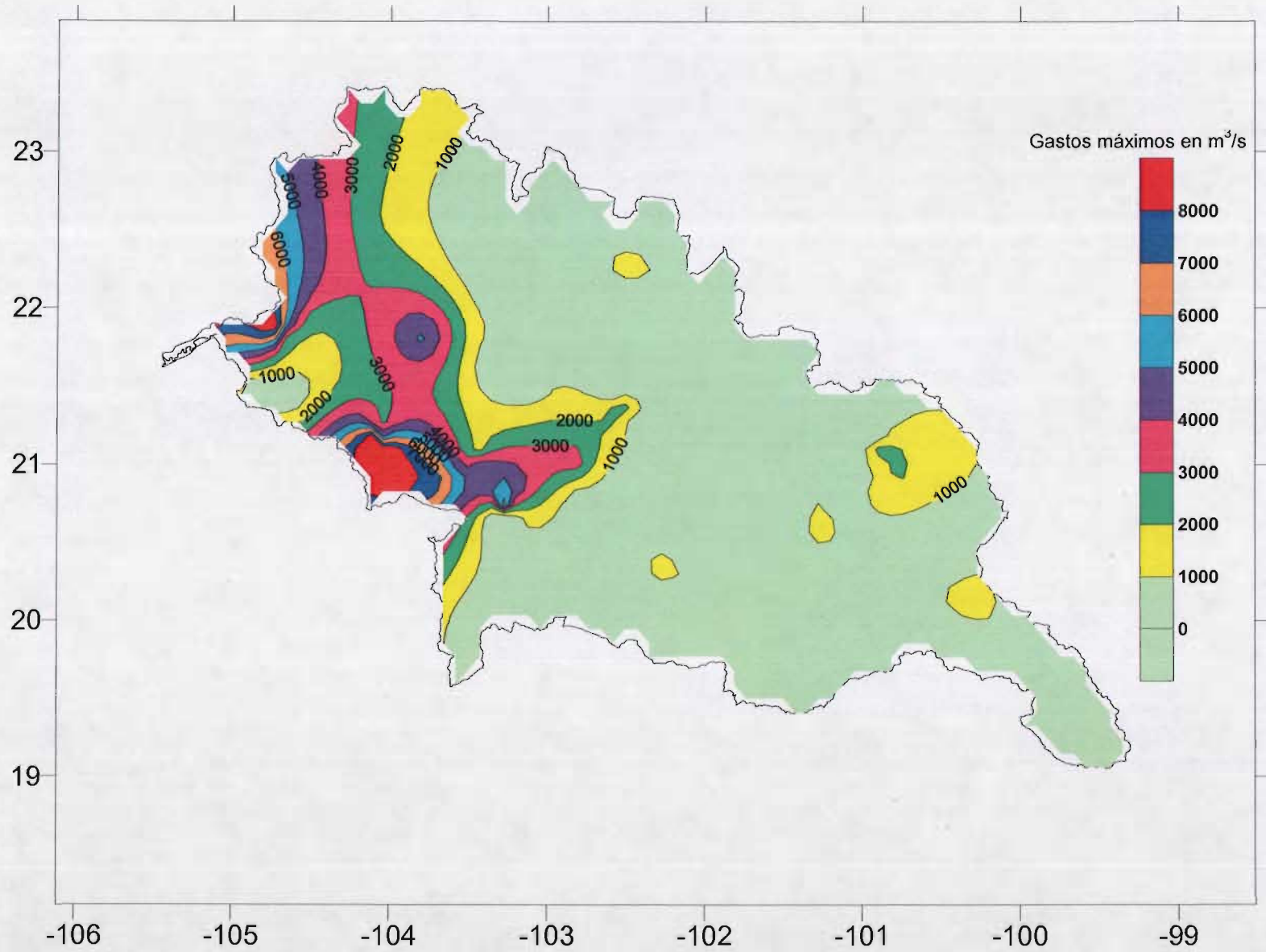


Figura 4.24 Gastos máximos probables a partir del coeficiente de Lowry con ajuste Asintótico.

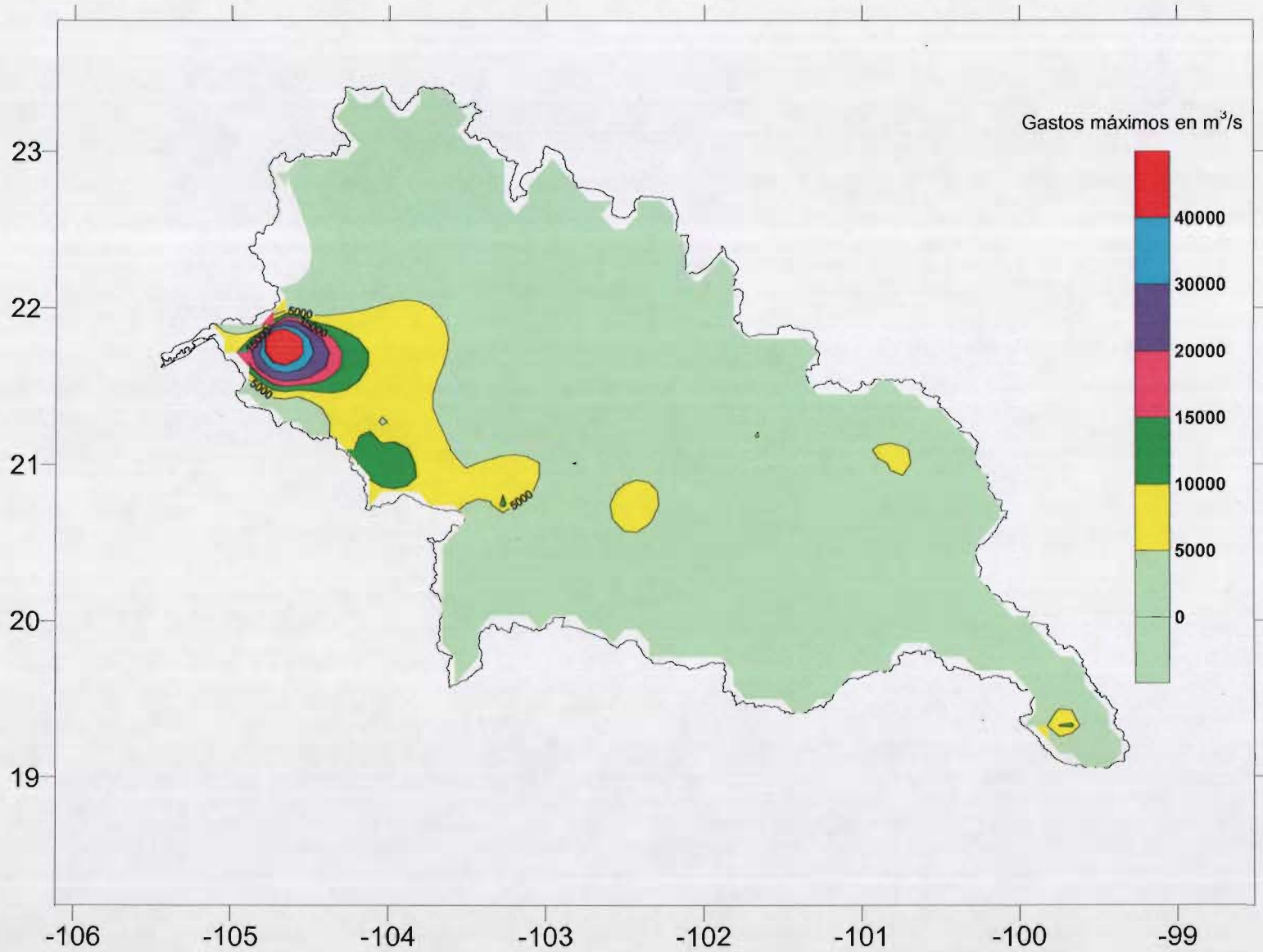


Figura 4.25 Gastos máximos probables a partir del coeficiente de Francou-Rodier con ajuste Asintótico.

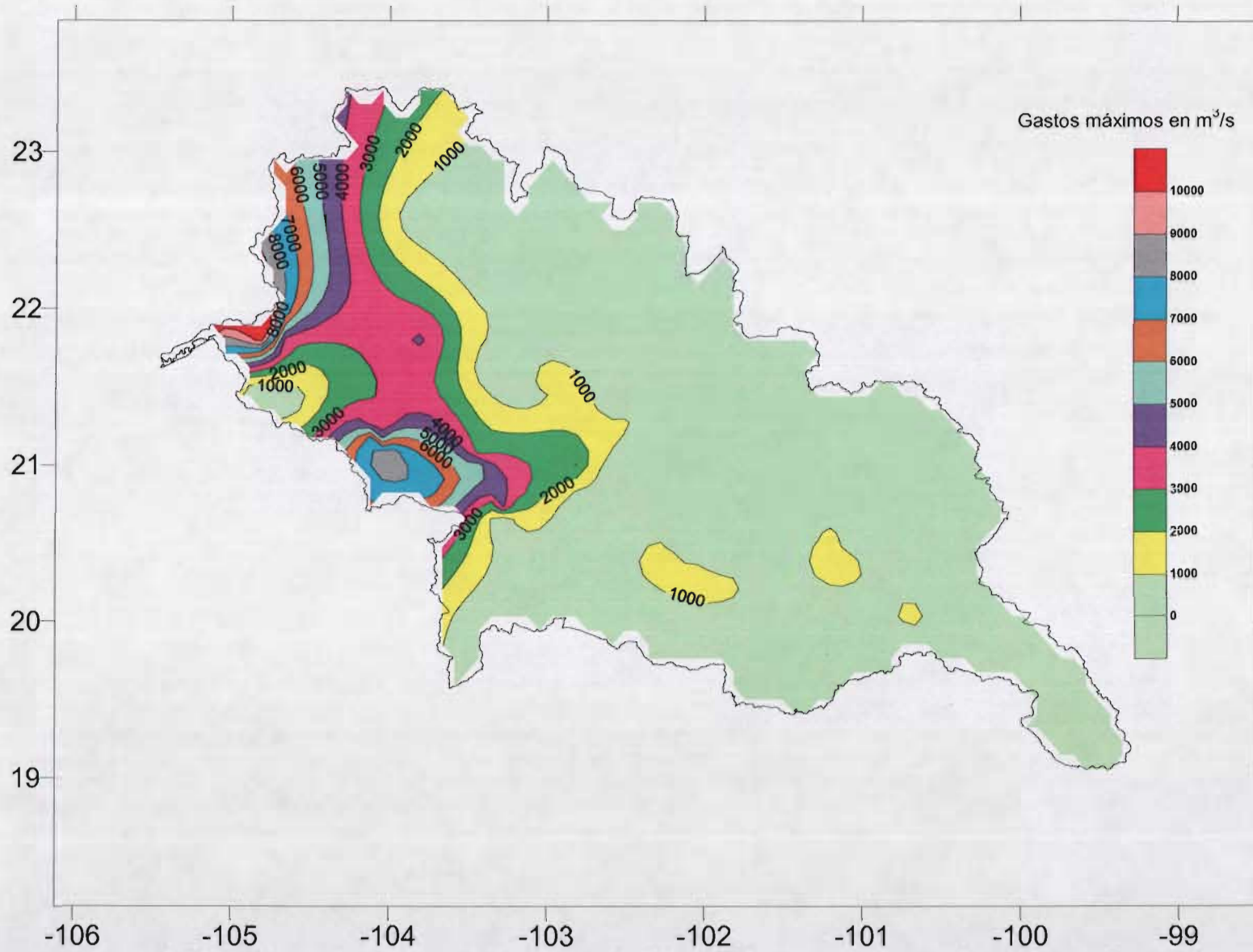


Figura 4.26 Gastos máximos probables a partir del coeficiente de Creager ajustado con Gumbel.

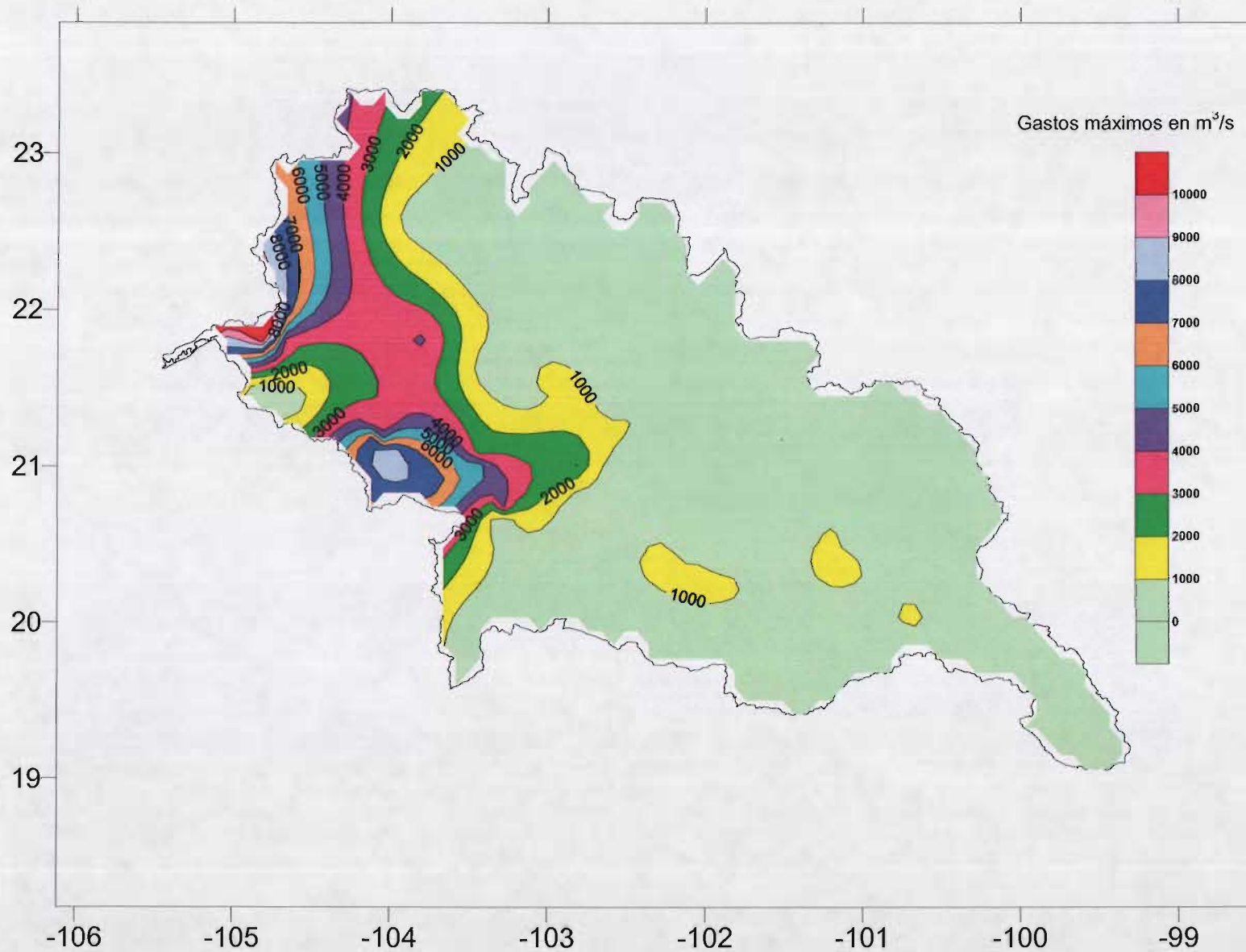


Figura 4.27 Gastos máximos probables a partir del coeficiente de Lowry ajustado con Gumbel.

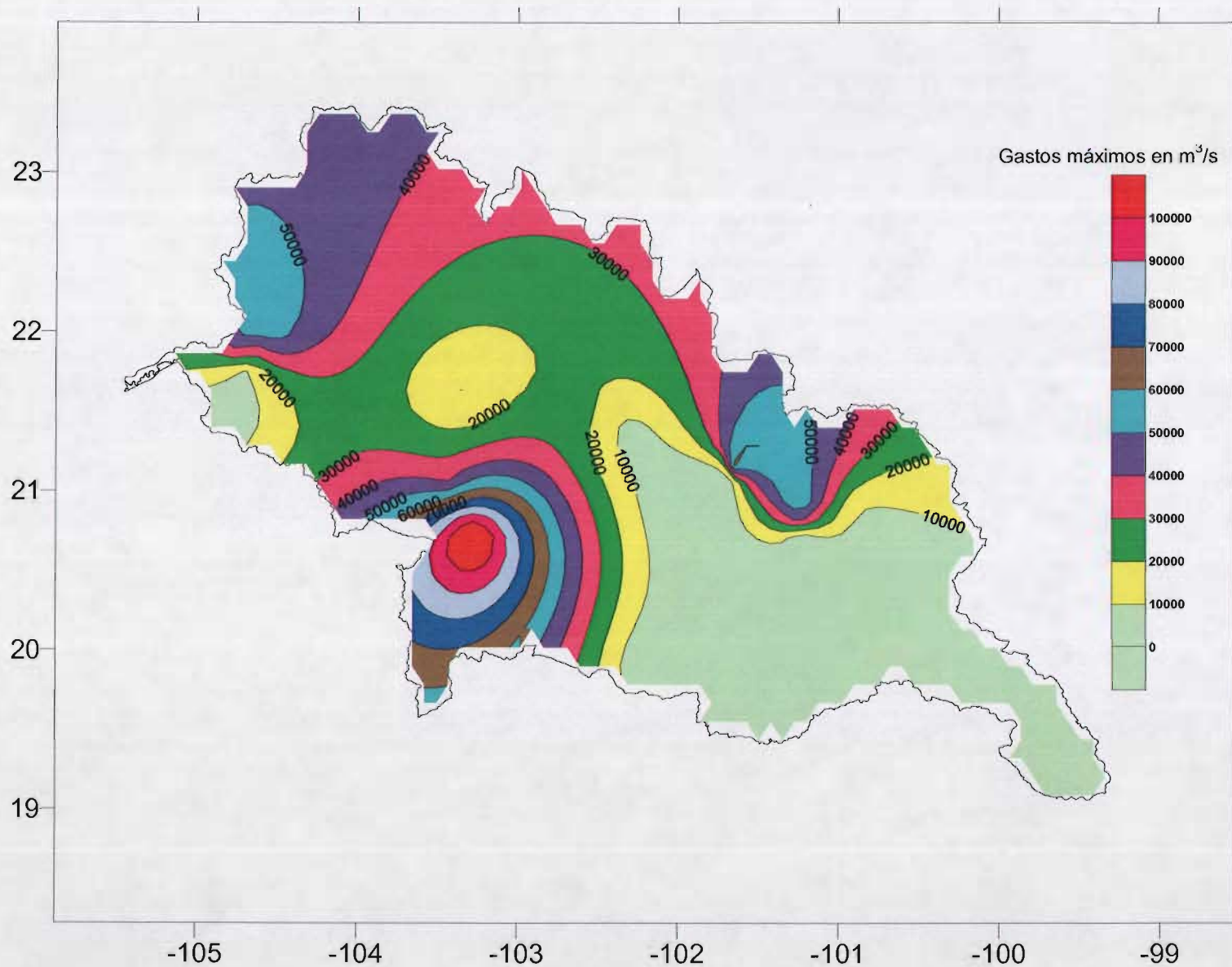


Figura 4.28 Gastos máximos probables a partir del coeficiente de Francou-Rodier ajustado con Gumbel.

Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones

Al estar aumentando constantemente la demanda de agua, debido al crecimiento de la población y a la evolución de la agricultura y de la industria, todos los países se interesan por llegar a una evaluación más exacta de sus recursos hídricos y por utilizarlos de un modo más racional. Además, contar con información de eventos extremos permite tener presentes los riesgos que se corren ante un evento de tal magnitud.

La naturaleza de los fenómenos que estudia la hidrología no le permite ser una ciencia exacta y el análisis de gastos máximos anuales no es la excepción.

El comportamiento de los gastos máximos anuales es afectado por una gran cantidad de factores. Sin embargo, en base a la estadística y la probabilidad, los análisis de frecuencias pueden describir el comportamiento de gastos extremos. En consecuencia, los resultados obtenidos del análisis están completamente basados en la muestra de eventos registrados. Por esto, resulta imperativo trabajar con registros confiables.

Los datos de gastos máximos utilizados para el desarrollo de este trabajo se obtuvieron a partir del banco de datos superficiales (BANDAS), en el cual se pudo observar que se presentan algunas diferencias con la información reportada por otras fuentes. No obstante, se trató de complementar dicha información para lograr tener una mejor calidad en los datos o simplemente para corroborar, sobre todo, los datos que parecen ser dudosos.

En este trabajo se ha estudiado un enfoque para la estimación de caudales máximos a partir de curvas envolventes que son el resultado de su ocurrencia a través del tiempo. Este desarrollo puede considerarse como una alternativa para obtener las avenidas máximas probables.

Sin duda, no se puede decir que alguna distribución en específico tenga un mejor ajuste a este tipo de fenómeno. Siempre será necesario hacer una comparación entre todas las distribuciones disponibles para encontrar la más eficiente para cada situación en particular. En este análisis, se encontró que la distribución de valores extremos tipo I ó de Gumbel presenta mejores resultados en la mayoría de los ajustes realizados.

Los modelos para determinar escurrimientos basados en fórmulas empíricas como las empleadas en este trabajo, tienden a sobreestimar los resultados al ser ajustados a una tendencia del tipo lineal. Mucho tiene que ver con la información que en su momento dio origen a estas fórmulas, que en ocasiones difiere de la que se emplea en estudios en nuestro país.

Después de haber realizado el análisis con estas formulaciones, se puede decir que la que se adapta de mejor manera a los datos registrados es la de Creager. Después se tiene la propuesta por Lowry, que aunque sobreestima un poco los resultados, éstos son muy parecidos. En cambio la que propone Francou-Rodier difiere de las dos anteriores, incluso llegan a presentarse valores negativos del coeficiente K en algunas estaciones donde es muy desproporcionada la relación gasto-área.

Los valores más grandes del gasto esperado se presentan en la parte baja de la subregión del Bajo Santiago, en las estaciones hidrométricas ubicadas sobre el río Santiago principalmente, y de acuerdo al mejor ajuste se tendrán valores del gasto del orden de 8,000 m³/s. El gasto máximo que se ha presentado en esta subregión es de 6902.5 m³/s, y se espera que pueda llegar a aumentar en el futuro. Este desarrollo puede ser una alternativa adecuada para fijar la avenida máxima probable.

A manera de recomendación se dirá que es necesario emprender acciones que ayuden a mejorar la calidad de los datos hidrométricos, ya que de ello depende la estimación para gastos de diseño de muchas grandes obras hidráulicas, mediante la extrapolación probabilística de los gastos máximos registrados.

Referencias

Aparicio M., Francisco Javier (1992), "*Fundamentos de hidrología de superficie*", Limusa, México.

BANDAS (1997), "*Banco nacional de datos de aguas superficiales*", CNA, IMTA.

Bayazit, M., Önöz, B. (2004), "Envelope curves for maximum floods in Turkey", *Teknik Dergi*, Vol. 15, No. 1.

Benjamin J. R., C. A. Cornell (1970), "*Probability, statistics and decision for civil engineers*", McGraw Hill.

Benson, M. A. (1968), Uniform flood-frequency estimating methods for federal agencies, *Water Resources Research*, Vol. 4.

Bondić, D., Barbalić, D., Petraš, J. (2002), "Creager's and Francou-Rodier's envelopes of extreme floods in the Danube river basin in Croatia", *Proceedings of the XXIst conferences of the Danube countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*. September 2002, Bucharest, Romania.

Bouvard, M. (1988), "Design flood and operational flood control", General Report on Q. 63, *Proc. XVI Congress of the ICOLD*, San Francisco, 1988.

Bradley, A. A., Potter, K. W. (1992), "Flood frequency analysis of simulated flows", *Water Resources Research*, Vol. 28, No. 9.

Brunk, H. D. (1979), "*Introducción a la estadística matemática*", Ed. Trillas.

Castellarin, A., Brath, A. (2005), "Probabilistic regional envelope curves for design-flood estimation in northern-central Italy", *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7.

CNA (2000), "Acuerdo por el que se dan a conocer las denominaciones y la ubicación geográfica de las diecinueve cuencas localizadas en la zona hidrológica denominada río Lerma-Chapala", Semarnat, Diario Oficial de la Federación, 2003.

Chow, V. T. (1964), "Handbook of applied hydrology", McGraw-Hill.

Creager, W. P., Justin, J. D., Hinds, J. (1945), "Engineering for Dams". Vol. 1, General Design, John Wiley and Sons, New York.

Crippen, J. R. (1982), "Envelope curves for extreme flood events", *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 108 No. HY10

Crippen, J. R., Conrad, D. B. (1977), "Maximum floodflows in the conterminous United States", Geological Survey Water-Supply Paper 1887, United States.

Dalrymple, T. (1960), "Flood frequency analysis", U.S.G.S. Water Supply Papers 1543-A.

Domínguez, R., Carlóz, T. (1981). "Manual de diseño de obras civiles", Hidrotecnia, Capítulo A.1.6, Análisis Estadístico. Comisión Federal de Electricidad, México.

Fuentes, O., Domínguez, R., Franco, V. (1981). "Manual de diseño de obras civiles", Hidrotecnia, Capítulo A.1.10, Avenidas de diseño. Comisión Federal de Electricidad, México.

Fuentes, O., Domínguez, R., Franco, V. (1981). "Manual de diseño de obras civiles", Hidrotecnia, Capítulo A.1.5, Relación entre precipitación y escurrimiento. Comisión Federal de Electricidad, México.

Francou, J., Rodier, J. (1967), "Essai de classification des crues maximales observées dans le monde", *Cashiers ORSTOM Serie Hydrologie*, Vol. IV No. 3, ORSTOM Bondye, France.

- Galambos, J. (1978), "*The asymptotic theory of extreme order statistics*", Wiley & Sons.
- González, F. J. (1970), "*Contribución al análisis de frecuencias de valores extremos de los gastos máximos en un río*", Pub. 277, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Gumbel, E. J. (1941), "The return period of flood flows", *Annals of the Mathematical Statistics*, Vol. 12.
- Gumbel, E. J. (1958), "*Statistic of extremes*", Columbia University Press, Invington N.Y.
- Gumbel, E. J. (1962), "Statistical theory of extreme values", Chap. 6, *Contributions to order statistics*, Sarhan & Greenberg Ed., Wiley & Sons.
- Herschy, R. (2002), "The world's maximum observed floods", *The extremes of the Extremes: Extraordinary Floods*, Proceedings of a symposium held at Reykjavik, Iceland. July 2002. IAHS Publ. No. 271, 2002.
- Hoel, P. G., Port, S. C., Stone, C. J. (1971), "*Introduction to statistical theory*" Houghton Mifflin Company.
- Kinnison, R. R. (1985), "*Applied extreme value statistics*", Batelle Press
- Kirby, W. H., Moss, M. E. (1987), "Summary of flood frequency analysis in the United States", *Journal of Hydrology* No. 96.
- Kite, G. W. (1988), "Frequency and risk analyses in hydrology", Water Resources Publications, Littleton, Colorado, E.U.A.
- Linsley, R. K., Francini, J. B. (1972), "*Water resources engineering*", McGraw-Hill
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L. (1975), "*Hydrology for engineers*", McGraw-Hill.

Matthai, H. F. (1969), "Floods of June 1965 in South Platte Basin, Colorado", *Water Supply Paper 1850-B*, U. S. Geological Survey, Washington, D. C.

McCuen, R. (1988), "*Hydrologic analysis and design*", 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey.

Papp, F. (2002), "Extremeness of extreme floods", *The extremes of the Extremes: Extraordinary Floods*, Proceedings of a symposium held at Reykjavik, Iceland. July 2002. IAHS Publ. No. 271, 2002.

Pegram, S., Deacon, P. (1992), "Extreme flood hydrographs of chosen probability" *Proceedings of the International Symposium on Dams and Extreme Floods*. International Commission of Large Dams. Granada, España.

Rakhecha, P. R. (2002), "Highest floods in India", *The extremes of the Extremes: Extraordinary Floods*, Proceedings of a symposium held at Reykjavik, Iceland. July 2002. IAHS Publ. No. 271, 2002.

Ramírez O., Aldo Iván (2000), "*Nuevas metodologías en la estimación de avenidas de diseño*". Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería, DEPI UNAM.

Ramírez O., Aldo Iván, Gómez, Juan F., Campos A., Daniel F. (2004), "Actualización de las envolventes regionales de gastos máximos para la República Mexicana", *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. XX, núm. 1, pp. 99-108, enero-marzo de 2005.

Reiss, R. D., Thomas, M. (1997), "*Statistical Analysis of Extreme Values*", Birkhäuser Verlag, Boston.

Remenieras, G. (1967), "Statistical methods of flood frequency analysis", *Water Resources Research*, Ser. 30. World Meteorological Organization, New York.

Remenieras, G. (1971), "*Tratado de Hidrología aplicada*", Editores Técnicos Asociados, Barcelona, España.

Rodier, J. A., Roche, M. (1984), "*World Catalogue of Maximum Observed Floods*", IAHS, Publ. 143.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (1969), "*Estudio Hidrológico de la Cuenca Lerma-Santiago. Principales características. Subcuenca XI*". Guadalajara, México.

Semarnap (2000), "*Inventario Forestal Nacional 2000-2001*", Archivos de cobertura DBF, E00, SHP, y SHX.

Sherman, L. (1932), "*Stream flow from rainfall by the unit-graph method*", Engineering News-Record, Vol. 108.

Smith, J. A. (1989), "Regional flood frequency analysis using extreme order statistics of the annual peak record", *Water Resources Research*, Vol. 25, No. 2

Sutcliffe, J. V. (1987), "The use of historical records in flood frequency analysis", *Journal of Hydrology*, No. 96.

Weibull, W. (1939), "A statistical theory of the strength of materials", Ing. Vatenkapsakad Handl., vol. 151.

World Meteorological Organization (WMO) (1986), "*Manual for estimating of the probable maximum precipitation*" Geneva, Switzerland.

APÉNDICE A UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS POR CUENCA HIDROLÓGICA

La división por cuencas y subcuencas de la Región Hidrológica No. 12 se describe en la tabla A.1 y gráficamente se aprecia en la figura A.1

R H - 12	A RIO LERMA-TOLUCA	a R. ALMOLOYA- OTZOLOTEPEC
		b R. OTZOLOTEPEC- R. ATLACOMULCO
		c R. ATLACOMULCO- PASO DE OVEJAS
		d P. SOLIS
		e A. TARANDACUAO
		f A. CAVICHI
		g R. TLALPUJAHUA
		h R. JALTEPEC
		i R. GAVIA
		j R. TEJALPA
B RIO LERMA-SALAMANCA	k R. VERDIGUEL	
	l R. OTZOLOTEPEC	
	m R. SILA	
	n R. TIGRE	
	a R. SOLIS- SALAMANCA	
	b R. SALAMANCA- R. ANGULO	
C RIO LERMA-CHAPALA	c A. TEMASCATIO	
	d R. GUANAJUATO	
	e R. TURBIO- P. PALOTE	
	f R. TURBIO- MANUEL DOBLADO	
D LAGUNA CHAPALA	g R. TURBIO- CORRLEJO	
	a R. ANGULO- R. BRISEÑAS	
	b R. BRISEÑAS- L. CHAPALA	
	c R. DUERO	
	d R. ANGULO	
E R. SANTIAGO - GUADALAJARA	e R. HUASCATO	
	a R. SAHUAYO	
	b L. CHAPALA	
	c L. DE SAN MARCOS	
	d L. DE SAYULA	
	e L. DE ZAPOTLAN	
	a L. CHAPALA- R. CORONA	
	b R. CORONA- R. VERDE	
	c R. VERDE- P. SANTA ROSA	
	d P. SANTA ROSA- R. BOLAÑOS	
F R. SANTIAGO - AGUAMILPA	e R. ZULA	
	f R. LA LAJA	
	g R. CALDERON	
	h R. GIGANTES	
	i R. CUIXTLA	
	a R. BOLAÑOS- R. HUAYNAMOTA	
	b R. HUAYNAMOTA- OCEANO	
G L. DE PATZCUARO - CUITZEO Y L. DE YURIRIA	c R. TEPIC	
	d R. MOJARRAS	
	e R. BARRANQUITAS	
H R. LAJA	f R. DE LA MANGA	
	g L. MAGDALENA- L. PALO VERDE	
	a L. DE PATZCUARO	
	b L. DE CUITZEO	
I R. VERDE GRANDE	c L. DE YURIRIA	
	a R. LAJA- PEÑUELITAS	
	b P. IGNACIO ALLENDE	
LERMA-SANTIAGO	c R. LAJA- CELAYA	
	d R. APASEO	
	a R. SAN PEDRO	
	b R. AGUASCALIENTES	
	c R. VERDE GRANDE	
	d R. TEPATITLAN	
	e R. DEL VALLE	
	f R. SAN MIGUEL	
	g R. DE LOS LAGOS	
	h R. GRANDE	
	i R. ENCARNACION	
	j R. CHICALOTE	
k R. MORCINIQUE		
l R. TEOCALTICHE		

		m. C. C. OCAMPO
J	R. JUCHIPILA	a R. JUCHIPILA- MALPASO
		b R. JUCHIPILA- JALPA
		c R. JUCHIPILA- MOYAHUA
		d R. MEZQUITAL
		e R. CALVILLO
		f R. ZAPOQUI
		g R. PALOMAS
K	R. BOLAÑOS	a R. SAN MATEO
		b R. VALPARAISO
		c R. BOLAÑOS ALTO
		d R. BOLAÑOS BAJO
		e R. CARBONERA
		f R. TLALTENANGO
		g R. COLOTLAN
		h R. CHICO
		i R. JEREZ
		j R. TEPETONGO
L	R. HUAYNAMOTA	a A. EL ALEMAN
		b R. SAN JUAN
		c R. ATENGO
		d R. HUAYNAMOTA
		e R. HUAJIMIC
		f R. HUICHOL
		g R. HUEJUQUILLA
		i R. SAN PEDRO
		j R. JESUS MATIAS

Tabla A.1 Cuencas y subcuencas de la Región Hidrológica No. 12.

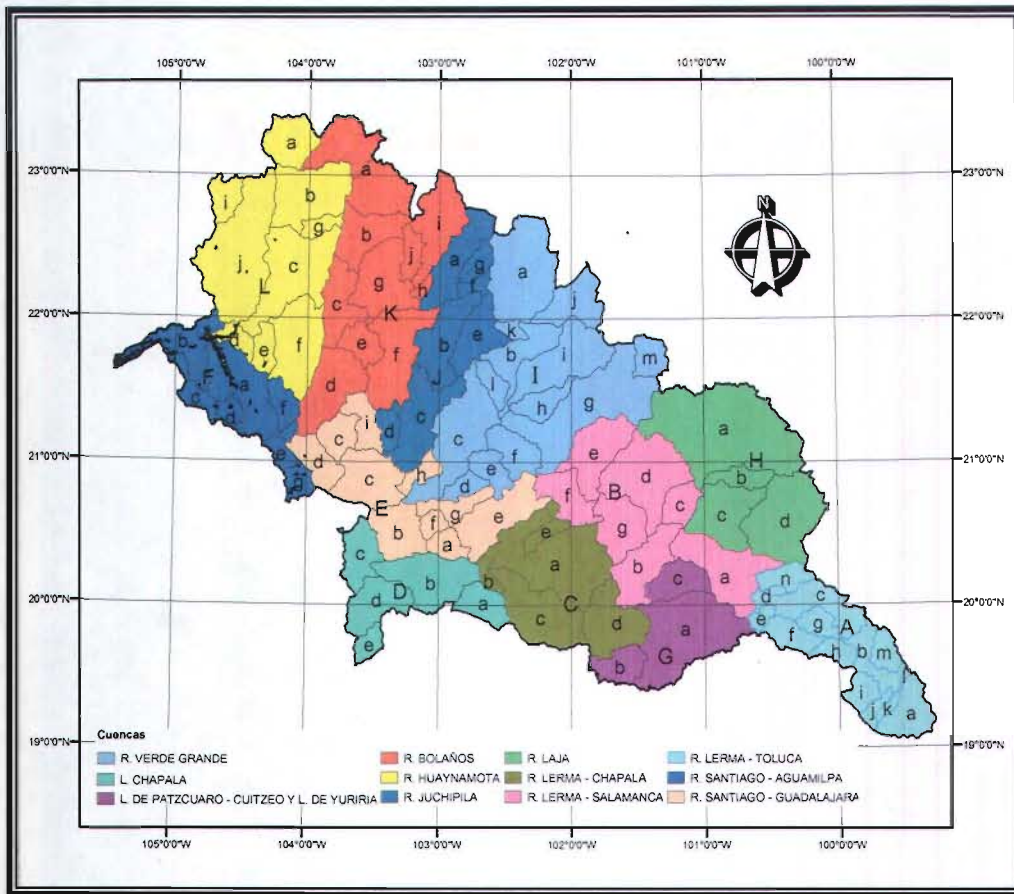


Figura A.1 Cuencas y subcuencas de la Región Hidrológica No. 12.

A continuación se muestra la ubicación de las estaciones estudiadas ubicadas por cuenca hidrológica.

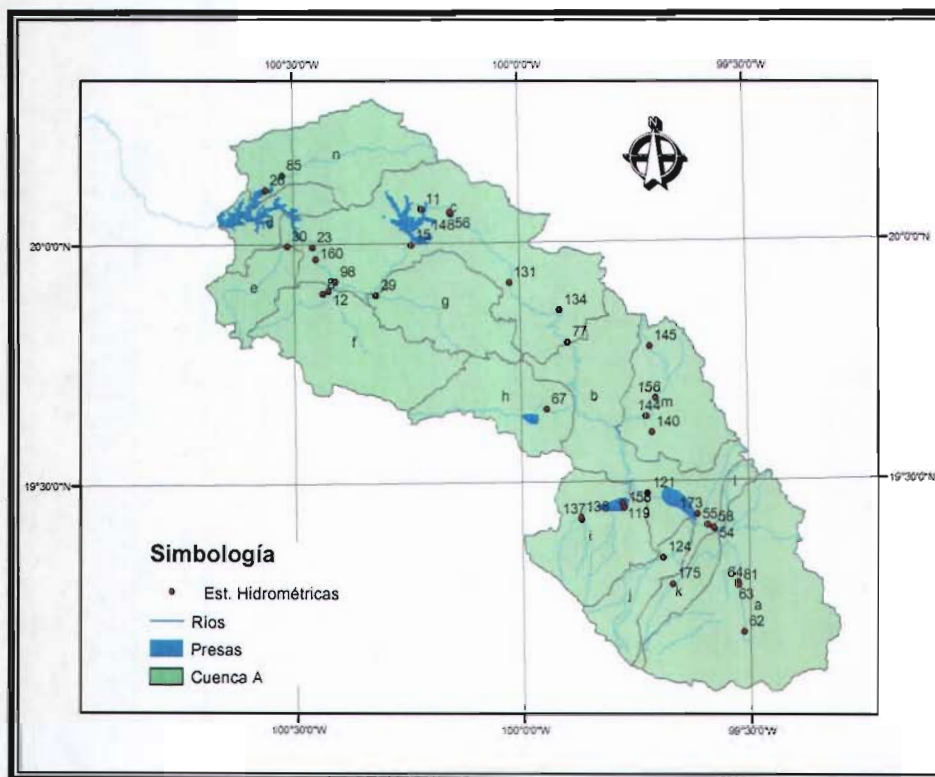


Figura A.2 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca A, Río Lerma-Toluca.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
8	12096	CASA BLANCA	169	ARROYO CASA BLANCA	19.894	-100.435	1923-1936
11	12113	MOLINOS DE CABALLERO	5352	RIO LERMA	20.069	-100.214	1922-1928
12	12117	MARAVATIO	465	ARROYO CACHIVI	19.900	-100.422	1929-1936
15	12209	EL TAMBOR	5645	RIO LERMA	19.994	-100.238	1927-1999
23	12232	PASO DE OVEJAS	7161	RIO LERMA	19.992	-100.457	1928-1951, 1988-1992
26	12237	MUNGUÍA (ZATEMAYE)	673	RIO TIGRE	20.111	-100.560	1928-1949
29	12249	PATEO	485	RIO TLALPUJAHUA	19.890	-100.317	1928-1936
30	12257	TARANDACUAO	267	ARROYO TARANDACUAO	19.994	-100.513	1929-1948
54	12373	SAN BARTOLO	1346	RIO LERMA	19.398	-99.574	1942-1970
55	12374	LA "Y"	1582	RIO LERMA	19.406	-99.569	1942-2001
56	12375	TEMASCALES	5275	RIO LERMA	20.058	-100.150	1942-2002
58	12377	OTZOLOTEPEC	212	RIO OTZOLOTEPEC	19.400	-99.576	1942-1999
62	12386	ATENCO	406	RIO LERMA	19.182	-99.513	1942-1960, 1971-1985
63	12387	PUENTE CARRETERA I	888	RIO LERMA	19.286	-99.524	1949-1963
64	12388	PUENTE FERROCARRIL	886	RIO LERMA	19.283	-99.524	1942-1949
67	12392	PUENTE MEXTEPEC	387	RIO JALTEPEC	19.650	-99.942	1943-2001
77	12423	PUENTE ATLA COMULCO	4436	RIO LERMA	19.789	-99.893	1947-1999
81	12451	PUENTE CARRETERA II	885	RIO LERMA	19.279	-99.524	1963-1985, 1995-1999
85	12466	JERECUARO	600	RIO TIGRE O CORONEO	20.142	-100.522	1951-2002
98	12490	SAN NICOLASITO	6360	RIO LERMA	19.919	-100.406	1954-1971
119	12534	ATOTONILCO II	506	RIO LA GAVÍA	19.453	-99.776	1965-2002
121	12539	SAN BERNABE	2142	RIO LERMA	19.473	-99.720	1995-2002
124	12543	CALIXTLAHUACA	225	RIO TEJALPA	19.339	-99.688	1961-2002
131	12561	TEMASCALCINGO	4851	RIO LERMA	19.914	-100.021	1962-1999

134	12568	EL TEJOCOTE	205	RIO CHIQUITO	19.856	-99.910	1962-2001
137	12574	LOS VELAZQUEZ	35	RIO EL ROSARIO	19.419	-99.867	1963-2002
138	12578	PUNTE LOS VELASQUEZ	163	RIO LA GAVIA	19.424	-99.868	1963-2002
140	12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	175	RIO SILA	19.600	-99.710	1964-2002
144	12592	SANTA MARIA DEL LLANO	378	RIO SANTO DOMINGO	19.633	-99.722	1964-2002
145	12601	EL PESCADO NUMERO 2	36	RIO EL PESCADO	19.779	-99.713	1965-1999
148	12605	TEMASCALES II	5275	RIO LERMA	20.063	-100.151	1966-1999
156	12629	BOYICHA	250	RIO SANTO DOMINGO	19.671	-99.700	1967-1970
158	12655	ATOTONILCO I	503	RIO LA GAVIA	19.444	-99.774	1960-1965
160	12664	EL GIGANTE	7121	RIO LERMA	19.967	-100.450	1970-2002
173	12729	TROJES	74	RIO TEMOAYA	19.428	-99.612	1974-2001
175	12738	UNIVERSIDAD	51	RIO VERDIGUEL	19.283	-99.668	1976-1983

Tabla A.2 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca A, Río Lerma-Toluca.

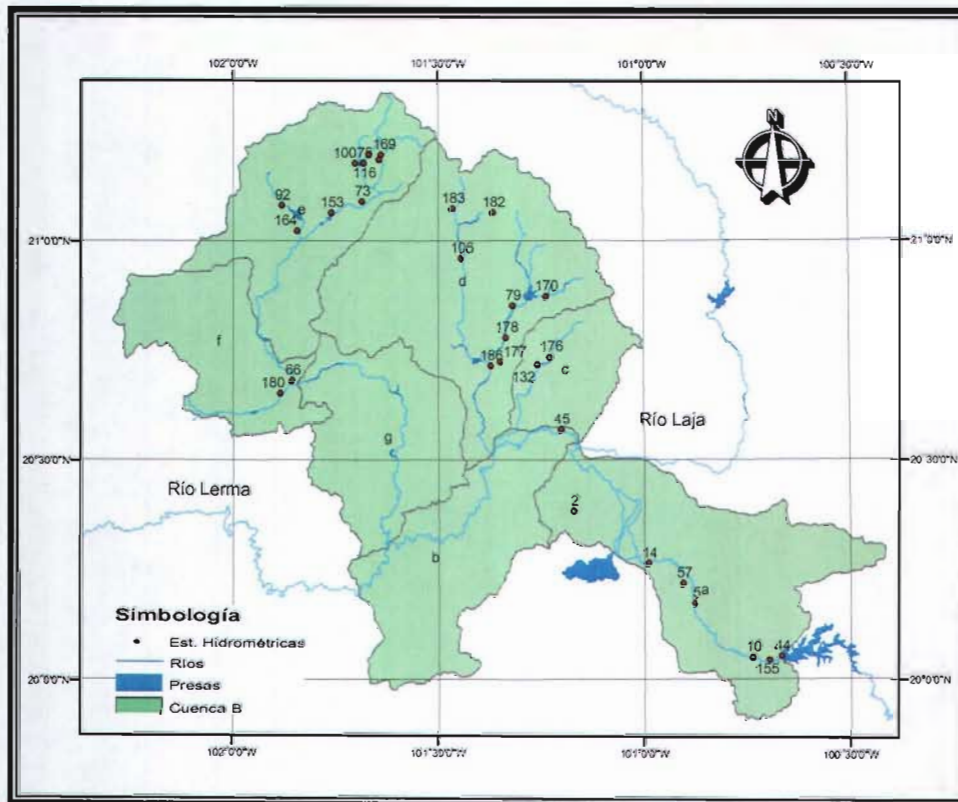


Figura A.3 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca B, Río Lerma-Salamanca.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Período de datos
2	12007	SALAMANCA	21846	RIO LERMA	20.383	-101.167	1922-1939,1993-2002
5	12067	EMENGUARO	9277	RIO LERMA	20.171	-100.875	1928-1935,1970-2002
10	12104	ACAMBARO	8708	RIO LERMA	20.050	-100.733	1922-1968
14	12194	OJUELOS	10422	RIO LERMA	20.263	-100.988	1928-1942
44	12349	SOLIS	8358	RIO LERMA	20.050	-100.667	1939-1958,2000-2002
45	12352	SALAMANCA II	22033	RIO LERMA	20.567	-101.200	1939-1998
57	12376	SALVIATERRA	9305	RIO LERMA	20.217	-100.904	1942-2002
66	12391	LAS ADJUNTAS	2913	RIO TURBIO	20.879	-101.854	1943-2002
73	12411	LA CALZADA	357	RIO DE LOS GOMEZ	21.088	-101.883	1945-1958
75	12418	LOS CASTILLOS	128	ARROYO LOS CASTILLOS	21.175	-101.679	1947-2001

79	12436	LAS AMERICAS	528	RIO GUANAJUATO	20.850	-101.317	1958-1989
92	12479	GUANAJAL	293	RIO PEDRITO	21.079	-101.879	1953-1970
100	12499	LA PATIWA	91	ARROYO LA PATIWA	21.175	-101.700	1955-1988
103	12506	BRANIFF	8611	RIO LERMA	20.042	-100.696	1956-1990
106	12512	SILAO	372	RIO SILAO	20.958	-101.442	1957-1974,1980-1991
107	12513	VERTEDOR CASTILLOS	128	ARROYO LOS CASTILLOS	21.194	-101.667	1970-1982
116	12527	IBARRILLA	84.8	ARROYO IBARRILLA	21.183	-101.642	1971-1981
132	12562	LA TRINIDAD	267	ARROYO TEMASCATIO	20.717	-101.254	1962-1970
153	12618	LOS GOMEZ	656	RIO DE LOS GOMEZ	21.062	-101.759	1979-1992
155	12627	PASARELA SOLIS	8538	RIO LERMA	20.050	-100.667	1967-2001
164	12673	GUANAJAL II	606	RIO PEDRITO	21.021	-101.842	1970-1992
169	12716	IBARRILLA II	80.1	ARROYO IBARRILLA	21.194	-101.638	1972-1982
170	12717	EL CHAPIN	228	RIO LA SAUCEDA	20.871	-101.236	1974-2002
176	12743	SAN JUAN TEMASCATIO	251	ARROYO TEMASCATIO	20.733	-101.224	1977-1999
177	12744	COPALILLO	646	RIO GUANAJUATO	20.722	-101.347	1976-2002
178	12748	EL SAUZ	67	ARROYO ZARCO	20.777	-101.333	1977-1989
180	12758	EL COLORADO	295	ARROYO COLORADO	20.650	-101.883	1977-2002
182	12761	LA YERBABUENA	18.6	ARROYO LA YERBABUENA	21.063	-101.364	1980-1989
183	12762	EL TIGRE	24.7	ARROYO EL TIGRE	21.071	-101.463	1979-1989
186	12908	ARANDAS	2123	RIO DE LA LLAVE	20.713	-101.371	1974-2002

Tabla A.3 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca B, Río Lerma-Salamanca.

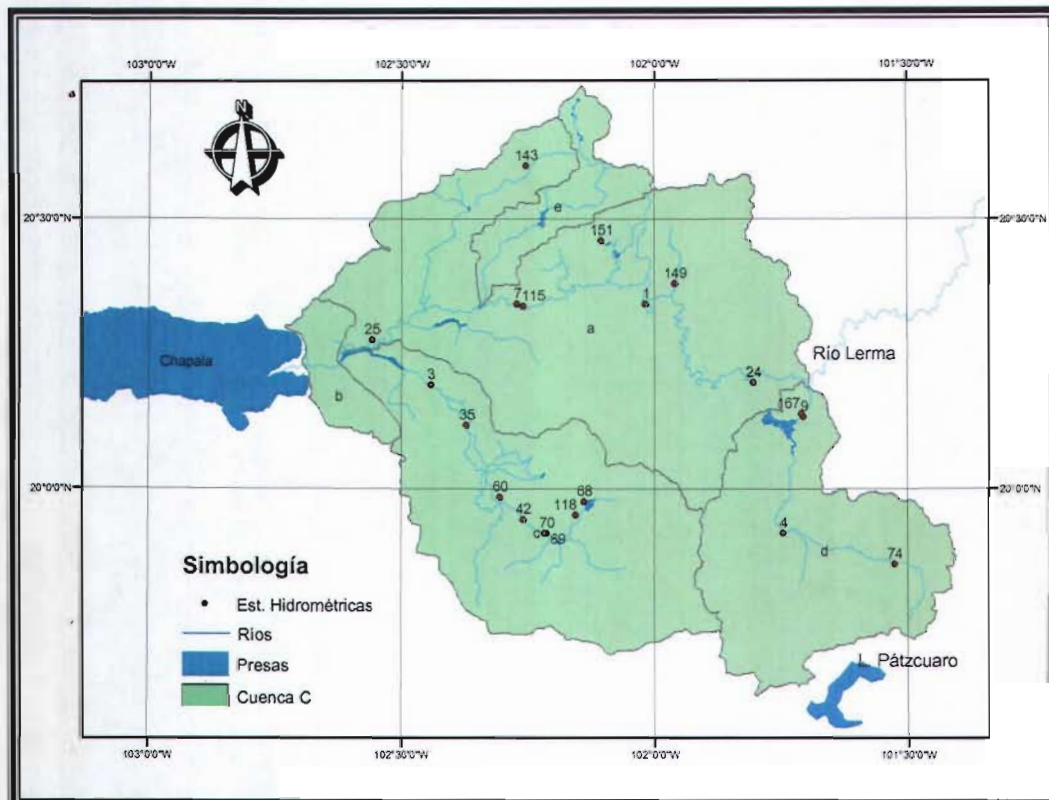


Figura A.4 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca C, Río Lerma-Chapala.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
1	12004	LA PIEDAD	35662	RIO LERMA	20.342	-102.017	1902-1942,2000-2002
3	12011	PUENTE INGENIEROS	2318	RIO DUERO	20.192	-102.442	1928-1936
4	12014	PASARELA VILLA JIMENEZ	1417	RIO ANGULO	19.917	-101.746	1969-1988,1995-2002
7	12095	YURECUARO	12095	RIO LERMA	20.342	-102.271	1922-1959
9	12098	ANGAMACUTIRO	2064	RIO ANGULO	20.132	-101.704	1955-1972
24	12233	CORRALES	34153	RIO LERMA	20.196	-101.804	1930-1999
25	12234	BRISENAS	38498	RIO LERMA	20.275	-102.558	1928-1931
35	12310	LA ESTANZUELA	2198	RIO DUERO	20.117	-102.371	1936-1999
42	12344	PLATANAL	1243	RIO DUERO	19.942	-102.258	1938-1942
60	12379	JACONA	126	RIO CELIO	19.983	-102.304	1942-2002
68	12395	UREPETIRO	453	RIO TLAZAZALCA	19.975	-102.138	1943-1980,1971-1978
69	12396	CAMECUARO	1221	RIO DUERO	19.917	-102.213	1943-1985,2000-2002
70	12397	CAMECUARO	4	DESAGUE DEL LAGO	19.917	-102.217	1943-1985,1995-2002
74	12415	PUENTE SAN ISIDRO	257	RIO DE LA PATERA	19.858	-101.525	1947-1992
115	12526	YURECUARO II	36176	RIO LERMA	20.338	-102.258	1959-2002
118	12533	UREPETIRO II	479	RIO TLAZAZALCA	19.950	-102.154	1960-1985,1995-1999
143	12589	HUASCATO	312	RIO HUASCATO	20.597	-102.253	1964-2002
149	12606	SANTA ANA	313	ARROYO DE LOS OCOTES	20.379	-101.958	1965-1969
151	12608	LOS FRESNOS	31	RIO ANDAMACUARO	20.458	-102.104	1965-1977
167	12713	ANGAMACUTIRO II	2064	RIO ANGULO	20.138	-101.708	1955-1987,1995-1999

Tabla A.4 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca C, Río Lerma-Chapala.

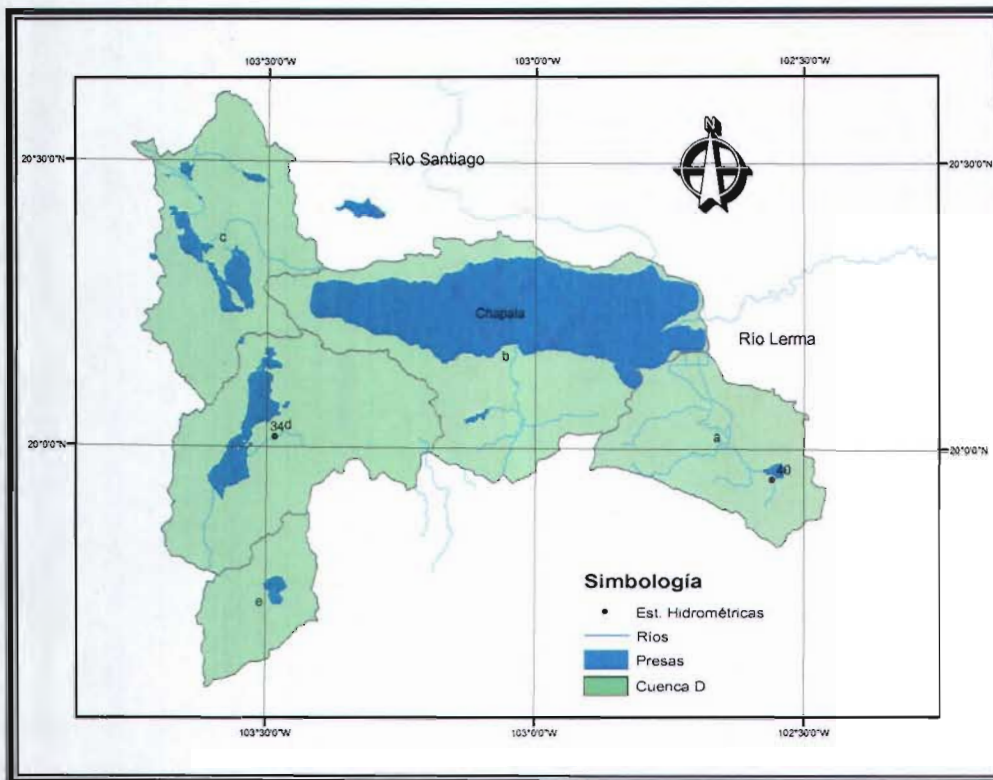


Figura A.5 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca D, Laguna Chapala.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
34	12278	ATOYAC	157	RIO ATOYAC	20.017	-103.483	1942-2002
40	12338	SAN ANTONIO GUARACHA	73	ARROYO LAS LIEBRES	19.946	-102.558	1938-1943

Tabla A.5 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca D, Laguna Chapala.

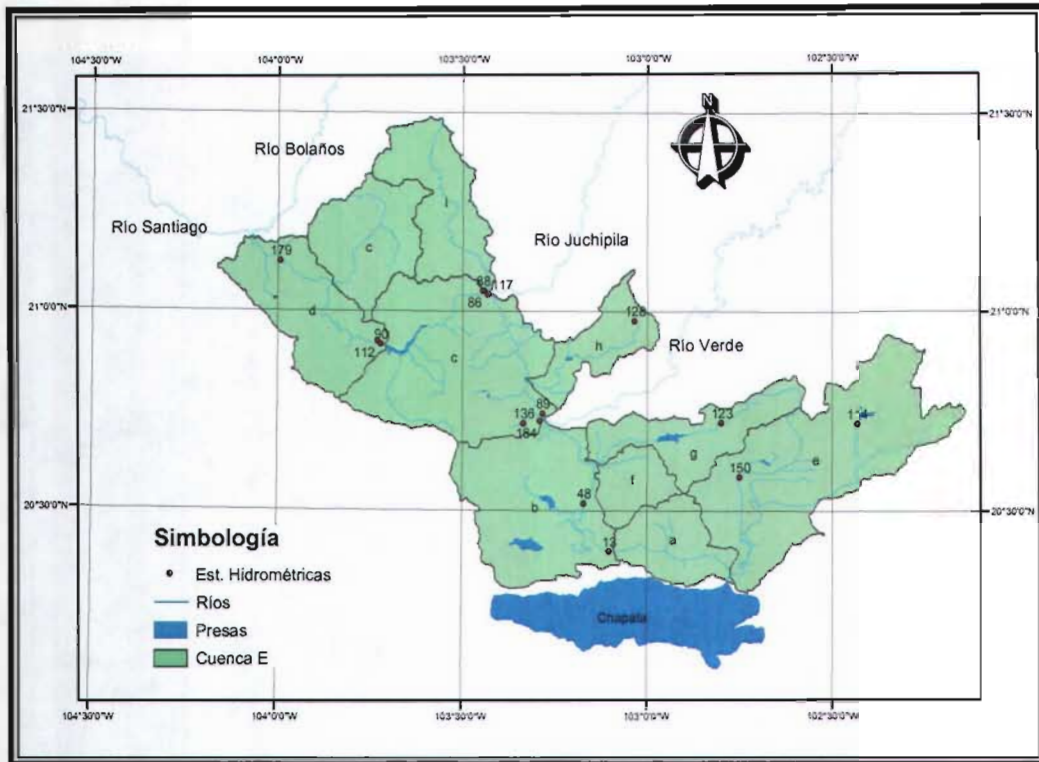


Figura A.6 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca E, R. Santiago-Guadalajara.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
13	12128	CORONA	47386	RIO SANTIAGO	20.396	-103.102	1926-2002
48	12359	EL SALTO	48541	RIO SANTIAGO	20.517	-103.169	1950-1985,1995
86	12469	CUIXTLA	854	RIO CUIXTLA	21.050	-103.439	1951-2002
88	12471	SAN CRISTOBAL	80336	RIO SANTIAGO	21.049	-103.443	1951-1959,1995-1999
89	12472	ARCEDIANO	70339	RIO SANTIAGO	20.742	-103.281	1951-1981,1989
90	12473	SANTA ROSA	82352	RIO SANTIAGO	20.914	-103.718	1951-1979,1995-1997
112	12521	SANTA ROSA II	82359	RIO SANTIAGO	20.922	-103.726	1958-2002
114	12525	EL TULE	325	RIO TULE	20.717	-102.433	1959-1970
117	12532	SAN CRISTOBAL II	71783	RIO SANTIAGO	21.039	-103.429	1960-2002
123	12541	LA RED	204	RIO CALDERON	20.719	-102.799	1961-1965
128	12557	CUQUIO	64	RIO GIGANTES	20.974	-103.033	1962-1965
136	12573	LA EXPERIENCIA	217	RIO SAN JUAN DE DIOS	20.717	-103.333	1963-1999
150	12607	LA YERBABUENA	484	RIO DE LOS MORALES	20.583	-102.750	1965-1995
179	12757	PASO DE ANALCO	84258	RIO SANTIAGO	21.122	-103.990	1962-1989
184	12764	ATEMAJAC	151	ARROYO ATEMAJAC	20.724	-103.288	1974-1979,1986-2002

Tabla A.6 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca E, R. Santiago-Guadalajara.

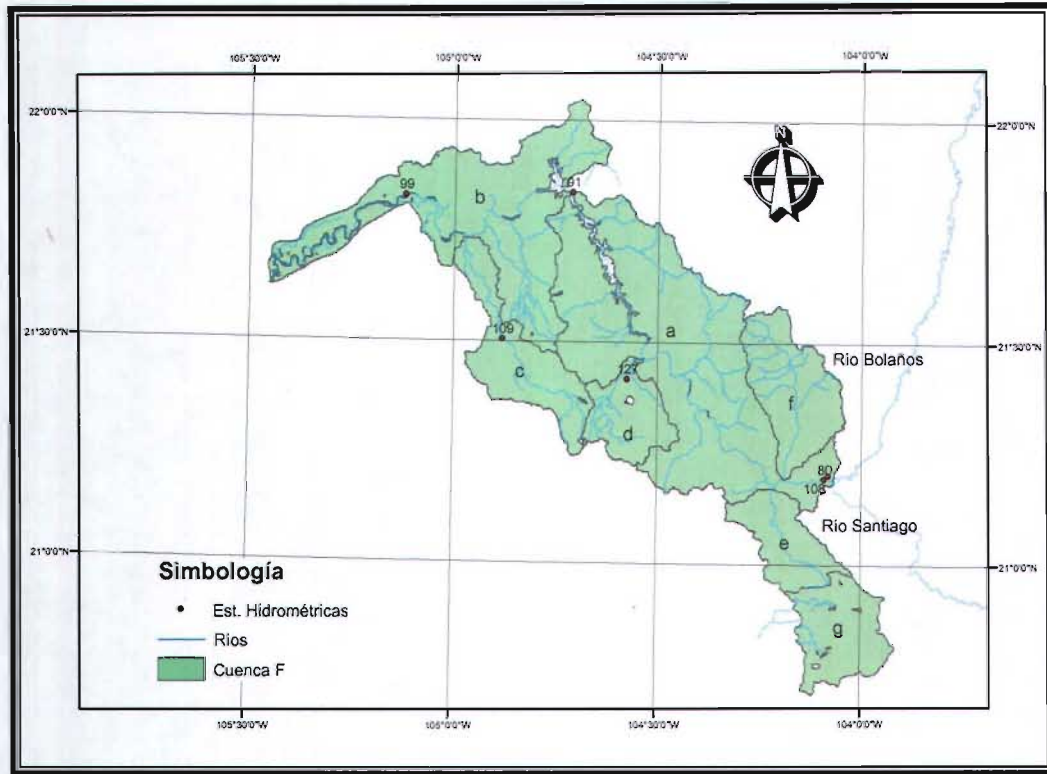


Figura A.7 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca F, R. Santiago-Aguamilpa.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
80	12438	LA YESCA	84559	RIO SANTIAGO	21.193	-104.090	1948-2002
91	12474	EL SAUZ	103367	RIO SANTIAGO	21.835	-104.709	1951-1956
99	12496	CAPOMAL	122960	RIO SANTIAGO	21.825	-105.118	1955-2003
108	12514	EL CAIMAN	14755	RIO BOLAÑOS	21.201	-104.081	1948-2002
109	12516	MOLOLOA	443	RIO TEPIC	21.503	-104.879	1958-1988,1994-2002
127	12556	CERRO BLANCO	196	RIO MOJARRAS	21.415	-104.573	1962-2002

Tabla A.7 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca F, R. Santiago-Aguamilpa.

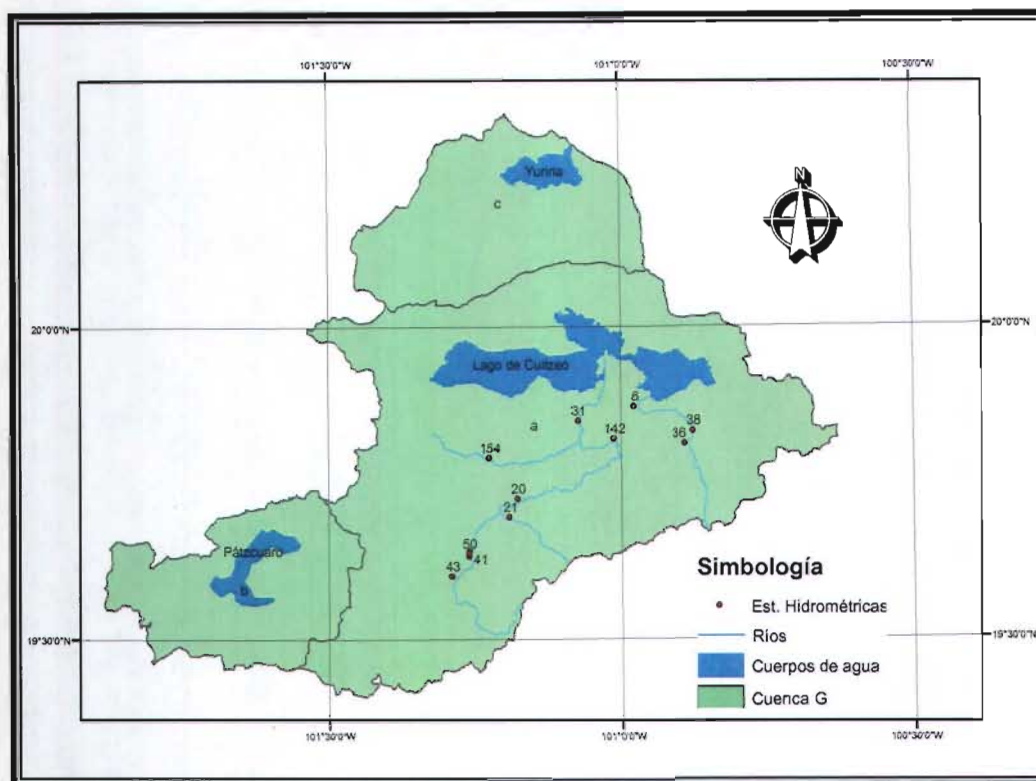


Figura A.8 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca G, L. de Pátzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriria.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
6	12093	ZINZIMEO	546	RIO QUERENDARO	19.871	-100.976	1929-1939
19	12219	COINTZIO	490	RIO GRANDE DE MORELIA	19.642	-101.258	1927-1940,2000-2002
20	12221	ATAPANEO	912	RIO GRANDE DE MORELIA	19.725	-101.176	1927-1993,2000-2001
21	12224	CHIQUITO	78	RIO CHIQUITO	19.696	-101.190	1927-1989
31	12258	LAVADEROS	1290	RIO GRANDE DE MORELIA	19.849	-101.072	1929-1938
36	12314	QUERENDARO	133	RIO QUERENDARO	19.812	-100.889	1936-1985,1995-1996
38	12323	SALIDAS DE MALPAIS	335	RIO QUERENDARO	19.832	-100.876	1960-1985,2000-2002
41	12341	SALIDA TUNEL	486	RIO GRANDE DE MORELIA	19.633	-101.259	1940-1992
43	12347	SANTIAGO UNDAMEO	388	RIO GRANDE DE MORELIA	19.601	-101.288	1939-1985
50	12365	EL SALTO	489	RIO GRANDE DE MORELIA	19.636	-101.260	1941-2002
142	12588	EL PLAN	1270	RIO GRANDE DE MORELIA	19.819	-101.011	1958-2002
154	12620	TARIMBARO	95	ARROYO GUADALUPE	19.789	-101.224	1968-1985

Tabla A.8 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca G, L. de Pátzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriria.

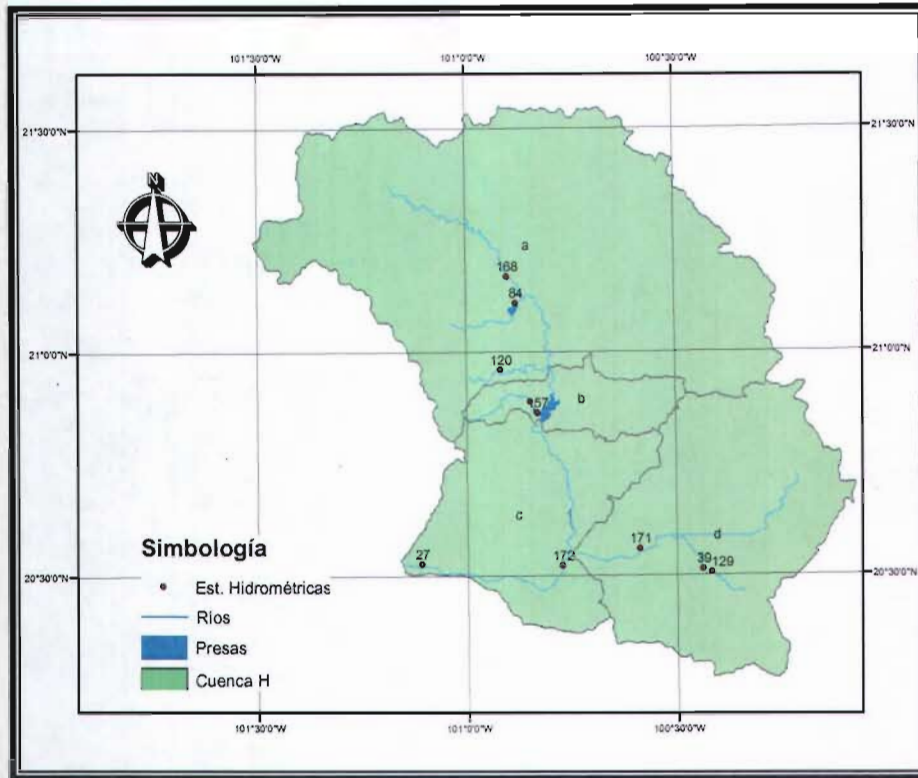


Figura A.9 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca H, Río Laja.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
27	12238	PERICOS	9651	RIO DE LA LAJA	20.525	-101.108	1928-2002
39	12331	EL PUEBLITO	420	RIO DEL PUEBLITO	20.513	-100.438	1949-1951
84	12456	PEWUELITAS	395	RIO DE LA ERRE	21.108	-100.879	1950-1959
120	12535	CINCO SEÑORES	408	ARROYO SAN DAMIAN	20.958	-100.917	1960-1994,2000-2002
126	12546	GONZALEZ	120	ARROYO TLAXCALILLA	20.888	-100.846	1961-1968
129	12558	EL BATAN	399	RIO DEL PUEBLITO	20.504	-100.417	1962-2002
157	12652	LA BEGOWA PUENTE	4981	RIO DE LA LAJA	20.863	-100.829	1939-1965
168	12715	DOLORES	1711	RIO DE LA LAJA	21.167	-100.900	1972-2002
171	12718	AMECHE	2255	RIO QUERETARO	20.558	-100.588	1974-2002
172	12719	TRES GUERRAS	5849	RIO DE LA LAJA	20.521	-100.772	1974-2002

Tabla A.9 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca H, Río Laja.

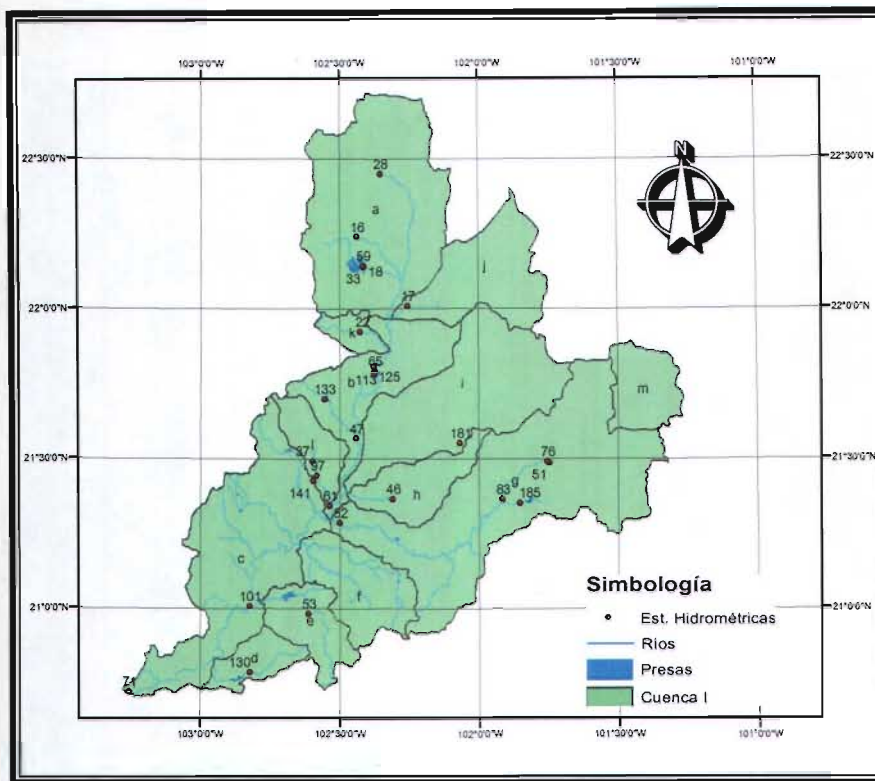


Figura A.10 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca I, R. Verde Grande.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
16	12210	VERTEDOR POTRERILLOS	313	RIO PABELLON	22.235	-102.435	1927-1936
17	12213	PUENTE F.C. CHICALOTE	1518	RIO CHICALOTE	22.008	-102.254	1927-1933,1970
18	12218	EL AGUILA	558	RIO SANTIAGO	22.136	-102.410	1927-1935
22	12227	TIZCARENO	192	RIO MORCINIQUE	21.921	-102.425	1927-1933
28	12239	SAN PEDRO PIEDRA GORDA	410	RIO SAN PEDRO	22.446	-102.351	1928-1958
33	12271	PALMITOS	558	RIO SANTIAGO	22.138	-102.412	1931-1942
37	12315	CALERA	279	RIO TEOCALTICHE	21.490	-102.596	1936-1954
46	12355	AGOSTADERO	354	RIO SAN MATIAS	21.364	-102.308	1940-1979
47	12358	AJOJUCAR	6597	RIO AGUASCALIENTES	21.563	-102.439	1939-2002
51	12369	CUARENTA	1652	RIO DE LAGOS	21.485	-101.746	1941-1965,1998-1999
52	12370	SAN GASPAR	4390	RIO DE LAGOS	21.285	-102.497	1941-2002
53	12371	VALLE DE GUADALUPE	394	RIO DEL VALLE	20.981	-102.610	1941-1988,1994-1995
59	12378	PRESA CALLES	558	SALIDAS PRESA	22.138	-102.414	1942-1985,2000-2001
61	12382	PASO DEL SABINO	10559	RIO AGUASCALIENTES	21.341	-102.535	1964-2002
65	12389	EL NIAGARA I	5774	RIO AGUASCALIENTES	21.789	-102.372	1955-1958
71	12400	LAS JUNTAS	49834	RIO SANTIAGO	20.717	-103.250	1951-1988,1994-1999
76	12422	CUARENTA II	1703	RIO DE LAGOS	21.489	-101.753	1965-2002
83	12454	LAGOS	2397	RIO DE LAGOS	21.363	-101.914	1950-2002
97	12489	TEOCALTICHE	306	RIO TEOCALTICHE	21.442	-102.580	1954-1964
101	12504	LA CUNA	19097	RIO VERDE	21.005	-102.821	1947-2002
113	12522	EL NIAGARA II	5773	RIO AGUASCALIENTES	21.801	-102.375	1958-1961
125	12545	EL NIAGARA III	5780	RIO AGUASCALIENTES	21.779	-102.375	1961-1979,1987-1990,2000
130	12559	LAGUNILLAS	265	RIO TEPATITLAN	20.786	-102.819	1962-1972
133	12563	SAN JUANICO	100	RIO SANTA MONICA	21.696	-102.553	1972-1976
141	12585	CALERITA	284	RIO TEOCALTICHE	21.425	-102.593	1964-2002
181	12760	SAUCES CHICOS	704	RIO ENCARNACION	21.550	-102.067	1977-1990
185	12767	LA SAUCEDA	117	RIO DE LA SAUCEDA	21.351	-101.851	1978-2002

Tabla A.10 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca I, R. Verde Grande.

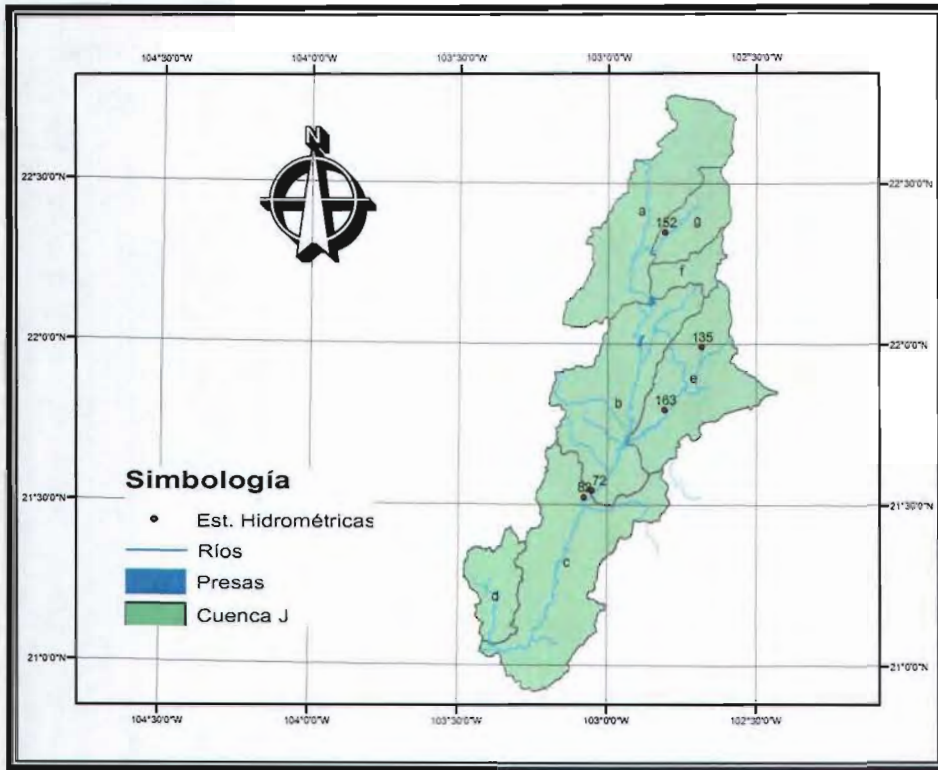


Figura A.11 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca J, Río Juchipila.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
72	12405	EL TECOMATE	5775	RIO JUCHIPILA	21.543	-103.050	1948-1997
82	12452	ACHOQUEN	142	SALIDAS PRESA	21.521	-103.076	1950-1973
135	12570	LA CODORNIZ	173	RIO LA LABOR	21.989	-102.683	1963-2001
152	12615	PALOMAS (SALIDAS PRESA PALOMAS)	348	RIO PALOMAS	22.345	-102.807	1966-2002
163	12669	MEDIA LUNA	1029	RIO CALVILLO	21.793	-102.807	1970-2001

Tabla A.11 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca J, Río Juchipila.

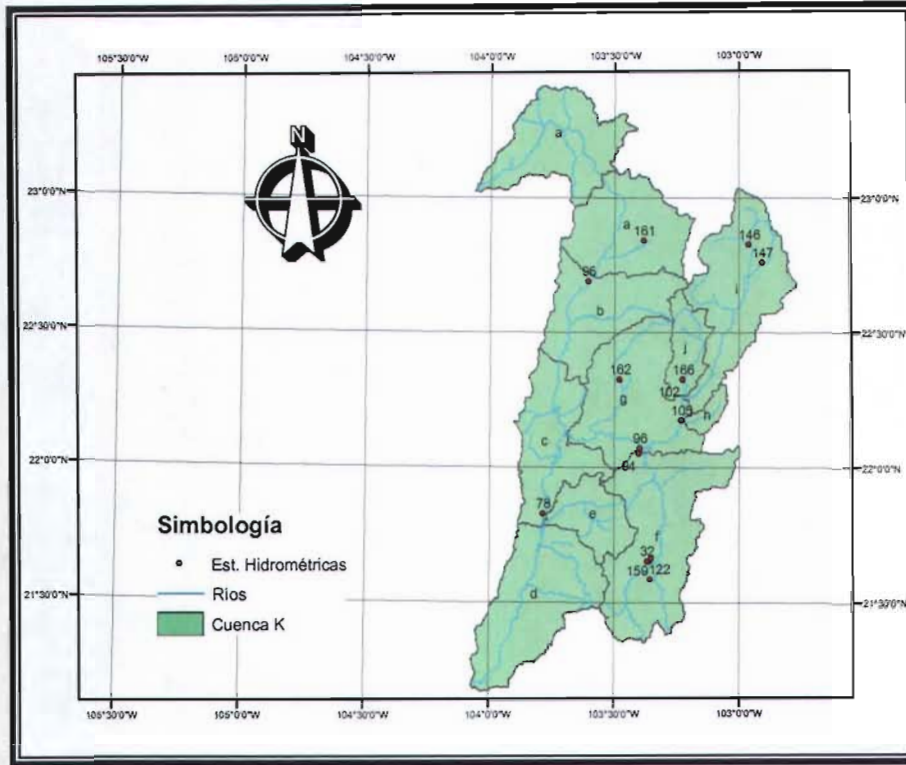


Figura A.12 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca K, Río Bolaños.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
32	12268	EXCAME I	743	RIO TLALTENANGO	21.651	-103.358	1930-1949
78	12428	BOLAWOS	11900	RIO BOLAWOS	21.825	-103.783	1947-2002
94	12485	EL ZAPOTE	2553	RIO TLALTENANGO	22.048	-103.399	1954-2002
95	12487	LA FLORIDA	1793	RIO VALPARAISO	22.686	-103.604	1954-2002
96	12488	LA GLORIA	3105	RIO COLOTLAN	22.068	-103.396	1954-2002
102	12505	ACHIMEC I	390	RIO TEPETONGO	22.324	-103.223	1966-1970
105	12508	BOQUILLA TENASCO	151	RIO CHICO	22.172	-103.229	1957-1961
110	12517	CONTROL	742	EXTRACCIONES P. ALEMAN	21.650	-103.364	1958-1967
122	12540	LA VILLITA (EXCEDENCIAS P. LA VILLITA)	208	ARROYO LA VILLITA	21.583	-103.353	1960-2002
146	12602	BOCA DEL TESORERO	467	RIO JEREZ	22.825	-102.958	1965-1974
147	12604	ROSALES	109	ARROYO ROSALES	22.758	-102.904	1965-1969
159	12663	EXCAME II Y III (SOBRANTES P. ALEMAN)	753	RIO TLALTENANGO	21.661	-103.349	1950-2002
161	12667	SAN ISIDRO (EXCEDENTES P. SAN ISIDRO)	414	ARROYO LOBATOS	22.838	-103.380	1969-2000
162	12668	SANTA TERESA	379	ARROYO SANTA TERESA	22.323	-103.477	1969-1982, 1989-1994
166	12700	ACHIMEC II	391	RIO TEPETONGO	22.323	-103.223	1969-1997

Tabla A.12 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca K, Río Bolaños.

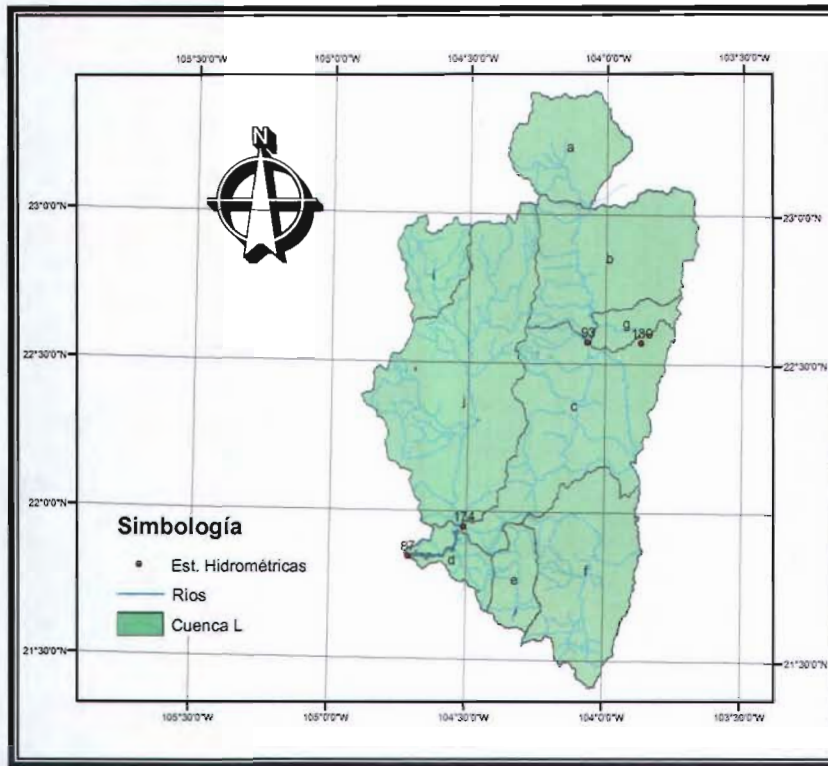


Figura A.13 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca L, Río Huaynamota.

No.	Clave	Nombre	Área km ²	Corriente	Latitud	Longitud	Periodo de datos
87	12470	HUAYNAMOTA	17528	RIO HUAYNAMOTA	21.843	-104.711	1951-1958
93	12484	EL PLATANITO	5796	RIO SAN JUAN CAPISTRANO	22.568	-104.063	1954-2002
139	12579	EL PINITO	190	RIO HUEJUQUILLA	22.567	-103.867	1964-2002
174	12733	CHAPALAGANA	11878	RIO CHAPALAGANA	21.945	-104.508	1974-2002

Tabla A.13 Estaciones Hidrométricas en la Cuenca L, Río Huaynamota.

APÉNDICE B TABLAS DE RESULTADOS

No.	Clave	Ordenada b	Pendiente m	Estimación Cc para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
1	12004	-30.18158	0.01672	4.09818	1174.47
2	12007	-10.02722	0.00652	3.34670	820.92
3	12011	-21.52060	0.01135	1.74686	182.76
4	12014	-24.00839	0.01252	1.65477	138.89
5	12067	-10.36012	0.00635	2.66636	485.85
6	12093	-61.85755	0.03214	4.03872	213.03
7	12095	-105.96020	0.05702	10.92162	3144.15
8	12096	-22.21350	0.01165	1.67679	46.46
9	12098	-71.99961	0.03697	3.78269	376.15
10	12104	-46.79016	0.02578	6.06414	1079.44
11	12113	-689.85934	0.35918	46.45443	6669.66
12	12117	-163.23595	0.08488	10.77483	522.93
13	12128	-12.87147	0.00751	2.52484	788.24
14	12194	-68.11109	0.03632	6.34417	1206.01
15	12209	1.73952	0.00051	2.79344	421.80
17	12213	0.42365	0.00000	0.42365	36.70
18	12218	1.22311	0.00000	1.22311	65.24
19	12219	-27.90697	0.01483	2.50305	124.84
20	12221	-6.28041	0.00368	1.26552	86.24
21	12224	-65.35619	0.03537	7.14364	123.52
22	12227	-319.58130	0.16612	20.96117	625.48
23	12232	-101.23665	0.05339	8.20857	1358.17
24	12233	-38.07141	0.02071	4.37804	1238.08
25	12234	-167.82034	0.08774	12.05043	3535.12
26	12237	-147.87843	0.07793	11.88670	697.27
27	12238	-22.43130	0.01240	2.98104	551.10
28	12239	-90.18280	0.04695	6.06908	275.64
29	12249	-432.40227	0.22488	28.59568	1418.66
30	12257	-351.41160	0.18630	30.50814	1097.42
31	12258	-33.94628	0.01785	2.64899	212.87
32	12268	-979.62875	0.50822	62.21633	3834.39
33	12271	-112.69343	0.05842	7.07078	377.15
34	12278	-93.78631	0.05148	11.74758	311.72
35	12310	-25.59193	0.01350	2.07342	211.96
36	12314	-88.54190	0.04884	11.58490	278.52
37	12315	-180.31294	0.09844	21.49549	792.33
38	12323	-29.54822	0.01521	1.62692	66.30
39	12331	-523.83078	0.26902	27.65729	1272.25
40	12338	-370.01464	0.19094	21.41466	354.96
41	12341	-6.93850	0.00367	0.58570	29.09
42	12344	-270.60541	0.13988	16.15509	1275.93
43	12347	-56.21925	0.02908	3.39398	149.68
44	12349	-193.04625	0.10146	14.94640	2620.62
45	12352	-23.55475	0.01298	3.05150	750.61
46	12355	-85.93205	0.04576	7.87166	330.48
47	12358	-32.23547	0.01689	2.38314	382.18
48	12359	-102.03095	0.05235	5.28899	1662.96
49	12361	-298.08161	0.16101	31.99133	12991.93
50	12365	-19.77942	0.01032	1.37276	68.40
51	12369	2.86387	0.00169	6.33209	570.05
52	12370	-99.42899	0.05259	8.37846	1145.14
53	12371	-401.43423	0.20704	22.98777	1022.15
54	12373	-4.00839	0.00215	0.39605	32.46
55	12374	-4.81327	0.00262	0.54982	48.54
56	12375	-40.65497	0.02167	3.76200	553.16
57	12376	-42.37173	0.02256	3.87570	706.99
58	12377	-10.82299	0.00585	1.17796	37.21
59	12378	-7.72946	0.00413	0.72833	38.85
60	12379	-138.14658	0.07135	8.12395	189.06
61	12382	-681.96107	0.34983	35.19256	6721.64
62	12386	-0.00177	0.00004	0.07274	3.29
63	12387	-6.73697	0.00350	0.43051	28.96
64	12388	-10.60501	0.00554	0.75760	50.91
65	12389	-587.91867	0.30066	28.42988	4330.80
66	12391	-45.20966	0.02361	3.18198	367.18
67	12392	-29.40674	0.01571	2.79794	123.23
68	12395	-126.00803	0.06605	9.39516	449.76
69	12396	-24.04765	0.01275	2.09779	164.30

No.	Clave	Ordenada b	Pendiente m	Estimación Cc para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
70	12397	-92.25676	0.04944	9.09102	17.33
71	12400	-120.52653	0.06232	7.22959	2290.74
72	12405	-156.33976	0.08134	10.40378	1584.94
73	12411	-2.86659	0.00207	1.37542	58.01
74	12415	-10.09769	0.00522	0.60757	21.39
75	12418	-284.92253	0.14792	18.30876	430.14
76	12422	-36.40168	0.02122	7.09824	647.87
77	12423	-24.84675	0.01344	2.70161	370.80
78	12428	-517.19336	0.26669	29.52452	5885.55
79	12436	-343.42743	0.17809	21.66611	1123.27
80	12438	-647.74202	0.33390	36.74767	13520.19
81	12451	-5.77930	0.00300	0.38026	25.54
82	12452	-8.02271	0.00413	0.45035	11.26
83	12454	-178.33064	0.09195	10.17128	1079.74
85	12466	-176.18483	0.09163	11.66663	645.79
86	12469	-427.18141	0.22243	28.80216	1901.06
87	12470	-852.54808	0.43970	48.83481	11132.26
88	12471	136.81391	-0.06836	-3.32087	-1204.84
89	12472	-585.76556	0.30056	30.37590	10622.71
90	12473	-686.88457	0.35412	39.05758	14266.82
91	12474	-986.01172	0.50634	51.97720	20181.69
92	12479	-224.63181	0.11530	11.73173	444.29
93	12484	-360.23520	0.18555	20.14634	3073.49
94	12485	-96.48151	0.05071	7.47605	815.51
95	12487	-139.79606	0.07248	8.79777	821.79
96	12488	-15.21697	0.00884	2.89973	343.73
97	12489	-527.97201	0.27235	30.35105	1177.17
98	12490	-39.58487	0.02093	3.32205	525.33
99	12496	-499.83869	0.25969	32.52302	13213.20
100	12499	-484.05698	0.24794	24.21785	461.46
101	12504	-346.26325	0.17909	20.88033	4898.84
102	12505	-216.98373	0.11099	10.55407	466.74
103	12506	-67.05168	0.03613	7.01051	1242.85
104	12507	-1129.07510	0.57877	57.39924	23218.15
105	12508	-870.27864	0.44552	43.04743	1116.27
106	12512	-130.05373	0.06817	9.70264	418.37
107	12513	-248.16842	0.12592	9.97076	234.25
108	12514	-231.52631	0.11995	14.37131	3088.93
109	12516	-19.24921	0.01021	1.67307	79.16
110	12517	-54.98163	0.02811	2.64942	163.17
111	12520	-1063.99830	0.54532	53.90862	12192.58
112	12522	0.46480	0.00000	0.46480	70.80
113	12525	-238.63510	0.12195	11.36945	455.72
114	12521	-587.51955	0.30360	34.85252	12731.11
115	12526	-110.36188	0.05727	7.04036	2026.52
116	12527	-1625.78870	0.82478	65.00895	1185.08
117	12532	-309.47298	0.16056	19.68015	6921.44
118	12533	-746.11090	0.38233	37.66558	1856.55
119	12534	-22.12826	0.01160	1.65811	84.09
120	12535	-393.20148	0.20265	22.23055	1007.02
121	12539	-220.01052	0.11049	6.48965	655.95
122	12540	-209.87820	0.11008	15.77555	492.89
123	12541	-1153.04470	0.58837	53.11925	1641.32
124	12543	-639.53204	0.32542	27.57763	901.07
125	12545	-106.92992	0.05468	5.16766	787.52
126	12546	3.67351	0.00000	3.67351	83.00
127	12556	-288.22218	0.15026	19.80828	598.15
128	12557	1.37109	0.00000	1.37109	20.88
129	12558	-111.87017	0.05846	7.97618	357.05
130	12559	-311.45716	0.16011	16.77484	600.90
131	12561	-21.56316	0.01201	3.05659	434.79
132	12562	-1403.67800	0.71561	63.31690	2277.61
133	12563	-1264.10610	0.64196	51.90821	1048.84
134	12568	-79.98798	0.04149	5.05657	156.68
135	12570	-271.30746	0.13924	14.12431	396.74
136	12573	-478.14047	0.24804	30.34856	971.42
137	12574	-66.01907	0.03495	5.63655	57.31
138	12578	-121.30805	0.06239	6.59681	178.95
139	12579	6.84079	0.00000	6.84079	202.90
140	12581	-7.19817	0.00412	1.25210	35.41
141	12585	-300.07344	0.15496	17.60208	655.23
142	12588	-268.62354	0.13745	13.15806	1049.71
143	12589	-157.23178	0.08465	16.30705	639.24

No.	Clave	Ordenada b	Pendiente m	Estimación Cc para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
144	12592	-29.11805	0.01511	1.86188	80.97
145	12601	0.53730	0.00000	0.53730	5.57
146	12602	-387.44392	0.19935	21.22471	1032.40
147	12604	5.68353	0.00000	5.68353	121.10
148	12605	-22.67613	0.01245	2.84375	418.14
149	12606	-1300.88600	0.66312	58.51996	2298.00
150	12607	-73.01816	0.03861	6.12590	303.59
151	12608	-1407.07290	0.72096	70.90273	662.59
152	12615	-451.51662	0.23015	20.29156	844.09
153	12618	-146.06667	0.07398	5.58455	323.40
154	12620	-926.68239	0.47170	40.29769	788.74
155	12627	-0.49542	0.00060	0.73030	129.06
156	12629	-347.89602	0.17705	15.05789	522.11
157	12652	-319.18058	0.16562	20.33546	2923.17
158	12655	-414.71326	0.21185	19.57473	989.70
159	12663	-228.30906	0.11802	13.62308	845.18
160	12664	-31.25467	0.01690	3.39200	560.04
161	12667	-314.93276	0.16000	13.05795	596.11
162	12668	-67.45099	0.03528	4.87866	212.48
163	12669	-66.53257	0.03650	8.28868	598.67
164	12673	-35.93384	0.01921	3.45588	192.26
165	12693	-693.90354	0.35847	40.95492	16577.80
166	12700	-13.51652	0.00756	1.98130	87.74
167	12713	-18.02213	0.00947	1.39701	138.92
168	12715	-33.85027	0.01873	4.54772	415.95
169	12716	-794.29731	0.40469	35.31776	621.05
170	12717	-281.86407	0.14900	23.59470	772.87
171	12718	-22.40384	0.01183	1.85251	191.50
172	12719	-37.64000	0.01984	3.02791	463.57
173	12729	-319.72748	0.16321	14.85741	248.42
174	12733	-188.65271	0.09968	15.69042	3125.74
175	12738	-251.87902	0.12737	9.23700	121.19
176	12743	-209.23036	0.10806	12.29217	427.17
177	12744	4.41846	0.00000	4.41846	253.90
178	12748	-947.57752	0.48118	38.84105	609.30
179	12757	-959.17906	0.49178	48.97012	17999.60
180	12758	-71.12235	0.03660	3.90408	148.41
181	12760	-164.09904	0.08303	6.10270	366.15
182	12761	-114.69499	0.05909	6.44309	41.73
183	12762	-134.10865	0.06824	5.78243	46.01
184	12764	-630.49594	0.31994	25.37856	658.10
185	12767	-149.49600	0.07868	11.80215	262.59
186	12908	-80.57758	0.04223	5.99572	603.66

Máx. = 70.90273

Tabla B.1 Resultados del ajuste lineal para el coeficiente de Creager.

No.	Clave	Ordenada b	Pendiente m	Estimación C _L para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
1	12004	-1806.49220	1.00087	245.29212	1174.47
2	12007	-555.02155	0.38111	185.24475	820.92
3	12011	-770.57638	0.40640	62.54885	182.76
4	12014	-782.64168	0.40809	53.94346	138.89
5	12067	-490.91227	0.30110	126.34503	485.85
6	12093	-1763.31140	0.91631	115.12785	213.03
7	12095	-6356.22420	3.42018	655.15403	3144.15
8	12096	-628.15292	0.32955	47.41613	46.46
9	12098	-2519.55410	1.29362	132.37141	376.15
10	12104	-2189.95250	1.20672	283.82412	1079.44
11	12113	-29297.92000	15.25406	1972.89275	6869.66
12	12117	-4593.78220	2.38878	303.22480	522.93
13	12128	-803.00549	0.46855	157.51584	788.24
14	12194	-3300.38140	1.75990	307.41217	1206.01
15	12209	74.68083	0.02207	119.92761	421.80
17	12213	13.98391	0.00000	13.98391	36.70
18	12218	34.93562	0.00000	34.93562	65.24
19	12219	-788.35905	0.41906	70.71005	124.84
20	12221	-190.42669	0.11161	38.37141	86.24
21	12224	-2039.35790	1.10354	222.90833	123.52
22	12227	-8956.33850	4.65550	587.44162	625.48
23	12232	-4559.25950	2.40436	369.67850	1358.17
24	12233	-2263.81830	1.23129	260.32907	1238.08

No.	Clave	Ordenada b	Pendiente m	Estimación C _L para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
25	12234	-10160.28500	5.31212	729.56408	3535.12
26	12237	-4307.57850	2.27016	346.24971	697.27
27	12238	-1071.04270	0.59189	142.33766	551.10
28	12239	-2518.64920	1.31129	169.49879	275.64
29	12249	-12205.68500	6.34774	807.18815	1418.66
30	12257	-9729.74850	5.15827	844.69742	1097.42
31	12258	-1088.40210	0.57236	84.93330	212.87
32	12268	-28880.35700	14.98271	1834.19440	3834.39
33	12271	-3218.86500	1.66870	201.96262	377.15
34	12278	-2668.64700	1.46484	334.27213	311.72
35	12310	-906.73069	0.47814	73.46209	211.96
36	12314	-2561.82140	1.41318	335.19104	278.52
37	12315	-4990.53540	2.72462	594.93253	792.33
38	12323	-819.07604	0.42155	45.09806	66.30
39	12331	-14648.52800	7.52290	773.41475	1272.25
40	12338	-11677.17100	6.02585	675.81884	354.97
41	12341	-195.88770	0.10362	16.53539	29.09
42	12344	-8620.90760	4.45638	514.66848	1275.93
43	12347	-1565.97650	0.81001	94.53873	149.68
44	12349	-8963.52450	4.71098	693.99147	2620.62
45	12352	-1305.65820	0.71942	169.14716	750.61
46	12355	-2385.49130	1.27025	218.51915	330.48
47	12358	-1428.14010	0.74816	105.58126	382.18
48	12359	-6386.87990	3.27705	331.07732	1662.96
49	12361	-20911.84400	11.29570	2244.34305	12991.93
50	12365	-558.67245	0.29144	38.77385	68.40
51	12369	96.02478	0.05673	212.31341	570.05
52	12370	-4055.07070	2.14477	341.70390	1145.14
53	12371	-11189.58000	5.77090	640.76152	1022.15
54	12373	-129.47860	0.06940	12.79303	32.46
55	12374	-180.09079	0.08701	18.28718	48.54
56	12375	-1721.50560	0.91747	159.29943	553.16
57	12376	-2008.94800	1.06961	183.75660	706.99
58	12377	-301.70008	0.16319	32.83671	37.21
59	12378	-220.77872	0.11784	20.80323	38.85
60	12379	-4021.92950	2.07729	236.51684	189.06
61	12382	-33127.28400	16.99357	1709.53245	6721.64
62	12386	-0.04935	0.00101	2.03054	3.29
63	12387	-203.47794	0.10560	13.00282	28.96
64	12388	-320.20077	0.16735	22.87452	50.91
65	12389	-25356.35100	12.96708	1226.15275	4330.80
66	12391	-1695.14990	0.88510	119.30918	367.18
67	12392	-819.02702	0.43754	77.92725	123.23
68	12395	-3539.86230	1.85551	263.93238	449.76
69	12396	-763.77490	0.40507	66.62776	164.30
70	12397	-92.25676	0.04944	9.09102	0.32
71	12400	-7572.33690	3.91539	454.21465	2290.74
72	12405	-6743.01590	3.50816	448.72051	1584.94
73	12411	-79.59791	0.05746	38.19192	58.01
74	12415	-279.73957	0.14467	16.83165	21.39
75	12418	-8279.80420	4.29847	532.04946	430.14
76	12422	-1227.53720	0.71556	239.36691	647.87
77	12423	-1015.50830	0.54923	110.41699	370.80
78	12428	-25696.47700	13.25043	1466.91065	5885.56
79	12438	-9760.77870	5.06174	615.78687	1123.27
80	12438	-43572.26300	22.46059	2471.94035	13520.20
81	12451	-174.46813	0.09071	11.47942	25.54
82	12452	-230.50108	0.11875	12.93902	11.26
83	12454	-6428.27700	3.31460	366.64357	1079.74
85	12466	-5068.23480	2.63802	335.60886	645.79
86	12469	-12830.51900	6.68078	865.08287	1901.06
87	12470	-45438.63600	23.43483	2602.77370	11132.21
88	12471	9146.57940	-4.57005	-222.01367	-1204.84
89	12472	-38521.86800	19.76560	1997.62020	10622.72
90	12473	-46058.92000	23.74533	2619.00035	14266.83
91	12474	-67888.03600	34.86182	3578.69090	20181.70
92	12479	-6216.65730	3.19089	324.67438	444.29
93	12484	-15548.56100	8.00884	869.56079	3073.49
94	12485	-3522.18550	1.85127	272.92292	815.51
95	12487	-4760.51880	2.46835	299.59317	821.79
96	12488	-578.04323	0.33570	110.15116	343.73
97	12489	-14614.95400	7.53908	840.15631	1177.17
98	12490	-1740.90240	0.92049	146.10036	525.33

No.	Clave	Ordenada b	Pendiente m	Estimación C _L para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
99	12496	-35071.89800	18.22143	2282.02325	13213.20
100	12499	-14733.77300	7.54679	737.14486	461.46
101	12504	-18732.25900	9.68871	1129.59035	4898.84
102	12505	-6045.41330	3.09242	294.04811	466.74
103	12506	-3131.55530	1.68730	327.41606	1242.85
105	12508	-24852.52000	12.72284	1229.30405	1116.27
106	12512	-3616.41500	1.89572	269.80219	418.37
107	12513	-7211.73550	3.65926	289.74873	234.25
108	12514	-11967.25600	6.20004	742.83297	3088.93
109	12516	-539.98171	0.28630	46.93323	79.16
110	12517	-1620.63270	0.82865	78.09396	163.17
111	12520	-56477.44800	28.94582	2861.48915	12192.57
112	12522	20.04582	0.00000	20.04582	70.80
113	12525	-6610.96520	3.37851	314.97067	455.72
114	12521	-39396.42000	20.35779	2337.05360	12731.11
115	12526	-6619.82740	3.43518	422.30083	2026.52
116	12527	-50038.45400	25.38502	2000.84110	1185.08
117	12532	-20404.07900	10.58616	1297.54695	6921.45
118	12533	-21041.49700	10.78231	1062.22825	1856.54
119	12534	-626.69235	0.32861	46.95924	84.09
120	12535	-10978.67800	5.85824	620.70457	1007.02
121	12539	-7755.40530	3.89472	228.76168	655.95
122	12540	-5855.89330	3.07125	440.15977	492.89
123	12541	-32203.36200	16.43265	1483.56640	1641.32
124	12543	-17782.76500	9.04858	766.82072	901.07
125	12545	-4612.75190	2.35887	222.92320	787.52
126	12546	107.58200	0.00000	107.58200	83.00
127	12556	-8067.56860	4.20586	554.44973	598.15
128	12557	44.29680	0.00000	44.29680	20.88
129	12558	-3120.11460	1.63052	222.45960	357.05
130	12559	-8624.31950	4.43357	464.49880	600.90
131	12561	-897.59419	0.49992	127.23435	434.79
132	12562	-38864.49300	19.81346	1753.09590	2277.61
133	12563	-37939.11700	19.26684	1557.90090	1048.84
134	12568	-2233.41500	1.15834	141.18897	156.68
135	12570	-7658.08580	3.93013	398.68132	396.74
136	12573	-13314.62800	6.90719	845.10699	971.42
137	12574	-2403.80780	1.27270	205.23130	57.31
138	12578	-3440.52060	1.76957	187.09770	178.95
139	12579	191.83941	0.00000	191.83941	202.90
140	12581	-203.00411	0.11625	35.31188	35.41
141	12585	-8304.56840	4.28864	487.13991	655.23
142	12588	-8589.45860	4.39522	420.74035	1049.72
143	12589	-4353.23290	2.34377	451.48884	639.24
144	12592	-810.19109	0.42049	51.80558	80.97
145	12601	19.44920	0.00000	19.44920	5.57
146	12602	-10906.69400	5.61179	597.48350	1032.40
147	12604	168.53430	0.00000	168.53430	121.10
148	12605	-960.20452	0.52713	120.41659	418.14
149	12606	-36018.62900	18.36045	1620.28940	2298.00
150	12607	-2060.81010	1.08961	172.89286	303.59
151	12608	-52550.02500	26.92587	2648.00850	662.59
152	12615	-12527.95800	6.38584	563.01749	844.09
153	12618	-4242.37530	2.14857	162.19833	323.40
154	12620	-28022.77200	14.26406	1218.59815	788.74
155	12627	-23.09926	0.02788	34.05116	129.06
156	12629	-9643.16460	4.90758	417.38260	522.11
157	12652	-13358.30100	6.93140	851.07741	2923.17
158	12655	-11739.44900	5.99686	554.10969	989.70
159	12663	-6742.23410	3.48514	402.30557	845.18
160	12664	-1406.00560	0.76029	152.59075	560.04
161	12667	-8800.00080	4.47067	364.87147	596.11
162	12668	-1876.98020	0.98182	135.76005	212.48
163	12669	-2054.71460	1.12717	255.97796	598.67
164	12673	-1034.75010	0.55330	99.51562	192.26
165	12693	-48815.14500	25.11437	2869.31760	16577.80
166	12700	-376.62865	0.21065	55.20770	87.74
167	12713	-630.66640	0.33149	48.88681	138.92
168	12715	-1142.50940	0.63220	153.49396	415.95
169	12716	-24675.42000	12.57200	1097.17180	621.05
170	12717	-7836.18300	4.14251	655.96271	772.87
171	12718	-797.81563	0.42136	65.96901	191.50
172	12719	-1627.62420	0.85783	130.93261	463.57

No.	Clave	Ordenada b	Pendiente m	Estimación C _L para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
173	12729	-10068.47400	5.13866	467.77818	248.42
174	12733	-9369.86610	4.95081	779.30035	3125.74
175	12738	-8496.11960	4.29644	311.57256	121.19
176	12743	-5799.05620	2.99500	340.69155	427.17
177	12744	128.11000	0.00000	128.11000	253.90
178	12748	-30360.80800	15.41722	1244.48480	609.30
179	12757	-64494.48400	33.06693	3292.71430	17999.60
180	12758	-1968.33680	1.01287	108.04691	148.41
181	12760	-4805.61140	2.43138	178.71657	366.15
182	12761	-4767.49930	2.45625	267.81812	41.73
183	12762	-5253.83650	2.67335	226.53264	46.01
184	12764	-18005.05300	9.13648	724.73469	658.10
185	12767	-4392.06330	2.31161	346.73700	262.59
186	12908	-2835.38990	1.48603	210.97919	603.66

Máx.= 3578.6909

Tabla B.2 Resultados del ajuste lineal para el coeficiente de Lowry.

No.	Clave	Ordenada b	Pendiente m	Estimación K para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
1	12004	-21.14123	0.01125	1.91654	1633.02
2	12007	-6.43359	0.00395	1.66229	886.90
3	12011	-45.78146	0.02399	3.39417	867.50
4	12014	-31.61456	0.01664	2.50302	231.73
5	12067	-5.94053	0.00380	1.84301	513.59
6	12093	-183.16063	0.09514	11.87655	*
7	12095	-47.52698	0.02531	4.36278	11481.92
8	12096	-59.39578	0.03136	4.89367	1128.68
9	12098	-126.78442	0.06503	6.53036	23679.52
10	12104	-17.43060	0.01001	3.09524	1572.32
11	12113	-465.33026	0.24244	31.66830	*
12	12117	-224.25094	0.11690	15.40361	*
13	12128	-13.81164	0.00716	0.86449	918.41
14	12194	-37.12853	0.01996	3.78778	3359.42
15	12209	1.68064	0.00019	2.05623	421.91
16	12210	-479.38164	0.24965	32.39713	*
17	12213	0.79563	0.00000	0.79563	36.70
18	12218	2.03275	0.00000	2.03275	65.24
19	12219	-30.18670	0.01648	3.60650	402.88
20	12221	-4.63582	0.00322	1.95960	88.64
21	12224	-15.66210	0.00960	4.00892	219.13
22	12227	-2117.27110	1.09785	133.31115	*
23	12232	-48.83628	0.02608	4.62069	5892.00
24	12233	-21.54309	0.01144	1.91297	1572.44
25	12234	-139.12487	0.07218	8.84413	403014.84
26	12237	-42.40527	0.02331	5.37388	4049.30
27	12238	-18.16194	0.00994	2.21274	746.59
28	12239	-55.11724	0.02934	5.03191	2106.60
29	12249	-168.78501	0.08863	12.91265	*
30	12257	-38.23584	0.02167	6.19462	7569.63
31	12258	-59.19316	0.03119	4.74970	2709.65
32	12268	-389.68637	0.20294	26.33858	*
33	12271	-233.44123	0.12111	14.82652	*
34	12278	-11.48568	0.00766	4.21892	441.17
35	12310	-30.91034	0.01639	2.67934	389.10
36	12314	-9.11044	0.00647	4.15460	367.42
37	12315	-14.13528	0.00927	4.87122	1416.68
38	12323	-50.07712	0.02605	3.33155	223.38
39	12331	-517.71704	0.26635	28.30046	*
40	12338	-558.12349	0.28843	33.15455	*
41	12341	-20.67388	0.01094	1.74516	41.11
42	12344	-504.20063	0.26066	29.95274	*
43	12347	-54.53606	0.02866	4.21987	745.02
44	12349	-85.64086	0.04516	6.92731	*
45	12352	-14.48997	0.00784	1.57291	828.47
46	12355	-15.79681	0.00960	3.87488	458.35
47	12358	-30.31867	0.01584	2.15459	524.94
48	12359	-221.61111	0.11210	8.19979	*
49	12361	-42.73631	0.02317	4.75375	*
50	12365	-30.36459	0.01611	2.65080	125.04
51	12369	2.70389	0.00025	3.21644	570.31
52	12370	-24.64253	0.01379	3.62151	1681.70

No.	Clave	Ordenada b	Pendiente m	Estimación K para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
53	12371	-62.66284	0.03350	6.01287	*
54	12373	-20.38507	0.01049	1.12921	47.76
55	12374	-14.70894	0.00775	1.18524	58.64
56	12375	-26.14399	0.01413	2.83101	857.56
57	12376	-21.71253	0.01177	2.42557	884.16
58	12377	-11.35912	0.00668	2.33469	44.77
59	12378	-17.32989	0.00935	1.84190	51.79
60	12379	-55.60504	0.02956	4.98283	*
61	12382	-121.94995	0.06306	7.33051	*
62	12386	-1.06675	0.00044	-0.16809	3.30
63	12387	-63.29782	0.03224	2.79736	229.89
64	12388	-52.96901	0.02736	3.11688	332.86
65	12389	-2056.58940	1.05100	97.96060	*
66	12391	-35.06302	0.01856	2.98203	655.98
67	12392	-18.77349	0.00987	3.04639	172.39
68	12395	-29.02900	0.01629	4.36036	968.79
69	12396	-24.60793	0.01334	2.74702	273.15
70	12397	-10.21645	0.00682	3.75492	23.98
71	12400	-93.41635	0.04760	4.17000	*
72	12405	-55.10167	0.02913	4.60702	*
73	12411	-0.67439	0.00142	2.23468	58.88
74	12415	-48.14221	0.02478	2.65342	78.20
75	12418	-42.36586	0.02324	5.27210	1636.61
76	12422	-11.14834	0.00718	3.56419	852.90
77	12423	-17.11633	0.00950	2.34876	467.10
78	12428	-58.40331	0.03105	5.25888	*
79	12436	-36.95971	0.02054	5.14607	*
80	12438	-101.64761	0.05250	5.97834	*
81	12451	-38.45441	0.01953	1.59111	56.36
82	12452	-86.31306	0.04412	4.12299	365.84
83	12454	-84.16169	0.04376	5.54711	8762.29
84	12456	-464.83496	0.23950	26.14832	*
85	12466	-29.66669	0.01657	4.30858	1066.66
86	12469	-38.74291	0.02154	5.41498	4743.14
87	12470	-134.37821	0.07004	9.19851	*
88	12471	180.09517	-0.09190	-8.29493	2.18
89	12472	-163.42799	0.08365	8.05351	*
90	12473	-123.84746	0.06379	6.91996	*
91	12474	-475.81641	0.24366	23.68444	*
92	12479	-161.70097	0.08357	9.61872	*
93	12484	-72.70956	0.03818	5.56248	*
94	12485	-27.03383	0.01498	3.68303	1255.01
95	12487	-44.95274	0.02404	4.33169	2039.77
96	12488	-8.30371	0.00524	2.44206	391.68
97	12489	-151.98340	0.07926	10.50950	*
98	12490	-45.53842	0.02388	3.42151	1735.03
99	12496	-66.04208	0.03448	4.64603	*
100	12499	-83.53683	0.04398	6.62378	*
101	12504	-63.35048	0.03331	4.93990	*
102	12505	-121.62586	0.06294	7.40335	*
103	12506	-34.80606	0.01879	3.70407	2758.91
104	12507	-230.43156	0.11798	11.42621	*
105	12508	-356.92114	0.18362	19.49744	*
106	12512	-30.20727	0.01689	4.42451	939.32
107	12513	-439.41364	0.22312	17.98183	*
108	12514	-62.15843	0.03259	4.65798	*
109	12516	-17.45475	0.00976	2.55674	103.56
110	12517	-273.89738	0.13973	12.54465	*
111	12520	-109.79847	0.05719	7.43875	*
112	12522	0.20308	0.00000	0.20938	70.82
113	12525	-226.73430	0.11635	11.79093	*
114	12521	-87.07769	0.04519	5.55556	*
115	12526	-59.65844	0.03065	3.17034	4461.89
116	12527	-481.90355	0.24530	20.95350	*
117	12532	-75.58042	0.03910	4.57586	19708.82
118	12533	-104.86301	0.05490	7.68043	58353.75
119	12534	-22.48453	0.01223	2.58903	118.92
120	12535	-45.30602	0.02468	5.29259	2904.12
121	12539	-300.06887	0.15072	8.90990	309750.11
122	12540	-25.18271	0.01455	4.64202	902.88
123	12541	-573.38254	0.29334	27.96614	*
124	12543	-58.86352	0.03125	5.20077	1947.52
125	12545	-158.92644	0.08084	6.80073	44068.13

No.	Clave	Ordenada b	Pendiente m	Estimación K para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
126	12546	3.10750	0.00000	3.10750	83.00
127	12556	-21.83278	0.01292	4.65542	890.12
128	12557	2.44365	0.00000	2.44365	20.88
129	12558	-28.78236	0.01605	4.11519	664.93
130	12559	-128.88597	0.06703	8.52044	149584.19
131	12561	-9.33649	0.00567	2.27792	466.19
132	12562	-484.53598	0.24787	23.58856	*
133	12563	-545.75098	0.27792	23.97846	*
134	12568	-35.27375	0.01913	3.94523	359.67
135	12570	-90.41475	0.04723	6.41692	8618.77
136	12573	-28.26450	0.01630	5.14256	1774.07
137	12574	-11.92458	0.00756	3.56797	70.39
138	12578	-42.65729	0.02289	4.28253	477.82
139	12579	3.54561	0.00000	3.54561	202.90
140	12581	-7.27392	0.00471	2.38586	41.36
141	12585	-44.88625	0.02439	5.12075	1966.23
142	12588	-97.90315	0.05070	6.03077	11391.62
143	12589	-9.85098	0.00691	4.31737	743.41
144	12592	-33.10820	0.01760	2.97190	154.53
145	12601	1.84604	0.00000	1.84607	5.57
146	12602	-73.54800	0.03899	6.37436	11675.74
147	12604	3.43093	0.00000	3.43093	121.10
148	12605	-11.61967	0.00674	2.19727	459.38
149	12606	-325.80058	0.16713	16.80688	*
150	12607	-19.56512	0.01134	3.68757	441.41
151	12608	-66.83283	0.03595	6.85614	8990.34
152	12615	-62.15669	0.03291	5.31837	2783.36
153	12618	-174.22819	0.08855	7.29634	39688.60
154	12620	-171.87953	0.08862	9.78901	746334.51
155	12627	-1.61467	0.00101	0.44775	129.88
156	12629	-463.41321	0.23625	20.89929	*
157	12652	-81.73468	0.04312	6.65801	36479.35
158	12655	-401.28191	0.20543	19.85787	*
159	12663	-51.81476	0.02775	5.07026	2981.22
160	12664	-18.66180	0.01027	2.39891	703.85
161	12667	-141.87593	0.07271	7.18022	30346.81
162	12668	-22.81039	0.01286	3.55416	320.24
163	12669	-17.78815	0.01059	3.91680	924.60
164	12673	-17.70963	0.01019	3.16985	273.12
165	12693	-93.07186	0.04825	5.84437	61382.22
166	12700	-9.88756	0.00612	2.66285	107.70
167	12713	-30.29085	0.01588	2.26322	237.19
168	12715	-19.46945	0.01111	3.30498	643.65
169	12716	-130.44966	0.06771	8.36294	100458.99
170	12717	-27.34784	0.01580	5.04509	1594.08
171	12718	-32.63580	0.01717	2.55318	346.40
172	12719	-40.22266	0.02101	2.84548	936.59
173	12729	-69.49381	0.03659	5.51552	1781.03
174	12733	-20.34745	0.01177	3.78877	3646.98
175	12738	-863.72548	0.43673	31.56227	*
176	12743	-29.16048	0.01636	4.37875	711.07
177	12744	3.07298	0.00000	3.07224	253.89
178	12748	-116.76283	0.06065	7.57219	31702.00
179	12757	-154.52630	0.07935	8.14327	268639.84
180	12758	-32.04631	0.01732	3.45555	240.33
181	12760	-194.99608	0.09892	7.79363	72977.04
182	12761	-31.79629	0.01748	4.04111	97.58
183	12762	-86.95282	0.04505	5.39611	907.96
184	12764	-166.33516	0.08518	8.28978	101036.60
185	12767	-21.07249	0.01238	4.31287	423.15
186	12908	-62.24530	0.03255	4.48786	2655.53

Máx.= 8.52044

Tabla B.3 Resultados del ajuste lineal para el coeficiente de Francou-Rodier.

(*) Gastos excesivos sobreestimados por el ajuste lineal, omitidos.

No.	Clave	Parámetro α	Estimación Cc para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
1	12004	3.67986	3.04126	871.57
2	12007	11.47444	3.01783	740.25
4	12014	3.86822	1.03653	87.00
5	12067	7.12558	2.38610	431.14
6	12093	1.24055	2.01897	106.50
7	12095	6.25448	5.87092	1177.10
8	12096	0.59244	0.74585	20.67
9	12098	1.54312	1.97086	195.98
10	12104	6.36346	3.96241	705.33
11	12113	0.64738	14.29532	2113.99
12	12117	3.91888	1.64177	79.68
13	12128	6.13878	2.07773	648.66
14	12194	3.50070	2.76403	525.44
15	12209	5.39258	2.76172	417.01
16	12210	0.54499	26.39335	1036.43
17	12213	1.56660	0.42369	36.70
19	12219	1.97102	1.15211	57.46
20	12221	0.32458	1.15471	78.69
21	12224	4.01395	4.92855	85.22
22	12227	5139.77020	1.11829	33.37
23	12232	1.84557	4.38832	726.08
24	12233	3.76280	3.48522	985.60
26	12237	3.00023	5.40883	317.28
27	12238	7.30952	2.31106	427.24
28	12239	0.24771	2.84612	129.26
29	12249	0.88674	11.15113	553.22
30	12257	8.43935	11.88204	427.42
31	12258	4.31790	0.78112	61.16
32	12268	1.56543	18.44518	1136.78
33	12271	1.32636	3.18606	168.88
34	12278	7.59950	8.71144	231.16
35	12310	2.14159	1.40236	143.36
36	12314	8.41839	9.22659	221.82
37	12315	79257.38200	11.42163	421.01
38	12323	0.62138	0.95809	39.04
39	12331	0.08096	1.31520	60.50
40	12338	1.45165	8.50079	107.76
41	12341	2.00238	0.53432	28.54
42	12344	2316.72610	0.90883	71.78
43	12347	0.70384	2.84200	125.34
44	12349	13.27728	5.65077	990.77
45	12352	0.40142	4.86164	1195.86
46	12355	1.40750	8.77717	368.50
47	12358	1.03745	3.03833	487.26
48	12359	1.51673	2.90523	913.46
49	12361	150408.37000	16.63212	6754.44
50	12365	0.60271	0.99526	49.59
51	12369	6.01491	6.19504	557.72
52	12370	2.11323	6.22204	850.41
53	12371	0.91641	20.08833	893.23
54	12373	2.16694	0.25408	20.83
55	12374	3.91781	0.41350	36.50
56	12375	4.77777	2.61789	384.93
57	12376	1.01674	3.27139	596.76
58	12377	1.68743	0.97499	30.80
59	12378	2.24373	0.49942	26.64
60	12379	1.59307	5.52684	128.62
61	12382	3.15652	18.28533	3492.42
62	12386	17.74841	0.07027	3.17
66	12391	2.09648	2.28289	263.43
67	12392	2.84087	2.12309	93.50
68	12395	1.08358	7.60079	363.86
69	12396	3.07743	1.32379	103.68
70	12397	2.91597	6.44823	12.29
71	12400	2.55594	3.94481	1249.94
72	12405	3.04901	6.19094	943.15
73	12411	2.38702	1.20550	50.84
74	12415	1.44192	0.44603	15.71
75	12418	2.62461	11.05477	259.72
76	12422	66893.48300	5.82610	531.76
77	12423	3.70743	1.98735	272.77
78	12428	0.77189	27.36317	5454.70
79	12436	2.69254	12.99934	673.95
80	12438	1.46860	24.42445	8986.24
81	12451	2.92780	0.20763	13.94

No.	Clave	Parámetro α	Estimación Cc para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
82	12452	1.89917	0.19963	4.99
83	12454	2.14397	6.36683	675.87
84	12456	0.90435	29.94694	1333.39
85	12466	0.12919	17.73548	981.72
86	12469	3.54043	18.10533	1195.03
88	12471	7.39707	4.35077	1578.49
89	12472	1.21669	19.30310	6750.46
90	12473	2.28225	22.45073	8200.73
91	12474	0.35202	9.76555	3791.76
92	12479	1.74678	6.79970	257.51
93	12484	2.02302	12.62430	1925.94
94	12485	2.29796	5.17403	564.40
95	12487	2.50047	5.59774	522.88
96	12488	14.16124	2.55957	303.41
97	12489	36201.26800	5.93034	230.01
98	12490	15995.53400	1.54310	244.02
99	12496	2.11086	21.03346	8545.31
100	12499	0.85597	20.86293	397.54
101	12504	1.15540	15.49035	3634.27
102	12505	1.31142	5.18973	229.51
103	12506	14.91387	4.69657	832.63
104	12507	0.86921	30.62776	12389.01
105	12508	3239.52060	2.65475	68.84
106	12512	5.48928	5.53996	238.88
107	12513	0.87001	5.81552	136.63
108	12514	1.89399	10.01526	2152.65
109	12516	3.64864	1.19895	56.73
110	12517	1.37578	1.17843	72.58
111	12520	0.85404	33.19262	7507.22
112	12521	2.52841	20.55980	7510.19
114	12525	0.80969	5.83771	233.99
115	12526	2.72855	4.45631	1282.72
116	12527	1.20784	30.06638	548.10
117	12532	3.82239	11.72507	4123.66
118	12533	2.73960	15.34453	756.34
119	12534	2.66872	1.22432	62.09
120	12535	1.93629	15.80562	715.98
121	12539	1.43206	3.09286	312.61
122	12540	3.81118	10.35120	323.42
123	12541	1.45314	17.33920	535.76
124	12543	0.11933	30.65397	1001.58
125	12545	2.02777	2.57869	392.98
127	12556	2.42136	17.06657	515.36
129	12558	5.35931	5.05092	228.10
130	12559	30454.60500	3.69914	132.51
131	12561	4.75521	2.45653	349.43
132	12562	0.97794	27.81968	1000.72
133	12563	13755.41100	3.76201	76.01
134	12568	3.50159	3.07339	95.23
135	12570	3.64745	6.26888	176.09
136	12573	2.66393	23.01636	736.72
137	12574	1.50624	4.30927	43.81
138	12578	1.74959	4.13338	112.13
140	12581	32.68874	1.02219	28.91
141	12585	3.46232	10.40172	387.20
142	12588	1.29149	8.66901	691.59
143	12589	2.91394	12.37848	485.24
144	12592	4.07721	1.15118	50.07
146	12602	14671.67600	5.47642	266.38
148	12605	6.26733	2.21587	325.82
149	12606	1.45314	20.26432	795.75
150	12607	5.41843	4.03183	199.81
151	12608	0.90058	29.48279	275.52
152	12615	0.49006	16.40682	682.50
153	12618	1.86086	2.63717	152.72
154	12620	1.40371	22.34623	437.38
155	12627	2066.33560	0.69378	122.61
156	12629	0.05439	0.85535	29.66
157	12652	1.11368	15.35964	2207.91
158	12655	1.38970	8.20577	414.88
159	12663	1.98072	8.62940	535.37
160	12664	17.09193	2.50801	414.09
181	12667	1.29098	8.82292	402.78
162	12668	4.88843	2.87343	125.15
163	12669	66768.46100	6.02822	435.40

No.	Clave	Parámetro α	Estimación Cc para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
164	12673	44.93273	2.22682	123.89
165	12693	3.77227	21.04157	8517.24
166	12700	16637.56000	1.50624	66.70
167	12713	3.75729	0.89374	88.87
168	12715	66568.72200	3.45494	316.00
169	12716	4.87316	9.14371	160.79
170	12717	19.27873	15.83455	518.68
171	12718	12.61151	1.25296	129.52
172	12719	18.40195	2.04563	313.18
173	12729	2.81849	7.48055	125.08
174	12733	1.27049	12.87219	2564.32
175	12738	0.85732	5.30401	69.59
176	12743	3.55865	7.53212	261.75
178	12748	2.89258	12.71117	199.40
179	12757	2.37488	23.63519	8687.42
180	12758	1.01420	3.25689	123.80
181	12760	0.24572	1.81146	108.68
182	12761	8162.65950	2.68364	17.25
183	12762	4.54277	1.85390	14.75
184	12764	2.05387	13.14725	340.92
185	12767	16.56112	7.79648	173.47
186	12908	15.86594	3.82300	384.90

Máx. = 33.1926

Tabla B.4 Coeficientes de Creager ajustados a la función asintótica.

No.	Clave	Parámetro α	Estimación CI para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
1	12004	3.67986	182.02281	871.54
2	12007	11.47444	167.04107	740.25
4	12014	3.86822	33.78964	87.00
5	12067	7.12558	112.11744	431.14
6	12093	1.24055	57.55253	106.50
7	12095	6.25448	352.17800	1416.88
8	12096	0.59244	21.09103	20.67
9	12098	1.54312	68.96814	195.98
10	12104	6.36346	185.45569	705.33
11	12113	0.64738	607.11448	2113.99
12	12117	3.91888	46.20254	79.68
13	12128	6.13878	129.62279	648.66
14	12194	3.50070	133.93385	525.44
15	12209	5.39258	118.55112	416.96
16	12210	0.54499	1321.19335	1873.80
17	12213	1.56660	13.98390	36.70
19	12219	1.97102	32.54635	57.46
20	12221	0.32458	35.01171	78.69
21	12224	4.01395	153.78915	85.22
22	12227	5139.77020	31.34022	33.37
23	12232	1.84557	197.63094	726.08
24	12233	3.76280	207.23925	985.59
26	12237	3.00023	157.55461	317.28
27	12236	7.30952	110.34769	427.24
28	12239	0.24771	2.84812	4.63
29	12249	0.68674	314.77008	553.22
30	12257	8.43935	328.98551	427.42
31	12258	4.31790	24.40344	61.16
32	12268	1.56543	543.78201	1136.78
33	12271	1.32636	90.43220	168.88
34	12278	7.59950	247.88030	231.16
35	12310	2.14159	49.68646	143.36
36	12314	8.41839	266.95705	221.82
37	12315	79257.38200	316.11673	421.00
38	12323	0.62138	26.55830	39.04
39	12331	0.08096	36.77855	60.50
40	12338	1.45165	205.15634	107.76
41	12341	2.00238	15.08498	26.54
42	12344	2316.72610	28.95337	71.78
43	12347	0.70384	79.16354	125.34
44	12349	13.27728	262.37616	990.77
45	12352	0.40142	269.48422	1195.86
46	12355	1.40750	243.65600	368.50
47	12358	1.03745	134.60791	487.26
48	12359	1.51673	181.85933	913.46

No.	Clave	Parámetro	Estimación CI	Q estimado para
		α	para el año 2050	el año 2050, m ³ /s
49	12361	150408.37000	1166.81868	6754.41
50	12365	0.60271	28.11113	49.59
51	12369	6.01491	207.71837	557.72
52	12370	2.11323	253.75755	850.41
53	12371	0.91641	559.94309	893.23
54	12373	2.16694	8.20720	20.83
55	12374	3.91781	13.75327	36.50
56	12375	4.77777	110.85271	384.93
57	12376	1.01674	155.10418	596.76
58	12377	1.68743	27.17878	30.80
59	12378	2.24373	14.26499	26.64
60	12379	1.59307	160.90622	128.62
61	12382	3.15652	888.23666	3492.42
62	12386	17.74841	1.96157	3.17
66	12391	2.09648	85.59781	263.43
67	12392	2.84087	59.13163	93.50
68	12395	1.08358	213.52447	363.86
69	12396	3.07743	42.04456	103.68
70	12397	2.91597	6.44823	0.23
71	12400	2.55594	247.84103	1249.94
72	12405	3.04901	267.01858	943.15
73	12411	2.38702	33.47350	50.84
74	12415	1.44192	12.35645	15.71
75	12418	2.62461	321.25018	259.72
76	12422	66893.48300	196.46808	531.76
77	12423	3.70743	81.22467	272.77
78	12428	0.77189	1359.52820	5454.71
79	12436	2.69254	369.46334	673.95
80	12438	1.48860	1642.98313	8986.24
81	12451	2.92780	6.26810	13.94
82	12452	1.89917	5.73551	4.99
83	12454	2.14397	229.50533	675.88
84	12456	0.90435	1754.95418	2802.99
85	12466	0.12919	510.18826	981.72
86	12469	3.54043	543.80049	1195.02
88	12471	7.39707	290.86657	1578.49
89	12472	1.21669	1269.43383	6750.45
90	12473	2.28225	1505.43320	8200.75
91	12474	0.35202	672.36910	3791.76
92	12479	1.74678	188.18050	257.51
93	12484	2.02302	544.89340	1925.94
94	12485	2.29796	188.88515	564.40
95	12487	2.50047	190.62157	522.88
96	12488	14.16124	97.22971	303.41
97	12489	36201.26800	164.16204	230.01
98	12490	15995.53400	67.86406	244.02
99	12496	2.11086	1475.85181	8545.36
100	12499	0.85597	635.02868	397.54
101	12504	1.15540	838.00512	3634.28
102	12505	1.31142	144.59182	229.51
103	12506	14.91387	219.34644	832.62
104	12507	0.86921	1934.07077	11169.78
105	12508	3239.52060	75.81158	68.84
106	12512	5.48928	154.05054	238.88
107	12513	0.87001	168.99902	136.63
108	12514	1.89399	517.67359	2152.65
109	12516	3.64864	33.63311	56.73
110	12517	1.37578	34.57459	72.24
111	12520	0.85404	2038.22671	8684.72
112	12521	2.52841	1378.64595	7510.18
114	12525	0.80969	161.72266	233.99
115	12526	2.72855	267.30192	1262.72
116	12527	1.20784	1086.02188	643.24
117	12532	3.82239	773.05320	4123.66
118	12533	2.73960	432.73870	756.33
119	12534	2.66872	34.67359	62.09
120	12535	1.93629	441.31407	715.98
121	12539	1.43206	109.02433	312.61
122	12540	3.81118	288.81303	323.42
123	12541	1.45314	484.26562	535.76
124	12543	0.11933	852.36186	1001.59
125	12545	2.02777	111.23961	392.98
127	12556	2.42136	477.70874	515.36
129	12558	5.35931	140.87273	226.10
130	12559	30454.60500	102.43009	132.51

No.	Clave	Parámetro α	Estimación CI para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
131	12561	4.75521	102.25595	349.43
132	12562	0.97794	1451.38432	1885.63
133	12563	13755.41100	112.90781	76.01
134	12568	3.50159	85.81502	95.23
135	12570	3.64745	176.84931	176.09
136	12573	2.66393	640.92879	736.72
137	12574	1.50624	158.90347	43.81
138	12578	1.74959	117.23041	112.13
140	12581	32.68874	28.82818	28.91
141	12585	3.46232	287.86875	387.20
142	12588	1.29149	277.19918	691.59
143	12589	2.91394	342.72055	485.24
144	12592	4.07721	32.03070	50.07
146	12602	14671.67600	154.16341	266.38
148	12605	6.26733	93.82933	325.82
149	12606	1.45314	561.07473	795.75
150	12607	5.41843	113.79153	199.81
151	12608	0.90058	1749.32791	437.72
152	12615	0.49006	455.23066	682.50
153	12618	1.86086	76.59388	152.72
154	12620	1.40371	875.91953	437.49
155	12627	2066.33560	32.34822	122.61
156	12629	0.05439	23.70915	29.86
157	12652	1.11368	642.82809	2207.90
158	12655	1.38970	232.28399	414.88
159	12683	1.98072	254.83597	535.37
160	12664	17.09193	112.82445	414.09
161	12687	1.29098	246.53463	402.78
162	12668	4.88843	79.96002	125.15
163	12669	66768.46100	186.16811	435.40
164	12673	44.93273	64.12337	123.89
165	12693	3.77227	1474.18768	8517.28
166	12700	16637.56000	41.97039	66.70
167	12713	3.75729	31.27544	88.87
168	12715	66568.72200	116.61043	316.00
169	12716	4.87316	284.05592	160.79
170	12717	19.27873	440.21958	518.68
171	12718	12.81151	44.61885	129.53
172	12719	18.40195	88.45699	313.18
173	12729	2.81849	235.52134	125.08
174	12733	1.27049	639.32157	2564.30
175	12738	0.85732	178.90960	69.59
176	12743	3.55865	208.76180	261.75
178	12748	2.89258	407.27120	199.40
179	12757	2.37488	1589.20915	8687.40
180	12758	1.01420	90.13582	123.80
181	12760	0.24572	53.04825	108.68
182	12781	8162.65950	110.71896	17.25
183	12762	4.54277	72.62813	14.75
184	12784	2.05387	375.44512	340.92
185	12767	16.56112	229.05348	173.47
186	12908	15.86594	134.52508	384.90

Máx.= 2038.227

Tabla B.5 Coeficientes de Lowry ajustados a la función asintótica.

No.	Clave	Parámetro α	Estimación K para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
1	12004	4.92787	1.15996	895.65
2	12007	11.73078	1.46274	749.59
4	12014	4.13360	1.67439	91.88
5	12067	7.12443	1.66361	434.78
6	12093	1.33833	5.25456	3181.01
7	12095	6.34189	2.11849	817.53
8	12096	0.66389	2.60886	54.17
9	12098	2.07741	2.66876	367.37
10	12104	7.97522	2.26633	724.42
11	12113	0.83505	4.09219	2995.62
12	12117	4.62013	2.67138	123.59
13	12128	6.13958	0.43828	662.75
14	12194	3.49818	1.82060	553.25
15	12209	5.53882	2.04414	416.95
16	12210	0.54483	5.59694	3770.12

No.	Clave	Parámetro α	Estimación K para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
17	12213	2.42209	0.79574	36.70
19	12219	1.96924	2.10589	64.33
20	12221	0.32458	1.86276	79.22
21	12224	4.16775	3.39975	93.03
22	12227	29000.76700	2.16952	33.38
23	12232	2.12433	2.62107	873.80
24	12233	6.26212	1.35059	1003.74
26	12237	3.81030	3.33242	356.07
27	12238	21.60067	1.61898	431.18
28	12239	0.24771	2.84612	139.97
29	12249	0.78092	4.03864	679.17
30	12257	8.43942	4.02776	469.22
31	12258	4.36449	1.44825	65.87
32	12268	1.92880	4.17612	1030.21
33	12271	1.52941	5.57197	4718.38
34	12278	6.44916	3.79380	249.95
35	12310	2.30115	1.85594	160.89
36	12314	16.82020	3.78057	221.50
37	12315	7154.37840	3.92258	421.08
38	12323	0.63759	2.20858	54.23
39	12331	0.05412	2.14656	59.90
40	12338	1.45311	4.31948	326.62
41	12341	4.30112	1.38355	26.41
42	12344	6730.90920	1.55206	71.75
43	12347	1.49881	3.61800	352.04
44	12349	21.45388	2.70492	1059.80
45	12352	1.08965	3.01266	2784.72
46	12355	2.37263	3.71823	376.54
47	12358	3.28394	1.99172	448.76
48	12359	2.06966	2.27829	2761.27
49	12361	15353.43700	2.54405	6755.15
50	12365	0.65948	2.07121	61.55
51	12369	6.03587	3.19618	557.73
52	12370	2.71165	3.00579	895.87
53	12371	2.05923	4.75235	1458.50
54	12373	2.20586	0.43206	21.85
55	12374	4.80498	0.77285	37.17
56	12375	7.85314	2.05465	399.17
57	12376	1.01638	2.11033	659.88
58	12377	1.97888	2.07150	31.74
59	12378	2.46483	1.31479	27.37
60	12379	2.92280	3.60154	167.94
61	12382	4.16023	4.19752	4928.50
62	12386	0.10559	-0.19424	3.19
66	12391	3.95678	2.15331	276.06
67	12392	3.48766	2.59095	97.73
68	12395	1.08638	3.91463	559.81
69	12396	3.12845	1.93587	109.11
70	12397	2.98837	3.38863	12.85
71	12400	5.39157	1.24027	1279.74
72	12405	4.83818	2.99599	1074.95
73	12411	2.39445	2.11806	50.87
74	12415	2.34060	1.57363	19.48
75	12418	3.94515	4.02821	302.65
76	12422	32235.58800	3.13395	531.78
77	12423	3.93206	1.84116	280.83
78	12428	1.83351	4.70231	8335.78
79	12436	4.06872	4.03741	713.39
80	12438	1.76052	3.84489	12842.03
81	12451	3.03369	0.46149	15.14
82	12452	1.94590	1.42142	9.63
83	12454	5.49962	3.36462	859.48
84	12456	0.91325	6.16401	8457.82
85	12466	1.72031	5.31445	3575.00
86	12469	8.44426	4.28616	1270.33
88	12471	9.64085	0.96601	1599.19
89	12472	1.76978	3.97992	12646.98
90	12473	3.88901	3.58318	10491.64
91	12474	0.64253	6.64915	99899.61
92	12479	6.31004	3.54186	267.07
93	12484	3.49523	3.78359	2323.73
94	12485	2.29841	3.00279	611.25
95	12487	3.43563	3.20029	592.34
96	12488	27.40961	2.19594	303.37
97	12489	15075.29300	3.40232	230.07

No.	Clave	Parámetro α	Estimación K para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
98	12490	16417.15500	1.39159	244.03
99	12496	2.26273	3.08761	9734.92
100	12499	1.62964	5.20702	1272.27
101	12504	1.22531	3.86158	5213.13
102	12505	1.31149	4.36109	891.15
103	12506	14.91401	2.50088	894.64
104	12507	1.35449	6.71314	109908.45
105	12508	1528.81340	2.85073	68.93
106	12512	6.46146	3.38134	254.93
107	12513	1.03899	6.45831	8183.81
108	12514	3.11732	3.20693	2497.67
109	12516	4.57777	2.08782	58.09
110	12517	1.69657	3.80288	662.41
111	12520	1.33779	6.10974	34259.81
112	12521	2.81155	3.37654	9060.12
114	12525	0.85048	6.41450	10770.53
115	12526	3.21973	1.74402	1440.91
116	12527	1.65198	6.05474	4023.39
117	12532	4.99709	2.58224	4654.51
118	12533	3.63708	4.35258	990.29
119	12534	3.15618	2.09432	65.05
120	12535	3.24424	4.26118	807.53
121	12539	1.43214	4.27597	2124.94
122	12540	3.83524	3.92461	353.19
123	12541	1.45314	5.03740	1500.01
124	12543	1.56562	6.88012	17296.21
125	12545	3.47365	2.38440	592.18
127	12556	4.67220	4.25340	524.79
129	12558	8.64066	3.28211	236.04
130	12559	7486.15450	3.04689	132.56
131	12561	5.38630	1.99079	350.50
132	12562	1.58721	4.95687	1546.02
133	12563	6929.03390	3.13529	76.06
134	12568	4.54719	3.00286	104.68
135	12570	4.96454	3.67854	227.83
136	12573	5.54571	4.47913	746.85
137	12574	1.51721	3.27971	45.86
138	12578	2.13010	3.29715	131.98
140	12581	50.33441	2.11733	28.97
141	12585	4.23375	3.96434	448.97
142	12588	1.56274	4.20326	1451.46
143	12589	2.91262	3.99666	495.06
144	12592	6.62178	2.10164	52.13
146	12602	3626.51500	3.29474	266.46
148	12605	7.32099	1.85239	327.07
149	12606	1.45179	4.80533	1382.34
150	12607	5.82367	3.06700	206.54
151	12608	0.89969	5.65296	1481.39
152	12615	1.32692	5.41331	3136.13
153	12618	3.42080	2.85643	198.34
154	12620	2.86954	5.03963	1029.74
155	12627	4109.63390	0.38625	122.60
156	12629	0.05371	1.94646	30.79
157	12652	1.39750	4.65074	4993.22
158	12655	1.98923	5.27729	3145.61
159	12663	2.62924	3.79615	663.20
160	12664	26.97912	1.84655	415.33
161	12667	2.96910	4.18677	742.57
162	12668	5.65537	2.81320	126.99
163	12669	18825.87900	3.26111	435.43
164	12673	88.90644	2.51135	123.82
165	12693	5.24905	3.05502	9430.80
166	12700	8281.96590	2.27819	66.71
167	12713	4.35990	1.40633	94.11
168	12715	33347.33100	2.85686	316.02
169	12716	7.84577	3.82202	171.27
170	12717	31.20255	4.20012	531.43
171	12718	12.70999	1.68295	136.52
172	12719	46.76453	1.72186	313.28
173	12729	3.26810	3.81781	162.12
174	12733	1.28781	3.45013	2685.40
175	12738	2.21249	4.60786	404.61
176	12743	4.63554	3.62133	267.76
178	12748	6.12689	3.91566	175.22
179	12757	3.09162	3.79848	12399.71

No.	Clave	Parámetro α	Estimación K para el año 2050	Q estimado para el año 2050, m ³ /s
180	12758	1.06777	3.10446	153.69
181	12760	0.25940	2.67681	168.57
182	12761	1978.71990	2.92322	17.26
183	12762	4.94629	2.78091	18.99
184	12784	2.41469	4.82082	966.47
185	12767	21.28828	3.67324	176.64
186	12908	30.22874	2.74983	409.22

Máx.= 6.88

Tabla B.6 Coeficientes de Francou-Rodier ajustados a la función asintótica.

No.	Clave	Parámetro ubicación	Parámetro escala	Estimación Cc para Tr=1000	Q estimado para Tr=1000, m ³ /s
1	12004	0.7655	0.4600	4.798	1375.03
2	12007	0.6925	0.5841	5.813	1425.89
3	12011	0.3226	0.0730	0.962	100.65
4	12014	0.3912	0.1397	1.618	135.64
5	12067	0.1124	0.3889	3.521	641.58
6	12093	0.1398	0.0679	0.736	38.82
7	12095	0.8521	0.6820	6.831	1966.53
8	12096	0.2401	0.0444	0.629	17.43
9	12098	0.2667	0.1438	1.528	151.94
10	12104	0.7703	0.6724	6.665	1186.40
11	12113	0.9261	0.5896	6.095	901.33
12	12117	0.5827	0.2187	2.500	121.33
13	12128	0.1868	0.2527	2.402	749.89
14	12194	1.0118	0.4854	5.267	1001.25
15	12209	0.4647	0.4373	4.299	649.14
19	12219	0.4704	0.1242	1.559	77.76
20	12221	0.3190	0.1609	1.730	117.90
21	12224	1.5566	0.9008	9.453	163.45
23	12232	0.8765	0.4785	5.072	839.20
24	12233	0.6232	0.4382	4.465	1262.67
26	12237	1.6975	0.5149	6.211	364.34
27	12238	0.4708	0.4013	3.989	737.44
28	12239	0.2873	0.4491	4.224	191.84
29	12249	1.1673	0.7771	7.979	395.85
30	12257	2.9367	1.2694	14.065	505.94
31	12258	0.3341	0.1015	1.224	98.36
34	12278	1.4700	1.4228	13.943	369.98
35	12310	0.4311	0.1703	1.924	196.68
36	12314	1.7616	1.6515	16.240	390.43
37	12315	2.2953	2.3218	22.650	834.89
38	12323	0.2339	0.0776	0.914	37.24
41	12341	0.1425	0.0370	0.467	23.19
42	12344	0.4150	0.2811	2.879	227.38
43	12347	0.4007	0.2088	2.231	98.39
44	12349	0.4913	0.8661	8.084	1417.40
45	12352	0.5041	0.4872	4.775	1174.55
46	12355	1.1599	0.7662	7.877	330.71
47	12358	0.0693	0.2057	1.873	300.37
48	12359	0.2578	0.3114	2.987	939.17
49	12361	5.3215	1.7917	21.028	8539.64
50	12365	0.1674	0.1267	1.278	63.67
52	12370	0.8259	0.8363	8.157	1114.87
53	12371	1.1873	1.0619	10.496	466.71
54	12373	0.1149	0.0337	0.410	33.80
55	12374	0.1815	0.0668	0.767	67.71
56	12375	0.1432	0.2982	2.758	405.53
57	12376	0.4326	0.2818	2.903	529.56
58	12377	0.3823	0.1350	1.565	49.43
59	12378	0.2768	0.0363	0.595	31.74
60	12379	0.5629	0.5807	5.653	131.55
62	12386	0.0253	0.0216	0.215	9.71
63	12387	0.0736	0.0181	0.232	15.81
64	12388	0.1608	0.0121	0.267	17.94
66	12391	0.2817	0.2578	2.542	293.33
67	12392	0.4252	0.3167	3.201	140.98
68	12395	0.6489	0.8930	8.477	405.81
69	12396	0.4509	0.1387	1.687	130.56
70	12397	1.5942	0.6376	7.184	13.69
71	12400	0.6044	0.5226	5.186	1643.22
72	12405	0.9380	0.9493	9.260	1410.70

No.	Clave	Parámetro ubicación	Parámetro escala	Estimación Cc para Tr=1000	Q estimado para Tr=1000, m ³ /s
73	12411	0.7817	0.1834	2.389	100.76
74	12415	0.0757	0.0318	0.355	12.50
75	12418	1.0198	1.4617	13.834	325.01
76	12422	0.3761	1.0491	9.573	873.74
77	12423	0.5835	0.3212	3.399	466.52
78	12428	2.1991	2.2031	21.512	4288.30
79	12436	2.2874	2.1724	21.332	1105.95
80	12438	2.4055	2.0796	20.636	7592.39
81	12451	0.0775	0.0293	0.334	22.43
82	12452	0.0283	0.0232	0.232	5.80
83	12454	0.4793	0.9669	8.955	950.62
85	12466	1.1331	1.1968	11.625	643.48
86	12469	3.3093	2.4799	25.049	1653.34
87	12470	5.1560	1.4311	17.701	4035.07
88	12471	0.9993	1.1565	11.138	4040.95
89	12472	1.3453	1.2366	12.186	4261.55
90	12473	2.0202	2.2214	21.494	7851.26
92	12479	0.4026	0.5719	5.416	205.11
93	12484	1.6564	1.2284	12.425	1895.53
94	12485	1.0557	0.8531	8.534	930.91
95	12487	0.8069	0.6471	6.480	605.29
96	12488	0.4801	0.4769	4.660	552.40
98	12490	0.6054	0.1987	2.348	371.30
99	12496	4.2448	2.7743	28.566	11605.57
100	12499	1.0873	1.3249	12.682	241.65
101	12504	1.4612	1.3469	13.269	3113.11
104	12507	4.4047	1.6124	18.540	7499.48
106	12512	0.8101	0.9175	8.854	381.78
108	12514	1.7999	1.2063	12.375	2659.85
109	12516	0.4875	0.1558	1.853	87.67
110	12517	0.1143	0.0503	0.555	34.18
111	12520	5.3466	3.2072	33.462	7568.14
114	12525	0.2638	0.3271	3.132	125.54
112	12521	2.3437	2.1167	20.900	7634.46
115	12526	0.7756	0.5746	5.813	1673.24
117	12532	1.9129	1.3842	14.047	4940.28
118	12533	1.3968	2.1773	20.484	1009.66
119	12534	0.2733	0.1535	1.619	82.11
120	12535	2.7912	1.8708	19.192	869.38
122	12540	1.7705	1.2472	12.704	396.93
124	12543	1.5734	2.0079	19.175	626.52
125	12545	0.2092	0.3183	2.999	457.03
126	12546	1.7283	0.9732	10.260	231.82
127	12556	3.2625	1.7906	18.959	572.50
129	12558	0.6840	0.9570	9.073	406.15
130	12559	1.1207	0.8993	9.004	322.53
131	12561	0.8695	0.4018	4.392	624.75
132	12562	1.2789	1.1443	11.308	406.77
134	12568	0.7664	0.4877	5.042	156.23
135	12570	0.6656	0.9318	8.834	248.14
136	12573	5.7598	3.2422	34.182	1094.12
137	12574	1.2164	0.7528	7.816	79.47
138	12578	0.9020	0.4854	5.157	139.90
139	12579	2.1833	1.3946	14.409	427.38
140	12581	0.4196	0.1902	2.087	59.02
141	12585	0.7221	1.1568	10.863	404.37
142	12588	0.4895	0.3180	3.277	261.43
143	12589	1.5018	2.1305	20.179	791.02
144	12592	0.4037	0.1369	1.604	69.76
145	12601	0.2569	0.1115	1.235	12.80
146	12602	1.1497	1.5838	15.034	731.27
148	12605	0.6494	0.3387	3.619	532.14
149	12606	1.5136	1.5979	15.521	609.49
150	12607	1.6404	0.8267	8.888	440.47
151	12608	4.7333	3.5486	35.842	334.94
152	12615	0.6953	1.1572	10.839	450.88
153	12618	0.4457	0.2878	2.969	171.93
154	12620	1.0858	1.3673	13.052	255.46
155	12627	0.4480	0.0748	1.104	195.11
157	12652	1.0507	0.7286	7.438	1069.19
159	12663	1.0345	0.9479	9.344	579.70
160	12664	0.6568	0.2803	3.114	514.14
161	12667	0.3793	0.6093	5.721	261.17
162	12668	0.9868	0.6294	6.504	283.27
164	12673	0.4010	0.5807	5.491	305.49

No.	Clave	Parámetro ubicación	Parámetro escala	Estimación Cc para Tr=1000	Q estimado para Tr=1000, m ³ /s
165	12693	5.6159	2.8528	30.625	12396.44
166	12700	0.4078	0.3434	3.418	151.36
167	12713	0.2644	0.0906	1.058	105.21
168	12715	0.5302	0.8403	7.897	722.29
169	12716	1.9687	1.7960	17.713	311.48
170	12717	2.4774	2.7349	26.452	866.47
171	12718	0.2374	0.2022	2.010	207.78
172	12719	0.2956	0.3275	3.167	484.86
173	12729	0.8910	0.8770	8.579	143.45
174	12733	3.8883	2.3159	24.190	4818.98
175	12738	0.1647	0.2225	2.115	27.75
176	12743	3.3066	1.2083	13.899	483.01
177	12744	0.2417	0.5051	4.670	268.35
179	12757	2.6112	2.2667	22.482	8263.55
180	12758	0.7519	0.3928	4.196	159.50
181	12760	0.1668	0.3032	2.825	169.49
183	12762	0.5463	0.4046	4.094	32.58
184	12764	1.6633	2.2325	21.235	550.65
186	12908	0.1837	0.3394	3.159	318.05

Máx.= 35.842

Tabla B.7 Coeficientes de Creager ajustados a la función Gumbel

No.	Clave	Parámetro ubicación	Parámetro escala	Estimación C _L para Tr=1000	Q estimado para Tr=1000, m ³ /s
1	12004	45.8162	27.534	287.191	1375.09
2	12007	38.3336	32.3282	321.736	1425.79
3	12011	11.5528	2.6121	34.452	100.67
4	12014	12.752	4.5549	52.682	135.64
5	12067	5.325	18.426	166.855	641.63
6	12093	3.9863	1.9369	20.966	38.80
7	12095	51.1162	40.9111	409.760	1966.48
8	12096	6.7889	1.2544	17.785	17.43
9	12098	9.3343	5.0332	53.457	151.91
10	12104	36.0537	31.4708	311.940	1186.37
11	12113	39.332	25.0387	258.832	901.26
12	12117	16.3976	6.1543	70.349	121.32
13	12126	11.6559	15.7659	149.866	749.96
14	12194	49.0293	23.5213	255.227	1001.28
15	12209	19.9518	18.7757	184.547	649.08
19	12219	13.289	3.5077	44.039	77.75
20	12221	9.6714	4.8794	52.446	117.88
21	12224	48.5716	28.1077	294.976	163.45
23	12232	39.4747	21.551	228.400	839.12
24	12233	37.0551	26.0572	265.483	1262.59
26	12237	49.4481	14.9972	180.919	364.33
27	12238	22.4784	19.1615	190.456	737.40
28	12239	8.0249	12.5429	117.981	191.86
29	12249	32.9492	21.9346	225.236	395.86
30	12257	81.3095	35.1462	389.415	505.92
31	12258	10.7107	3.2542	39.239	98.35
34	12278	41.828	40.4841	396.729	369.97
35	12310	15.273	6.0348	68.177	196.71
36	12314	50.9691	47.7846	469.869	390.42
37	12315	63.5272	64.2618	626.873	834.87
38	12323	6.4835	2.1517	25.346	37.28
41	12341	4.0239	1.0446	13.181	23.19
42	12344	13.2214	8.9548	91.723	227.39
43	12347	11.1623	5.8148	62.137	98.38
44	12349	22.8136	40.2154	375.358	1417.41
45	12352	27.9439	27.0074	264.702	1174.64
46	12355	32.1978	21.2699	218.658	330.69
47	12358	3.0691	9.1153	82.977	300.38
48	12359	16.1382	19.4909	187.003	939.29
49	12361	373.3299	125.6955	1475.228	8539.72
50	12365	4.7296	3.5795	36.109	63.70
52	12370	33.6813	34.1065	332.673	1114.88
53	12371	33.0944	29.5986	292.588	466.71
54	12373	3.7111	1.0888	13.256	33.64
55	12374	6.0375	2.222	25.517	67.72
56	12375	6.0636	12.629	116.775	405.50
57	12376	20.5091	13.3615	137.642	529.57
58	12377	10.6581	3.7622	43.639	49.45

No.	Clave	Parámetro ubicación	Parámetro escala	Estimación C _L para Tr=1000	Q estimado para Tr=1000, m ³ /s
59	12378	7.9055	1.0373	16.999	31.74
60	12379	16.3878	16.905	164.584	131.56
62	12386	0.7064	0.6042	6.003	9.72
63	12387	2.2236	0.5467	7.016	15.63
64	12388	4.854	0.3649	8.053	17.92
66	12391	10.5616	9.6662	95.299	293.29
67	12392	11.843	8.8204	89.167	141.00
68	12395	18.2293	25.0853	238.137	405.80
69	12396	14.3222	4.4061	52.948	130.57
70	12397	86.6163	34.6428	390.309	13.69
71	12400	37.9718	32.8347	325.814	1643.18
72	12405	40.4577	40.9453	399.401	1410.74
73	12411	21.7064	5.0918	66.343	100.77
74	12415	2.0969	0.8816	9.825	12.49
75	12418	29.6356	42.4775	402.011	325.01
76	12422	12.6824	35.3764	322.806	873.70
77	12423	23.8478	13.1262	138.917	466.51
78	12428	109.2611	109.4601	1068.833	4288.38
79	12436	65.0113	61.7446	606.289	1105.95
80	12438	161.8102	139.893	1388.169	7592.54
81	12451	2.3403	0.8838	10.088	22.44
82	12452	0.8128	0.6666	6.657	5.79
83	12454	17.2777	34.8533	322.816	950.67
85	12466	32.594	34.4275	334.400	643.46
86	12469	99.3971	74.485	752.363	1653.35
87	12470	274.8018	76.2723	943.436	4035.13
88	12471	66.8072	77.3191	744.618	4040.93
89	12472	88.4695	81.3226	801.377	4261.47
90	12473	135.4643	148.9565	1441.278	7851.27
92	12479	11.143	15.8261	149.881	205.10
93	12484	71.4941	53.0185	536.276	1895.48
94	12485	38.5386	31.1423	311.545	930.91
95	12487	27.4769	22.0356	220.650	605.25
96	12488	18.2374	18.1141	177.033	552.44
98	12490	26.6259	8.7406	103.249	371.25
99	12496	297.8457	194.6652	2004.360	11605.49
100	12499	32.4875	40.327	386.011	241.65
101	12504	79.0509	72.8655	717.820	3113.06
104	12507	308.5102	112.9334	1298.531	7499.37
106	12512	22.5254	25.5143	246.194	381.76
108	12514	93.0353	62.3502	639.623	2659.75
109	12516	13.6763	4.3701	51.987	87.68
110	12517	3.3695	1.4815	16.357	34.18
111	12520	283.8013	170.2373	1776.172	7568.13
114	12525	7.3069	9.0627	86.754	125.52
112	12521	157.1582	141.9383	1401.447	7634.39
115	12526	46.5236	34.4646	348.655	1673.11
117	12532	126.1217	91.2633	926.173	4940.44
118	12533	39.3914	61.4022	577.669	1009.64
119	12534	7.7403	4.3481	45.857	82.12
120	12535	77.9351	52.2356	535.854	869.36
122	12540	49.4007	34.7992	354.465	396.93
124	12543	43.7485	55.8303	533.180	626.52
125	12545	9.0243	13.7288	129.376	457.05
126	12546	50.6163	28.5022	300.478	231.82
127	12556	91.3195	50.1195	530.687	572.51
129	12558	19.0775	26.6904	253.056	406.16
130	12559	31.0312	24.9011	249.325	322.54
131	12561	36.1961	16.7259	182.823	624.75
132	12562	35.3544	31.6816	313.088	406.76
134	12568	21.4001	13.6184	140.785	156.23
135	12570	18.787	26.3014	249.356	248.14
136	12573	160.3909	90.2852	951.868	1094.13
137	12574	44.2892	27.4116	284.591	79.47
138	12578	25.581	13.7658	146.258	139.89
139	12579	61.228	39.1096	404.079	427.38
140	12581	11.8332	5.3644	58.859	59.02
141	12585	19.9847	32.0151	300.642	404.38
142	12588	15.6522	10.1693	104.801	261.47
143	12589	41.5794	58.9865	558.679	791.00
144	12592	11.2319	3.8099	44.631	69.78
145	12601	9.301	4.0369	44.690	12.80
146	12602	32.3647	44.5832	423.199	731.25
148	12605	27.4996	14.3423	153.230	532.09
149	12606	41.9091	44.2411	429.745	609.49

No.	Clave	Parámetro ubicación	Parámetro escala	Estimación C _L para Tr=1000	Q estimado para Tr=1000, m ³ /s
150	12607	46.2986	23.3319	250.836	440.45
151	12608	176.7745	132.5302	1338.589	334.94
152	12615	19.293	32.107	300.756	450.90
153	12618	12.9463	8.3599	86.233	171.94
154	12620	32.2282	41.3462	394.686	255.46
155	12627	20.8888	3.4867	51.455	195.03
157	12652	43.9758	30.4949	311.307	1069.24
159	12663	30.5493	27.9932	275.949	579.72
160	12664	29.547	12.6112	140.102	514.21
161	12667	10.5981	17.026	159.855	261.16
162	12668	27.4595	17.5149	181.003	283.29
164	12673	11.5467	16.7212	158.132	305.51
165	12693	393.4491	199.8696	2145.588	12396.37
166	12700	11.3567	9.5681	95.235	151.36
167	12713	9.2532	3.1688	37.032	105.23
168	12715	17.8954	28.3623	266.531	722.27
169	12716	61.1601	55.7945	550.278	311.48
170	12717	68.874	76.0328	735.409	866.48
171	12718	8.4537	7.2006	71.577	207.78
172	12719	12.7811	14.1635	136.944	484.85
173	12729	28.0512	27.6125	270.113	143.45
174	12733	193.1214	115.0237	1201.467	4819.04
175	12738	5.5566	7.5043	71.342	27.75
176	12743	91.6461	33.49	385.233	483.02
177	12744	7.0066	14.6456	135.396	268.34
179	12757	175.5781	152.4104	1511.670	8263.53
180	12758	20.8104	10.8721	116.120	159.49
181	12760	4.8854	8.8794	82.725	169.48
183	12762	21.4034	15.852	160.368	32.57
184	12764	47.4982	63.7548	606.399	550.64
186	12908	6.4631	11.9413	111.145	318.01

Máx.= 2145.588

Tabla B.8 Coeficientes de Lowry ajustados a la función Gumbel.

No.	Clave	Parámetro ubicación	Parámetro escala	Estimación K para Tr=1000	Q estimado para Tr=1000, m ³ /s
4	12014	0.7043	0.2756	3.120	461.469
8	12096	1.0225	0.1252	2.120	28.286
11	12113	0.885	0.4585	4.904	6856.590
12	12117	1.3945	0.2962	3.991	624.701
14	12194	0.5875	0.4216	4.283	5290.085
19	12219	1.2465	0.2024	3.021	196.919
21	12224	2.3554	0.3953	5.821	2802.246
26	12237	2.2355	0.2129	4.102	890.355
30	12257	2.8256	0.2506	5.022	1680.805
31	12258	0.6152	0.242	2.737	281.074
37	12315	2.488	0.5225	7.069	23550.850
38	12323	0.7771	0.2393	2.875	125.630
43	12347	1.1491	0.3161	3.920	512.873
46	12355	1.932	0.4409	5.797	5118.183
64	12388	0.1691	0.0613	0.706	20.144
69	12396	0.9082	0.2271	2.899	324.397
70	12397	2.5214	0.1616	3.938	32.762
73	12411	1.7533	0.1703	3.246	209.350
75	12418	1.7623	0.7147	7.028	22167.003
86	12469	2.5673	0.5335	7.244	40096.807
87	12470	2.1681	0.2789	4.613	9473.242
100	12499	1.9295	0.6169	7.337	24620.265
109	12516	1.2896	0.2378	3.374	283.601
111	12520	2.1505	0.4865	6.415	44643.328
119	12534	0.748	0.3458	3.780	508.138
120	12535	2.5986	0.4584	6.617	15024.026
122	12540	2.3183	0.4626	6.374	8704.218
124	12543	2.2454	0.4183	5.912	4911.026
157	12652	1.0028	0.4729	5.149	8180.282
170	12717	2.4765	0.6137	7.856	61591.510
173	12729	1.9597	0.4691	6.072	3906.917
174	12733	1.9121	0.5505	6.738	52430.171
176	12743	2.8534	0.3054	5.531	3142.058
184	12764	2.0997	0.7207	7.240	39896.549

Máx.= 7.856

Tabla B.9 Coeficientes de Francou-Rodier ajustados a la función Gumbel.