



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ESTIMACIÓN DE MANCHAS DE INUNDACIÓN PARA
LA DELEGACIÓN VENUSTIANO CARRANZA
UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A :
ROGERIO MIRELES MORALES**

Director de tesis

DR. EDUARDO REINOSO ANGULO





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señor
ROGERIO MIRELES MORALES
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. EDUARDO REINOSO ANGULO, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

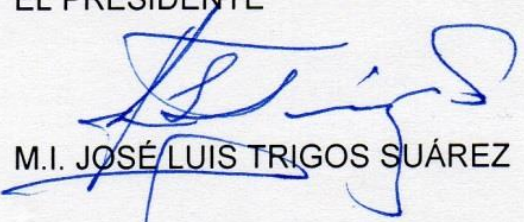
**"ESTIMACIÓN DE MANCHAS DE INUNDACIÓN PARA LA DELEGACIÓN VENUSTIANO CARRANZA
UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA"**

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
 - II. ANÁLISIS DE ESTACIONES PARA LA OBTENCIÓN DE PRECIPITACIÓN
 - III. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO
 - IV. DETERMINACIÓN DE LAS MANCHAS DE INUNDACIÓN
 - V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 26 de abril del 2012.
EL PRESIDENTE


M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JTS/MTH*gar.

*" En cuanto a vos, Morrel, he aquí el secreto de mi conducta.
No hay ventura ni desgracia en el mundo, sino la comparación
de un estado con otro, he ahí todo. Sólo el que ha experimentado
el colmo del infortunio puede sentir la felicidad suprema.
Es preciso haber querido morir, amigo mío, para saber cuan buena
y hermosa es la vida. Vivid, pues, y sed dichosos, hijos queridos de
mi corazón, y no olvidéis nunca que hasta el día en que Dios se
digne descifrar el porvenir al hombre, toda la sabiduría humana
estará resumida en dos palabras: ¡Confiar y esperar! "*

Agradecimientos

A mi mamá Pily, quien dio todo porque ella y yo saliéramos adelante y siempre me apoyó para que siguiera estudiando y siguiera mis sueños, no hay palabras para agradecerle lo suficiente, Pily te amo.

A mi abuelo Manuel, quien siempre nos cuidó a mi mamá y a mí, siempre fomentándome el estudio y que nunca me diera por vencido, sé que ahora me cuida desde arriba y le agradezco ser la inspiración tan grande que hasta la fecha es, te amo Manuelito.

A mis amigos, quienes siempre me impulsaron a seguir adelante con este proyecto y siempre me apoyan en todo lo que me propongo.

A mi tío Miguel, quien es y será como un padre para mí, que con su ejemplo me han inspirado a lograr grandes cosas y siempre ha estado ahí para mí apoyándome.

A mi familia, por siempre creer en mí y apoyarme en todo momento.

A la UNAM, por la oportunidad de estudiar una carrera universitaria de calidad, brindándome una formación integral que no se encuentra en ningún otro lado.

Al instituto de Ingeniería, por la oportunidad de formar parte de sus becarios y brindarme el apoyo y las herramientas para llevar a cabo este proyecto

Al Dr. Eduardo Reinoso, Por la oportunidad de participar en sus proyectos, así como por su apoyo en la realización de éste.

Al Dr. Marco, por su apoyo en la realización de la tesis, así como por su guía y paciencia para la realización de ésta.

A Dios, por permitirme llegar a este punto en mi vida y siempre hacerse presente en mi vida con grandes bendiciones.

***Estimación de Manchas de Inundación para la Delegación Venustiano
Carranza Utilizando Sistemas de Información Geográfica***

}

Índice

1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1 Descripción del problema	3
2.2 Descripción de obras históricas para evitar inundaciones en la Cuenca del Valle de México 16	
2.3 Herramientas a utilizar	21
3. Análisis de estaciones para la obtención de precipitación	30
3.1 Descripción de datos de estaciones existentes.....	30
3.2 Análisis estadístico de las estaciones del CLICOM	38
3.3 Corrección y complementación de los datos	42
3.4 Obtención de curvas hp-d-Tr para cada estación	52
3.5 Mapas de I-d-Tr	56
4. Determinación de volúmenes de escurrimiento.....	64
4.1 Descripción de la cuenca	64
4.2 Propiedades hidrológicas	65
4.3 Metodología tradicional.....	72
5. Determinación de las manchas de inundación	78
5.1 Antecedentes de trabajos previos	78
5.2 Metodología a utilizar	82
5.3 Resultados	84
6. Conclusiones y Recomendaciones	93
Referencias.....	97
Apéndice A	99
Apéndice B	101

**Estimación de Manchas de Inundación para la Delegación Venustiano
Carranza Utilizando Sistemas de Información Geográfica**

Índice de figuras

Figura II. 1.Descripción del fenómeno de lluvias orográficas, invernales y convectivas, respectivamente.	7
Figura II. 2. Localización de la Cuenca del Valle de México	9
Figura II. 3. Topografía de la Cuenca del Valle de México.....	10
Figura II. 4. Climas presentes en el Distrito Federal.....	11
Figura II. 4. Subcuencas correspondientes a la Cuenca del Valle de México	12
Figura II. 6. Localización de la Delegación Venustiano Carranza	15
Figura II. 7. Topografía de la Delegación Venustiano Carranza.....	16
Figura II. 8.Las Inundaciones en la Ciudad de México. Problemática y Alternativas de Solución.....	17
Figura II. 9. Funcionamiento de un LIDAR	22
Figura II. 10. Imagen de un Modelo digital de terreno obtenido con tecnología LIDAR	22
Figura II. 11. Estructura genérica de una malla.....	26
Figura II. 12. Distribución de valores en un archivo Raster.....	26
Figura II. 13. Demostración del concepto resolución para un archivo tipo raster.....	27
Figura II. 14. Demostración de los elementos punto, línea y polígono para un formato vectorial ..	27
Figura II. 15. Funcionamiento de las capas para un SIG.....	28
Figura III. 1. Ubicación de las estaciones del SACM	31
Figura III. 2. Ubicación de las estaciones del PEMBU.....	34
Figura III. 3. Ubicación de las estaciones del SMN en el DF	37
Figura III. 4. Número de días registrados antes y después de la corrección	46
Figura III. 5. Máximos corregidos y originales.....	47
Figura III. 6. Mínimos corregidos y originales	47
Figura III. 7. Número de años corregidos y originales.....	48
Figura III. 8. Media corregida y original.....	49
Figura III. 9. Días no registrados originales y corregidos.....	49
Figura III. 10. Días con lluvia originales y corregidos.....	50
Figura III. 11. Días sin lluvia originales y corregidos	51
Figura III. 12. Desviación Estándar original y corregida	51
Figura III. 13. Gráfica comparativa hp-T para la estación 9002 en el mes de Agosto	55
Figura III. 14. Gráfica de hp-T para todos los meses de la estación 9002	56
Figura III. 15.y III.16 Atlántico Anita Método Kriging , Atlántico Anita Método IDW.....	62
Figura III. 17 y III.18 . Pacifico Aletta Método Kriging, Pacifico Aletta Método IDW	62
Figura III. 19. Isoyetas para Julio para 500 años.....	63
Figura IV. 1. Subcuencas correspondientes a la delegación Venustiano Carranza.....	65
Figura IV. 2. Coeficiente de Escurrimiento no urbano	71
Figura IV. 3. Fotografías de la barda perimetral del aeropuerto	74
Figura IV. 4. Polígono considerado para el aeropuerto	75

Estimación de Manchas de Inundación para la Delegación Venustiano Carranza Utilizando Sistemas de Información Geográfica

Figura V. 1 Localización de las colonias afectadas y puntos de encharcamiento dentro de la delegación Venustiano Carranza.....	81
Figura V. 2. Ejemplos de las curvas Volumen-Elevación utilizadas para la determinación de la cota de inundación asociada a los volúmenes estimados en cada escenario	83
Figura V. 3. Manchas de inundación para la delegación Venustiano Carranza	85
Figura V. 4. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 113	86
Figura V. 5. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 121	86
Figura V. 6. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 122	87
Figura V. 7. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 123	87
Figura V. 8. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 124	88
Figura V. 9 Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 130	88
Figura V. 10. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 131	89
Figura V. 11. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 113	89
Figura V. 12. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 133	90
Figura V. 13. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 134	90
Figura V. 14. Localización de las manchas de inundación respecto a las colonias afectadas y los puntos de encharcamiento de Protección Civil	92

**Estimación de Manchas de Inundación para la Delegación Venustiano
Carranza Utilizando Sistemas de Información Geográfica**

Índice de tablas

Tabla II. 1. Relación y áreas de las subcuencas en las que se divide la Cuenca del Valle de México..	12
Tabla II. 2. Características de las principales obras de drenaje en el Valle de México (CONAGUA, 2010)	20
Tabla III. 1. Coordenadas de las estaciones del SACM	31
Tabla III. 2. Localización de las estaciones del PEMBU	33
Tabla III. 3. Años de registro para las estaciones del PEMBU	33
Tabla III. 4. Clave, nombre y coordenadas de las estaciones del Clicom	35
Tabla III. 5. Principales características de las estaciones del CLICOM.	39
Tabla III. 6. Matriz de estaciones con correlación mayor a 0.8.	41
Tabla III. 7. Coeficientes de regresión lineal.	43
Tabla III. 8. Coeficientes mensuales de correlación	45
Tabla III. 9. Número de días registrados antes y después de la corrección	46
Tabla III. 10. Máximos corregidos y originales	47
Tabla III. 11. Mínimos corregidos y originales.	47
Tabla III. 12. Número de años corregidos y originales	48
Tabla III. 13. Media corregida y original	49
Tabla III. 14. Días no registrados originales y corregidos	49
Tabla III. 15. Días con lluvia originales y corregidos	50
Tabla III. 16. Días sin lluvia originales y corregidos	51
Tabla III. 17. Desviación Estándar original y corregida.	51
Tabla III. 18. Funciones de probabilidad para todos los meses de todas las estaciones	53
Tabla III. 19. Huracanes y fechas para el océano Atlántico	58
Tabla III. 20. Huracanes y fechas para el océano Pacífico	59
Tabla III. 21. Errores del ejercicio para el método Kriging e IDW.	61
Tabla IV. 1. Subcuencas correspondientes de la delegación Venustiano Carranza	64
Tabla IV. 2. Coeficientes de reducción de área propuestos por Franco (1998)	70
Tabla IV. 3. Coeficientes de Reducción por Área para cada cuenca	70
Tabla IV. 4. Datos correspondientes a las estaciones analizadas	70
Tabla IV. 5. Estadísticas obtenidas para un periodo de retorno de 500 años.	76
Tabla IV. 6. Volúmenes resultantes para un periodo de retorno de 500 años para todas las subcuencas.	77
Tabla V. 1. Colonias afectadas.	79
Tabla V. 2. Relación de los puntos de encharcamiento reportados por Protección Civil	79
Tabla V. 3. Relación de las colonias afectadas de acuerdo con las manchas de inundación obtenidas, dentro de la delegación Venustiano Carranza	84

Capítulo 1

Introducción

Los desastres naturales se presentan cada vez más frecuentemente, estos cada vez son de mayor intensidad y se presentan con mayor frecuencia, estos casi siempre vienen acompañados de pérdidas materiales, económicas, así como de vidas humanas. Lo cual es un grave problema para la sociedad y sus gobiernos, ya que dichas pérdidas tienen un alto costo económico, además de que se deben llevar a cabo obras para restaurar las zonas de afectación a su anterior estado, sin mencionar que la pérdida de vidas humanas es algo irreparable. Considerando lo anterior resulta más conveniente tomar precauciones para prevenir dichas afectaciones y conocer las zonas que pudieran ser más vulnerables y para ello existen diversos estudios que en muchos casos, si estos se realizan de manera tradicional, los costos y magnitud de estos resultarían muy altos; por ello, recientemente han surgido muchas herramientas que facilitan la realización de estos trabajos como lo son los Sistemas de Información Geográfica.

La cuenca del Valle de México siempre ha presentado problemas de inundaciones, dado que es una cuenca cerrada y no tiene una salida natural de agua, a lo largo de la historia se han realizado muchas obras con la finalidad de desalojar el agua de lluvia para evitar inundaciones. Recientemente se han empezado a utilizar herramientas como los Sistemas de Información Geográfica que permiten conocer el comportamiento del agua y las zonas más propensas a inundarse, lo cual permite conocer con anticipación dichas zonas y tomar medidas para evitar inundaciones.

El presente trabajo pretende hacer uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica, vuelos LIDAR, etc. para poder conocer las principales zonas dentro de la Delegación Venustiano Carranza (la cual es la zona de estudio) que son susceptibles de inundarse en caso de lluvia. Para ello se relacionará el volumen de agua precipitado con la topografía de la zona de estudio considerando varios tiempos de retorno con la finalidad de conocer los posibles escenarios de inundación (de acuerdo con la cantidad de agua precipitada), desde una lluvia “normal” hasta un evento extraordinario.

Con la finalidad de prevenir muchas afectaciones debidas a las inundaciones se obtuvieron las posibles manchas de inundación en la delegación Venustiano Carranza, utilizando la metodología tradicional de la hidrología implementada en los Sistemas de Información Geográfica y otras herramientas computacionales.



La implementación de Sistemas de Información Geográfica para localizar los sitios con mayor propensión a inundaciones, se desarrolla en 5 capítulos incluyendo el presente, tratando cada uno de ellos los siguientes temas:

En el capítulo 2 se aborda y describe la problemática que se desea resolver, en cuanto a la descripción del fenómeno de la lluvia y como se presenta ésta para el caso de estudio; de igual manera, se describen las obras que se han realizado en el pasado para solucionar los problemas de inundación en la Cuenca del Valle de México y finalmente se hace una descripción las herramientas que se utilizarán para la realización del ejercicio propuesto en el presente trabajo.

En el capítulo 3 se mencionan las diferentes bases de datos de lluvias existentes y se describen las características de cada una, de igual modo se describe y realiza un análisis estadístico de los datos de lluvia utilizados y sus ajustes a diferentes funciones de probabilidad para los tiempos de retorno que permitan conocer escenarios de lluvia, desde los más comunes hasta los que puedan llegar a presentarse en caso de un evento extraordinario. Posteriormente, utilizando Sistemas de información Geográfica se realiza la interpolación espacial para cada uno de los meses y periodos de retorno, para conocer las condiciones de precipitación para cada una de las subcuencas de la zona de estudio, como por ejemplo los volúmenes de precipitación para cada una, así como su distribución espacial.

En el capítulo 4 se hace un análisis de la zona de estudio, para posteriormente conocer la relación Volumen-Escurrimiento para dicha zona, con lo cual, a través de la aplicación de la fórmula racional en un Sistema de Información Geográfica se conocerán los volúmenes de escurrimiento para cada una de las subcuencas de la zona de estudio para los periodos de retorno correspondientes.

En el caso del capítulo 5 se realiza a la parte final del ejercicio, en donde de acuerdo a los volúmenes obtenidos en el capítulo anterior, se relacionan estos con las características específicas de cada una de las subcuencas, para así conocer la localización de posibles manchas de inundación dentro de la zona de estudio.

El capítulo 6 presenta las conclusiones y recomendaciones a las que se llegan después de la realización y análisis del ejercicio propuesto, el cual ya fue descrito en los capítulos previos



Capítulo 2

Antecedentes

Debido a la lluvia y otros factores se presentan inundaciones, que afectan a una gran cantidad de personas y que llegan a costar muchos recursos a las personas y sus gobiernos. Éste es el problema que se aborda en el presente trabajo ya que se utiliza una metodología que permita conocer las zonas más propensas a inundarse, para así poder tomar acciones preventivas.

En este capítulo se encuentran los antecedentes necesarios que ayudarán a mejorar la comprensión del presente trabajo al describir el problema y las características de las herramientas utilizadas para abordar éste.

2.1 Descripción del problema

Descripción del problema

La Ciudad de México, al ser tan grande y tener un número importante de habitantes, cuando sufre una inundación ésta repercute de manera importante en la vida y economía de las personas que la habitan. La problemática se debe en parte a que al tratarse de una ciudad, el suelo es en su mayoría impermeable, lo que ocasiona que el fenómeno de infiltración no se presente como se presenta normalmente en zonas no urbanas; sumado a esto, hay que tomar en cuenta que la cuenca del Valle de México es una cuenca cerrada y anteriormente era un lago, por lo que el agua no tiene una salida natural. Todos estos factores favorecen la aparición de inundaciones, ya que el agua naturalmente no tiene a donde ir. Desde hace mucho tiempo, los habitantes de la Ciudad de México han buscado la manera de solucionar este problema, y esto se ha llevado a cabo por medio de drenajes artificiales que sacan el agua precipitada fuera de la cuenca.

Unos de los principales factores que favorecen la aparición de inundaciones en la Ciudad de México es que el drenaje construido en la Ciudad de México no es separado, es decir, transporta tanto aguas residuales como pluviales, por lo que la capacidad de transportar aguas pluviales se ve reducida por el volumen de agua residual y por lo tanto, la saturación de los drenajes es mucho mayor, además del azolve que se produce en estos y la falta de mantenimiento a dichas estructuras. Cuando se presenta una lluvia de gran magnitud, al no ser capaz el drenaje de desalojar los volúmenes de agua precipitada,



dados los problemas antes mencionados se presentan estancamientos de grandes volúmenes de agua y por lo tanto ahí es cuando se originan inundaciones

La repercusión más directa de estas inundaciones para los habitantes de las zonas afectadas es la pérdida de los bienes materiales o de vidas humanas en el caso más trágico y lamentable. Dentro de todo esto, cabe mencionar que hay zonas que resultarán más afectadas que otras por sus mismas características topográficas, ubicación o infraestructura así como la cercanía de los sitios afectados a cuerpos de agua o corrientes de agua, o a lugares con antecedentes de problemas de inundación, por ello se requiere un estudio regional en cada zona de acuerdo con sus características. La magnitud de una inundación provocada por fenómenos hidrometeorológicos, depende de la intensidad de la lluvia, su distribución en el espacio y tiempo, tamaño y forma de las cuencas hidrológicas, así como de las características del suelo, vegetación, drenaje natural o artificial entre otros factores que se deben considerar.

Independientemente de las afectaciones directas producidas por las inundaciones, como pérdidas materiales, o humanas, las inundaciones producen serias repercusiones indirectas, económicamente hablando, ya que estos daños o las mismas inundaciones impiden que se lleven a cabo actividades comerciales como normalmente se harían ya sea temporal o definitivamente, lo que puede causar pérdidas de empleos o fuentes de ellos; así como que al afectarse las infraestructuras viales muchas de las personas que requieran hacer uso de estas no podrán desplazarse hacia otros lugares donde realicen sus actividades diarias para llevar a cabo sus actividades regulares. De igual manera se ven afectadas actividades como el transporte de productos y personas por lo que eso repercutirá en los tiempos de entrega y de trabajo.

Es de resaltar que la recuperación de estos fenómenos no es inmediata, por lo que el tiempo que podría tardar en abrirse de nuevo un negocio o empezar a funcionar de nuevo la economía local llevará algo de tiempo lo que se traduce en pérdidas, ya que no está ingresando dinero a los negocios. Al tratarse de una gran ciudad con casi 9 millones de habitantes y más al ser la capital del país, las afectaciones económicas serían de una magnitud bastante importante, esto es porque gran parte de la economía del país está concentrada ahí, por lo que una afectación de la magnitud que se ha manejado antes llegaría a tener una severa repercusión en la vida económica de la ciudad y del país, además de las pérdidas materiales y humanas.

Para el gobierno resulta en una seria pérdida y gasto de presupuesto, ya que cuenta con un fondo predestinado para solventar esa clase de desastres naturales llamado “Fondo para Desastres Naturales”(FONDEN), sin embargo recientemente se han presentado varios fenómenos naturales de gran magnitud teniendo serias afectaciones y en intervalos muy cortos entre ellos, por lo que se intenta ayudar a la mayor cantidad de gente posible con los recursos disponibles. El gobierno, en diversas ocasiones ha aumentado el presupuesto originalmente destinado al FONDEN,



ya que las estimaciones realizadas no son suficientes para las emergencias que se han presentado en los últimos años y cada año el número de fenómenos que producen desastres naturales es mayor, por lo que el dinero necesario para solventarlos es mucho mayor. Esto es algo que puede afectar a todo el país, a pesar de haber sucedido en una pequeña población o sólo en una parte del territorio nacional, dada la magnitud de los eventos y los gastos que se generan.

Dentro del mismo contexto que el párrafo anterior, es de resaltar que de acuerdo a varias experiencias previas ocurridas en el país, el costo que tendría la estructura que hubiera ayudado a prevenir o minimizar los efectos de los desastres naturales llega a ser hasta 10 veces menor que el que se acaba pagando para solucionar el problema una vez que éste se presentó, lo que en muchos casos implica reconstrucción, compra de víveres e insumos, pago de daños y servicios de salud. Desde esta perspectiva, el prevenir resulta mucho mejor y más económico para todos que el hecho de simplemente solucionar el problema una vez que éste se presentó; dicho de otra manera, se pretendería que el gobierno se vuelva proactivo en vez de reactivo. Es mejor estar prevenidos para los desastres que tener que afrontarlos directamente. Además de que para el caso de pérdidas de vidas humanas, estas no pueden ser comparables con costo alguno

Dentro de las medidas de prevención existentes se encuentran los estudios de riesgo, vulnerabilidad, etc., los cuales ayudan a identificar las zonas con mayor predisposición o vulnerabilidad a sufrir inundaciones, lo cual está relacionado con la parte técnica del control de inundaciones, como es la construcción de estructuras adecuadas para el manejo de grandes volúmenes de agua. Al construir una estructura se deben considerar varios aspectos importantes, como es el caso de las zonas en las cuales las inundaciones se presentarán con una mayor intensidad, o que por la topografía de la zona u otras circunstancias tienden a presentar inundaciones o grandes acumulaciones de agua, es importante conocer dichas zonas, para construir o considerar estructuras adecuadas para las necesidades particulares de cada zona. Es común debido a simplicidad, tiempo y/o costos, el utilizar un mismo diseño para todas las estructuras de una zona, por lo que en muchas condiciones esto puede llevar a que dichas instalaciones sean insuficientes para las zonas más problemáticas, por ello es importante localizar dichas zonas, en las cuales se debe tener particular cuidado en el diseño de la infraestructura necesaria para el desalojo de las lluvias y si es posible dentro de las condiciones de proyecto tomar las previsiones necesarias para favorecer el rápido y eficiente desalojo del agua, lo cual se verá reflejado en la ausencia de inundaciones para dichas zonas.

Por todo lo que se mencionó anteriormente, es necesario conocer la magnitud de las inundaciones que se podrían presentar en algún posible escenario de lluvia, y dado que cada zona tiene diferentes características tanto físicas como económicas, las afectaciones de las lluvias e inundaciones variarán de acuerdo a la zona, por lo que se buscará conocer la afectación en ciertos lugares de interés para los alcances del presente trabajo, para esto, se lleva a cabo un estudio hidrológico de las lluvias en el Distrito Federal y se propone el uso de una metodología que permita conocer las posibles zonas de inundación



mediante la generación de manchas de inundación haciendo uso de herramientas informáticas como los Sistemas de Información Geográfica aplicándola para la delegación Venustiano Carranza.

Definiciones importantes

El agua siempre ha estado presente en la sociedad, las civilizaciones desde el principio buscaban establecerse cerca de cuerpos de agua o donde tuvieran fácil acceso a ésta. Por ello, estaban expuestos a los efectos que pudieran producir el comportamiento de estos. En la actualidad, para evitar dichos efectos, existen disciplinas que se encargan de estudiar el comportamiento del agua tanto sobre la superficie terrestre como bajo ella, como es el caso de la hidrología. “La hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos” (Aparicio, 2008).

El concepto más básico dentro de la hidrología es el ciclo hidrológico que básicamente consiste en que el agua que se encuentra sobre la superficie se evapora debido al efecto del sol y del viento y este vapor se eleva formando nubes, hasta que de nuevo se condensa y cae a la superficie como lluvia. Durante su trayecto puede evaporarse y regresar a la atmósfera o ser interceptada por plantas o construcciones, después fluye por la superficie hasta llegar a una corriente o se infiltra; una parte del agua se evapora y regresa a la atmósfera; del agua que llega a alguna corriente, una parte de ésta se infiltra y otra llega a los océanos o a algún otro cuerpo de agua; del agua que se infiltra, una parte la absorben las plantas y después es transpirada hacia la atmósfera, otra parte del agua fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar, o algún otro cuerpo de agua o hacia zonas más profundas del suelo para ser almacenada como agua subterránea y posteriormente salir en manantiales, ríos o el mar; donde volverá a comenzar de nuevo el ciclo (Chow, 1988).

La lluvia se presenta cuando el vapor de agua se condensa en las partes altas y frías de la atmósfera en forma de nubes, debido a las bajas temperaturas y menor presión, se condensa y se convierte en gotas de agua que al hacerse más grandes aumentan su peso y velocidad, haciendo que se precipiten en forma de lluvia hacia el suelo. Existen 4 tipos principales de lluvias:

- **Ciclónicas:** Los ciclones transportan grandes cantidades de humedad, por lo que cuando estos se presentan llegan a provocar tormentas de larga duración y de gran extensión territorial.
- **Orográficas:** Estas se producen cuando las corrientes de aire húmedo chocan contra barreras montañosas, lo que provoca que éste aumente su elevación y por lo tanto su presión disminuya, así como su temperatura produciéndose así condensación lo que produce precipitación en el lado de la barrera montañosa en el que entró en contacto el viento (barlovento).(Figura II.1)



- **Invernales:** Consisten en desplazamientos de masas de aire frío provenientes del polo norte, el cual produce una elevación del aire caliente del lugar en cuestión y al enfriarse éste se condensa el agua contenida y se precipita en forma de lluvia. (Figura II.1)
- **Convectivas:** Este tipo de lluvias tienen su origen en el calentamiento de la superficie terrestre, ya que cuando sucede esto se crean corrientes ascendentes verticales, el aire se calienta y asciende, llevándose así la humedad a capas superiores de la atmósfera donde se enfría rápidamente y se condensa el agua y precipita en forma de lluvia. Este fenómeno es muy común en las grandes ciudades debido a que las superficies presentes en las ciudades se calientan rápidamente y favorecen la aparición de estos fenómenos. (Figura II.1)

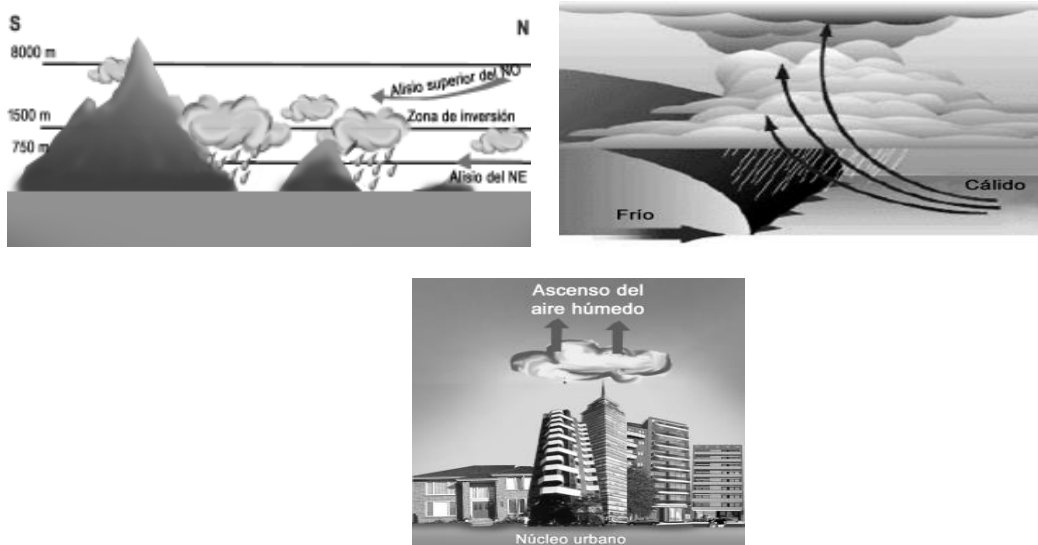


Figura II. 1. Descripción del fenómeno de lluvias orográficas, invernales y convectivas, respectivamente. (CENAPRED, 2007)

Inundaciones

De acuerdo con el glosario internacional de hidrología de la UNESCO, una inundación es un aumento del agua por encima del nivel normal del cauce, entendiendo como “normal” el nivel que presenta regularmente el cauce sin causar daños. Una definición más completa de inundación sería: “Es aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.” (CENAPRED, 2007).

Antes de la aparición del hombre en la Tierra, el agua mantenía un equilibrio en su comportamiento. Cuando el hombre aparece se empieza a establecer cerca de los cuerpos de agua y al hacer esto empezaron a verse las consecuencias que causaban las inundaciones, a esto hay que sumar que el hombre tiende a alterar el lugar que habita produciendo erosión, deforestación, etc., con lo que se agravan los efectos de las inundaciones ya que elementos como la vegetación y topografía de los que dispone normalmente ayudan a mantener el equilibrio de los cauces.

De acuerdo a su tiempo de respuesta, las inundaciones se pueden clasificar en 2 tipos:

- **Inundaciones lentas:** Se presentan cuando una precipitación es capaz de saturar el terreno, es decir, cuando el suelo es incapaz de absorber más agua que la que ya ha absorbido. Esto provoca que este volumen sobrante de agua escurra por ríos, arroyos o sobre el terreno mismo. Al hacer esto el volumen aumenta conforme avanza hacia la salida de la cuenca proporcional al área afectada, si el volumen que fluye por el cauce excede su capacidad, se producen desbordamientos y el agua puede permanecer mucho tiempo, desde horas hasta días, sobre el terreno. Este tipo de inundaciones se presentan comúnmente en lugares donde la pendiente del cauce es pequeña.
- **Inundaciones súbitas:** Este tipo de inundaciones son resultado de lluvias repentinas e intensas en una determinada área, debido a éstas puede suceder que lo que regularmente son pequeñas corrientes, se transformen en muy poco tiempo en violentos torrentes. Éstas se presentan más frecuentemente en ciudades, debido a que éstas cuentan con cubiertas impermeables, lo que no permite la infiltración del agua.

Lo que diferencia a una inundación de otra es el tiempo de concentración, en las súbitas el tiempo de concentración es mucho menor que las lentas. Por lo regular con tiempos de concentración aproximadamente menores a 2 horas se consideran inundaciones súbitas.

Zona de estudio

La zona de estudio es la Delegación Venustiano Carranza, ésta es una de las 16 delegaciones del Distrito Federal y se encuentra dentro de la cuenca del Valle de México,

La cuenca del Valle de México ocupa una superficie de 16,426 km² y abarca parte de los estados del Distrito Federal, Hidalgo, Estado de México y Tlaxcala, como se muestra en la figura II.2 a continuación.



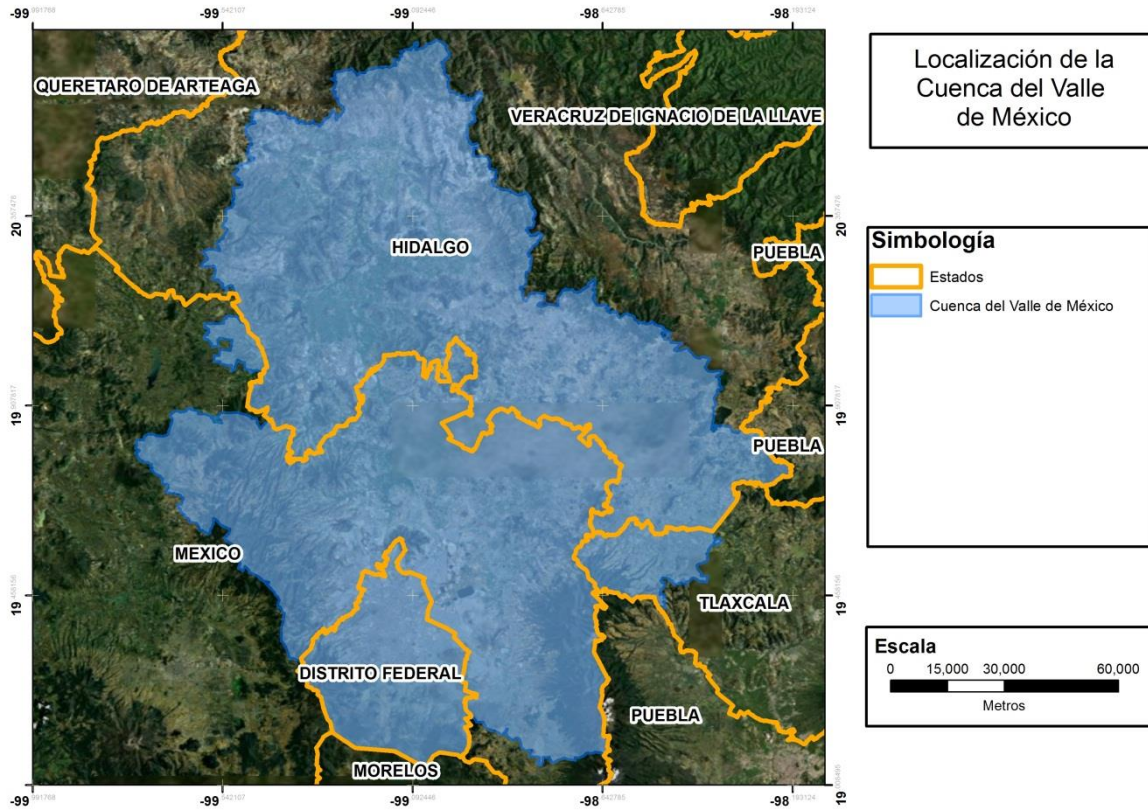


Figura II. 2. Localización de la Cuenca del Valle de México

La Cuenca del Valle de México es una cuenca endorreica, es decir, no tiene salida natural para el agua precipitada, esto se debe a que se encuentra rodeada por montañas que conforman el parte aguas de la Cuenca del Valle de México. Es por ello que en épocas prehispánicas la cuenca era un gran lago, que posteriormente se dividió en cuatro grandes lagos, donde resaltan por su importancia el de Texcoco, el de Xochimilco y la laguna de Zumpango. Pero por la urbanización propia del valle, estos se han ido secando y desaguando mediante la utilización de obras de drenaje.



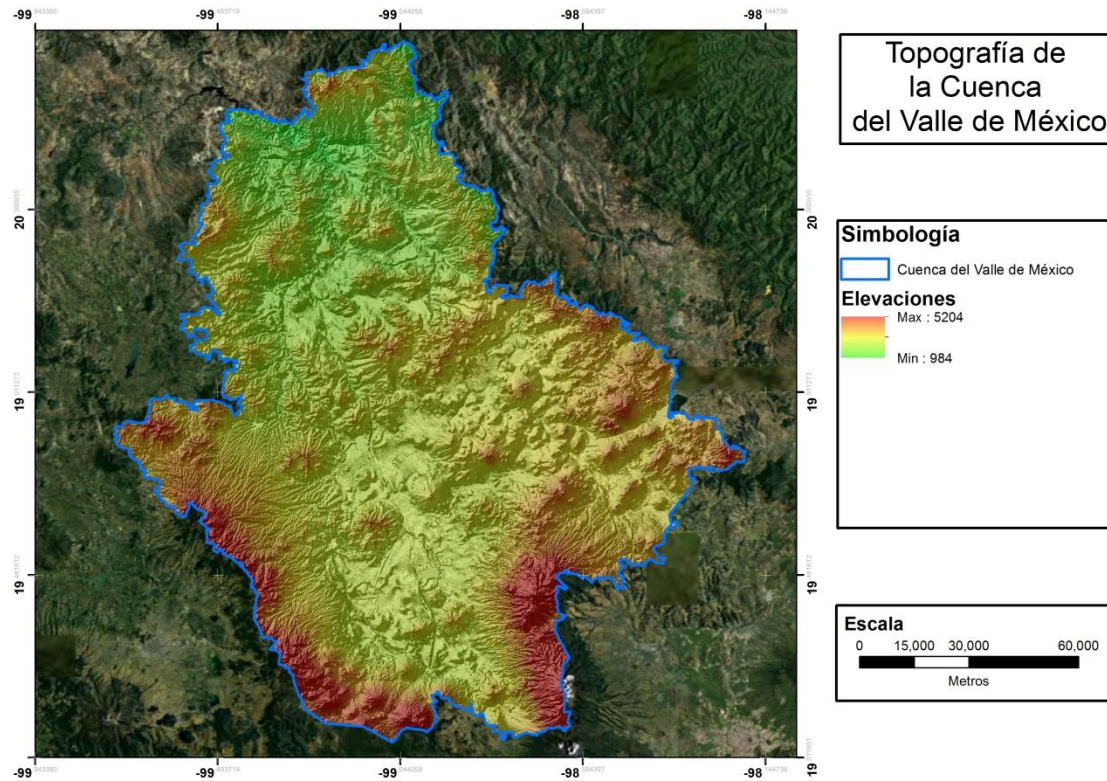


Figura II. 3. Topografía de la Cuenca del Valle de México

La zona de estudio del presente trabajo se encuentra localizada dentro del Distrito Federal, el cual tiene una extensión de 1 495 km² y está dividido en 16 delegaciones, una de éstas es la Delegación Venustiano Carranza, la cual tiene las características que se mencionan a continuación

El Distrito Federal cuenta con varios microclimas en su interior como se puede apreciar en la figura II.4, la cual muestra los climas presentes en el Distrito Federal, éste se encuentra en una zona intertropical, por lo que recibe una alta insolación durante todo el año, pero esto se modifica por la altitud y el relieve. En el noreste se cuenta con un clima templado y semiseco, en el centro es templado subhúmedo y en las regiones elevadas de más de 2800 msnm se considera semifrío subhúmedo, llegando a ser frío en algunas zonas. La temperatura promedio oscila entre los 12 °C en las zonas más altas y de 18 °C en las zonas llanas. De igual manera la precipitación varía entre 600 y 1000 mm al año, dependiendo de la zona, teniendo la mayor concentración de lluvias en el verano.

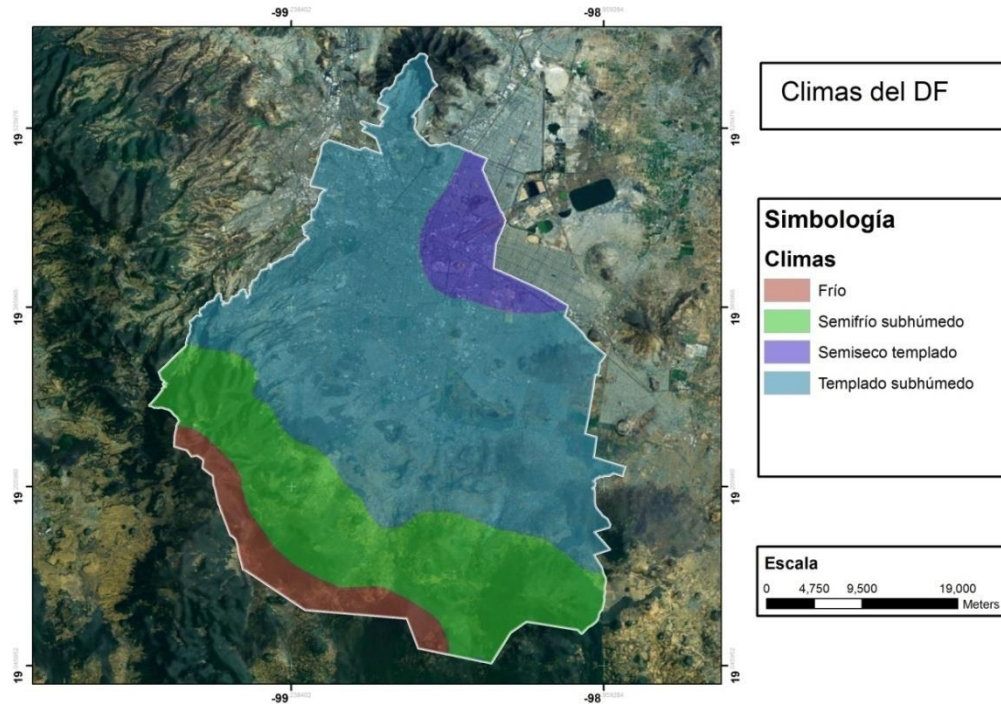


Figura II. 4. Climas presentes en el Distrito Federal

Considerando la altura, el Distrito Federal se divide geomorfológicamente en tres zonas:

- Zona baja que va desde el fondo hasta los 2250 msnm y es donde se ubica la mayor parte de la zona metropolitana de la Ciudad de México.
- Zona de lomeríos que se encuentra entre los 2250 y los 2400 msnm.
- Zona montañosa, ésta se encuentra entre los 2400 msnm y el parteaguas.

La cuenca del Valle de México se subdivide en 250 subcuencas de acuerdo al sistema de drenaje donde ésta vierta su escurrimiento. Para este estudio, en el caso del DF sólo comprende las subcuencas 1 a 22, 26 a 33, 37, 72 a 143, 146, 217, 219 y 220 que son las que tienen escurrimientos dentro del sistema de drenaje propio del DF y se muestran a continuación en la siguiente figura.

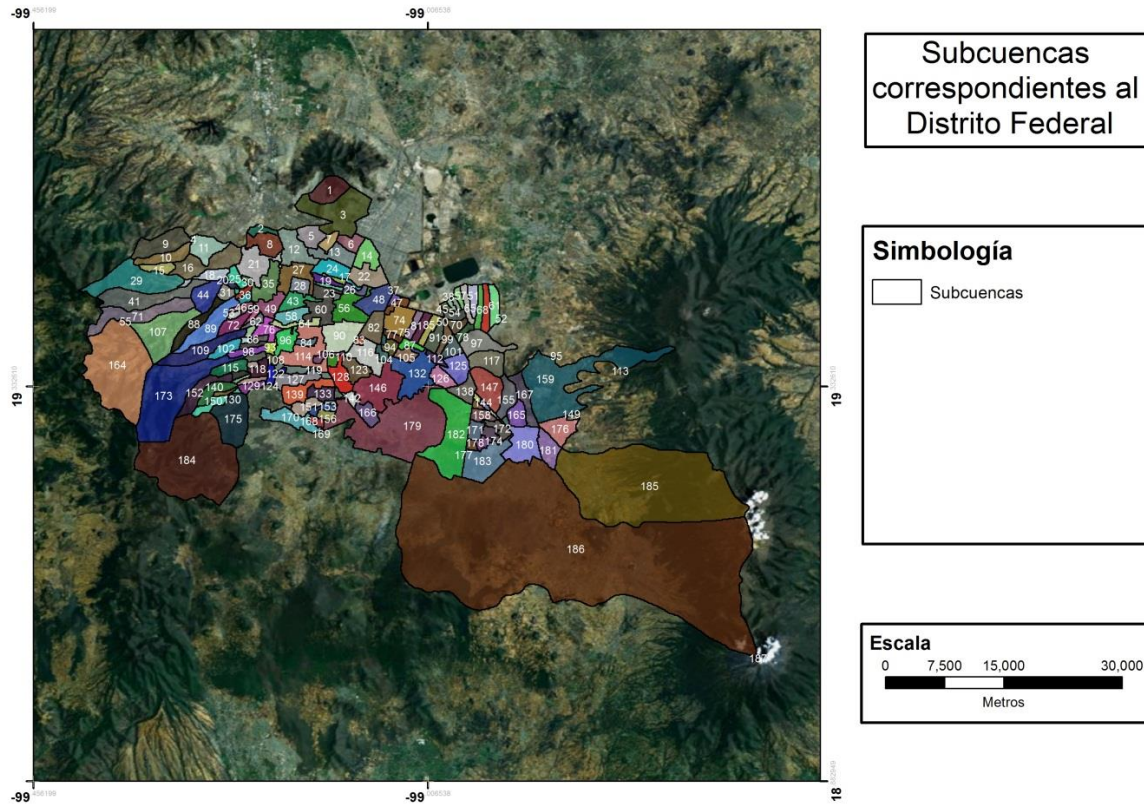


Figura II. 5. Subcuencas correspondientes a la Cuenca del Valle de México

Tabla II. 1Relación y áreas de las subcuencas en las que se divide la Cuenca del Valle de México

Número de subcuenca	Nombre de la Cuenca	A _{total} (km ²)	Número de subcuenca	Nombre de la Cuenca	A _{total} (km ²)
1	Anzaldo	94.659	126	Centro H.	6.636
2	San Miguel	21.423	127	Tlatelolco	4.269
3	Mixcoac	55.257	128	Casablanca	11.494
4	Tequilasco	9.939	129	La Raza	10.764
5	Hueyatla	4.944	130	Michoacana	1.495
6	Texcalatlaco	6.537	131	Valle Gómez	2.945
7	Coyotes	1.345	132	Ampliación Simón Bolívar	1.320
8	Magdalena	2.810	133	Vallejo	8.611
9	Progreso	2.138	134	Ciudad Lago	10.194
10	Las Flores	0.987	135	Libertad	14.237
11	La Mina	1.530	136	Sto. Tomás	9.603
12	San Ángel Inn	3.931	137	Vallejo	13.308
13	Tarango	5.956	138	Martín Carrera	9.085
14	Pilares	0.968	139	Casas Aleman	8.251
15	Merced Gómez	2.232	140	P. B. Rosario	2.907
16	Mixcoac Bajo	3.762	141	Montevideo	7.296
17	Becerra C	5.187	142	Lindavista	3.411
18	Becerra A	2.227	143	Atzacolco	5.056
19	Becerra B	0.752	144	Amecameca	576.467
20	Becerra	1.321	145	Río San Rafael-Sur	174.427
21	Tacubaya	15.595	146	Canal General	37.685



Número de subcuenca	Nombre de la Cuenca	A _{total} (km ²)
22	Ruiz Cortinez	1.317
23	Hondo	70.422
24	Hondo Norte	25.814
25	El Capulin	8.415
26	San Joaquin	15.763
27	Dolores	5.647
28	Real del monte	2.390
29	Chapultepec	1.464
30	Barrilaco	1.363
31	Barrilaco bajo	2.165
32	Reforma Social	0.479
33	Periodista Bajo	1.627
34	El Sordo	20.612
35	Molinito	9.962
36	El Tornillo	3.136
37	Hipodromo	1.627
38	El Periodista	1.040
39	Naucalpan	4.200
40	Los Cuartos	21.975
41	Hondo bajo	5.494
42	Totolica	28.917
43	Las Julianas	4.186
44	Los Arcos	17.311
45	El Colorado	8.622
46	Los Remedios	10.248
47	La Colorada	15.180
48	Tlalnepantla	67.879
49	Madin	31.358
50	Satélite	16.387
51	V Cristo	6.696
52	San Javier	14.881
53	Herradura	11.079
54	Calacoaya	12.058
55	La Canada	8.423
56	Las Minas	9.593
57	Valle Dorado	7.843
58	Barrientos	4.737
59	Tepalcapa sur	8.696
60	Iztacala	21.730
61	Isidro Fabela	165.160
62	Sayavedra	18.467
63	Nicolas Romero	45.901
64	Guadalupe	59.698
65	Izcalli	15.829
66	La Piedad	27.199
67	La Concepcion	65.070
68	El Rosario	38.727
69	Tepozotlan	40.202
70	San Sebastian	55.976
71	Huehuetoca	20.092
72	Topilejo	152.082
73	Xochitepec	50.420
74	Santa Cruz	41.748
75	San Andres	46.234
76	San Buenaventura	19.602
77	Bosques del Sur	12.648
78	Tepechimilpa	13.746

Número de subcuenca	Nombre de la Cuenca	A _{total} (km ²)
147	P.B. 5	19.153
148	P.B. 6, 6A y 10	1.592
149	P.B. 15	2.259
150	P.B. 3, 7 Altamirano y 14 Tezozomoc	3.820
151	P.B.16 a 12	3.141
152	P.B.16	4.139
153	P.B.12	16.053
154	P.B. Sn Lucas Amalinalco	8.504
155	Río San Rafael	10.170
156	Miraflores	74.535
157	Presa Xaltocan	6.109
158	Presa Sto. Domingo	18.549
159	P.B. 8 y 13	3.806
160	P.B. El Molino	0.784
161	P.B. No. 22 Avandaro	0.700
162	P.B. 2	1.083
163	P.B. Dario Martinez II	0.901
164	P.B. San Juan Tlalpizahuac	0.756
165	P.B. Xico	13.858
166	P.B. Gpe. Victoria	7.678
167	P.B. Sta. Barbara	6.000
168	P.B. La Cotera	8.536
169	San Francisco	63.198
170	Presa Zoquiapan	19.558
171	Presa Olivar	7.167
172	Presa Jicaras	13.433
173	Presa Texcahuey II	2.987
174	Presa Texcahuey I	1.021
175	Presa Chihuahua	18.603
176	P.B.1	6.632
177	P.B. Cab. Mpal La Paz	8.913
178	Río Compañía	10.324
179	P.B. Ote los Reyes	4.382
180	Neza	1.172
181	P.B. El Salado	11.671
182	P.B. Maravillas	10.199
183	P.B. Central	3.486
184	P.B. Sor Juana	3.832
185	P.B. Vicente Villada	4.095
186	P.B. Carmelo Perez	5.454
187	P.B. Esperanza	3.526
188	P.B. Sn Agustin y 17	2.406
189	P.B. Fco. I Madero	3.173
190	P.B. Patos Pte	2.870
191	P.B. 4	3.798
192	P.B. Castillito	4.049
193	P.B. Patos Ote	4.071
194	P.B. 1	5.055
195	P.B. Nativitas	5.793
196	P.B. Canteros	1.340
197	P.B. 7	0.887
198	P.B. 6	1.101
199	P.B. Vialidad y 5	2.000
200	P.B. Chimalhuacan	2.758
201	Remedios Oriente	12.098
202	Xalostoc	1.172
203	Ixhuatepec	5.486



Número de subcuenca	Nombre de la Cuenca	A _{total} (km ²)
79	Villa Olimpica	17.943
80	Peña Pobre	11.014
81	Ex Hacienda Coapa	1.867
82	Vergel Coapa	2.383
83	Campestre Coyoacan	2.907
84	Misiones Tlalpan	5.165
85	Canal de Garay-Canal de Chalco	5.933
86	L de R Cienega Grande	73.122
87	Los Cedros	0.575
88	Estrella	2099327.8
89	Atlantida y Petrolera Taxquena	9.740
90	Avante	5.449
91	Año de Juarez	7.325
92	Iztapalapa II A	21.620
93	Las Torres	19.761
94	Teotongo	5.590
95	Iztapalapa I	6.944
96	Campestre	3.037
97	Copilco Universidad	7.979
98	Prado Churubusco	5.016
99	Escuadron 201	1.819
100	Iztapalapa II B	10.910
101	Ejercito de Oriente	2.929
102	Urbana Indeco B	3.625
103	Kennedy	2.312
104	Unidad Modelo	2.410
105	Paseos de Churubusco	0.986
106	Urbana Indeco A	2.895
107	Sta.Martha Ejercito de Oriente	2.611
108	Zaragoza	1.999
109	Guadalupe Inn	1.421
110	Alfonso XIII	1.870
111	Del Valle	0.169
112	Observatorio	5.595
113	Aeropuerto Benito Juarez	10.336
114	P.B. Iztaccihuatl	18.593
115	Piedad Narvarte	6.937
116	Apatlaco	2.068
117	Granjas Mexico	13.267
118	Iztacalco	8.423
119	Vista Alegre	4.064
120	Roma	5.898
121	Magdalena Mixhuca	13.044
122	Jardin Balbuena	12.195
123	7 de julio	0.925
124	Romero Rubio	2.708
125	P. B. San Cosme	6.377

Número de subcuenca	Nombre de la Cuenca	A _{total} (km ²)
204	San Miguel	2.587
205	Las Vegas	2.894
206	Valle de Guadalupe	0.715
207	Chamizal	0.548
208	Vicente Guerrero	7.866
209	Jardines de Xalostoc	1.583
210	Tepeyac	6.533
211	Aragon	1.140
212	Ecatepec	6.232
213	Av. Central	1.250
214	Sagitario	0.692
215	Sauces	1.597
216	Río Tlalnepantla	11.308
217	Río de los Remedios	29.627
218	Santa Clara	15.121
219	Río San Javier	30.232
220	Cuautepec	11.239
221	Cartagena	148.350
222	Chiconautla	30.634
223	Ozumbilla	101.923
224	Tultepec	7.679
225	Teyahualco	41.403
226	Ixtacalco	37.413
227	Melchor Ocampo	26.803
228	Tepotzotlán	7.727
229	Teoloyucan	15.165
230	Santiago	24.351
231	Jaltenco	10.284
232	Nextlalpan	430.017
233	Zumpango	133.851
234	Temascalapa	301.273
235	Coatepec	75.764
236	Río Sta Monica	69.569
237	P.B. 6 colonias	5.998
238	P.B. Presidentes	2.204
239	Río San Bernardino	31.219
240	Río Chapingo	25.794
241	Río Texcoco	51.591
242	Río Coxacoaco	65.689
243	Río Xalapango	62.756
244	Río Papalotla	294.704
245	Dren perimetral	153.475
246	Río San Juan Teotihuacan	95.360
247	Oxtotipac	95.048
248	San Marcos	192.571
249	Axapusco	94.482
250	Tecauitlán	163.966



La delegación Venustiano Carranza se encuentra localizada en la zona Centro-Oriente de la Ciudad de México, cuenta con una altitud promedio de 2,240 metros sobre el nivel del mar. Tiene un clima semiseco templado, con una temperatura media anual de 16° centígrados. Cuenta con una superficie de 3,342 hectáreas, las cuales representan el 2.24 % del territorio del Distrito Federal.

La superficie delegacional se conforma por una topografía plana, a excepción del promontorio del Peñón de los Baños. Se considera lacustre ya que integrado por depósitos de arcilla, altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenidos diversos de limo o arcilla. La excepción de este tipo de suelo está en el Peñón de los Baños, que se encuentra constituido por material basáltico. El territorio delegacional comprende 3,220 manzanas, distribuidas en 70 colonias.

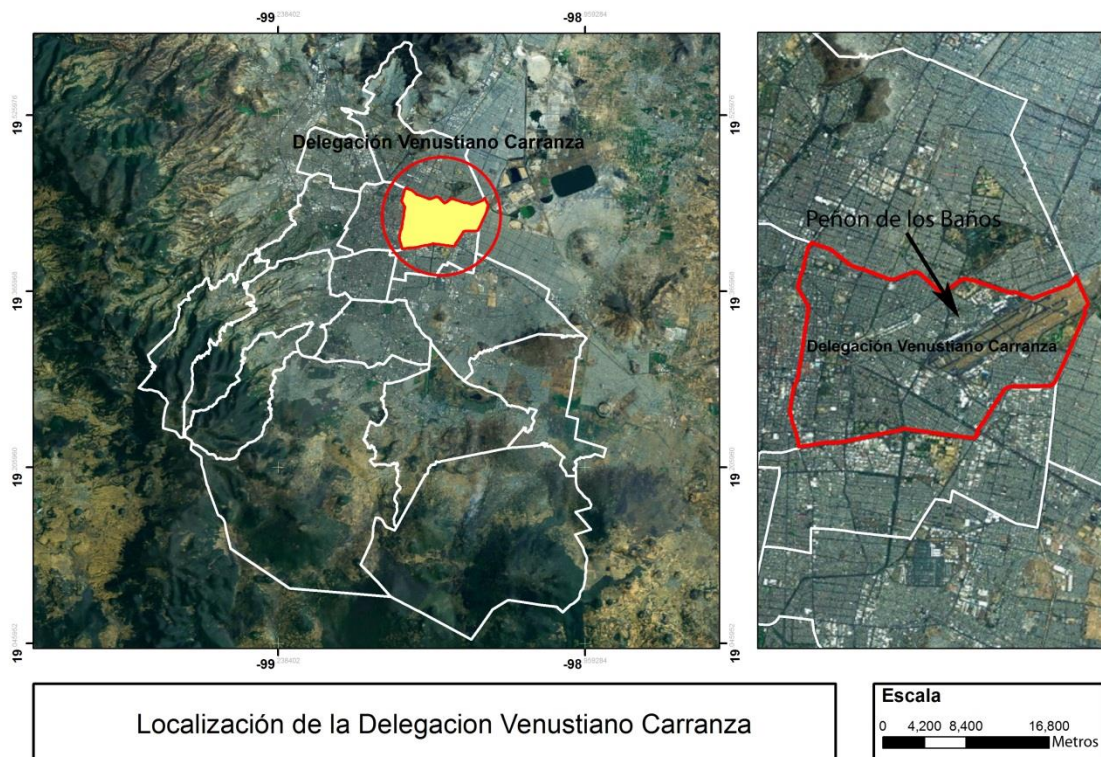


Figura II. 6. Localización de la Delegación Venustiano Carranza

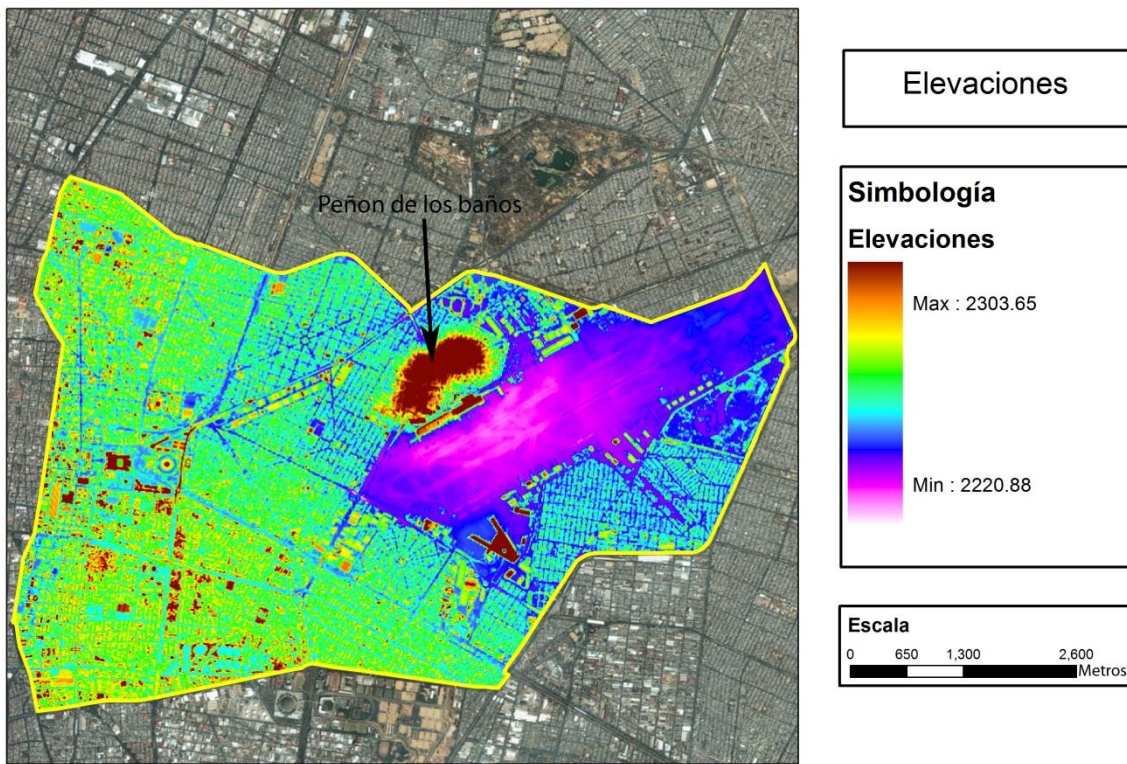


Figura II. 7. Topografía de la Delegación Venustiano Carranza

2.2 Descripción de obras históricas para evitar inundaciones en la Cuenca del Valle de México

El Valle de México está limitado por cordilleras enlazadas entre sí, por lo que no existe una salida para el agua que precipita la lluvia, la que escurre superficialmente y la del subsuelo. Anteriormente, debido a que el agua no encontraba salida, se formaron varios lagos: al oriente el de Texcoco, al sur los de Xochimilco y Chalco y hacia el norte los de Zumpango, Xaltocan y San Cristóbal. Debido a esto último, a lo largo de la historia, se han llevado a cabo varias obras con el fin de evitar desastres naturales y sacar el agua precipitada de la cuenca, así como para aprovechar parte de esta agua.



Figura II. 8. Las Inundaciones en la Ciudad de México. Problemática y Alternativas de Solución (Revista Digital Universitaria, 2000)

. Estas obras se dividen en 7 etapas principales y se mencionan a continuación:

PRIMERA ETAPA

Desde la fundación de Tenochtitlán, los aztecas tuvieron problemas de inundaciones, por lo que construyeron calzadas y diques para moderar el flujo del agua y prevenir inundaciones, así como para que el agua de los lagos de Chalco y Xochimilco no se mezclara con el agua del lago de Texcoco que es salada. En 1450, el rey Nezahualcóyotl construyó el albaradón de Nezahualcóyotl, un dique que corría del cerro de la estrella hasta Atzacualco, tenía una longitud de 22 kilómetros, cuatro metros de alto y 6.7 metros de ancho.

SEGUNDA ETAPA

Durante la invasión española, los españoles destruyeron muchos diques y calzadas, así como el albaradón de Nezahualcóyotl por lo que la ciudad se quedó sin protección contra las inundaciones, lo que produjo que por 1533 se produjeran grandes inundaciones en la ciudad.

En 1604 Jerónimo de Zarate construyó un dique que iba de San Cristóbal Ecatepec a Venta de Carpio, en Chiconautla, Estado de México, al cual se le llamó el albaradón de Ecatepec y tenía la función de evitar el derrame de los lagos del norte en el lago de Texcoco.

Dado que en 1604 la ciudad sufrió grandes inundaciones, se vió la necesidad de construir obras para dar solución a esto y evitar futuras afectaciones. Por lo que Enrico Martínez sugirió un proyecto que consistía en construir una salida artificial de agua, para llevar los excedentes hacia la cuenca del río Tula. Para lograr esto, se intentó construir el canal de Huehuetoca y cruzar el parteaguas mediante un túnel de cerca de 7 km de longitud, bajo el sitio conocido como Nochistongo, que descargaría al río Tula. Las obras se iniciaron en 1607 y se prolongaron hasta 1789, debido a problemas burocráticos y técnicos, además de que el túnel sufrió varios derrumbes que durante muchos años lo dejaron inservible.

En 1630 propuso la construcción de un canal que iría del lago de Texcoco y se uniría a un túnel que daría salida a las aguas del Valle de México por medio del río salado en Tequixquiac, Estado de México, Se llevaron a cabo 4 lumbreras, de las 28 que proponía el proyecto original, ya que se quedaron sin recursos. Hasta que en 1774 Joaquín Velázquez de León los continuó, realizando únicamente la nivelación de todo el trayecto.

TERCERA ETAPA

En la época de la independencia no se contaba con las obras necesarias para controlar las constantes inundaciones que se presentaban en la Ciudad de México, el desagüe se llevaba a cabo por medio de atarjeas mal construidas y conductos con pendientes mal calculadas y de capacidad insuficiente, estos integraban todos juntos el sistema de desagüe de la ciudad. Este sistema conducía las aguas por el canal de la Merced hasta el lago de Texcoco donde el agua era evaporada naturalmente.

Debido a las inundaciones empezaron a surgir serios problemas de salud, por lo que en 1856 el ingeniero Francisco de Garay propuso abrir un canal que empezara en la Ciudad de México en San Lázaro y que se conecte a un túnel con una capacidad de transportar 33 metros cúbicos por segundo, desembocando en el arroyo de Ametlac que es confluente del Tequixquiac, al norte del Estado de México. Este se empezó a construir en 1858 y se vieron interrumpidas por falta de recursos y conflictos políticos.

Después de una severa inundación en 1865 se comisionó al ingeniero Miguel Iglesias para realizar estas obras. Se decidió que el túnel desembocara en la barranca de Tequixquiac en vez de por Ametlac. Pronto comenzaron las obras pero se interrumpieron de nuevo en 1869.

CUARTA ETAPA

Hasta 1878 con Porfirio Díaz como presidente se volvió a tomar el tema del desagüe y se realizó el proyecto definitivo. El proyecto se componía de 3 partes: un canal, un túnel y un tajo de salida. El canal comenzaba al oriente de la ciudad en la Garita de San Lázaro, luego pasaba por los lagos de Texcoco, San Cristóbal, Xaltocan y Zumpango y terminaba en la entrada al túnel que se encontraba cerca de Zumpango, la longitud de éste es de 47.527 km. El túnel tenía una longitud de 10.21 km y 24 lumbreras de 2 m de ancho; así como una sección transversal de forma ovalada y se calculó para recibir un gasto de 16 metros cúbicos por segundo. A su salida se encuentra el tajo de desemboque de 2500 m de largo que se une con el río Tequixquiac.

Las obras comenzaron en 1885, en 1894 quedó concluido el túnel y en 1900 el Gran Canal, el 17 de Marzo Porfirio Díaz inauguro el Sistema de Desagüe del Valle.



En esta obra se aplicaron muchos recursos, pero era apenas suficiente para las condiciones de la cuenca en aquel entonces; por lo que requería fuertes gastos de mantenimiento y reparación.

QUINTA ETAPA

A partir de 1930 dados fenómenos como el crecimiento de la población, que llegaba a un millón de habitantes, la extracción de agua de los mantos freáticos, el asentamiento del terreno y el hundimiento diferencial, ocasionaron que la ciudad tuviera constantes inundaciones cada vez más frecuentes y desastrosas, dado eso último se reestructuró el sistema de drenaje y para dar solución a la problemática se decidió construir un segundo túnel en Tequiquiac para aliviar el gasto del primero.

Dicho túnel desemboca en la Barranca de Acatlán, contando con una longitud de 11.2 km y una sección circular con una capacidad de 60 metros cúbicos por segundo, cuenta con 10 lumbreras y pozos de ventilación a cada 200 m, su construcción por diversas causas tomo 24 años por lo que se terminó de construir en 1954 siendo inaugurado por Adolfo Ruiz Cortines.

Además de las obras previamente mencionadas, en ese mismo año se empezó a construir la prolongación sur del Gran Canal, al cual también se le llama Canal de Miramontes, De igual manera se llevaron a cabo obras para aumentar su capacidad como desazolve, ampliación , así como refuerzo y ampliación de bordos. Se realizaron conjuntamente muchas obras para mejorar el sistema de drenaje como la reparación y diseño de nuevas redes de atarjeas, así como la construcción de colectores, cárcamos y plantas de bombeo para llevar el agua al nuevo canal, con todas estas obras se logró que el Gran canal tuviera una capacidad de 175 metros cúbicos por segundo.

De igual manera se realizó la desviación combinada que consiste en la construcción de varias obras hidráulicas sobre los ríos de la vertiente oriental de la Sierra de las Cruces para regularizar sus aguas, desviando sus cursos al norte hasta el Lago de Texcoco.

SEXTA ETAPA

En 1961 se empezó a construir el interceptor Poniente, dicha construcción tomó cerca de nueve meses. Con la construcción de este colector se pretendía auxiliar al Gran Canal y a toda la red de colectores, conduciendo un caudal de 25 metros cúbicos por segundo; este consta de túneles de 15 km de longitud y un canal revestido a cielo abierto, adaptando el cauce del río Hondo cerca del cruce de éste con la carretera a Querétaro, donde desemboca en el Vaso de Cristo. Con la construcción de esta estructura se evitó que todos los torrentes provenientes del poniente de la ciudad descargaran sin control alguno en la ciudad.

Entre los años de 1963 y 1964 su longitud fue aumentada 32.3 km y se aumentó su capacidad a 80 metros cúbicos por segundo, llevando ahora las aguas hacia el río Cuautitlán, la Laguna de Zumpango y el Tajo de Nochistongo.



SEPTIMA ETAPA

La Ciudad de México ha seguido hundiéndose por lo que el sistema de drenaje ha tenido severos problemas en su funcionamiento, bajando la capacidad de éste. Dado lo anterior, se pensó en la construcción de un drenaje que a pesar del hundimiento de la ciudad, no sufriera afectación alguna. Para ello se decidió construir el drenaje a una profundidad donde los hundimientos no se presentarán de la misma manera que sobre la superficie, a esta obra se le llamó Drenaje Profundo y el plan para la construcción de éste empezó en 1967, así como su construcción.

Este está compuesto por 2 interceptores: el Central de 8 km de longitud, 4 lumbreras y el Oriente de 10 km de longitud y 6 lumbreras. Estos 2 interceptores confluyen en un Emisor que tiene 72 km de largo y 21 lumbreras. Los interceptores tienen un diámetro de 5 m y una capacidad máxima de 100 metros cúbicos por segundo y una profundidad variable de 30 a 50 m. Los interceptores descargan en el emisor, que descarga en el río El Salto, que es un afluente del río Tula y continua hasta el Distrito de Riego 03 del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, se construyó a una profundidad mínima de 50 m y una máxima de 237 m y tiene un diámetro de 6.5 m teniendo una capacidad total de 220 metros cúbicos por segundo.

Actualmente se está construyendo el emisor oriente que tendrá una longitud aproximada de 62 km, 7 m de diámetro y una capacidad de hasta 150 m³ El túnel empieza en la segunda lumbrera del túnel interceptor del Río de los Remedios y terminará en el municipio de Atotonilco de Tula en Hidalgo, cerca del actual portal de salida del Túnel Emisor Central en su confluencia con el río El Salto. La idea es que este túnel permitirá tener una salida alterna al Emisor Central, de tal manera que disminuya el riesgo de inundación en la Ciudad de México. En temporada de lluvias funcionará de manera simultánea al drenaje profundo actual y en época de estiaje, operará de forma alternada para permitir su mantenimiento.

Dado que la cuenca no cuenta con salidas naturales de agua se ha tenido que recurrir a las obras antes mencionadas, permitiendo desalojar grandes volúmenes de agua, las características de las estructuras que ayudan a dar solución a dicha problemática se muestran a continuación.

Tabla II. 2. Características de las principales obras de drenaje en el Valle de México (CONAGUA, 2010)

Obras de drenaje	Longitud (km)	Diámetro (m)	Capacidad (m ³ /s)	Profundidad Min-Max (m)
Emisor Central	50	6.5	220	48-217
Interceptor Central	16.1	5	90	22-41
Interceptor Centro-Centro	3.7	5	90	25-26
Interceptor Oriente	22.2	5	85	37-55
Interceptor Centro-Oriente	16	4	40	22-51
Interceptor Poniente	16.5	4	25	20-40
Interceptor Iztapalapa	5.5	3.1	20	11-16
Interceptor Obrero Mundial	0.8	3.2	20	10-16
Interceptor Oriente-Sur	13.8	4	85	20-23
Canal Nacional-Chalco	8.7	3.1	20	15-17



2.3 Herramientas a utilizar

Para llevar a cabo el presente trabajo, se utilizarán herramientas como los Sistemas de Información Geográfica que permiten manejar y aprovechar la información disponible y generar como resultados las zonas con mayor propensión a inundarse, dichas herramientas se describen a continuación.

VUELOS LIDAR

Actualmente se requiere de cartografía e información cada vez de mejor calidad y precisión, por lo que han surgido tecnologías como el LIDAR, que es el acrónimo de Light Detection and Ranging o medición de luz para detección de distancias, esta tecnología permite determinar la distancia entre un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. La distancia al igual que la tecnología usada por el radar (que usa ondas de radio en vez de luz) se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada.

El sistema LIDAR está constituido por la integración de 3 diferentes tecnologías:

- Un receptor GPS, el cual es el responsable de proporcionar la posición global de un objeto con una alta precisión por medio de un sistema satelital.
- Un Sistema de Navegación Inercial (SNI), el cual proporciona la orientación de un objeto con respecto a un marco de referencia inercial utilizando acelerómetros y giroscopios.
- Un escáner láser de alta velocidad., el cual mide la distancia desde el escáner hasta un punto distante.

Adicional a esos 3 elementos existe una computadora que sincroniza, procesa y almacena la información producida por estos, de tal manera que para cada pulso de láser se tiene totalmente conocida la posición exacta del punto que éste golpeó en el suelo. Una vez junta y procesada toda la información se obtiene una colección de puntos digitales que describen el terreno y a partir de estos se puede construir un Modelo Digital de Terreno (MDT).



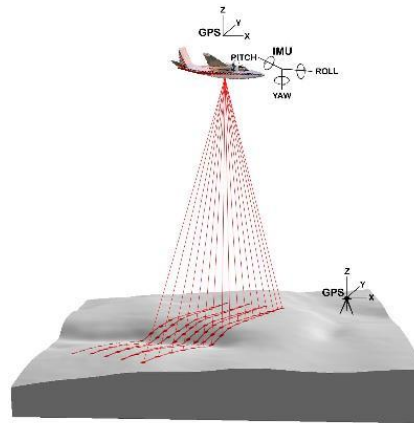


Figura II. 9. Funcionamiento de un LIDAR (<http://forsys.cfr.washington.edu>)

La tecnología LIDAR ofrece ventajas sobre la fotogrametría en algunas áreas ya que crea MDT de alta precisión y reconoce el dosel y el suelo en un bosque por ejemplo; además de que puede tomar imágenes durante el vuelo y orto-rectificarlas usando los mismos modelos digitales de elevación generados. Siendo su característica más importante que el procesamiento de datos es automatizado y muy rápido.

Actualmente esta tecnología tiene muy diversas aplicaciones como las que se mencionan a continuación:

- ✓ **Modelo Digital de Terreno (MDT):** Es un sistema con un elevado rendimiento y rentabilidad para la captura de datos de elevaciones para la generación de MDT permitiendo una alta precisión y densidad de información, reduciendo el costo de ejecución.

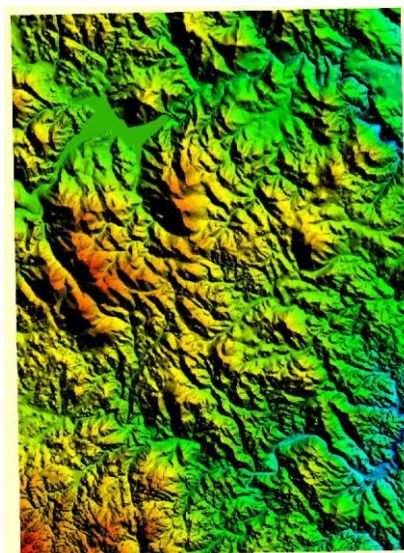


Figura II. 10. Imagen de un Modelo digital de terreno obtenido con tecnología LIDAR (<http://eros.usgs.gov>)

- ✓ **Recursos forestales:** Con esta técnica es posible explorar el suelo y recibir los retornos múltiples de los diferentes niveles del dosel, esto permite al sistema tanto medir al mismo tiempo plantas y terreno así como discriminar entre ellos para presentarse juntos o separados.
- ✓ **Generación de modelos tridimensionales urbanos:** Las zonas urbanas están sometidas a frecuentes cambios y concentran la mayor parte de la actividad económica, por lo que a necesidad de disponer de una cartografía precisa y actual es importante. Los MDT de las ciudades tienen diversas aplicaciones como las telecomunicaciones, los modelos atmosféricos, la planificación de riesgos de catástrofes, así como la gestión urbanística.
- ✓ **Cartografía de riesgos de avenidas e inundaciones:** El empleo de estos permite la generación de cartografía rápida y precisa de las zonas susceptibles a sufrir inundaciones, lo cual es un aspecto básico para la planificación, valoración de riesgos e incluso para la valoración en caso de una catástrofe.
- ✓ **Cartografía de elementos lineales:** Permite disponer de MDT de corredores lineales con una gran rapidez y efectividad. Este tipo de cartografía es muy frecuente para el diseño y ejecución de vías de comunicación, conducciones de gas, etc.
- ✓ **Cartografía de zonas de acceso complejo:** En muchos casos es necesario disponer de información de zonas de interés ambiental pero de complicado acceso terrestre (zonas pantanosas, con gran densidad de vegetación) en las que la aplicación de técnicas fotogramétricas o topográficas es compleja. Esta técnica también se puede usar en zonas en las que existen depósitos de residuos tóxicos o industriales.
- ✓ **Cartografía de zonas costeras:** La aplicación en estas zonas proporciona importantes ventajas con respecto a las técnicas fotogramétricas, en particular, para el control y monitoreo de zonas especialmente dinámicas y de escasa textura de imagen, como por ejemplo, las zonas de playa y dunas.
- ✓ **Planificación de ayuda en caso de desastres naturales:** Los desastres como huracanes y terremotos pueden llegar a producir importantes cambios que deben ser considerados en la planificación y ayuda a los afectados. Para ello es necesario disponer de una cartografía rápida y precisa de las zonas afectadas que puede ser obtenida mediante la utilización de sistemas láser.

De una manera más específica la tecnología LIDAR tiene las siguientes aplicaciones que resultan bastante útiles respecto a otras tecnologías y métodos.

- ✓ **Líneas eléctricas de potencia:** En la fotogrametría tradicional se requiere un gran número de puntos de control y es complicado lidiar con las catenarias. El trabajo en campo resulta muy caro y toma mucho tiempo mientras que un vuelo LIDAR localiza puntos tanto del suelo como de las líneas, además de que un programa automáticamente separa los tipos de puntos, ya sea en líneas eléctricas o en campo.
- ✓ **Batimetría:** Utilizando laser con diferentes longitudes de onda (color) se puede estudiar el fondo de lagos o zonas inundadas.



La tecnología LIDAR en muchos sentidos permite obtener la información necesaria con una mayor exactitud y precisión que otras tecnologías, aclarando que en muchos casos este tipo de información puede resultar difícil de conseguir o tener un costo elevado, por lo que muchas veces se reserva para casos de gran relevancia o proyectos de grandes dimensiones, así como casos en los que el tiempo es limitado.

Para el presente trabajo se utilizaron vuelos LIDAR para obtener la topografía a detalle de la zona de estudio, la cual tiene una gran extensión y para la cual un levantamiento topográfico hubiera resultado muy complejo requiriendo una gran cantidad de tiempo y recursos. El vuelo LIDAR ayudó a obtener una mayor precisión en los resultados al conocer a detalle la topografía de toda la zona de estudio.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Existen diversas definiciones, una de las más reconocidas es la de Burrough y McDonell (1998) que dice: “Un SIG es un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos”

Una definición más completa sería la proporcionada por Shahab (2008) que dice que “Un SIG es un sistema para capturar, almacenar, revisar, integrar, manipular, analizar y mostrar información que está referenciada espacialmente en la Tierra. Normalmente considerando que se incluye una base de datos espacialmente referenciada y software apropiado para su interpretación y manejo.”

Es decir, un SIG es la integración de hardware y software que pueden crear, manipular y analizar una base de datos geográficamente referenciada para producir nuevos mapas utilizando herramientas como el CAD y sistemas para el manejo de bases de datos. En un SIG se mantiene una relación entre la información de las bases datos y la información gráfica, de tal manera que los cambios al mapa se reflejen en la base de datos y viceversa.

Historia

El desarrollo de los SIG o sistemas de información geográfica empezó en la década de los 60 en Canadá, extendiéndose posteriormente hacia Estados Unidos y el resto del mundo. En 1962 en Canadá en el Ministerio de Medio Ambiente bajo la dirección de Roger Tomlinson y con apoyo de IBM crearon el “Canadian Geographic Information System”, el cual surgió por la necesidad de administrar la información de mapas y los datos recopilados de inventario forestal y de recursos naturales. Estos avances son retomados por la industria militar de Estados Unidos, misma que aportó importantes avances tecnológicos a los SIG y que posteriormente dejaron de ser exclusivos de los organismos de seguridad nacional y se dieron a conocer a la comunidad académica.



Posteriormente en 1968 en la Universidad de Harvard, en su laboratorio de cómputo, gráficos y análisis espacial se desarrolló un software para la elaboración de cartografía llamado “Synagraphic Mapping (SYMAP)” el cual generaba mapas a partir de análisis espacial sobre variables socioeconómicas y ambientales, este programa sería la base de otros sistemas que vinieron después.

EN 1970 los SIG continuaron su desarrollo dentro del ámbito académico de Estados Unidos en las universidades de Harvard y California. En el mismo año en la oficina de Censos de Estados Unidos y con el fin de organizar la captura de los datos censales; se desarrolló el “Dual Independent Map Encoding (DIME)”, fundamentada en una estructura de datos organizados en ficheros, lo cual contribuyó a la estructura de los SIG que se manejan actualmente.

A principios de los 80s el Instituto de Investigaciones de Sistemas Ambientales (ESRI) desarrollo ArcInfo que era un software para la representación gráfica de la información de datos con ubicación geográfica (coordenadas); mediante el uso de objetos geométricos como puntos, líneas y polígonos ligados a una base de datos. De igual manera en esa época empezó a ser usada en diversas disciplinas como la geografía, biología, urbanismo etc. de igual manera se le empezaron a dar diferentes aplicaciones en el sector público y privado.

Componentes

Hardware: Consiste en la computadora en la cual correrá el SIG, estas pueden variar desde computadoras personales a supercomputadoras. Éstas deben contar con un procesador con la capacidad para correr el software, así como con suficiente memoria para almacenar la información.

Software: El software provee las funciones y herramientas necesarias para almacenar, analizar y visualizar la información geográfica.

Personas: Los usuarios del SIG van desde especialistas técnicos que diseñan y mantienen el sistema a aquellos que lo usan para realizar sus labores cotidianas.

Datos: La información geográfica y su correspondiente base de datos son la parte medular de un SIG, ésta puede ser conseguida fácilmente o comprada a un proveedor especializado.

Existen 2 tipos principales de datos para determinar las características de los elementos o entidades geográficas: datos espaciales o geográficos y datos no espaciales o alfanuméricos.

Los datos espaciales o geográficos son las representaciones de los objetos asociados con ubicaciones específicas del mundo real y pueden ser localizados en el espacio ya sea a través de una dirección o un sistema de coordenadas (x,y o geográficas), este tipo de datos se representan a través de figuras geométricas como puntos, líneas o polígonos.



Los datos no espaciales o alfanuméricos, son variables que describen un fenómeno o elemento en particular en un tiempo determinado; estos cuentan con atributos o características que lo definen y pueden ser de carácter cualitativo (nombre o característica de algún lugar) o cuantitativo (poblaciones, ingresos, etc.)

Los datos espaciales usados en SIG se encuentran principalmente en dos formatos diferentes:

1. *Raster*: Este formato subdivide el área de estudio en una malla de celdas generalmente regulares, compuesta de celdas rectangulares o cuadradas llamadas pixeles, en la que se registra el atributo temático o característica de la malla en ese punto. Este modelo centra su interés en las propiedades de cada punto más que en la representación precisa de los elementos que la conforman. Este formato puede utilizarse para conocer características puntuales de ciertos lugares, lo que permite tener diferentes valores para cada punto, lo cual puede ser muy común en representaciones de fenómenos como valores de lluvia, elevaciones, etc.

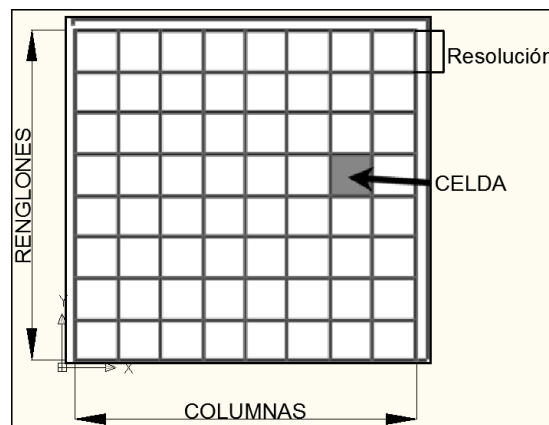


Figura II. 11. Estructura genérica de una malla (SHAHAB,2008)

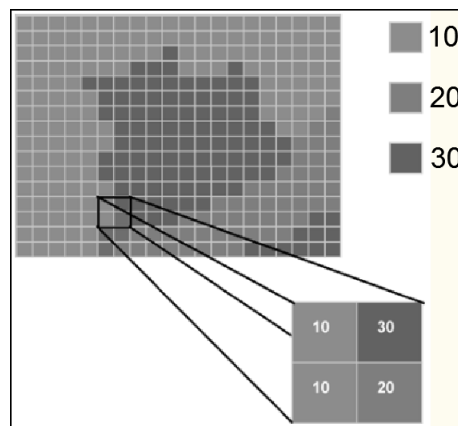


Figura II. 12. Distribución de valores en un archivo Raster (SHAHAB,2008)

A la relación entre el tamaño de la celda y el número de la celda se le llama resolución, una resolución mayor da como resultado una imagen con mayor precisión y calidad.

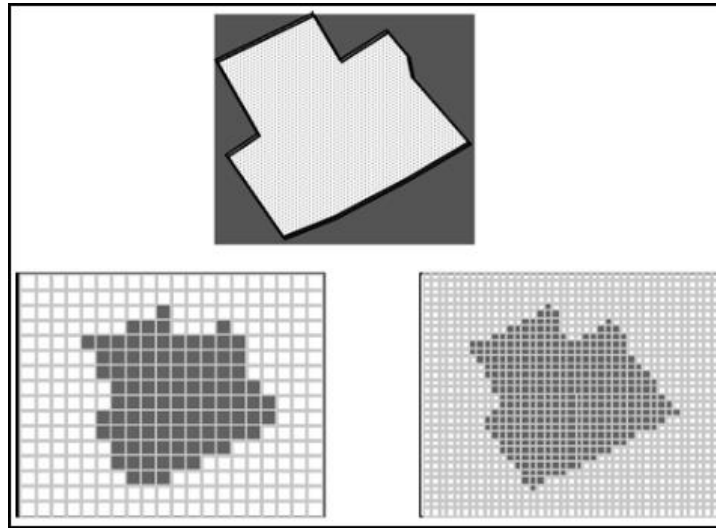


Figura II. 13. Demostración del concepto resolución para un archivo tipo raster (SHAHAB,2008)

2. *Vectorial*: En este formato los límites de los objetos están definidos por una serie de puntos de los cuales al unirse pueden formar diferentes figuras como líneas o polígonos, estos están definidos por pares de coordenadas, aquí lo que interesa son los elementos geográficos y su posición en el espacio. Donde pueden presentarse los siguientes elementos:

- Punto: Es un objeto espacial que tiene una localización espacial pero no presenta ni longitud ni anchura, es decir, son adimensionales.
- Líneas: Son objetos espaciales que poseen longitud pero no ancho y se define como una sucesión de puntos.
- Polígonos: Son objetos espaciales de dos dimensiones, longitud y anchura y se definen como un circuito de líneas.

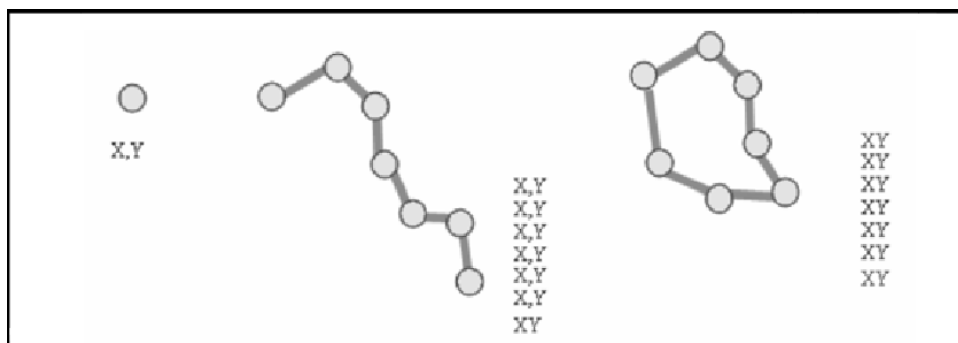


Figura II. 14. Demostración de los elementos punto, línea y polígono para un formato vectorial (SHAHAB,2008)

Funcionamiento

El SIG permite organizar información de una cierta región o ciudad como un conjunto de mapas, mostrando en cada mapa información correspondiente a una de las características de dicha región. De tal manera que cada uno de los mapas se denomina capa o nivel; y cada capa se ha sobrepuesto en las otras de tal manera que cada ubicación sea la misma dentro de todos los mapas.

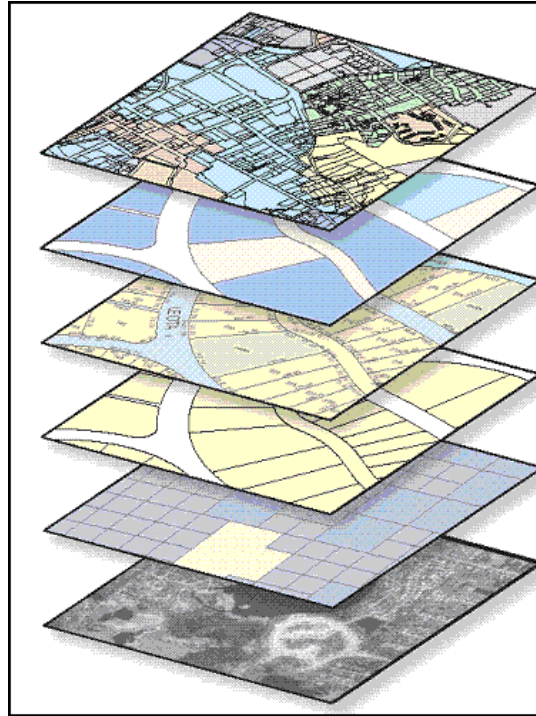


Figura II. 15. Funcionamiento de las capas para un SIG (ESRI,2008)

La implementación de un SIG consta de las siguientes etapas:

- a) Captura de datos: Se refiere a la entrada de datos, existiendo diversos métodos para ello, como imágenes de satélite, fotos aéreas, censos, encuestas etc.
- b) Almacenamiento y organización de los datos: Para almacenar, organizar y recuperar determinada información los datos se estructuran en una base de datos o matriz geográfica que será manejada para relacionarse con los diferentes niveles de información disponible.
- c) Manipulación de los datos: Los datos ingresados requieren una transformación previa para que puedan ser utilizados por los SIG, por ejemplo la asignación de coordenadas a cada elemento. A este proceso se le llama georreferenciación y consiste en ubicar en un mapa los elementos geográficos en su posición correcta dentro del sistema de coordenadas que se desee utilizar en el SIG.
- d) Análisis espacial: éste parte de la superposición de mapas e información como capas que se relacionan para obtener como resultado nueva información en forma de un nuevo

mapa. Es en esta etapa donde se genera nueva información a partir de la original, esto para dar solución al problema específico que se desee resolver. En esta etapa es donde el SIG muestra su funcionalidad, ya que muchas de las aplicaciones realizadas consumen considerablemente menos tiempo y recursos que si se hiciera de manera manual.

e) Presentación de la información: Puede ser de forma escrita en forma de listas o tablas resultado del análisis de la información original, puede presentarse gráficamente como mapas, gráficos o diagramas o como una conjunción de ambos que permita visualizar las características de la información presente en el SIG.

Aplicaciones

Actualmente los Sistemas de Información Geográfica están siendo incorporados a una gran variedad de campos como el manejo de recursos y toma de decisiones. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Planeación: Planeación urbana y de transporte, diseño urbano, conservación arquitectónica.
- Recursos naturales: Manejo y análisis de impactos ambientales por desastres naturales como inundaciones o sismos, manejo de recursos forestales y distribución de fauna.
- Análisis de riesgos: Evaluación de riesgos naturales por inundaciones, sismos y otros fenómenos naturales.
- Distribución territorial: Zonificación, adquisición de terrenos etc.
- Manejo de instalaciones: Localización de tuberías y cables subterráneos para mantenimiento, planeación y seguimiento del uso de energía.

Dada la naturaleza de los datos utilizados el manejo de los SIG resulta de gran importancia, ya que la mayor parte de estos cuentan con una localización geográfica exacta, el utilizar estos sistemas permite trabajar con datos brutos o sencillos y convertirlos en información geográfica de gran importancia.

Para la realización del presente trabajo el uso de estas herramientas permitió la generación de información de gran valor, ya que al utilizarlas se obtuvo nueva información con la calidad y nivel de detalle necesarios para cumplir con los objetivos del presente trabajo. El procedimiento detallado mediante el cual se utilizaron estas herramientas para llegar a los resultados finales se describe en los siguientes capítulos.



Capítulo 3

Análisis de estaciones para la obtención de precipitación

La precipitación es la base del presente trabajo, ya que es la que origina las inundaciones, por ello es importante contar con información una alta calidad que cumpla con los requerimientos del presente trabajo. Es importante obtener la información de las mejores fuentes disponibles y darle un tratamiento que permita ubicarla espacialmente dentro de la zona de estudio. El manejo dado a esta información se describe en el presente capítulo.

3.1 Descripción de datos de estaciones existentes

Existen varias bases de datos con registros de lluvia para el Distrito Federal, en este apartado se analizarán las características básicas de las fuentes disponibles, para así poder analizar la mejor opción para el estudio a realizarse.

Base de datos del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM)

Esta red pluviográfica originalmente comenzó siendo parte de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), contando con 49 estaciones, actualmente estas estaciones son operadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) y ha incrementado el número de estaciones a 78. Las coordenadas correspondientes a la localización de éstas se muestran en la tabla III.1, y su ubicación dentro y fuera de la Ciudad de México se puede observar en la figura III.1.



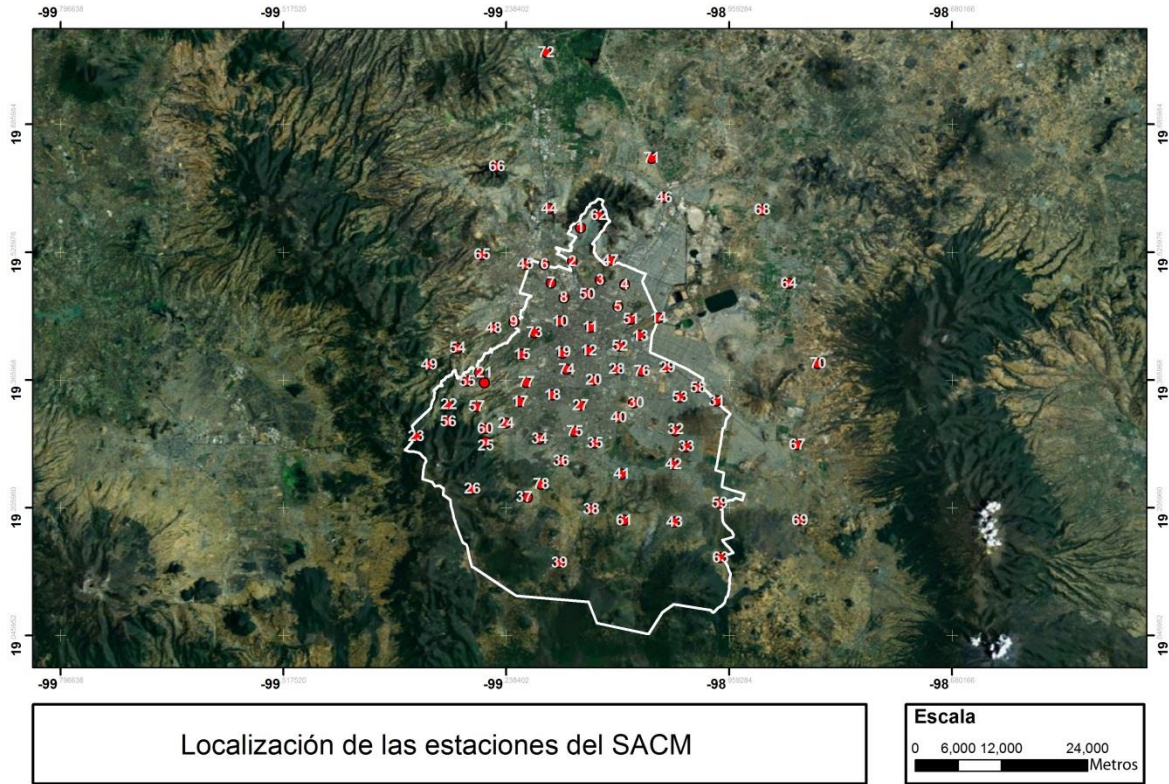


Figura III. 1. Ubicación de las estaciones del SACM

Tabla III. 1. Coordenadas de las estaciones del SACM

Nombre de la Estación	Latitud	Longitud	Nombre Estación	Latitud	Longitud
1 Tanques Chalmita	19.5566	-99.1455	40 Oficina GAVM Sur	19.3192	-99.0975
2 O.T. Río de los Remedios	19.5145	-99.1558	41 Planta Nativitas	19.2483	-99.0935
3 P.B. Lindavista	19.4912	-99.1207	42 Planta San Luis	19.2606	-99.0289
4 Coyol	19.4853	-99.0899	43 Milpa Alta	19.188	-99.0275
5 P. Generadora 101	19.4581	-99.0983	44 P. Barrientos	19.5805	-99.1845
6 P.T. Rosario	19.5108	-99.1905	45 Vaso El Cristo	19.5109	-99.2146
7 Campo Mecoaya	19.4877	-99.1821	46 P. Chiconautla 1	19.5942	-99.0408
8 P.B. Nva. Santa María	19.4691	-99.1663	47 P. Chiconautla 2	19.5157	-99.1081
9 Tanque San Joaquín	19.4389	-99.2287	48 Palmas	19.431	-99.254
10 P.B. Tizoc	19.4395	-99.1709	49 El Venado	19.3853	-99.3349
11 Depto. Del D.F.	19.4322	-99.1327	50 Cien Metros	19.4736	-99.1369
12 Marcos Carrillo	19.4027	-99.135	51 Tanque Peñón	19.4423	-99.0828
13 P.B. López Mateos	19.4219	-99.0707	52 Cd. Deportiva	19.4085	-99.0964
14 P.B. Churubusco L.	19.4436	-99.0477	53Sta. Cruz Meyehualco	19.3446	-99.0208
15 Triángulo	19.398	-99.2185	54 Caída Borracho	19.4061	-99.2994
16 Trif. Santa Lucía	19.3625	-99.266	55 Yaquí	19.3646	-99.2872



Nombre de la Estación	Latitud	Longitud	Nombre Estación	Latitud	Longitud
17 Tanque el Lienzo	19.3389	-99.2214	56Desierto de los Leones	19.314	-99.3115
18 Centro Universidad	19.3472	-99.1805	57 S. Bartolo Ameyalco	19.3328	-99.2756
19 Radiocomunicación	19.3996	-99.1679	58 Cárcel de Mujeres	19.3566	-98.998
20 P.B. Municipio Libre	19.3661	-99.129	59 Tetelco	19.212	-98.9714
21 Tanque El Cartero	19.3751	-99.2722	60 Huayatla	19.3051	-99.2645
22 La Venta	19.334	-99.3103	61 S.S. Cuatenco	19.1904	-99.0906
23 El Zarco	19.2953	-99.3512	62 Sierra de Guadalupe	19.5722	-99.1228
24 Tanque San Francisco	19.3119	-99.239	63 Santa Ana	19.1436	-98.97
25 P.T. Río Magdalena	19.2885	-99.2643	64 Chapingo	19.4871	-98.8847
26 Monte Alegre	19.2297	-99.2811	65 Presa Madin	19.523	-99.2689
27 Planta Xotepingo	19.3343	-99.1456	66Lago de Guadalupe	19.6336	-99.2503
28 P.B. Aculco	19.3795	-99.1	67 San Luis Chalco	19.2851	-98.8741
29 P.B.U. Ejército de Oriente	19.3817	-99.0368	68 La Grande	19.579	-98.9179
30 P.T. La Estrella	19.3374	-99.079	69 San Luis Ameca II	19.1904	-98.8706
31 Subest. Elect. Santa Catarina	19.3398	-98.975	70 Coatepec	19.3867	-98.848
32 P.T. Santa Catarina	19.3022	-99.0264	71 Km 27 + 250	19.6438	-99.0562
33 San Pedro Tláhuac	19.2827	-99.0131	72 Puente Colgante	19.7762	-99.1885
34 Rebombéo Bosque Tlalpan	19.2925	-99.1966	73 Planta Chapultepec	19.4254	-99.2031
35 P.B. Vila Coapa	19.2871	-99.1276	74 Del Valle	19.3794	-99.1627
36 Tanque San Pedro Mártir	19.2649	-99.17	75 Estadio Azteca	19.3017	-99.1527
37 Ajusco	19.2192	-99.2114	76 El Moral	19.3773	-99.0684
38 Topilejo	19.2042	-99.1318	77 Tarango	19.3631	-99.2131
39 Caseta Forestal	19.1374	-99.1719	78 Planta Abasolo	19.2356	-99.1948

PEMBU

Las siglas PEMBU significan "**Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario**", el cual es un programa implementado por la UNAM en 1992 y consiste en la instalación de estaciones meteorológicas en las escuelas que imparten el bachillerato por parte de la UNAM, así como algunas escuelas incorporadas a ésta. En el Distrito Federal existen 16 estaciones, las cuales presentan diversas fechas de inicio de los registros, esto y su correspondiente localización se menciona a detalle para cada estación a continuación en las tablas III.2, III.3 y en la figura III.2.



Tabla III. 2. Localización de las estaciones del PEMBU

Estación	Latitud	longitud	Dirección
CCA	19.326	-99.183	Circuito Exterior S/N. Ciudad Universitaria Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F.
ENP 1	19.272	-99.121	Av. Las Torres y Prolongación, Aldama S/N Tepepan Xochimilco, C.P. 16020, México, D.F.
ENP 2	19.384	-99.099	Av. Río Churubusco S/N, Zapata Vela Iztacalco, C.P. 08040, México, D.F.
ENP 3	19.482	-99.095	Av. Eduardo Molina No. 1577, Salvador Díaz Mirón Gustavo A. Madero, C.P. 07400, México, D.F.
ENP 4	19.405	-99.196	Av. Observatorio No. 170 Esq. Gral. Plata, Col. Observatorio Miguel Hidalgo, C.P. 11860, México, D.F.
ENP 5	19.308	-99.135	Calzada del Hueso No. 729, Exhacienda de Coapa Tlalpan, C.P. 14300, México, D.F.
ENP 6	19.352	-99.156	Corina No. 3, Col. del Carmen Coyoacán, C.P. 01400, México, D.F.
ENP 7	19.419	-99.127	Calzada de la Viga No.54, Merced Balbuena Venustiano Carranza, C.P. 15810, México, D.F.
ENP 8	19.367	-99.194	Av. Lomas de Plateros S/N Esq. Fco. de P. Miranda, Col. Merced Gómez, Álvaro Obregón, C.P. 01600, México, D.F.
ENP9	19.484	-99.129	Insurgentes Norte No. 1698, Lindavista Gustavo A. Madero, C.P. 07300, México, D.F.
CCH Azcapotzalco	19.5	-99.204	Aquiles Serdán No. 2060, Exhacienda del Rosario Azcapotzalco, C.P. 02020, México, D.F.
CCH Naucalpan	19.475	-99.244	Av. de los Remedios No. 10, Los Remedios Naucalpan, C.P. 53400, Edo. de México
CCH Oriente	19.384	-99.059	Av. Canal de San Juan Esq. Sur 24, Col. Agrícola Oriental Iztacalco, C.P. 08500, México, D.F.
CCH Sur	19.313	-99.199	Cataratas y Llanuras S/N, Jardines del Pedregal Coyoacán, C.P. 04500, México, D.F.
CCH Vallejo	19.484	-99.141	Av. 100 metros Esq. Fortuna, Magdalena de las Salinas Gustavo A. Madero, C.P. 07760, México, D.F.
Col. Franco Ingles	19.382	-99.277	Camino al Olivo 686 Cuajimalpa, C.P. 05100, México, D.F.

Tabla III. 3. Años de registro para las estaciones del PEMBU

Estación	Inicio Registro	Fin Registro
CCA	2007	2009
ENP 1	1996	2008
ENP 2	1996	2009
ENP 3	1996	2008
ENP 4	2002	2008
ENP 5	2002	2008
ENP 6	1996	2009
ENP 7	2001	2008
ENP 8	1996	2008
ENP9	2002	2008
CCH Azcapotzalco	2003	2009
CCH Naucalpan	1996	2009
CCH Oriente	2002	2009
CCH Sur	1998	2009
CCH Vallejo	2003	2008
Col. Franco Ingles	-----	-----



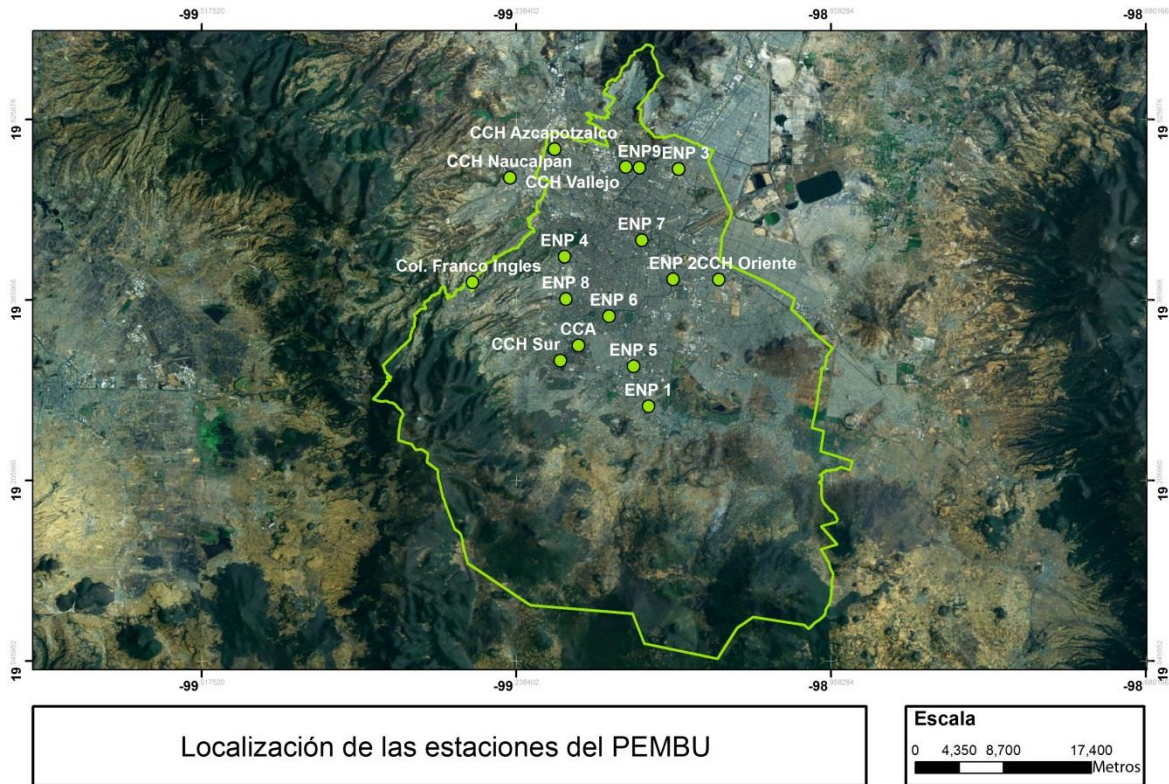


Figura III. 2. Ubicación de las estaciones del PEMBU

ERIC

El Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC) es un programa comercializado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Este es un programa que utiliza la información del banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Algunas estaciones tienen información desde 1900, aunque la mayoría de los datos que contiene (88.4%) corresponden al periodo de 1960 a 2007. Para algunas pocas estaciones se cuenta con información hasta 2008. Las características de la base de datos del SMN se mencionan a detalle más adelante. Cabe mencionar que este programa solo utiliza y ordena los datos de la base de datos del SMN, en ningún momento genera información por sí mismo.



CLICOM

La base de datos del clima oficial es operada por el SMN en el formato CLICOM (Climate Computing Project) y éste es un proyecto de la World Meteorological Organization(WMO) surgido en 1985 con la intención de coordinar la implementación y mantenimiento de los sistemas automatizados para el manejo de bases de datos climatológicas en países pertenecientes a la WMO, como es el caso de México. En sí, CLICOM es un manejador de bases de datos especializado en el contexto climatológico, más específicamente CLICOM es una aplicación montada sobre un manejador de bases de datos genérico llamado "Dataease". A la base de datos que maneja el CLICOM se llama "Base de Datos Climatológica Nacional" (BDCN) y es la que contiene el conjunto de datos de las estaciones climatológicas que han sido digitalizados e ingeridos a través del manejador, que es el CLICOM.

El CLICOM obtiene información en el caso del Distrito Federal de 62 estaciones climatológicas distribuidas por todo el Distrito Federal. Estas se encuentran ubicadas donde se muestra en la tabla III.4 y la figura III.3.

Tabla III. 4. Clave, nombre y coordenadas de las estaciones del Clicom

ESTACIÓN	NOMBRE	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD
9002	AJUSCO	TLALPAN	19.217	-99.2
9003	AQUILES SERDAN 46	AZCAPOTZALCO	19.465	-99.19
9004	CALVARIO 61	TLALPAN	19.288	-99.174
9005	CALLE SALTO 13	ALVARO OBREGON	19.383	-99.217
9006	TACUBA 7	CUAUHTEMOC	19.436	-99.139
9007	CINCEL 42	VENUSTIANO CARRANZA	19.417	-99.117
9009	COLONIA AGRICOLA ORIENTAL	IZTACALCO	19.4	-99.083
9010	COLONIA AMERICA	MIGUEL HIDALGO	19.413	-99.202
9011	COLONIA DEL VALLE	BENITO JUAREZ	19.382	-99.165
9012	COLONIA ESCANDON	MIGUEL HIDALGO	19.4	-99.177
9013	COLONIA MOCTEZUMA	VENUSTIANO CARRANZA	19.433	-99.1
9014	COLONIA SANTA URSULA COAPA	COYOACAN	19.319	-99.146
9015	RODANO 14 (CFE)	CUAUHTEMOC	19.424	-99.176
9016	CUAJIMALPA	CUAJIMALPA	19.35	-99.3
9017	CUAUTEPEC BARRIO BAJO	GUSTAVO A. MADERO	19.553	-99.136
9019	DESIERTO DE LOS LEONES	ALVARO OBREGON	19.3	-99.3
9020	DESVIACION ALTA AL PEDREGAL	TLALPAN	19.297	-99.182
9021	EGIPTO 7	AZCAPOTZALCO	19.467	-99.183
9022	AUTOPISTA MEXICO CUERNAVACA KM	TLALPAN	19.134	-99.173
9023	GUADALUPE INN	ALVARO OBREGON	19.351	-99.186
9024	HACIENDA PEÑA POBRE	TLALPAN	19.3	-99.183



ESTACIÓN	NOMBRE	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD
9025	HACIENDA LA PATERA	GUSTAVO A. MADERO	19.517	-99.15
9026	MORELOS 77	IZTAPALAPA	19.367	-99.083
9028	GRAN CANAL KM. 3+000	GUSTAVO A. MADERO	19.45	-99.1
9029	GRAN CANAL KM. 6+250	GUSTAVO A. MADERO	19.477	-99.091
9030	LA VENTA CUAJIMALPA (SMN)	CUAJIMALPA	19.333	-99.3
9031	COLONIA ROMA	CUAUHTEMOC	19.417	-99.167
9032	MILPA ALTA	MILPA ALTA	19.191	-99.022
9033	COLONIA GUERRERO	CUAUHTEMOC	19.45	-99.133
9034	MOYOGUARDA	XOCHIMILCO	19.25	-99.1
9035	COLONIA SAN JOSE INSURGENTES	BENITO JUAREZ	19.367	-99.183
9036	PLAYA CALETA 454 COLONIA MARTE	IZTACALCO	19.383	-99.133
9037	PRESA ANZALDO	ALVARO OBREGON	19.317	-99.217
9038	PRESA MIXCOAC	ALVARO OBREGON	19.364	-99.235
9039	PRESA TACUBAYA	ALVARO OBREGON	19.395	-99.214
9040	SAN BORJA 726	BENITO JUAREZ	19.383	-99.167
9041	SAN FRANCISCO TLALNEPANTLA	XOCHIMILCO	19.197	-99.129
9042	SAN GREGORIO ATLAPULCO	XOCHIMILCO	19.217	-99.083
9043	COLONIA SAN JUAN DE ARAGON	GUSTAVO A. MADERO	19.465	-99.079
9044	SAN LORENZO	MILPA ALTA	19.183	-99.033
9045	SANTA ANA	MILPA ALTA	19.179	-99.003
9046	COLONIA SANTA FE	ALVARO OBREGON	19.383	-99.233
9047	COLONIA TACUBA	MIGUEL HIDALGO	19.45	-99.183
9049	TARANGO	ALVARO OBREGON	19.364	-99.217
9050	LOMAS DE CHAPULTEPEC	MIGUEL HIDALGO	19.433	-99.217
9051	TLAHUAC	TLAHUAC	19.263	-99.004
9052	UNIDAD MODELO	IZTAPALAPA	19.367	-99.117
9054	GENERAL ANAYA	BENITO JUAREZ	19.367	-99.167
9055	PEDRO ARVIZU 36	COYOACAN	19.327	-99.138
9056	IXTACALCO	IZTACALCO	19.378	-99.128
9058	VERTEDOR MILPA ALTA	MILPA ALTA	19.183	-99.017
9059	CASTAÑEDA	ALVARO OBREGON	19.367	-99.2
9062	VENCEDORA 44	GUSTAVO A. MADERO	19.483	-99.133
9064	CHAPULTEPEC	MIGUEL HIDALGO	19.417	-99.183
9067	MONTE ALEGRE	MAGDALENA CONTRERAS	19.217	-99.283
9068	PUENTE LA LLAVE	VENUSTIANO CARRANZA	19.429	-99.052
9069	COLONIA JUAREZ	CUAUHTEMOC	19.429	-99.15
9070	CAMPO EXP. COYOACAN	COYOACAN	19.35	-99.167



ESTACIÓN	NOMBRE	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD
9071	COLONIA EDUCACION	COYOACAN	19.334	-99.132
9072	TEPEPAN	XOCHIMILCO	19.2	-99.117

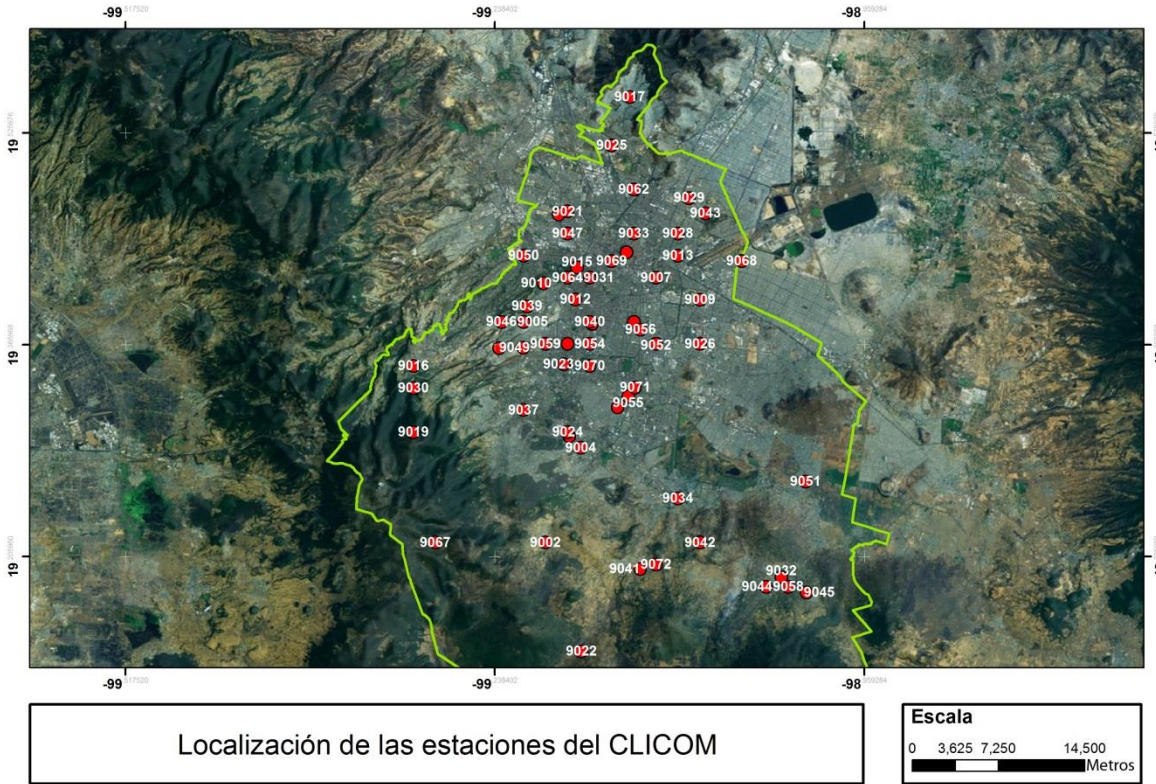


Figura III. 3. Localización de las estaciones del SMN en el DF

De las opciones antes mencionadas se consideraron varios factores, para la elección de la mejor base de datos.

En cuanto al número de estaciones se descarta el PEMBU ya que éste solamente cuenta con 16 estaciones, lo cual resulta insuficiente para la realización del ejercicio al existir una gran distancia entre estaciones, lo cual puede producir que al momento de interpolar los datos, estos sean erróneos. De igual manera, el PEMBU se descarta para ventanas de tiempo ya que esta es muy limitada y se requiere un mayor tiempo de registro.

El SACM utiliza pluviografos por lo que sus registros se encuentran en un formato continuo y sería necesario aplicar un complejo tratamiento adicional para utilizarlos en el presente ejercicio; además de que el conseguir estos datos es más complejo, ya que estos no se encuentran en internet y se tiene que acudir o contactar a la institución para conseguirse.



El ERIC no se utilizó a pesar de ser una recopilación de varias fuentes, debido a que su adquisición tiene un costo económico, al ser comercializado por el IMTA. Además de que debido a que el IMTA les aplica un tratamiento previo, los registros son diferentes a los presentes en la base de datos original y se pretende trabajar con los datos originales para así poder tener un mejor control de la información generada.

La base de datos del CLICOM cuenta con las características necesarias para la realización del presente trabajo. Estas características son:

- Cuenta con un número adecuado de estaciones, no muy alejadas entre si, lo cual permite que la interpolación sea más exacta y así disminuir el error.
- Tiene una ventana de tiempo bastante amplia, lo cual hace consistentes los resultados al poder realizar un análisis más completo de la información.
- Es de fácil acceso y no tiene costo.
- Al venir directamente de la fuente no tiene ninguna clase de tratamiento, por lo que se trabajará con la información original; lo cual ayuda a obtener mejores resultados.

3.2 Análisis estadístico de las estaciones del CLICOM

Dado que se utilizará la base de datos del CLICOM, se obtuvieron las principales características de ésta, así como sus estadísticas principales, las cuales se mencionarán más adelante.

Principalmente se analizaron las fechas de los registros de todas las estaciones, por lo que se registraron los años de inicio y fin de la base de datos.

La base de datos presenta muchas inconsistencias en sus registros, como años con todos sus registros iguales a ceros o días sin registro de lluvia, así como en algunos casos, falta de continuidad en los registros por varios años. Se realizó el ejercicio de contar el número de días registrados para cada estación y realizar su equivalencia en años, para así conocer un aproximado del número de años de registro de cada estación. Los resultados de este ejercicio se muestran en la siguiente tabla.



Tabla III. 5. Principales características de las estaciones del CLICOM

Estación	Inicio	Término	Días registrados	Años Registrados	Días con lluvia	Días sin lluvia
9002	1961	1988	9892	27.10136986	3386	6506
9003	1933	1988	19137	52.43013699	6263	12874
9004	1970	2007	12669	34.70958904	3855	8814
9005	1964	1970	2251	6.167123288	797	1454
9006	1962	1983	5158	14.13150685	1019	4139
9007	1953	1988	12546	34.37260274	3750	8796
9009	1961	1988	10042	27.51232877	2349	7693
9010	1969	2007	10814	29.62739726	3397	7417
9011	1949	1973	6186	16.94794521	1757	4429
9012	1951	1988	13451	36.85205479	4003	9448
9013	1963	1988	7701	21.09863014	2002	5699
9014	1969	2006	12614	34.55890411	3341	9273
9015	1953	1996	11146	30.5369863	3393	7753
9016	1967	1988	7423	20.3369863	2651	4772
9017	1970	1988	6108	16.73424658	1101	5007
9019	1961	1987	9665	26.47945205	3731	5934
9020	1952	2007	19786	54.20821918	6088	13698
9021	1959	1987	10455	28.64383562	2914	7541
9022	1961	2007	16709	45.77808219	5250	11459
9023	1962	1974	4496	12.31780822	1130	3366
9024	1961	1992	6935	19	2131	4804
9025	1961	1993	11227	30.75890411	2575	8652
9026	1955	1996	14420	39.50684932	4028	10392
9028	1961	1987	9707	26.59452055	2773	6934
9029	1952	2007	20102	55.0739726	5484	14618
9030	1949	1985	13186	36.1260274	4497	8689
9031	1949	1971	7339	20.10684932	2095	5244
9032	1929	2007	19410	53.17808219	5690	13720
9033	1959	1987	10344	28.33972603	2284	8060
9034	1921	1988	16194	44.36712329	4784	11410
9035	1969	1971	700	1.917808219	168	532
9036	1968	2007	13637	37.36164384	3824	9813
9037	1953	1988	12771	34.9890411	3779	8992
9038	1953	1988	12699	34.79178082	4060	8639
9039	1953	1988	12771	34.9890411	4023	8748
9040	1964	1970	2190	6	658	1532



Estación	Inicio	Término	Días registrados	Años Registrados	Días con lluvia	Días sin lluvia
9041	1961	2007	14315	39.21917808	3525	10790
9042	1961	1983	8204	22.47671233	1977	6227
9043	1953	2007	18726	51.30410959	5362	13364
9044	1969	1999	7570	20.73972603	2143	5427
9045	1969	2006	11199	30.68219178	3348	7851
9046	1969	1988	7036	19.2767123	2366	4670
9047	1961	1988	9686	26.5369863	2374	7312
9049	1969	1988	6818	18.6794521	2246	4572
9050	1955	1975	7355	20.1506849	2481	4874
9051	1961	2007	13565	37.1643836	2602	10963
9052	1961	1981	7143	19.569863	1919	5224
9054	1952	1988	12450	34.109589	3330	9120
9055	1961	1970	3621	9.92054795	884	2737
9056	1947	1966	6391	17.509589	1527	4864
9058	1969	1985	6080	16.6575343	2029	4051
9059	1950	1982	7273	19.9260274	2117	5156
9062	1961	1975	3328	9.11780822	888	2440
9064	1979	1988	1335	3.65753425	411	924
9065	1975	1983	153	0.41917808	79	74
9066	1975	1983	244	0.66849315	76	168
9067	1976	1983	2852	7.81369863	1060	1792
9068	1976	2007	9079	24.8739726	1719	7360
9069	1975	1982	2617	7.16986301	748	1869
9070	1976	2007	8946	24.509589	2906	6040
9071	1982	2007	7721	21.1534247	2371	5350
9072	1982	1983	417	1.14246575	81	336

Para poder realizar un mejor análisis se complementaron los datos faltantes y para ello se analizó la correlación entre todas las estaciones, de acuerdo con sus registros de lluvia.

Para la obtención de los coeficientes de correlación se obtuvieron las principales estadísticas por mes de los datos, como media, varianza, covarianza y desviación estándar. Después mediante la realización de una macro para Excel, se obtuvieron los coeficientes de correlación necesarios para la corrección de los datos faltantes. Para ello se utilizó la siguiente fórmula, la cual es la que usa Excel.



$$r = \frac{COV(X,Y)}{\sigma_x * \sigma_y} \quad (3.1)$$

Donde

r = Coeficiente de correlación para las estaciones 1 y 2 (las estaciones a comparar)

X = Precipitación de la estación 1

Y = Precipitación de la estación 2

Se obtuvieron los coeficientes mensuales para todas las estaciones y se elaboró una matriz de resultados, para poder visualizar más fácilmente la relación entre las estaciones. Posteriormente para decidir que estaciones podían utilizarse para complementar datos faltantes, se obtuvo el promedio de todas las correlaciones mensuales para cada par de estaciones y se tomaron solamente las que tuvieron un coeficiente de correlación mayor o igual a 0.8. El resultado de este ejercicio se muestra a continuación.

Tabla III. 6. Matriz de estaciones con correlación mayor a 0.8

	9003	9010	9011	9012	9015	9020	9021	9023	9031	9032	9036	9037	9038	9039	9044	9045	9049	9052	9058	9059	
9003							0.816														
9010														0.836							
9011				0.801																	
9012			0.801		0.822				0.845												
9015				0.822					0.813												
9020												0.815									
9021	0.816																				
9023																					0.878
9031				0.845	0.813																
9032																					0.951
9036																			0.807		
9037							0.815														
9038																					
9039		0.836																			
9044																					0.819
9045																					0.821
9049													0.803								
9052											0.807										
9058									0.951						0.819	0.821					
9059								0.878													



3.3 Corrección y complementación de los datos

Una vez conocida la correlación entre las estaciones se procederá a complementar los datos faltantes en éstas, para lo cual se utilizará el método de regresión lineal, todo esto con la finalidad de contar con un mayor número de registros y contar con una base de datos con registros anuales continuos, lo cual ayudará a obtener resultados más acertados al final del ejercicio.

La regresión lineal es un método estadístico que consiste en ajustar un conjunto de datos a una función lineal, de tal manera que dada la relación de esta función se pueda conocer el valor de una de las 2 variables al conocer solo 1.de éstas haciendo uso de dicha función. Para ello son necesarios varios datos, como los coeficientes de regresión lineal, que se obtienen por medio de mínimos cuadrados y cuya fórmula se muestra más adelante en las fórmulas 3.2 y 3.3.

Para llevar a cabo la regresión lineal se procede a obtener los coeficientes de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados para las estaciones antes mencionadas con un coeficiente de correlación mayor a 0.8. Esto se logra utilizando las siguientes expresiones:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (3.2)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} \quad (3.3)$$

Donde

\bar{x} = Promedio de precipitación por mes para la estación 1

\bar{y} = Promedio de precipitación por mes para la estación 2

n = Número de datos de precipitación

x = Precipitación de la estación 1

y = Precipitación de la estación 2

Por lo que los coeficientes obtenidos con base en este criterio, serán los utilizados en la complementación y corrección de los datos. Los coeficientes obtenidos después de la aplicación de estas fórmulas para todas las estaciones mencionadas en el apartado anterior se muestran en la tabla III. 8 a continuación.



Tabla III. 7. Coeficientes de regresión lineal.

Cuencas	Coef	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
9003-9021	bo	0.027	0.0259	0.0397	0.0871	0.1408	0.195	0.2968	0.2848	0.1936	0.1163	0.0241	0.0261
	b1	0.6771	0.3453	0.5235	0.5802	0.6339	0.7916	0.725	0.7584	0.7891	0.6908	0.3584	0.509
9010-9039	bo	-0.0027	0.0043	0.0051	0.0502	0.1841	0.2061	0.2141	0.1709	0.086	0.1006	0.0008	-0.0092
	b1	0.6658	0.7635	0.7111	0.7036	0.7078	0.8077	0.8428	0.7988	0.8372	0.8633	0.6931	0.8752
9011-9012	bo	0.0133	0.0212	0.017	0.0608	0.1069	0.1047	0.1683	0.2219	0.1311	0.0405	0.047	0.0008
	b1	0.8435	0.4473	0.4143	0.675	0.7478	0.8162	0.7873	0.7559	0.7606	0.7769	0.7728	0.5031
9012-9031	bo	-0.0147	-0.0209	-0.0057	-0.025	0.0064	0.0748	0.0705	0.0375	0.052	0.0002	0.0194	-0.0236
	b1	0.7639	0.7652	0.7126	0.7852	0.8072	0.7438	0.6845	0.768	0.6907	0.7977	0.7788	0.6024
9012-9015	bo	-0.0038	-0.0137	-0.0223	-0.0731	-0.0148	-0.0463	-0.0313	0.0399	0.0295	-0.0091	-0.0215	0.0028
	b1	0.7172	0.5467	0.4958	0.7612	0.7682	0.8813	0.8289	0.7928	0.7976	0.8537	0.6717	0.6595
9012-9011	bo	0.0133	0.0212	0.017	0.0608	0.1069	0.1047	0.1683	0.2219	0.1311	0.0405	0.047	0.0008
	b1	0.8435	0.4473	0.4143	0.675	0.7478	0.8162	0.7873	0.7559	0.7606	0.7769	0.7728	0.5031
9015-9012	bo	-0.0038	-0.0137	-0.0223	-0.0731	-0.0148	-0.0463	-0.0313	0.0399	0.0295	-0.0091	-0.0215	0.0028
	b1	0.7172	0.5467	0.4958	0.7612	0.7682	0.8813	0.8289	0.7928	0.7976	0.8537	0.6717	0.6595
9015-9031	bo	0.0208	0.0089	0.029	0.0846	0.0818	0.2332	0.2591	0.2198	0.1282	0.1188	0.0458	-0.0066
	b1	0.7117	0.4305	0.4948	0.6478	0.7443	0.6221	0.6295	0.6579	0.7174	0.5716	0.5004	0.4629
9020-9037	bo	0.0182	0.0172	0.0355	0.0794	0.1075	0.1321	0.2412	0.2638	0.1676	0.065	0.0391	0.0176
	b1	0.8066	0.568	0.5666	0.6542	0.7353	0.8169	0.7521	0.7372	0.7747	0.7013	0.5752	0.7029
9021-9003	bo	0.027	0.0259	0.0397	0.0871	0.1408	0.195	0.2968	0.2848	0.1936	0.1163	0.0241	0.0261
	b1	0.6771	0.3453	0.5235	0.5802	0.6339	0.7916	0.725	0.7584	0.7891	0.6908	0.3584	0.509
9023-9059	bo	-0.0103	0.0018	-0.0016	-0.0149	0.0227	-0.0247	0.0405	0.0363	0.0536	0.0266	0.0155	-0.0035
	b1	0.8334	0.8036	0.7441	0.6817	0.7976	0.8963	0.8324	0.8814	0.8623	0.8177	0.5429	0.68
9031-9012	bo	-0.0147	-0.0209	-0.0057	-0.025	0.0064	0.0748	0.0705	0.0375	0.052	0.0002	0.0194	-0.0236
	b1	0.7639	0.7652	0.7126	0.7852	0.8072	0.7438	0.6845	0.768	0.6907	0.7977	0.7788	0.6024
9031-9015	bo	0.0208	0.0089	0.029	0.0846	0.0818	0.2332	0.2591	0.2198	0.1282	0.1188	0.0458	-0.0066
	b1	0.7117	0.4305	0.4948	0.6478	0.7443	0.6221	0.6295	0.6579	0.7174	0.5716	0.5004	0.4629
9032-9058	bo	0.0105	0.0134	0.0038	0.003	0.0038	0.0118	0.08	0.122	0.0673	0.0007	-0.0079	-0.0147
	b1	0.8718	0.8539	0.8931	0.9033	0.9083	0.9713	0.909	0.8912	0.9427	0.9202	0.9112	0.9881
9036-9052	bo	0.0244	0.0497	0.0507	0.1007	0.1647	0.3029	0.4236	0.3023	0.3172	0.1678	0.0355	0.0176
	b1	0.735	0.5773	0.5823	0.6783	0.6963	0.7614	0.7063	0.7704	0.6976	0.696	0.4322	0.7091
9037-9020	bo	0.0182	0.0172	0.0355	0.0794	0.1075	0.1321	0.2412	0.2638	0.1676	0.065	0.0391	0.0176
	b1	0.8066	0.568	0.5666	0.6542	0.7353	0.8169	0.7521	0.7372	0.7747	0.7013	0.5752	0.7029
9038-9049	bo	-0.0013	0.0053	-0.0176	0.0069	0.0581	0.0313	0.0831	0.1506	0.1734	0.067	-0.0166	0.0022
	b1	0.7376	0.5513	0.7273	0.6294	0.7295	0.7988	0.8212	0.734	0.7311	0.755	0.2693	0.6337
9039-9010	bo	-0.0027	0.0043	0.0051	0.0502	0.1841	0.2061	0.2141	0.1709	0.086	0.1006	0.0008	-0.0092
	b1	0.6658	0.7635	0.7111	0.7036	0.7078	0.8077	0.8428	0.7988	0.8372	0.8633	0.6931	0.8752
9044-9058	bo	0.0074	0.0028	0.0121	-0.0261	-0.0228	-0.0726	0.0621	0.0989	-0.0401	-0.0224	-0.0038	-0.012



Cuencas	Coef	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	b1	0.7559	0.7819	0.5709	0.7243	0.779	0.8606	0.8115	0.7371	0.785	0.8022	0.75	0.6036
9045-9058	bo	0.0057	0.0124	-0.0105	0.0296	0.0155	0.1276	0.2099	0.1741	0.1044	0.0215	0.0145	-0.0064
	b1	0.7979	0.6722	0.676	0.6194	0.7591	0.8033	0.7093	0.7655	0.7275	0.7005	0.7101	0.7711
9049-9038	bo	-0.0013	0.0053	-0.0176	0.0069	0.0581	0.0313	0.0831	0.1506	0.1734	0.067	-0.0166	0.0022
	b1	0.7376	0.5513	0.7273	0.6294	0.7295	0.7988	0.8212	0.734	0.7311	0.755	0.2693	0.6337
9052-9036	bo	0.0244	0.0497	0.0507	0.1007	0.1647	0.3029	0.4236	0.3023	0.3172	0.1678	0.0355	0.0176
	b1	0.735	0.5773	0.5823	0.6783	0.6963	0.7614	0.7063	0.7704	0.6976	0.696	0.4322	0.7091
9058-9032	bo	0.0105	0.0134	0.0038	0.003	0.0038	0.0118	0.08	0.122	0.0673	0.0007	-0.0079	-0.0147
	b1	0.8718	0.8539	0.8931	0.9033	0.9083	0.9713	0.909	0.8912	0.9427	0.9202	0.9112	0.9881
9058-9045	bo	0.0057	0.0124	-0.0105	0.0296	0.0155	0.1276	0.2099	0.1741	0.1044	0.0215	0.0145	-0.0064
	b1	0.7979	0.6722	0.676	0.6194	0.7591	0.8033	0.7093	0.7655	0.7275	0.7005	0.7101	0.7711
9058-9044	bo	0.0074	0.0028	0.0121	-0.0261	-0.0228	-0.0726	0.0621	0.0989	-0.0401	-0.0224	-0.0038	-0.012
	b1	0.7559	0.7819	0.5709	0.7243	0.779	0.8606	0.8115	0.7371	0.785	0.8022	0.75	0.6036
9059-9023	bo	-0.0069	0.0057	0.0013	0.0037	0.0424	-0.062	0.0873	0.0246	0.0171	0.0353	0.0271	0.0047
	b1	0.8011	0.7243	0.7227	0.6084	0.7543	0.9403	0.797	0.8914	0.898	0.7936	0.2765	0.5766

Una vez obtenidos estos coeficientes, se complementaron los datos faltantes mediante regresión lineal utilizando para esto las siguientes expresiones:

$$y = b_1(x) + b_0 \quad (3.4)$$

Y para los casos inversos en que se desea conocer el valor de la estación 2, ya conociendo el valor de la estación 1.

$$x = \frac{(y-b_0)}{b_1} \quad (3.5)$$

y = Precipitación mensual de la estación 1

x = Precipitación mensual de la estación 2

b_1 = Coeficiente de regresión lineal

b_0 = Coeficiente de regresión lineal

Para la obtención de datos de mejor calidad, que permitan conseguir resultados confiables y de alta calidad, se aplicaron varios criterios al procedimiento de regresión lineal que permitieron optimizar la base de datos de precipitación original, dichos criterios se mencionan a continuación.



1. De acuerdo con los resultados obtenidos previamente, se obtuvieron los coeficientes de correlación mensuales, por lo que se tomó la consideración de que en los meses que tuvieran una correlación menor a 0.8 no se corrigieran los datos, por lo que en esos casos se dejaron los valores tal como se encontraban, esto se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla III. 8. Coeficientes mensuales de correlación

CUENCAS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
9003-9021	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.88453
9010-9039	0.7	0.9	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.4	0.8	0.79333
9011-9012	0.9	0.7	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.81036
9012-9031	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.8	0.7	0.9	0.9	0.8	0.85068
9012-9015	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.82588
9012-9011	0.9	0.7	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.81036
9015-9012	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.82588
9015-9031	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.82029
9020-9037	1.0	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.6	0.7	0.79899
9021-9003	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.88453
9023-9059	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.6	0.8	0.85117
9031-9012	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.8	0.7	0.9	0.9	0.8	0.85068
9031-9015	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.82029
9032-9058	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.94983
9036-9052	1.0	0.7	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4	0.8	0.77126
9037-9020	1.0	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.6	0.7	0.79899
9038-9049	0.6	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.7	0.9	0.78563
9039-9010	0.7	0.9	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.4	0.8	0.79333
9044-9058	0.9	0.9	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8	0.9	0.7	0.8	0.80728
9045-9058	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.6	0.81539
9049-9038	0.6	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.7	0.9	0.78563
9052-9036	1.0	0.7	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4	0.8	0.77126
9058-9032	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.94983
9058-9045	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.6	0.81539
9058-9044	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.6	0.81539
9059-9023	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.6	0.8	0.85117

2. Se procuró que ambas estaciones tuvieran un número similar de años de registro
3. Para la aplicación de la fórmula de regresión lineal se tomó como variable independiente el valor de la estación con mayor número de registros y como dependiente el de la estación con menor número de registros.
4. Para la realización del ejercicio, primero se corrige la que tiene un menor número de registros y posteriormente mediante la ecuación inversa, se obtienen los valores faltantes de la estación con mayor número de registros.
5. En los casos en los que los valores obtenidos son pequeños y negativos, éstos se cambian por valores de cero, dado que se está hablando de milímetros y las décimas o centésimas de éstos no tiene un peso significativo para el desarrollo del ejercicio.



Una vez realizado este ejercicio se volvieron a obtener las principales estadísticas para todas las estaciones para así conocer la variación que sufrieron los datos. De igual manera se puede apreciar que el número de registros ha variado y ahora el número de registros por estación es mucho más homogéneo como se puede apreciar en la tabla III.10.

Tabla III. 9. Número de días registrados antes y después de la corrección

Estación	Días registrados corregidos	Días registrados originales
9003	19268	19137
9021	19234	10455
9010	14458	10814
9039	15655	12771
9011	12057	6186
9012	13919	13451
9031	13031	7339
9015	15190	11146
9020	19798	19786
9037	18770	12771
9023	8266	4496
9059	8669	7273
9032	19261	19410
9058	19440	6080
9036	15528	13637
9052	13950	7143
9038	12772	12699
9049	10852	6818
9044	7570	7570
9045	11286	11199

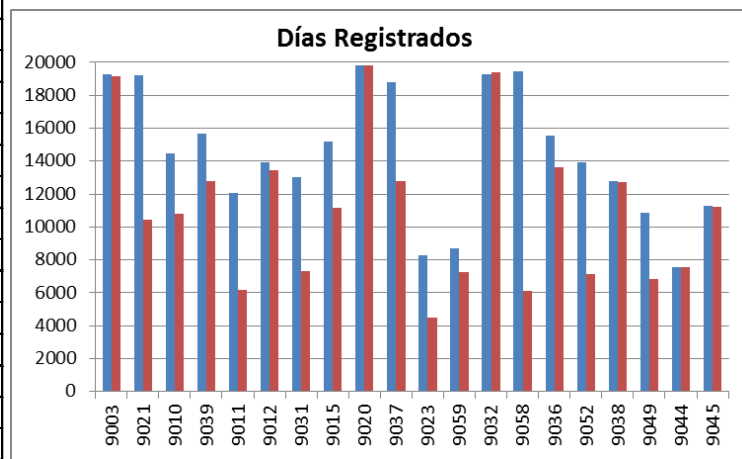


Figura III. 4. Número de días registrados antes y después de la corrección

A continuación se muestran los resultados de diferentes estadísticas obtenidas a partir de la corrección realizada y el análisis de las variaciones producidas por la incorporación de los nuevos datos.



Tabla III. 10. Máximos corregidos y originales

Estación	Max Corregido	Max original
9003	70.6	70.6
9021	85.5	85.5
9010	104.77	94.6
9039	112.89	79.2
9011	78.2	78.2
9012	90.5	90.5
9031	86.4	86.4
9015	72.5	72.5
9020	164.9	164.9
9037	77.2	77.2
9023	185	185
9059	214.48	90
9032	136.2	136.2
9058	121.5	56.7
9036	104.5	104.5
9052	73.22	69.3
9038	81.5	81.5
9049	77.9	77.9
9044	151	151
9045	90	90

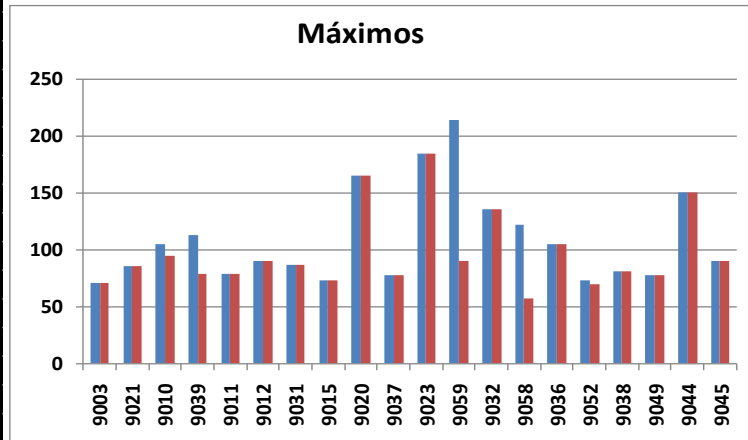


Figura III. 5. Máximos corregidos y originales

En la tabla III.11 y en la figura III.5 correspondiente a los valores máximos se puede observar que los máximos aumentan gradualmente, o se quedan exactamente igual, esto en la mayoría excepto en la estación 9059 donde aumenta de 90 a 214 mm, debido a su coeficiente de regresión lineal.

Tabla III. 11. Mínimos corregidos y originales

Estación	Min Corregido	Min original
9003	0.02	0.1
9021	0.06	0.1
9010	0.02	0.1
9039	0.02	0.1
9011	0.08	0.1
9012	0.03	0.1
9031	0.07	0.1
9015	0.03	0.1
9020	0.1	0.1
9037	0.1	0.1
9023	0.07	0.5
9059	0.1	0.1
9032	0.1	0.1
9058	0.08	0.1
9036	0.1	0.1
9052	0.09	0.1
9038	0.1	0.1
9049	0.06	0.1
9044	0.1	0.1
9045	0.1	0.1

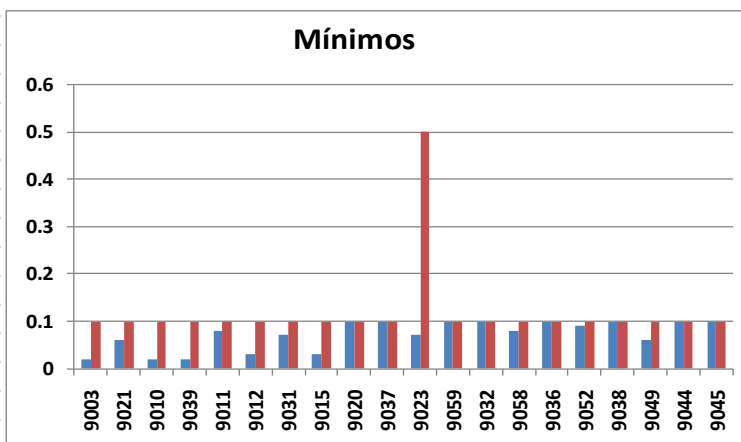


Figura III. 6. Mínimos corregidos y originales



En la tabla III.12 y en la figura III.6 se puede observar que para los valores mínimos, existe una disminución en el valor corregido respecto al original, esto se debe a que muchos de los coeficientes de regresión lineal son números muy pequeños que al usarse en las fórmulas de regresión lineal con los mínimos originales, los cuales son pequeños, dan como resultado números menores a los originales

Tabla III. 12. Número de años corregidos y originales

Estación	Años corregidos	Años original
9003	52.79	52.43
9021	52.7	28.64
9010	39.61	29.63
9039	42.9	34.99
9011	33.03	16.95
9012	38.13	35.85
9031	35.7	20.1
9015	41.61	30.54
9020	54.24	54.21
9037	51.42	34.99
9023	22.65	12.21
9059	23.75	19.92
9032	52.77	53.18
9058	53.26	16.66
9036	42.54	37.36
9052	37.219	19.57
9038	34.99	34.79
9049	29.73	18.68
9044	20.74	20.74
9045	30.92	30.68

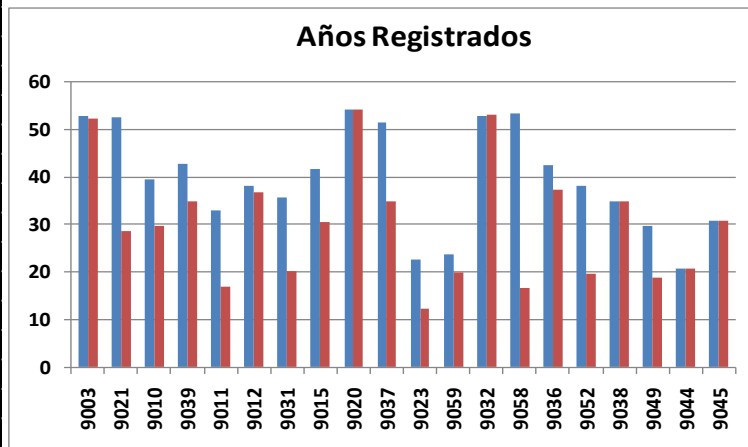


Figura III. 7. Número de años corregidos y originales

En este caso se puede observar que el número de años registrados corregidos es mucho mayor en todas las estaciones, llegando a obtener en algunos casos valores poco mayores al triple de su valor original, esto se debe a que se encuentran relacionados con estaciones con un mayor número de años. En el caso de las estaciones que sirven como variable dependiente, no existe una variación significativa en este parámetro ya que es muy poca la variación que tiene comparada con la otra estación.



Tabla III. 13. Media corregida y original

Estación	Media corregida	Media original
9003	1.9	1.89
9021	1.69	2.06
9010	2.37	2.48
9039	2.41	2.19
9011	1.66	1.81
9012	2.06	2.07
9031	1.67	1.72
9015	1.74	1.75
9020	2.78	2.78
9037	2.36	2.48
9023	2.11	2.28
9059	2.33	2.37
9032	2.06	2.06
9058	1.96	1.88
9036	1.98	1.97
9052	1.76	1.96
9038	2.48	2.48
9049	2.43	2.37
9044	2.1	2.1
9045	1.95	1.95

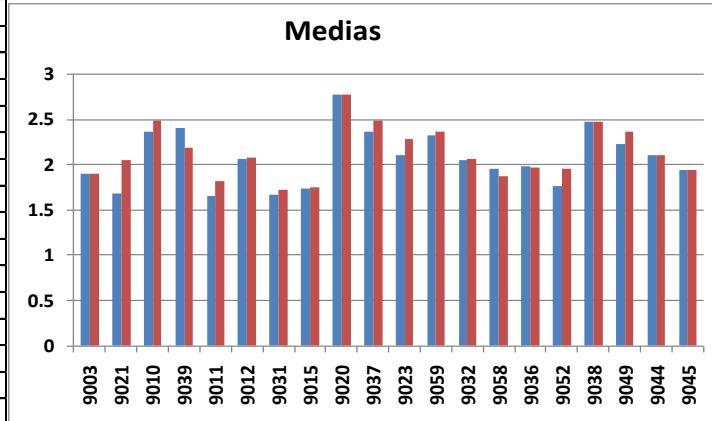


Figura III. 8. Media corregida y original

Existe una tendencia en la media a bajar en la mayoría de las estaciones, esto debido a que en muchas de las estaciones existe un mayor número de registros y en muchos casos son iguales a cero o menores a los originales, por lo que dada la fórmula de la media, la cual depende del número de registros, por lo que se puede observar que disminuye el valor de la media al aumentar el número de registros, lo cual en muchos casos afecta directamente el resultado haciendo menor su media.

Tabla III. 14. Días no registrados originales y corregidos

Estación	Días no reg corr	Días no reg orgnal
9003	1248	1381
9021	1280	163
9010	5773	3517
9039	4553	413
9011	2631	3012
9012	730	462
9031	1634	7339
9015	1662	5030
9020	704	716
9037	1752	412
9023	898	267
9059	489	4886
9032	9811	9657
9058	9626	144
9036	1709	1017
9052	3340	552
9038	410	485
9049	2364	510
9044	3838	3838
9045	2665	2756

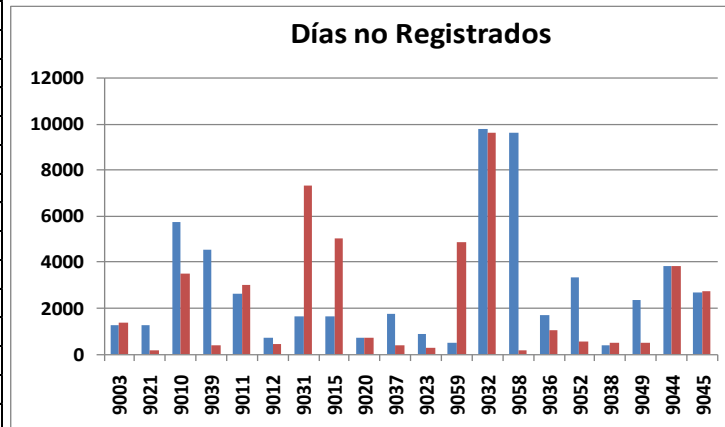


Figura III. 9. Días no registrados originales y corregidos



En este caso los resultados son muy variables, ya que en muchos caso al aumentar la ventana de tiempo aumentan los espacios en blanco originales al añadir a los registros los espacios en blanco de la estación complementaria, de igual modo en las estaciones base que tienen un menor número de espacios en blanco, el número de días no registrados bajó considerablemente al llenarse estos con datos de las otras estaciones.

Tabla III. 15. Días con lluvia originales y corregidos

Estación	Días lluvia corr	Días lluvia orgl
9003	6291	6263
9021	5736	2914
9010	4629	3397
9039	4990	4023
9011	3511	1757
9012	4094	4003
9031	3367	2095
9015	4633	3393
9020	6088	6088
9037	5386	3779
9023	2117	1130
9059	2432	2117
9032	5610	5690
9058	5787	2029
9036	4366	3824
9052	4060	1919
9038	4065	4060
9049	3406	2246
9044	2143	2143
9045	3353	3348

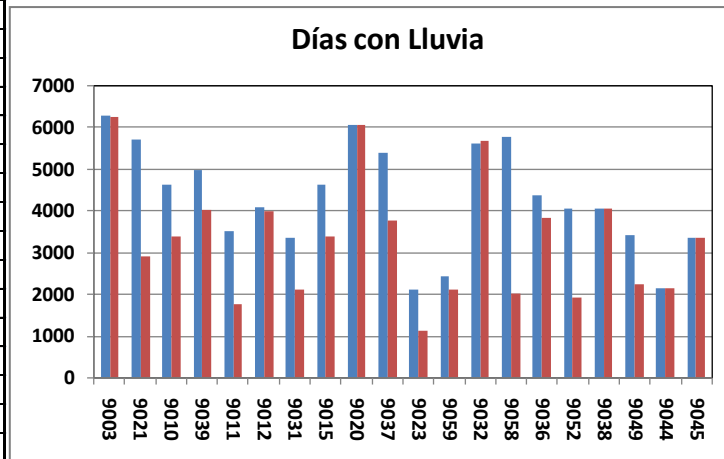


Figura III. 10. Días con lluvia originales y corregidos

En la tabla III.16 y en la figura III.10 se puede observar con gran claridad los efectos producidos por la corrección de datos, ya que aumenta el número de registros que en este caso son los días que presentan un valor diferente de cero y que indican en realidad cuanto llovió, este valor en muchas de las estaciones aumenta considerablemente.



Tabla III. 16. Días sin lluvia originales y corregidos

Estación	Días sinllov corregidos	Días sin llov original
9003	12977	12874
9021	13498	7541
9010	9829	7417
9039	10665	8748
9011	8546	4429
9012	9825	9448
9031	1099	5244
9015	10557	7753
9020	13710	13698
9037	13384	8992
9023	6149	3366
9059	6237	5156
9032	13651	13720
9058	13653	4051
9036	11162	9813
9052	9890	5224
9038	8707	8639
9049	7446	4572
9044	5427	5427
9045	7933	7851

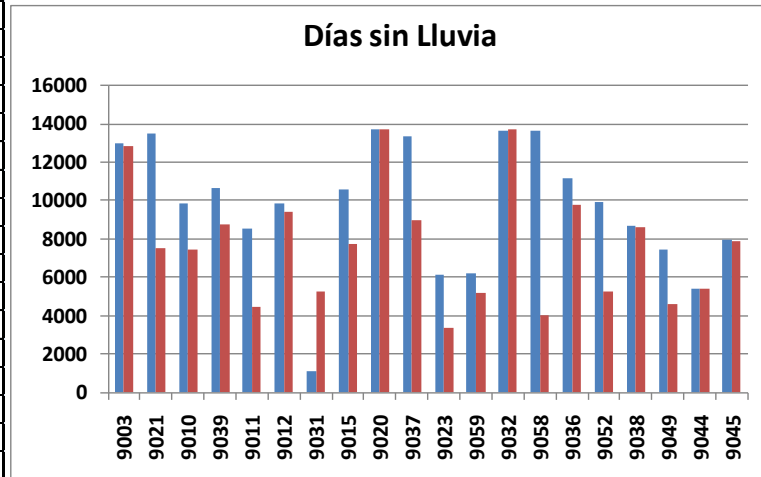


Figura III. 11. Días sin lluvia originales y corregidos

En este caso debido a que aumentó el número de registros y muchos de estos son ceros, esto ayuda a que se presente un mayor número de días sin lluvia en las estaciones ya corregidas.

Tabla III. 17. Desviación Estándar original y corregida

Estación	Desv stdar corregida	Desv stdar original
9003	5.040593367	5.02786488
9021	4.770365516	5.940723467
9010	6.785127243	6.812176913
9039	6.647597888	5.728235502
9011	4.766008594	5.165324852
9012	5.833518011	5.877503155
9031	4.697443113	5.256377306
9015	5.080001909	5.020787588
9020	7.125763245	7.127589758
9037	6.052088626	6.448280819
9023	6.193977122	7.319283155
9059	6.595662878	6.361451991
9032	5.540450756	5.571430745
9058	5.232757009	4.927511639
9036	5.624087649	5.542513272
9052	5.082140753	5.561313603
9038	6.345886411	6.361041954
9049	5.808845713	6.505745176
9044	5.857911335	5.857911335
9045	5.082428311	5.098599712

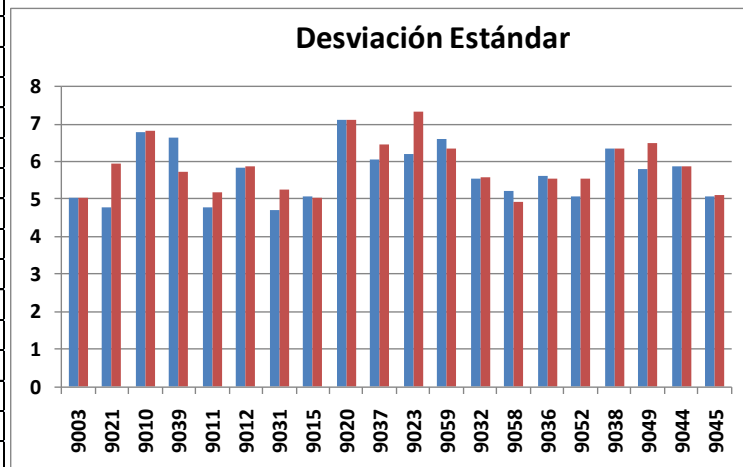


Figura III. 12. Desviación Estándar original y corregida



En este caso la desviación estándar no tiene mucha variación y esto se debe a que las estaciones están bastante correlacionadas entre si y por lo tanto los valores se mantienen dentro del mismo rango.

3.4 Obtención de curvas hp-d-Tr para cada estación

Dado que se desean conocer diversos escenarios de precipitación para la realización del ejercicio, se obtendrán curvas de precipitación para diversos tiempos de retorno, para ello se ajustarán los valores de precipitación de cada una de las estaciones a una función de probabilidad.

Una vez calculados los valores faltantes por regresión lineal se buscará incorporar esos datos a una función de probabilidad y para ello es necesario encontrar cual función es a la que mejor se ajustan los datos de precipitación, para ello se utilizará un programa realizado en Visual Basic el cual genera el resultado correspondiente para varias funciones así como su media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, la media del logaritmo natural y la desviación estándar del logaritmo natural. Las funciones analizadas son:

- Normal (N)
- Normal momento L(NML)
- Log normal 2 momentos(LN2M)
- Log normal 3 momentos(LN3M)
- Gamma 2 momentos(G2M)
- Gamma 2 momentos L(G2ML)
- Gamma 3 momentos L(G3ML)
- Gamma 3 momentos para probabilidad pesada(G3MPP)
- Gumbel de momentos(GM)
- Gumbel de momentos L(GML)

Como complemento a lo anterior mediante el programa “Axis” del CENAPRED se ajustaron los datos para la función Doble Gumbel (DG), que es una función bastante común en hidrología cuando se tienen diversos tipos de lluvia, como es el caso de la Ciudad de México.

Posteriormente se procedió a realizar el ajuste necesario de acuerdo con la función que presentara el menor error de acuerdo al criterio del error estándar de ajuste de acuerdo con la siguiente fórmula (Kite, 1988):

$$EE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{nj} (Q_T^i - Q_T^j)^2}{nj - mp} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$



Donde

Q_T^j = los eventos Q_i^j ordenados de mayor a menor con un periodo de retorno asignado

$T = \frac{n_{j+1}}{m}$ y una probabilidad de no excedencia

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

m = número de orden del registro

\hat{Q}_T^j = estimados por cierta distribución de probabilidad para cada periodo de retorno T asignado a la muestra ordenada Q_i^j .

mp = número de parámetros de la distribución ajustada

Donde la distribución de mejor ajuste será aquella que proporcione el mínimo valor del error estadístico (EE).

Al aplicar esta expresión a todos los meses para todas las estaciones se obtiene la siguiente tabla con los resultados del mejor ajuste.

Tabla III. 18. Funciones de probabilidad para todos los meses de todas las estaciones

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
9002	LN3M	DG	LN3M	DG	LN3M	G3ML	G2ML	G2ML	G2ML	G3ML	LN3M	DG
9003	LN3M	LN3M	DG	LN3M	LN3M	G3ML	G3MPP	G3MPP	G2ML	DG	DG	DG
9004	DG	DG	DG	LN3M	G3ML	G3ML	G3ML	G3MPP	G2ML	DG	DG	LN3M
9005	DG	DG	DG	DG	DG	DG	G3MPP	G3MPP	DG	DG	DG	DG
9006	DG	LN3M	DG	DG	G3ML	G3ML	G2ML	G3ML	G3ML	G3ML	LN3M	DG
9007	LN3M	LN3M	LN3M	LN3M	DG	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	DG	DG	DG
9009	LN3M	DG	DG	DG	LN3M	DG	G3ML	G3ML	G3ML	DG	DG	DG
9010	DG	DG	DG	DG	G3ML	G3ML	G3ML	G3MPP	G3MPP	DG	LN3M	LN3M
9011	DG	DG	DG	DG	G3ML	G3ML	LN3M	G3MPP	G3ML	DG	DG	LN3M
9012	DG	LN3M	DG	LN3M	G3ML	G3ML	DG	G3ML	G3ML	DG	LN3M	DG
9013	DG	DG	DG	DG	G3ML	G3MPP	G3MPP	G3ML	G3ML	DG	DG	LN3M
9014	DG	DG	LN3M	LN3M	G3ML	G3ML	LN3M	G3MPP	G3MPP	G3ML	DG	LN3M
9015	DG	DG	LN3M	LN3M	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	DG	DG	DG
9016	DG	DG	DG	G3ML	G3ML	G3MPP	G2ML	G3ML	LN3M	DG	DG	DG
9017	LN3M	DG	DG	DG	DG	G3ML	G3MPP	G3ML	G3ML	DG	DG	DG
9019	DG	DG	LN3M	LN3M	G3ML	G3MPP	G3ML	G2ML	LN3M	DG	DG	DG
9020	LN3M	LN3M	DG	LN3M	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	LN3M	DG	LN3M	LN3M



Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
9021	LN3M	LN3M	LN3M	LN3M	G2ML	G3MPP	G3MPP	G3MPP	G3ML	DG	LN3M	DG
9022	LN3M	DG	DG	LN3M	G3ML	LN3M	LN3M	G2ML	G3ML	G3ML	LN3M	DG
9023	LN3M	LN3M	DG	LN3M	G3ML	G3ML	DG	G3ML	LN3M	DG	DG	DG
9024	LN3M	DG	DG	DG	DG	G3ML	G3ML	G3MPP	DG	DG	DG	DG
9025	LN3M	LN3M	LN3M	DG	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	LN3M	LN3M	DG
9026	LN3M	LN3M	LN3M	DG	LN3M	DG	G3ML	G3MPP	G3ML	G3ML	DG	LN3M
9028	DG	DG	DG	DG	G3ML	G3ML	G3MPP	G3MPP	G3MPP	DG	DG	DG
9029	LN3M	DG	DG	LN3M	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	LN3M	DG	LN3M
9030	DG	DG	LN3M	LN3M	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	LN3M	G3ML	LN3M	DG
9031	DG	LN3M	DG	LN3M	G3ML	G3ML	G3MPP	G3ML	G3ML	DG	DG	LN3M
9032	LN3M	DG	DG	DG	DG	LN3M	G3ML	LN3M	G3MPP	DG	DG	LN3M
9033	LN3M	LN3M	DG	LN3M	DG	G3ML	G3ML	G3ML	DG	DG	DG	LN3M
9034	LN3M	DG	LN3M	DG	LN3M	G3MPP	LN3M	G3MPP	G3MPP	G3ML	DG	LN3M
9035	DG	-	DG	DG	DG	DG	DG	DG	G3MPP	DG	DG	GML
9036	LN3M	DG	LN3M	LN3M	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	G3MPP	LN3M	DG	LN3M
9037	LN3M	LN3M	LN3M	LN3M	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	DG	DG
9038	DG	LN3M	LN3M	DG	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	DG	DG	DG
9039	DG	DG	DG	DG	G3ML	G3ML	G3ML	G3MPP	G3MPP	DG	DG	LN3M
9040	DG	DG	DG	DG	DG	DG	G3MPP	G3ML	DG	DG	DG	DG
9041	DG	LN3M	DG	DG	G3ML	G3ML	G3ML	G2ML	G3MPP	LN3M	LN3M	LN3M
9042	DG	DG	DG	DG	DG	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	DG	DG	DG
9043	LN3M	DG	DG	LN3M	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	DG	DG	LN3M
9044	DG	DG	DG	DG	G3ML	G3MPP	G3MPP	LN3M	G3MPP	DG	DG	DG
9045	DG	DG	DG	DG	DG	LN3M	G3ML	G3ML	G3MPP	DG	DG	DG
9046	DG	DG	LN3M	DG	G3ML	G3ML	G3MPP	G3MPP	G3MPP	DG	DG	LN3M
9047	DG	LN3M	DG	DG	G3ML	G3ML	G3ML	G3MPP	G3ML	DG	LN3M	DG
9049	LN3M	DG	LN3M	DG	G3ML	DG	G3ML	G3MPP	G3MPP	DG	DG	LN3M
9050	DG	LN3M	DG	DG	LN3M	DG	G3ML	DG	G3MPP	DG	DG	DG
9051	LN3M	DG	LN3M	DG	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	DG	DG	LN3M
9052	LN3M	DG	LN3M	LN3M	DG	G3ML	G3ML	G3MPP	G3MPP	LN3M	LN3M	LN3M
9054	LN3M	DG	LN3M	LN3M	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	G3ML	DG	DG	DG
9055	DG	LN3M	DG	DG	DG	G3MPP	G3MPP	G3MPP	DG	DG	DG	DG
9056	LN3M	LN3M	LN3M	DG	DG	G3ML	G3MPP	G3MPP	DG	DG	DG	DG
9058	DG	DG	DG	DG	LN3M	G3ML	G3ML	LN3M	G3MPP	DG	DG	LN3M
9059	LN3M	LN3M	DG	DG	G3ML	G3MPP	G3MPP	G3ML	LN3M	DG	DG	DG
9062	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG
9064	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	-



Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
9067	DG	DG	DG	DG	DG	G3ML	LN3M	G3MPP	DG	DG	DG	DG
9068	LN3M	LN3M	LN3M	DG	DG	DG	G3ML	G3ML	DG	DG	DG	LN3M
9069	DG	DG	DG	DG	DG	DG	DG	G3MPP	DG	DG	DG	DG
9070	DG	DG	DG	LN3M	DG	G3MPP	G3ML	G3ML	G3ML	LN3M	DG	DG
9071	DG	DG	DG	DG	G3ML	G2ML	DG	G3MPP	G3MPP	LN3M	DG	LN3M
9072	DG	DG	DG	GML	DG	-	DG	DG	DG	DG	DG	DG

En la tabla III.19 se puede apreciar la función que mejor se ajusta a los datos de cada estación para cada mes. Los espacios donde se encuentra un guion no cuentan con una función de probabilidad ya que los datos para ese mes y estación eran nulos.

Posteriormente con esta información se ajustarán los datos de las estaciones para cada mes para distintos periodos de retorno, que serán de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, ya que estos son tiempos de retorno comunes en el diseño de estructuras hidráulicas, y se desea conocer el comportamiento del agua precipitada en caso de un evento extraordinario.

Una vez ajustados los datos a su respectiva función se obtuvieron gráficas como la III.13 y III.14 para poder observar gráficamente el comportamiento de los valores de precipitación y su correcto ajuste con las funciones de probabilidad correspondientes

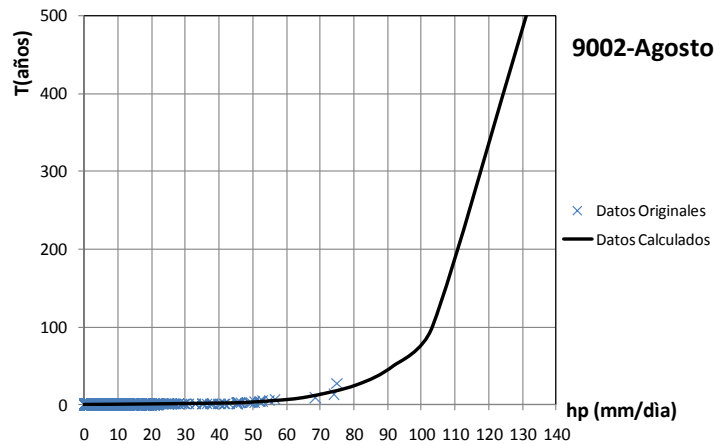


Figura III. 13. Gráfica comparativa hp-T para la estación 9002 en el mes de Agosto



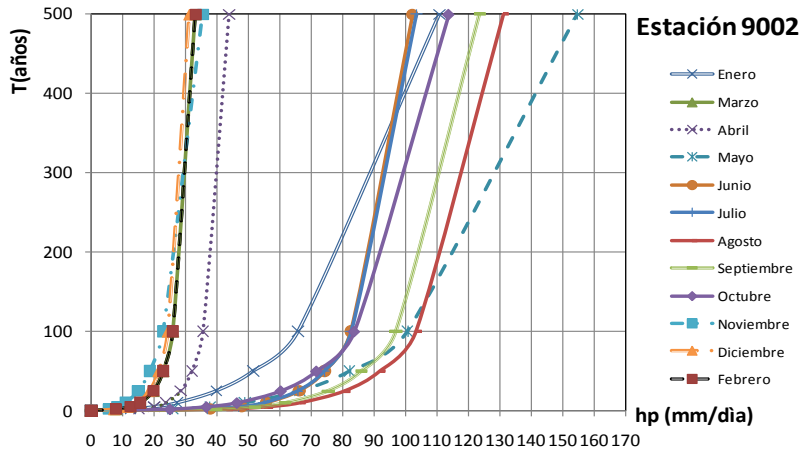


Figura III. 14. Gráfica de hp-T para todos los meses de la estación 9002

En la gráfica III.13 se puede apreciar que los datos se ajustan en su gran mayoría a la función de probabilidad por lo que el error es mínimo y se puede utilizar esta función para llevar a cabo el ejercicio. En la gráfica III.14 se puede apreciar que cada mes tiene una función diferente, así como magnitudes diferentes para los diferentes tiempos de retorno, resaltando que los meses en los que comúnmente llueve más congruentemente presentan mayores valores de precipitación.

3.5 Mapas de I-d-Tr

Para la realización del presente trabajo es necesario conocer la distribución espacial de la precipitación, dado que ésta no es uniforme, es decir, es variable en el espacio en cuanto a intensidad y volumen precipitado. Para ello se realizarán las actividades que se mencionan en el presente apartado, con la finalidad de obtener una malla de precipitación para toda la zona de estudio.

Dado que se desea obtener una malla de precipitación para toda la zona de estudio se utilizará interpolación espacial, la cual es un proceso mediante el cual se obtienen los valores de precipitación en todo el espacio entre las estaciones. El principio de la interpolación se basa en que los valores cercanos a los puntos conocidos tienen mayor probabilidad de tener magnitudes similares a las de los puntos de interés y los lejanos exactamente lo contrario. De una manera más formal, la interpolación consiste en un procedimiento para inferir valores de una variable a partir de observaciones realizadas de la misma variable en puntos cercanos al lugar de interés.

De acuerdo con Amado (2005) la hipótesis de la interpolación espacial tiene la siguiente definición.



"La observación común que, en promedio, da valores a un atributo dentro de una vecindad en el espacio tienen una fuerte probabilidad de ser similares (variables regionalizadas y dependencia espacial) y que esta probabilidad disminuye respecto a valores de una vecindad separados por una gran distancia".

Los métodos de interpolación pueden agruparse en 2 categorías: determinísticos y estocásticos. Los métodos determinísticos modelan las variables a través de una función específica y los estocásticos consideran la aleatoriedad de la variable.

En este caso para el análisis se utilizará uno de cada uno, el método de IDW como determinístico y Kriging como estocástico.

Método IDW (inverso a la distancia)

Este método es también llamado gravitacional, ya que se basa en el mismo principio que la ley de la gravitación universal. Cada punto de la muestra ejerce una influencia sobre el punto a determinar y disminuye en función de la distancia. Así cada punto vecino contará con un "peso" en la determinación de la cota del punto a interpolar, que será mayor cuanto más cerca se encuentre.

Método Kriging

Este es un método de interpolación estocástico, que además de la configuración espacial de los puntos toma en cuenta la correlación entre las diferentes variables. Este método al igual que el anterior, toma en cuenta los factores de peso de acuerdo a la distancia, pero en este caso, los factores de peso son calculados a través de un semivariograma.

Existen varios tipos de Kriging, los más utilizados son el Kriging Ordinario (KO), Kriging Simple (KS) y el Kriging Universal (KU). El más utilizado es el KO y este estima los valores de las variables en un punto de acuerdo a los valores observados en puntos cercanos; el KS además de los valores cercanos utiliza todo el conjunto de datos disponibles. El KU supone una tendencia que se amolda a una función determinística como un polinomio.

Actualmente se está empezando a utilizar un método llamado Cokriging, el cual permite incluir otras variables relacionadas con la variable principal.

Para poder llegar a la conclusión de cuál método de interpolación espacial utilizar, se llevará a cabo un ejercicio para comprobar la aplicabilidad de cada método para los datos correspondientes. Dicho ejercicio se describe a continuación:

Dado que se cuenta con los datos de lluvia para algunos años del PEMBU (el cual se describió anteriormente), se decidió comparar para ciertas fechas la lluvia de éstas con las interpolaciones realizadas con los datos originales de la base de datos del CLICOM. Es decir, de determinadas fechas en las que se presentó una afectación por huracán en el Distrito Federal, se realizó una interpolación espacial para conocer la lluvia de acuerdo a los registros de esas fechas del CLICOM. Se utilizaron los 2 métodos de interpolación el método IDW y Kriging, una vez obtenidos dichas interpolaciones se compararan para dichas fechas los registros del PEMBU y dado que ya se conocen las coordenadas de sus estaciones, los datos de éste se compararán con los que haya arrojado la interpolación para las mismas coordenadas de la estación en cuestión en la interpolación, para así



analizar por medio de diferencias estadísticas los resultados y conocer el método que presenta el menor error respecto con los datos originales del PEMBU.

Los datos con las fechas y registros se presentan a continuación.

Tabla III. 19. Huracanes y fechas para el océano Atlántico

Nombre	FECHAS							
NOTNAMED	10/09/1936	11/09/1936	12/09/1936	13/09/1936				
NOTNAMED	27/08/1938	28/08/1938	29/08/1938	30/08/1938				
NOTNAMED	29/09/1941	30/09/1941						
NOTNAMED	23/08/1944	24/08/1944						
NOTNAMED	24/08/1945	25/08/1945						
NOTNAMED	31/07/1947	01/08/1947						
NOTNAMED	13/08/1947	14/08/1947	15/08/1947	16/08/1947				
NOTNAMED	23/09/1949	24/09/1949	25/09/1949	26/09/1949				
CHARLIE	21/08/1951	22/08/1951	23/08/1951					
ALICE	24/06/1954	25/06/1954						
FLORENCE	11/09/1954	12/09/1954						
GLADYS	04/09/1955	05/09/1955	06/09/1955					
HILDA	19/09/1955	20/09/1955	21/09/1955					
JANET	28/09/1955	29/09/1955	30/09/1955					
ANNA	25/07/1956	26/07/1956	27/07/1956					
DORA	10/09/1956	11/09/1956	12/09/1956					
BEULAH	15/06/1959	16/06/1959	17/06/1959	18/06/1959				
NOTNAMED	22/06/1960	23/06/1960						
INGA	05/11/1961	06/11/1961	07/11/1961	08/11/1961				
INEZ	08/10/1966	09/10/1966	10/10/1966	11/10/1966				
BEULAH	18/09/1967	19/09/1967	20/09/1967					
FERN	01/10/1967	03/10/1967	04/10/1967					
ELLA	11/09/1970	12/09/1970	13/09/1970					
EDITH	13/09/1971	14/09/1971	15/09/1971					
FIFI	20/09/1974	21/09/1974	22/09/1974					
CAROLINE	30/08/1975	31/08/1975	01/09/1975					
ANITA	01/09/1977	02/09/1977	03/09/1977					
BESS	06/08/1978	07/08/1978	08/08/1978					
HERMINE	23/09/1980	24/09/1980	25/09/1980					
EDOUARD	14/09/1984	15/09/1984						
DEBBY	01/09/1988	02/09/1988	03/09/1988	04/09/1988	05/09/1988			
GILBERT	15/09/1988	16/09/1988	17/09/1988					
DIANA	06/08/1990	07/08/1990	08/08/1990	09/08/1990				
GERT	19/09/1993	20/09/1993	21/09/1993					
ROXANNE	13/10/1995	14/10/1995	15/10/1995	16/10/1995	17/10/1995	18/10/1995	19/10/1995	20/10/1995



Nombre	FECHAS						
DOLLY	22/08/1996	23/08/1996	24/08/1996				
BRET	18/08/1999	19/08/1999	20/08/1999	21/08/1999			
KEITH	04/10/2000	05/10/2000	06/10/2000				
EMILY	19/07/2005	20/07/2005	21/07/2005				
GERT	23/07/2005	24/07/2005	25/07/2005				
STAN	03/10/2005	04/10/2005	05/10/2005				

Tabla III. 20. Huracanes y fechas para el océano Pacífico

Nombre	FECHAS	
NOTNAMED	16/06/1950	
NOTNAMED	02/10/1953	
NOTNAMED	20/06/1954	21/06/1954
NOTNAMED	17/09/1957	18/09/1957
NOTNAMED	06/06/1958	
NOTNAMED	30/09/1958	
NOTNAMED	05/09/1959	
NOTNAMED	28/10/1959	
DIANA	17/08/1960	
ESTELLE	31/08/1960	
FERNANDA	05/09/1960	
IVA	10/06/1961	11/06/1961
TARA	11/11/1961	12/11/1961
EMILY	29/06/1963	30/06/1963
WALLIE	17/06/1965	18/06/1965
ADELE	24/06/1966	
MAGGIE	18/10/1966	
REBECCA	07/10/1968	
AGATHA	24/05/1971	25/05/1971
BRIDGET	16/06/1971	17/06/1971
LILY	29/08/1971	
NANETTE	05/09/1971	
OLIVIA	24/09/1971	
PRISCILLA	09/10/1971	
ANNETTE	08/06/1972	
BERNICE	22/06/1973	23/06/1973
CLAUDIA	28/06/1973	29/06/1973
DOLORES	16/06/1974	
ORLENE	21/09/1974	
MADLINE	08/10/1976	

Nombre	FECHAS	
OTIS	27/10/1981	
PAUL	22/09/1982	
ADOLPH	27/05/1983	
LORENA	06/09/1983	
TICO	14/10/1983	
ODILE	21/09/1984	22/09/1984
AGATHA	27/05/1986	
NEWTON	19/09/1986	
EUGENE	23/07/1987	
ALETTA	18/06/1988	
COSME	22/06/1989	
DOUGLAS	20/06/1990	
IGNACIO	18/09/1991	
VIRGIL	03/10/1992	
WINIFRED	10/10/1992	
CALVIN	06/07/1993	
HILARY	19/08/1993	
LIDIA	10/09/1993	
ALMA	23/06/1996	24/06/1996
BORIS	29/06/1996	30/06/1996
DOUGLAS	30/07/1996	
FAUSTO	10/09/1996	
HERNAN	02/10/1996	
OLAF	30/09/1997	
PAULINE	09/10/1997	10/10/1997
RICK	09/11/1997	
LESTER	19/10/1998	
JULIETTE	23/09/2001	
CARLOS	27/06/2003	28/06/2003
OLAF	04/10/2003	



Nombre	FECHAS		
ALETTA	30/05/1978	31/05/1978	01/06/1978
ANDRES	03/06/1979	04/06/1979	
IGNACIO	30/10/1979		

Nombre	FECHAS		
LESTER	12/10/2004	13/10/2004	
DORA	04/07/2005	05/07/2005	

Los resultados de la comparación de los registros de lluvia se muestran a continuación en las siguientes tablas.



Tabla III. 21. Errores del ejercicio para el método Kriging e IDW.

Kriging			IDW		
Fecha	Huracán	Error total	Fecha	Huracán	Error Total
22/08/1996	DOLLY	35303.646	22/08/1996	DOLLY	35304.523
23/08/1996	DOLLY	35339.887	23/08/1996	DOLLY	35335.814
24/08/1996	DOLLY	35313.63	24/08/1996	DOLLY	35308.735
18/08/1999	BRET	36390	18/08/1999	BRET	36390
19/08/1999	BRET	36391	19/08/1999	BRET	36391
20/08/1999	BRET	36392	20/08/1999	BRET	36392
21/08/1999	BRET	36393	21/08/1999	BRET	36393
04/10/2000	KEITH	36803.002	04/10/2000	KEITH	36803.016
05/10/2000	KEITH	40111.828	05/10/2000	KEITH	40111.231
06/10/2000	KEITH	36870.781	06/10/2000	KEITH	36857.87
19/07/2005	EMILY	40120.206	19/07/2005	EMILY	40135.03
20/07/2005	EMILY	38743.88	20/07/2005	EMILY	38715.449
21/07/2005	EMILY	38603.829	21/07/2005	EMILY	38612.632
23/07/2005	GERT	38556.704	23/07/2005	GERT	38559.793
24/07/2005	GERT	38563.265	24/07/2005	GERT	38567.065
25/07/2005	GERT	38579.076	25/07/2005	GERT	38595.913
03/10/2005	STAN	38656.76	03/10/2005	STAN	38652.978
04/10/2005	STAN	38824.049	04/10/2005	STAN	38850.681
05/10/2005	STAN	38785.574	05/10/2005	STAN	38798.07
23/06/1996	ALMA	35244.939	23/06/1996	ALMA	35243.585
24/06/1996	ALMA	35241.873	24/06/1996	ALMA	35241.493
29/06/1996	BORIS	35247.778	29/06/1996	BORIS	35245.682
30/06/1996	BORIS	35268.942	30/06/1996	BORIS	35267.121
30/07/1996	DOUGLAS	35334.245	30/07/1996	DOUGLAS	35335.326
10/09/1996	FAUSTO	35319.978	10/09/1996	FAUSTO	35325.415
02/10/1996	HERNAN	35346.664	02/10/1996	HERNAN	35348.338
30/09/1997	OLAF	35748.276	30/09/1997	OLAF	35748.926
09/10/1997	PAULINE	35747.588	09/10/1997	PAULINE	35746.851
10/10/1997	PAULINE	35851.72	10/10/1997	PAULINE	35852.59
09/11/1997	RICK	35743.001	09/11/1997	RICK	35743.188
19/10/1998	LESTER	36094	19/10/1998	LESTER	36093.867
23/09/2001	JULIETTE	37218.336	23/09/2001	JULIETTE	37198.329
27/06/2003	CARLOS	37810.91	27/06/2003	CARLOS	37816.298
28/06/2003	CARLOS	37857.833	28/06/2003	CARLOS	37861.293
04/10/2003	OLAF	37898.182	04/10/2003	OLAF	37914.305
12/10/2004	LESTER	38461.519	12/10/2004	LESTER	38463.244
13/10/2004	LESTER	38333.811	13/10/2004	LESTER	38310.109
04/07/2005	DORA	38594.031	04/07/2005	DORA	38599.664
05/07/2005	DORA	38742.328	05/07/2005	DORA	38733.125
ERROR		6617.069	ERROR		6632.548



El resultado que dicho ejercicio arroja dice que los errores son de:

- **Kriging: 4323.96337**
- **IDW: 4279.978**

La diferencia entre ambos es muy pequeña (43.985), por lo que es necesario recurrir además a otro criterio de decisión para poder decidir que método utilizar. Por lo que esto se hará de manera visual y gráfica.

Analizando visualmente la distribución de los datos se pueden observar ciertas diferencias entre cada uno de los métodos como se ve en las siguientes figuras.

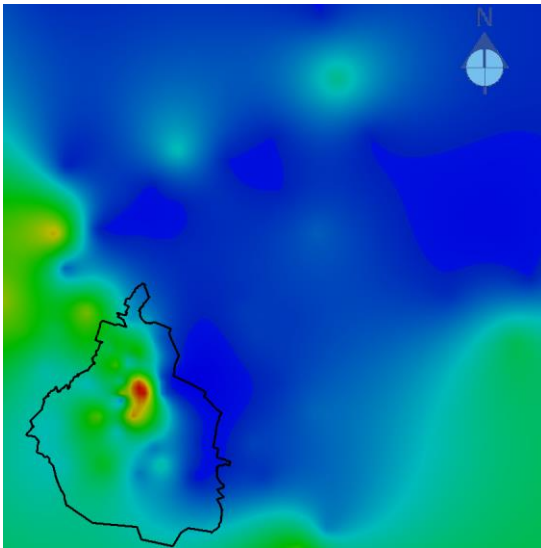


Figura III. 15. Océano Atlántico-Anita Método Kriging

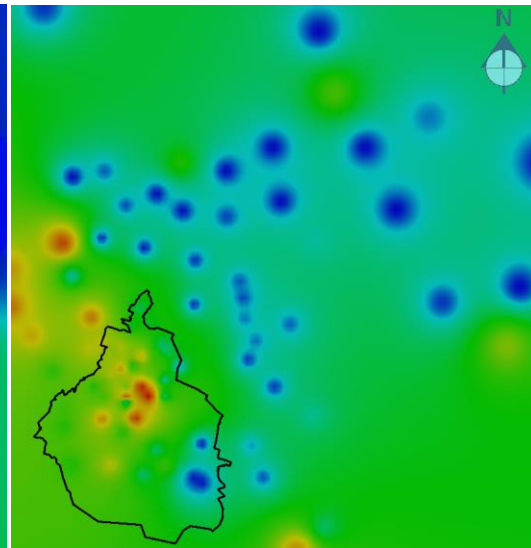


Figura III. 16. Océano Atlántico-Anita Método IDW

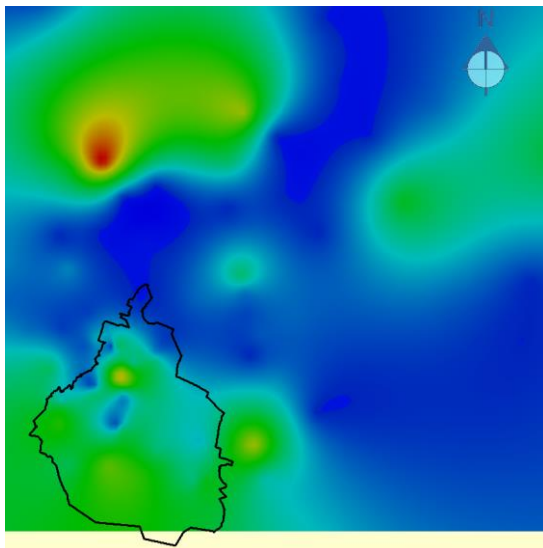


Figura III. 17. Océano Pacífico-Aletta Método Kriging

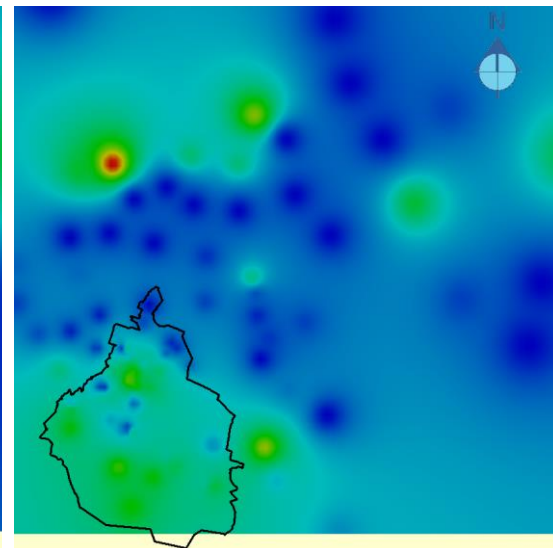


Figura III. 18. Océano Pacífico-Aletta Método IDW

En las figuras III.15, III.16, III.17 y III.18 se puede observar claramente que la distribución en el caso del método IDW es muy local formando pequeñas manchas de lluvia y en el caso del Kriging se puede observar que la distribución es mucho más gradual y no tan regional, presentando un comportamiento más apegado a la verdadera distribución de las manchas de lluvia. Es decir, la distribución espacial real de la lluvia es más parecida a la que se presenta con el método Kriging. Además de que al ser el Kriging un método probabilístico resulta mucho más realista que el IDW que es un método lineal y que varía únicamente en base a la distancia sin tomar otros factores en cuenta.

Posteriormente para la mejor observación de la distribución de la lluvia en la zona de estudio se elaboró un script para el software Surfer, mediante el cual se obtuvo la malla de precipitación correspondiente para todos los meses para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años. La distribución de la lluvia se puede apreciar más claramente utilizando isoyetas, como las que se muestran a continuación en la figura III.19.

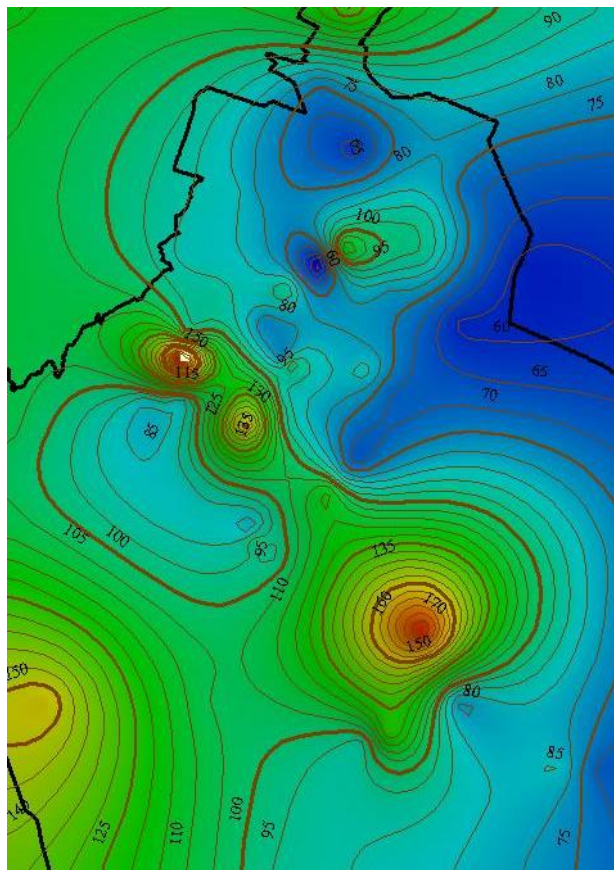


Figura III. 19. Isoyetas para Julio para 500 años

En la figura III.19 se puede apreciar la distribución espacial que tendría una lluvia con un periodo de retorno de 500 años para el mes de Julio con sus correspondientes isoyetas, tomando como base, los datos proporcionados anteriormente.

Capítulo 4

Determinación de volúmenes de escurrimiento

4.1 Descripción de la cuenca

Zona de estudio

Para el presente trabajo, dada la complejidad de manejar todos los datos que resultarían de aplicar la metodología a toda la Ciudad de México, se realizará un ejercicio aplicándola solamente en una delegación, la delegación Venustiano Carranza, ya que es una de las zonas más propensas a sufrir inundaciones al ser una de las zonas más bajas de la ciudad, además de contar con una de las obras de infraestructura más importantes de la ciudad que es el aeropuerto, por lo que es importante conocer la cantidad de lluvia y la posible afectación que ésta tendría en dicha delegación.

Dadas las condiciones mencionadas en el párrafo anterior, para el presente trabajo se utilizarán solamente las subcuencas que escurren dentro de la delegación Venustiano Carranza, que son las que se mencionan en la tabla IV.2 y se pueden ver más claramente en la figura IV.1.

Tabla IV. 1. Subcuencas correspondientes de la delegación Venustiano Carranza

Cuencas
113
121
122
123
124
130
131
132
133
134



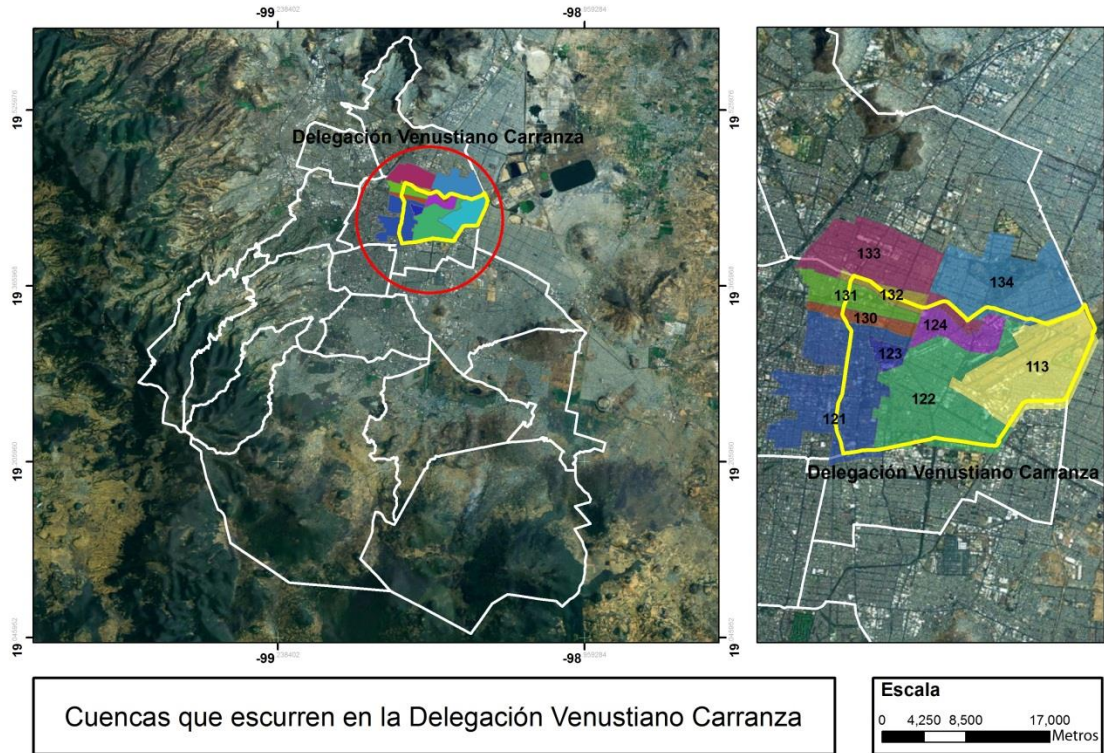


Figura IV. 1. Subcuenas correspondientes a la delegación Venustiano Carranza

4.2 Propiedades hidrológicas

Es necesario analizar las características de la subcuenca de estudio ya que cada cuenca y subcuenca tiene características diferentes, por lo que es de gran importancia conocer las características hidrológicas de esta zona, ya que son las que determinan el comportamiento del agua precipitada,

Escurrimiento

Se define como escurrimiento al agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de una cuenca (Aparicio, 2008).

Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan, posteriormente se comienzan a llenar las depresiones del terreno y al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. Este escurrimiento llamado “flujo en la superficie del terreno” se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos; en su trayectoria hacia la corriente más próxima, el agua se sigue infiltrando e incluso evaporando en pequeñas cantidades. Ya que llega a un cauce bien definido se convierte en “escurrimiento en corrientes”. A la unión de estos dos flujos se le llama “escurrimiento superficial” (Aparicio, 2008).

Relación Lluvia- Escurrimiento

Dado que es muy común que no se cuente con registros adecuados de escurrimiento para así poder diseñar u operar obras hidráulicas, existen métodos para relacionar la lluvia con el escurrimiento, dado que los registros de lluvia son mucho más comunes y fáciles de obtener, además de que estos no varían tan fácil como los de escurrimiento debido a talas, construcciones o cambios en el suelo.

Para ello normalmente se cuenta con valores como son:

- Área de la cuenca
- Altura de precipitación
- Características generales de la cuenca
- Distribución de la lluvia en el tiempo
- Distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca

Existe una gran variedad de métodos para analizar la relación entre la lluvia y su escurrimiento. Los métodos más comunes se mencionan a continuación:

- Métodos de envolventes

Estos métodos toman en cuenta sólo el área de la cuenca, son bastante útiles cuando no se cuenta con mucha información. La idea principal de estos métodos es relacionar el gasto máximo Q con el área de la cuenca A_c en la forma:

$$Q = \alpha A_c^\beta \quad (4.1)$$

Donde Q es el gasto máximo, y α y β son parámetros empíricos.

De acuerdo con Aparicio (2008) existen muchas fórmulas de este tipo y las más usadas en México son las de Creager y Lowry.

Donde Creager dice:

$$q = 1.303 C_c (0.386 A_c)^\alpha A_c^{-1} \quad (4.2)$$

Tomando C_c como un coeficiente empírico y A_c en km^2 .



La fórmula de Lowry es :

$$q = \frac{C_L}{(A_c + 259)^{0.85}} \quad (4.3)$$

Donde C_L es otro coeficiente empírico.

Para usar estas fórmulas los valores de C_c y C_L se determinan por regiones. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ha calculado los valores de C_c y C_L para las 37 regiones en que ha dividido a la república, dichos valores se pueden consultar en Aparicio (2008).

➤ 2. La fórmula Racional

Éste es el método más antiguo de la relación lluvia- escurrimiento, data entre 1851 y 1889. Este modelo toma el área de la cuenca y la altura o intensidad de la precipitación y es la fórmula más común para el diseño de drenajes urbanos.

$$Q_p = C_E I A_c \quad (4.4)$$

En este caso:

C_E = Coeficiente de escurrimiento y representa la fracción de lluvia que forma parte del escurrimiento directo.

Q_p = Gasto máximo producido por una lluvia de intensidad I en una cuenca de área A_c .

I = Intensidad de lluvia que se presenta en la cuenca.

A_c = Es el área de la cuenca en m^2

➤ 3. Hidrograma unitario

Este método fue desarrollado por Sherman en 1932 y toma en cuenta la variabilidad de las características de una cuenca, toma en cuenta la altura de precipitación y el área de la cuenca, además de características adicionales como la forma, pendiente, vegetación, etc. aunque estas últimas no las toma como tal de manera explícita (Aparicio, 2008).

Este método se basa en el concepto de “hidrograma unitario” que se define como el hidrograma de escurrimiento directo que se produce por una lluvia efectiva o en exceso de lámina unitaria repartida uniformemente en la cuenca. Este método se basa en las siguientes hipótesis:

- **Tiempo base constante:** Para una cuenca la duración del escurrimiento directo es la misma para todas las tormentas con la misma duración de lluvia efectiva independientemente del volumen total escurrido



- **Linealidad o proporcionalidad:** Las ordenadas de todos los hidrogramas de escurrimiento directo con el mismo tiempo base, son directamente proporcionales al volumen total de escurrimiento directo, por lo que sus ordenadas son proporcionales entre sí.
- **Superposición de causas y efectos:** EL hidrograma que resulta de un periodo de lluvia dado puede superponerse a hidrogramas resultantes de periodos de lluvias precedentes.

Tormentas de diseño

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación que se emplea en el diseño de un sistema hidrológico (Chow, 1988). Las tormentas de diseño se consideran la entrada al sistema, en este caso el de lluvia-escurrimiento. Se define a partir de una lámina de precipitación total, un patrón temporal y un mapa de distribución espacial de la lluvia.

Es decir la tormenta de diseño se considera una lámina de lluvia uniforme en una cierta área durante un determinado tiempo que dure la tormenta, lo cual al considerarse para conocer los posibles escurrimientos multiplicándose por el área daría como resultado una cantidad de agua diferente de la que podría presentarse en una lluvia real. Al considerar una tormenta de diseño se realizan ciertas conjeturas, como que la lluvia es de la misma intensidad en toda la tormenta, así como la duración. Esto obedeciendo a que en una tormenta real difícilmente se presentan esas condiciones, en el caso real la intensidad puede variar en unos cuantos metros, y la forma de la tormenta puede variar conforme al tiempo.

En los últimos años se han realizado nuevos estudios y se han generado nuevos métodos para estimar tormentas de diseño y obtener resultados más cercanos a la realidad. Para ello hay que tomar algo llamado variabilidad espacial de la lluvia que ya se mencionó a grandes rasgos anteriormente. Básicamente se refiere a la variación que existe en las propiedades estadísticas de la lluvia espacialmente, más concretamente puede referirse a dos aspectos básicos; la variabilidad de las propiedades estadísticas de la lluvia entre diferentes regiones geográficas y la no uniformidad de la distribución espacial de la lluvia sobre las cuencas, siendo esta última la de mayor interés para el presente trabajo.

En este caso para poder comprender la variabilidad espacial de la lluvia en el presente estudio se debe considerar que la lluvia tiene distintos orígenes y características; un claro ejemplo de ello son las lluvias convectivas que son muy comunes en la Ciudad de México, las cuales tienden a ser muy locales y de extensión reducida. De acuerdo con Garcés (2008) dos cuencas diferentes pueden tener la misma precipitación media real pero su distribución espacial puede ser completamente diferente debido a que la precipitación se concentra en diferentes puntos dentro de la zona lo que provoca diferentes respuestas a la salida de la cuenca o diferentes gastos en su sistema de drenaje. Para poder manejar esto de mejor manera surgen conceptos como el Factor de Reducción de Área, el cual se describe a continuación.



Factor de Reducción de Área

La variabilidad espacial tiene una gran influencia al considerar el volumen de ésta que entra a la cuenca ya que puede implicar un cálculo de gastos diferente a los verdaderos, para ello desde hace varios años surgió el concepto de Factor de reducción por área el cual permite obtener mejores resultados en los modelos de lluvia-escorrentamiento.

El Factor de Reducción por Área es un coeficiente que se emplea para convertir precipitaciones puntuales en áreas y es una forma práctica de considerar la no simultaneidad de la lluvia máxima en las estaciones dentro del área y reducir la lámina de precipitación media sobre una determinada área conforme aumenta el área (Chulsang, 2007).

De una manera más concreta Franco (1998) dice que este factor define la altura de precipitación en función del área de la cuenca.

Es decir que este factor permite reducir la cantidad de agua que se consideraría en una lámina uniforme de lluvia para toda la cuenca, esto obedeciendo a la variabilidad espacial de la lluvia que habla de diferentes intensidades en la cuenca, lo que arrojaría una menor cantidad de agua comparada con la que se obtendría normalmente utilizando un solo valor de precipitación.

Para el cálculo de dicho factor se utiliza la siguiente expresión

$$FRA = \frac{P_a}{P_p} \quad (4.5)$$

Tomando:

P_a = Precipitación media por área para una determinada zona y duración

P_p = Media de los valores puntuales para la misma zona y duración que P_a

De acuerdo con los valores obtenidos por Franco (1998) (tabla IV.3), se realizó una interpolación para conocer los valores correspondientes para cada cuenca. Los valores resultantes de la aplicación del factor de reducción para la zona de estudio se muestran en la tabla IV.4.



Tabla IV. 2. Coeficientes de reducción de área propuestos por Franco (1998)

Área (km ²)	Coefficiente
1	1
135	0.86
143	0.84
323	0.74
676	0.64
1352	0.58
2400	0.49
4800	0.45
9600	0.41

Tabla IV. 3. Coeficientes de Reducción por Área para cada cuenca

Subcuenca	C _A
113	0.99468573
121	0.98647704
122	0.988303
123	0.99904593
124	0.99727205
130	0.99845481
131	0.99694074
132	0.99863111
133	0.99107111
134	0.98956186

Coeficiente de Escurrimiento

Dado que no toda el agua que llueve escurre, sino que ésta se infiltra, encharca, evapora, etc. se debe de conocer cuanta de esta agua en realidad va a escurrir. En ese caso es importante conocer el volumen del agua que escurre, ya que es la que puede llegar a producir inundaciones y afectaciones. Y dado que se trata de una cuenca urbana el comportamiento es bastante diferente al de una cuenca regular, por lo que hay q conocer el comportamiento que puede tener el agua, ya que en este caso existe un mayor número de áreas impermeables, así como pendientes y construcciones. Dada ésta situación se han realizado varios estudios al respecto y para ello se utilizará el criterio de (Domínguez, 1997), para obtener los coeficientes de escurrimiento, el cual se describe a continuación.

$$C_E = 0.45I_U \frac{A_U}{A_T} + C_{NU} \frac{A_{NU}}{A_T} \quad (4.6)$$



Donde las variables son las siguientes:

C_E Coeficiente de escurrimiento asociado a cada subcuenca

A_T Área total de la subcuenca

A_U Área urbanizada de la cuenca

A_{NU} Área no urbanizada de la cuenca

C_{NU} Coeficiente para las áreas no urbanizadas (Domínguez, 1997)

I_U Índice de urbanización que varía entre 0.6 y 1.0 según la densidad de urbanización

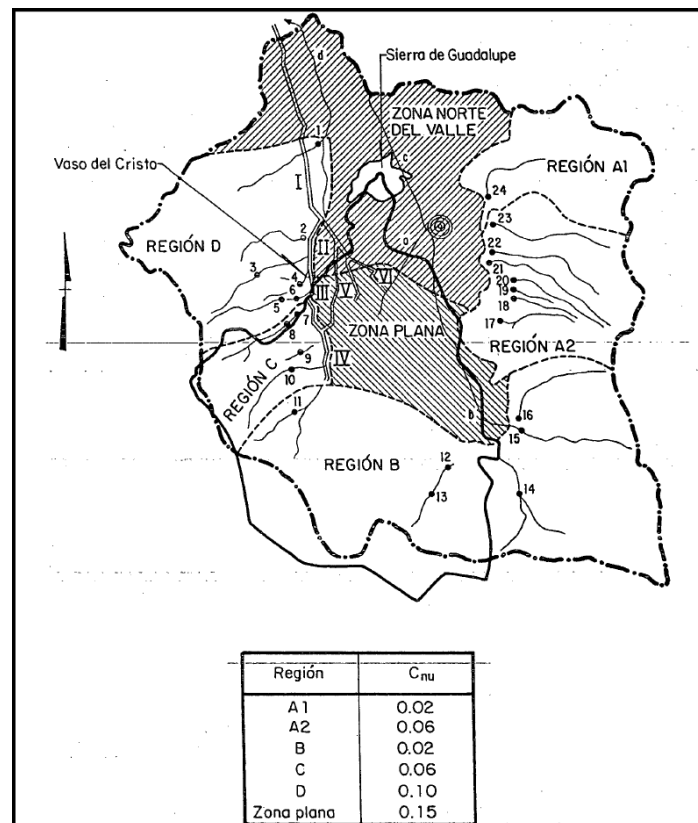


Figura IV. 2. Coeficiente de Escurrimiento no urbano (Domínguez, 1997)

Para el caso del área para usarse con la fórmula racional, estas se pueden encontrar en la tabla IV.3 de este capítulo. Los coeficientes de escurrimiento utilizados son los correspondientes a Domínguez (2006).

Para los casos de los diferentes factores de ajuste como son el de duración y el periodo de retorno, ninguno de ellos se implementará en el ejercicio por los motivos que se describen a continuación.



En el caso de los factores de duración y periodo de retorno, dichos factores tienen la función de llevar ciertos datos con características particulares a una lluvia de una determinada duración y periodo de retorno de interés para el diseño de estructuras hidráulicas como drenajes urbanos. Se trabajará con varios periodos de retorno y una duración de 24 horas para así poder conocer y cuantificar la precipitación durante dicho tiempo, así como sus posibles repercusiones en la zona de estudio para diversos escenarios.

Se pretende obtener la precipitación para la aplicación de la fórmula racional, para ello se utilizará el método tradicional utilizando las mallas de precipitación previamente obtenidas en el capítulo 3.

4.3 Metodología tradicional

La metodología tradicional consiste en el uso de la fórmula racional, esto para así poder conocer el escurrimiento presente en la delegación Venustiano Carranza, para ello ya se cuenta con todos los elementos necesarios para su aplicación, los cuales ya se definieron previamente y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla IV. 4. Datos correspondientes a las estaciones analizadas

Cuenca	A_t (km ²)	C_E	C_A
113	5.12	0.45	0.9946
121	13.04	0.45	0.9864
122	11.27	0.45	0.9883
123	0.92	0.45	0.9990
124	2.63	0.45	0.9972
130	1.49	0.45	0.9984
131	2.95	0.4	0.9969
132	1.32	0.4	0.9986
133	8.61	0.4	0.9910
134	10.06	0.36	0.9895

Donde

A_t = Área total de la subcuenca

C_E = Coeficiente de escurrimiento

C_A = Coeficiente de reducción por área



Datos de Precipitación

Para obtener dichos datos se utilizarán las mallas de precipitación previamente obtenidas en el capítulo 3, para ello se pretende conocer la precipitación media por subcuenca, por lo que solamente se utilizarán las correspondientes a la delegación Venustiano Carranza.

Dado que la delegación Venustiano Carranza es una de las zonas más bajas del D.F. existen varias consideraciones importantes para la realización del estudio, ya que se desea conocer la existencia de posibles manchas de inundación y su localización, es importante tomar en cuenta tanto la topografía como la presencia o existencia de medios físicos, como bardas, que puedan alterar el comportamiento del agua, para ello en este ejercicio se hicieron algunas consideraciones respecto al aeropuerto de la Ciudad de México.

Como se puede observar en la figura II.7 el aeropuerto es el punto más bajo de la delegación Venustiano Carranza, por lo que se esperaría que el agua escurriera hacia éste y ahí se acumulará

Existe alrededor del aeropuerto una barrera física de gran importancia, que es una barda perimetral de altura variable, la cual se construyó con la finalidad de no permitir el acceso a cualquier persona ajena al aeropuerto, además de ser necesaria para protección de éste, dada la existencia de equipo e instalaciones de gran importancia, como aviones, equipo de telecomunicaciones, etc.



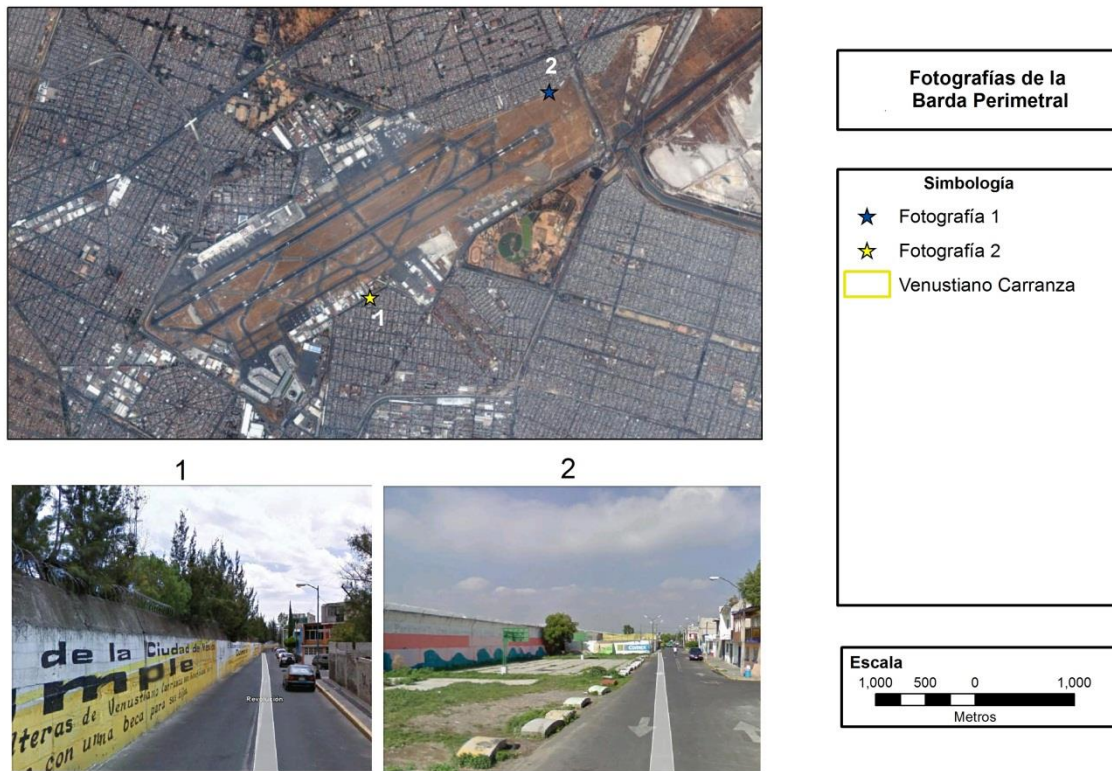


Figura IV. 2. Fotografías de la barda perimetral del aeropuerto

Dada la metodología a emplear en el presente trabajo, la topografía es el factor más importante para la localización de las manchas de inundación. Es importante mencionar que se pretende localizar las zonas más susceptibles a sufrir afectaciones en cuanto a calles, casas, etc., por lo que la presencia de la barda afectaría el escurrimiento del agua y la mantendría fuera de los límites del aeropuerto, lo cual inundaría zonas fuera de éste.. Para incluir el efecto de la barda perimetral de aeropuerto en la estimación de las zonas con riesgo de inundación en la zona de estudio, con ayuda del SIG, se trazó un polígono equivalente a la barda perimetral del aeropuerto, esto con la finalidad de que los puntos más bajos en cuanto a topografía se encontraran fuera de éste, como sucede en realidad.

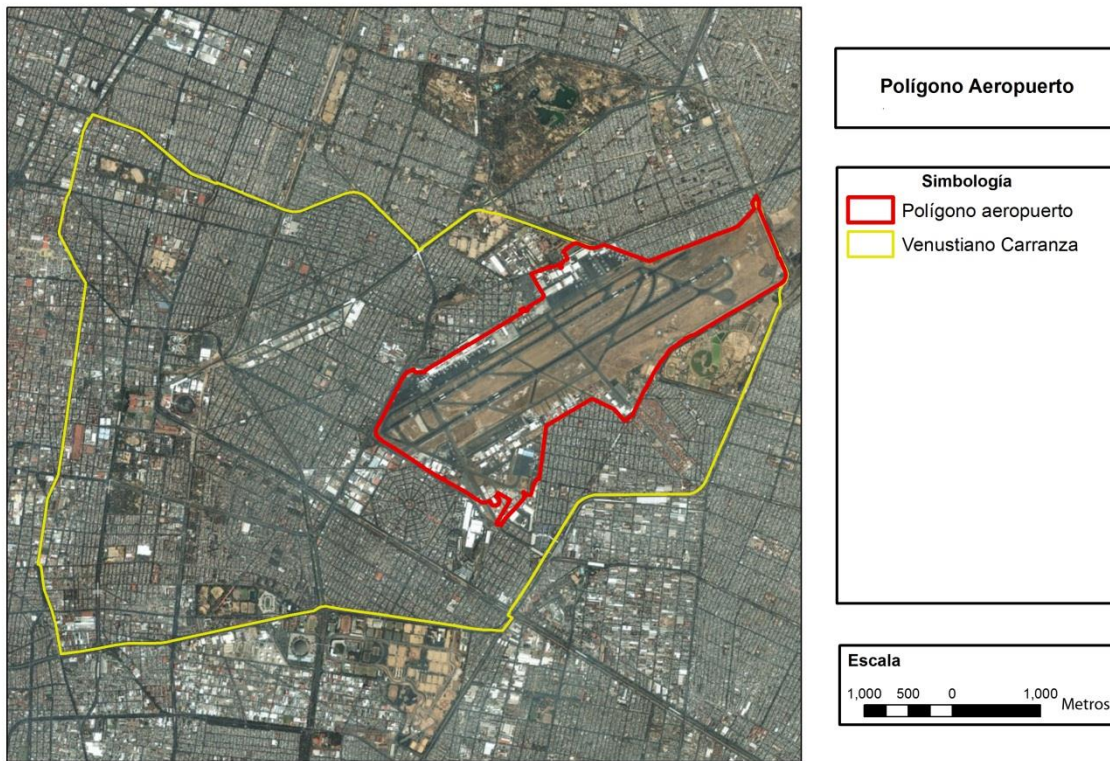


Figura IV. 4. Polígono considerado para el aeropuerto

Cabe mencionar que el aeropuerto al ser infraestructura de gran importancia para el país, cuenta con instalaciones necesarias para evitar inundaciones, por lo tanto, el análisis de manchas de inundación excluye las zonas que se encuentran dentro de dicho polígono y se estudiarán principalmente las zonas fuera del aeropuerto, donde la población en general resulta afectada y donde se presentan importantes pérdidas materiales y personales en la zona de estudio

Para ello, las características de las subcuencas fueron modificadas para ser congruentes con dicho criterio, por lo que datos como el área, coeficientes de reducción por área, etc. Cambiaron para adecuarse a las consideraciones antes mencionadas para quedar como se muestra en la tabla IV.6.

Los datos de las mallas de precipitación se encuentran en formato raster por lo que se conocen varios valores de lluvia dentro de cada una de las subcuencas, utilizando el programa Arcmap de ESRI se obtuvieron las principales estadísticas de precipitación para cada una de las subcuencas en cuestión, para cada uno de los meses y periodos de retorno. Estas se obtienen en un formato como el mostrado a continuación en en la tabla IV.6.

Tabla IV. 5. Estadísticas obtenidas para un periodo de retorno de 500 años para el mes de Agosto

Subcuenca	Contados	Min.	Max.	Rango	Media	Desv. Stdar.	Suma
113	25	81.511	100.856	19.345	86.182	3.779845	2154.551
121	64	79.618	125.266	45.648	106.309	11.192108	6803.7529
122	57	74.812	123.522	48.71	100.158	13.016921	5709.022
123	5	118.044	121.315	3.271	119.283	1.130759	596.41699
124	13	96.418	117.081	20.663	105.939	5.948446	1377.2109
130	7	110.617	114.111	3.494	112.094	1.160751	784.66101
131	14	94.19	110.846	16.656	103.955	5.074786	1455.375
132	8	98.49	105.586	7.096	102.484	2.128077	819.875
133	38	83.071	103.888	20.817	94.9926	4.862759	3609.717
134	48	89.162	100.922	11.76	94.28	2.936596	4525.4409

Para conocer el escurrimiento producido por la lluvia se procedió a aplicar la formula racional de la siguiente manera a cada una de las subcuencas.

$$Q_p = C_E P_m A_c C_A \quad (4.7)$$

Donde:

P_m = Valor promedio de precipitación para cada una de las subcuencas analizadas.

C_A = Coeficiente de reducción por área correspondiente a la subcuenca

C_E = Coeficiente de escurrimiento

Q_p = Gasto máximo producido por una lluvia de intensidad en una cuenca de área A_c .

A_c = Área de la cuenca en m^2

Utilizando esta fórmula se obtuvieron los volúmenes de escurrimiento para todos los meses y para todos los periodos de retorno manejados con anterioridad, esto con la finalidad de obtener posteriormente los tirantes de inundación, este procedimiento se mostrará en el siguiente capítulo. A continuación se muestra el formato en el cual se obtuvieron dichos resultados para todos los meses para un periodo de retorno de 500 años.

El resto de los volúmenes para todos los tiempos de retorno se pueden consultar en los anexos del presente trabajo.



Tabla IV. 6. Volúmenes resultantes para un periodo de retorno de 500 años para todas las subcuencas

TR	MES	Subcuenca	Volumen	TR	MES	Subcuenca	Volumen
500	Enero	113	136369.72	500	julio	113	144319.437
500	Enero	121	321469.63	500	julio	121	512817.25
500	Enero	122	301557.29	500	julio	122	386528.7988
500	Enero	123	23932.261	500	julio	123	39380.90419
500	Enero	124	61970.976	500	julio	124	101483.2598
500	Enero	130	40747.307	500	julio	130	65158.92725
500	Enero	131	75161.072	500	julio	131	107131.1595
500	Enero	132	28117.519	500	julio	132	49114.82016
500	Enero	133	190413.21	500	julio	133	286219.8712
500	Enero	134	190800.34	500	julio	134	263938.978
500	Febrero	113	64430.799	500	Agosto	113	160686.05
500	Febrero	121	181923.34	500	Agosto	121	472108.4956
500	Febrero	122	128868.92	500	Agosto	122	365836.8596
500	Febrero	123	10773.252	500	Agosto	123	33646.35382
500	Febrero	124	29613.283	500	Agosto	124	99432.54014
500	Febrero	130	23397.288	500	Agosto	130	64798.37137
500	Febrero	131	44932.806	500	Agosto	131	121069.9526
500	Febrero	132	14845.095	500	Agosto	132	51970.81515
500	Febrero	133	102393.33	500	Agosto	133	331512.7865
500	Febrero	134	109117.42	500	Agosto	134	313283.4008
500	Marzo	113	112628.66	500	Septiembre	113	164370.9365
500	Marzo	121	240992.6	500	Septiembre	121	552031.8099
500	Marzo	122	244882.4	500	Septiembre	122	507370.789
500	Marzo	123	20082.508	500	Septiembre	123	47888.18192
500	Marzo	124	53133.702	500	Septiembre	124	129867.7318
500	Marzo	130	27565.846	500	Septiembre	130	67350.75357
500	Marzo	131	51424.465	500	Septiembre	131	107725.6553
500	Marzo	132	21519.568	500	Septiembre	132	54168.96906
500	Marzo	133	163294.94	500	Septiembre	133	311878.352
500	Marzo	134	141436.56	500	Septiembre	134	322994.8256
500	Abril	113	91551.302	500	Octubre	113	121050.2463
500	Abril	121	450085.87	500	Octubre	121	451058.2709
500	Abril	122	291408.98	500	Octubre	122	279980.8068
500	Abril	123	26895.244	500	Octubre	123	24934.01237
500	Abril	124	54558.665	500	Octubre	124	63299.86155
500	Abril	130	49872.004	500	Octubre	130	49720.41634
500	Abril	131	93461.926	500	Octubre	131	94679.65526
500	Abril	132	33268.161	500	Octubre	132	35132.28283
500	Abril	133	232253.45	500	Octubre	133	261798.3415
500	Abril	134	173487.15	500	Octubre	134	227896.2226
500	Mayo	113	115096.66	500	Noviembre	113	41039.86238
500	Mayo	121	418283.2	500	Noviembre	121	205597.6479
500	Mayo	122	381786.37	500	Noviembre	122	133924.6438
500	Mayo	123	31890.435	500	Noviembre	123	12680.38481
500	Mayo	124	80423.203	500	Noviembre	124	30282.35972
500	Mayo	130	42947.166	500	Noviembre	130	21577.68348
500	Mayo	131	61987.015	500	Noviembre	131	35868.8886
500	Mayo	132	29901.827	500	Noviembre	132	16434.17607
500	Mayo	133	175437.57	500	Noviembre	133	108902.85
500	Mayo	134	198797.8	500	Noviembre	134	94823.76242
500	junio	113	197680.91	500	Diciembre	113	89878.14408
500	junio	121	615383.21	500	Diciembre	121	151005.5466
500	junio	122	502423.31	500	Diciembre	122	217548.3106
500	junio	123	49336.213	500	Diciembre	123	22924.05745
500	junio	124	125062.07	500	Diciembre	124	62557.50459
500	junio	130	75043.18	500	Diciembre	130	24541.5932
500	junio	131	122292.05	500	Diciembre	131	35583.69871
500	junio	132	54037.677	500	Diciembre	132	14908.43351
500	junio	133	324233.23	500	Diciembre	133	89894.10159
500	junio	134	338060.16	500	Diciembre	134	134396.9329



Capítulo 5

Determinación de las manchas de inundación

5.1 Antecedentes de trabajos previos

Debido a la importancia de las posibles afectaciones por inundación, es importante conocer las zonas con mayor predisposición a ello, por lo que se analizarán las zonas en las que de acuerdo con los volúmenes escurridos obtenidos en el capítulo anterior, se podrían presentar inundaciones. Para ello, se consideran las condiciones actuales de terreno y no se considera la existencia de drenaje, esto para conocer la susceptibilidad de ciertas zonas a inundarse y así poder conocer las zonas de posible afectación independientemente del funcionamiento o existencia de éste ,para así con base en los resultados obtenidos poder tomar las acciones preventivas o correctivas necesarias en dichos lugares.

Como antecedentes previos a este trabajo, se han realizado estudios de zonificación para conocer las colonias más afectadas en el DF por inundaciones a lo largo de los últimos años, dentro de los cuales se encuentra el realizado por Gómez (2001), el cual analiza las colonias afectadas por inundación en el DF durante el periodo de 1970-2000, para lo cual se basa en datos proporcionados por la DGCOH y periódicos, la autora realiza una clasificación de las afectaciones por las inundaciones con base en varios aspectos que se describen a continuación.

- **Afectación alta:** Derrumbe de viviendas, desbordamientos de ríos y presas. Inundación en áreas extensas
- **Afectación media:** Azolve de calles, daño a propiedades, inundación en calles y casas.
- **Afectación baja:** Encharcamientos e interrupción del tráfico.

En base a esta clasificación realiza una zonificación por colonias afectadas por inundación y la magnitud de ésta. Dado que en el presente trabajo el ejercicio se propone para la delegación Venustiano Carranza, se extrajeron las colonias afectadas de esta delegación para posteriormente poder realizar un comparativo con los resultados obtenidos al final de éste. Las colonias localizadas dentro de la delegación Venustiano Carranza y sus características se muestran en la tabla V.1 y en la figura V.1



Tabla V. 1. Colonias afectadas

Colonia	Afectación
Arenal	Alta
Federal	Media
Penitenciaria	Media
Venustiano. Carranza	Media
Ampliación Penitenciaria	Media
Azteca	Media
Ampliación Venustiano Carranza	Media
Tres Mosqueteros	Media
10 de Mayo	Media
Progresista	Media
Miguel Hidalgo	Media
Magdalena Mixhuca	Media
Pueblo Magdalena Mixhuca.	Media

De igual manera existen reportes por parte de autoridades e instituciones como Protección Civil respecto a los puntos de encharcamiento que se presentan en la Ciudad de México, estos puntos se caracterizan por ser donde frecuentemente se presentan inundaciones y donde se ha tenido que intervenir para dar solución a dicho problema. A continuación se presenta una tabla con la localización de cada uno de estos puntos, la localización de los puntos de encharcamiento es aproximada y corresponde a los puntos de encharcamiento para el año 2011.

Tabla V. 2. Relación de los puntos de encharcamiento reportados por Protección Civil

Num.	Ubicación	Afectación	Observaciones	Fuente
1	Bolívares y Norte 180,174,176 y 178 Col. Pensador Mexicano	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC, SSP, SA
2	Ignacio Zaragoza entre calle 81 y 87 Col. Puebla	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
3	Ote. 178 entre Nte. 33 y Nte. 17 Col. Moctezuma	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC, SSP, SA
4	Boulevard Pto. Aéreo entre Nte. 29 y Nte. 21 Col. Moctezuma	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC, SSP, SA
5	Fco. del Paso y Troncoso entre Juan Pardavé y Agiabampo Col. Magdalena Mixhuca	Vialidad y Predios Particulares.	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
6	Santos Dumont Esq. Fuerza Aérea Mexicana Col. Aviación Civil	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC, SSP, SA
7	Río Churubusco 1ª y 2ª cerrada de Alberto Salinas Col. Aviación Civil	Vialidad y Predios	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC, SSP, SA
8	Entre Correos, Telégrafos y Agricultura, Col. Federal	Vialidad y predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC, SSP, SA



Num.	Ubicación	Afectación	Observaciones	Fuente
9	Formosa, Entre Florines y Esterlinas Col. A. Serdán	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
10	Boulevard Pto. Aéreo y Avenida 8	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
11	Paradero Zaragoza Col. 4 Árboles	Vialidad	Insuficiencia de la Red de Drenaje	METRO
12	Enrique Farman y Aldasoro, Col. Aviación Civil	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
13	Oceanía Cto. Interior y Bolívares Col. Pensador Mexicano	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
14	Carlos Marx y Cto. Interior Col. Simón Bolívar	Vialidad y predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
15	Liga de Carreteras y Artilleros Col. Escuela de Tiro	Vialidad y Predios Particulares.	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
16	Hangares, entre Correos y Telégrafos Esq. Agricultura Col. Federal	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC, METRO
17	Lucrecia Toriz No. 9 Esq. Mártires de Chicago Col. 1ª de Mayo	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
18	Congreso entre Industria y Comercio Col. Federal	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
19	Calle 6 Esq. Río Churubusco Col. Cuchilla Pantitlán	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
20	Priv. De Guinea No. 14 Col. A. Serdán	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
21	Potam Esq. Roa Bárcenas Col. Magdalena Mixhuca.	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
22	Av. I. Zaragoza e Iztaccihuatl	Vialidad y predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje Obstrucción de basura en las coladeras	UPC
23	Ote. 158 entre Nte. 37 y Pablo R. Sidar Col. Moctezuma	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
24	Nte. 29 Esq. Ferrocarriles y Av. Industrial Col. Moctezuma	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
25	Paradero Pantitlán	Vialidad	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
26	Laredo y Sirena Col. Caracol	Vialidad y Predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
27	Gustavo Díaz Ordaz Metro Pantitlán	Vialidad	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
28	Fco. del Paso y Troncoso (Distribuidor) Col. Jardín Balbuena	Vialidad y predios Particulares	Insuficiencia de la Red de Drenaje	UPC
29	Fray. Servando T. de Mier y Fco. del Paso y Troncoso (Distribuidor) Col. Jardín Balbuena	Vialidad	Acumulación en vado antes del registro..	UPC
30	Lorenzo Boturini esq. Francisco del Paso y Troncoso	Vialidad	Azolve en alcantarillado	UPC



Num.	Ubicación	Afectación	Observaciones	Fuente
31	Francisco del Paso y Troncoso entre Taller y Fray Servando Teresa de Mier.	Vialidad	Insuficiencia en el drenaje	UPC
32	Artilleros entre Hiladeros y eje 1 Norte	Vialidad	Azolve en alcantarillado	UPC
33	Francisco del Paso t Troncoso esq. Ignacio Zaragoza.	Vialidad y casa habitación	Insuficiencia en el drenaje	UPC
34	Genaro Garcia esquina Fray Servando Col Aviacion Civil			Bomberos
35	Zaragoza y Circuito Interior			Bomberos
36	Oceania y Circuito Interior			Bomberos
37	Av 602 entre Oceania y Circuito Interior			Bomberos

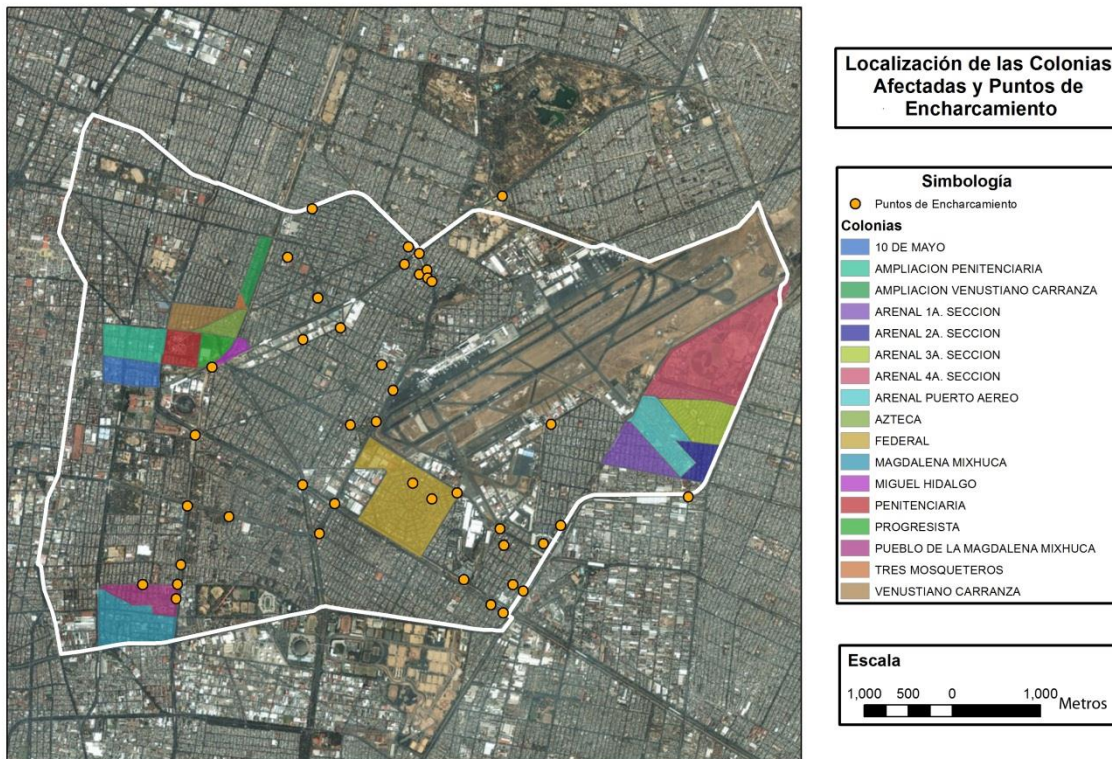


Figura V. 1 Localización de las colonias afectadas y puntos de encharcamiento dentro de la delegación Venustiano Carranza

En las observaciones de la tabla V.2 se puede apreciar que hay varias causas para dichas inundaciones, entre las cuales se encuentra una insuficiencia en la red de drenaje y la mala localización de las obras. Muchas zonas tienen mayor predisposición a inundarse ya que al diseñarse las obras de drenaje correspondientes no se consideraron las necesidades particulares de éstas, por lo que las instalaciones usadas en estas zonas son iguales a todas las demás y no tienen la capacidad necesaria, dados los volúmenes



que deberían desalojar. Por ello es importante mencionar que al realizar estudios como el del presente trabajo, esta clase de problemas podrían evitarse al diseñar estructuras adecuadas para los volúmenes de agua que se manejan en las zonas con mayor predisposición a inundarse. Es importante mencionar que adicional a las características propias del drenaje que lo hacen ser insuficiente, se puede observar que una de las causas de inundación es que la acumulación de basura en las coladeras, lo cual es provocado por la sociedad, al no tener una cultura adecuada y tirar basura en la vía pública lo que en muchos casos sumado a la insuficiencia de la red de drenaje provoca inundaciones de gran importancia.

En la figura V.1 se pueden observar las colonias afectadas de acuerdo con Gómez (2001) junto con los puntos de encharcamiento publicados en el 2011 por Protección Civil, se puede observar que son coincidentes en algunas zonas y estos 2 servirán como marco de referencia para comparar los resultados que se obtengan en el presente trabajo.

5.2 Metodología a utilizar

Como ya se mencionó anteriormente se recurrirá a diversas herramientas para la realización del ejercicio, se utilizarán vuelos LIDAR y Sistemas de Información Geográfica, entre otros.

Para la realización del ejercicio resulta muy importante el conocer la topografía de la zona de estudio, con la mayor precisión posible, para ello existen algunas fuentes como el Continuo de Elevaciones Mexicano del INEGI, que es gratuito y público pero no cuenta con la resolución necesaria. En este caso el Instituto de Ingeniería proporcionó un raster con las elevaciones de la zona, obtenido mediante la realización de un vuelo LIDAR con una mayor precisión, la cual permitió realizar el ejercicio de una manera más exacta y precisa.

Para estimar las manchas de inundación en relación con los volúmenes de escurrimiento correspondientes a los diferentes tiempos de retorno se elaboraron curvas de Volumen-Elevación para cada una de las subcuencas de la Ciudad de México. Para ello el procedimiento consistió en utilizar la topografía obtenida con los vuelos LIDAR y considerar una cota de elevación de la posible superficie del agua y posteriormente estimar el volumen de inundación que ese nivel provoca en cada subcuenca. La estimación del volumen de inundación se realiza mediante un algoritmo programado en Visual Basic.

El algoritmo permite conocer los volúmenes de agua en las zonas más bajas de las subcuencas, para ello se evalúa cuáles son las menores elevaciones dentro de cada una de éstas, una vez conocidos estos valores y su localización utilizando los Rasters obtenidos de los vuelos LIDAR se procede a evaluar diferentes elevaciones de inundación, para ello se toman valores desde los menores en cada subcuenca hasta el



tirante que se desee conocer. El algoritmo evalúa el volumen de agua a partir de la relación entre el área de los rasters y la elevación de las celdas adyacentes a estas depresiones. Esto se hace reiteradamente hasta la elevación que se desea conocer, por lo que los volúmenes aumentan gradualmente conforme aumenta la elevación. Para cada una de las subcuencas se registraron cada uno de estos datos y se obtuvieron gráficas como las mostradas en la figura V.2, que permiten relacionar los volúmenes precipitados con la elevación de los diferentes tirantes presentes en la cuenca.. Las gráficas para todas las subcuencas utilizadas en la zona de estudio se pueden consultar en los anexos de este trabajo.

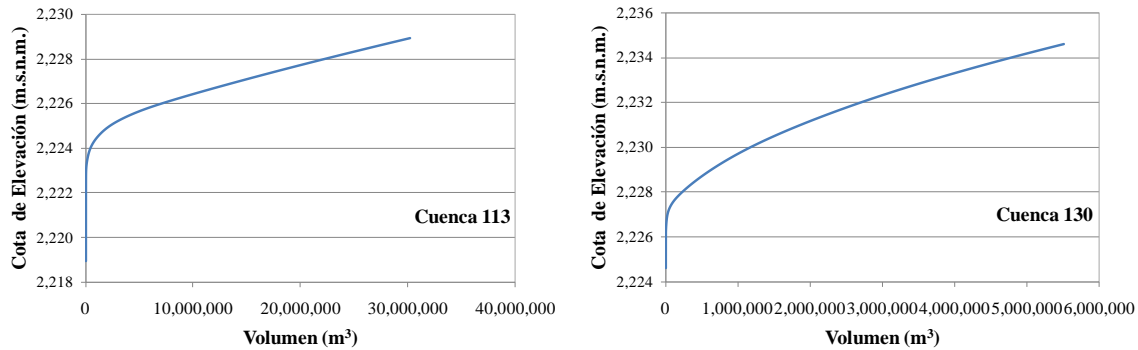


Figura V. 2. Ejemplos de las curvas Volumen-Elevación utilizadas para la determinación de la cota de inundación asociada a los volúmenes estimados en cada escenario

Una vez conocida la relación entre la elevación y el volumen de inundación resultante para cada subcuenca se utilizan los volúmenes de escurrimiento estimados para cada uno de los tiempos de retorno obtenidos anteriormente, de tal manera que se extrae la elevación de superficie de agua correspondiente. Por lo que el tirante de agua en una ubicación se obtiene de la diferencia entre la cota de inundación y la elevación natural del terreno en el punto deseado, se espera que los mayores tirantes se generen en las zonas más bajas de cada subcuenca para la delegación Venustiano Carranza.

Para cada uno de los meses y periodos de retorno, se relacionaron los volúmenes obtenidos en el capítulo anterior con las curvas de Volumen-Elevación obtenidas previamente, para así conocer la elevación del terreno correspondiente para cada una de las subcuencas.

Una vez conocida ésta, se procesó esta información con el SIG para mostrar las posibles zonas de inundación, siendo éstas las que de acuerdo a su topografía se encuentren por debajo de la elevación obtenida para cada subcuenca de acuerdo con su volumen de escurrimiento.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los capítulos 4 y 5 del presente trabajo, el mes con mayor precipitación es el mes de Junio por lo que los datos obtenidos para dicho mes se utilizaron para la obtención de las manchas de inundación correspondientes a los

escenarios con mayor volumen de precipitación para cada una de las subcuencas analizadas.

5.3 Resultados

Dado que en el presente trabajo se desea conocer las zonas con mayor predisposición a inundarse, se llevó a cabo la relación entre las manchas de inundación resultantes y un archivo con las colonias del Distrito Federal en formato Shape (shp) proporcionado por el Instituto de Ingeniería para así poder conocer las colonias afectadas por las posibles inundaciones, la relación de las colonias afectadas de acuerdo con las manchas de inundación obtenidas se muestra a continuación en la tabla V.3.

Tabla V. 3. Relación de las colonias afectadas de acuerdo con las manchas de inundación obtenidas, dentro de la delegación Venustiano Carranza

Colonias Afectadas	
10 DE MAYO	FELIPE ANGELES
1o DE MAYO	JAMAICA
20 DE NOVIEMBRE	LORENZO BOTURINI
50. TRAMO 20 DE NOVIEMBRE	MAGDALENA MIXIUHCAN
7 DE JULIO	MERCED BALBUENA
ADOLFO LOPEZ MATEOS	MICHOACANA
AMPLIACION 20 DE NOVIEMBRE	MIGUEL HIDALGO
AMPLIACION CARACOL	MOCTEZUMA 1A SECCION
AMPLIACION MICHOACANA	MOCTEZUMA 2A. SECCION
AMPLIACION PENITENCIARIA	MORELOS
AMPLIACION SIMON BOLIVAR	NICOLAS BRAVO
AMPLIACION VENUSTIANO CARRANZA	PENITENCIARIA
AQUILES SERDAN	PENSADOR MEXICANO
ARENAL 2A. SECCION	PEÑON DE LOS BAÑOS
ARENAL 4A. SECCION	POPULAR RASTRO
ARENAL PUERTO AEREO	PROGRESISTA
ARPTO INT DE LA CD DE MEX-EQUIPAMIENTO	REVOLUCION
ARTES GRAFICAS	ROMERO RUBIO
AVIACION CIVIL	SIMON BOLIVAR
AZTECA	TRES MOSQUETEROS
DAMIAN CARMONA	VALLE GOMEZ
DEL PARQUE	VENUSTIANO CARRANZA
EMILIO CARRANZA	ZONA CENTRO

Las colonias mencionadas en la tabla V.3 se encuentran dentro de la delegación Venustiano Carranza, y en la figura V.3 se muestran las colonias afectadas para toda la



Delegación. El detalle de los resultados para cada una de las subcuencas se puede observar en las figuras V.4 a V.13 donde se muestra a detalle las manchas de inundación para cada una de las subcuencas con las correspondientes colonias afectadas.

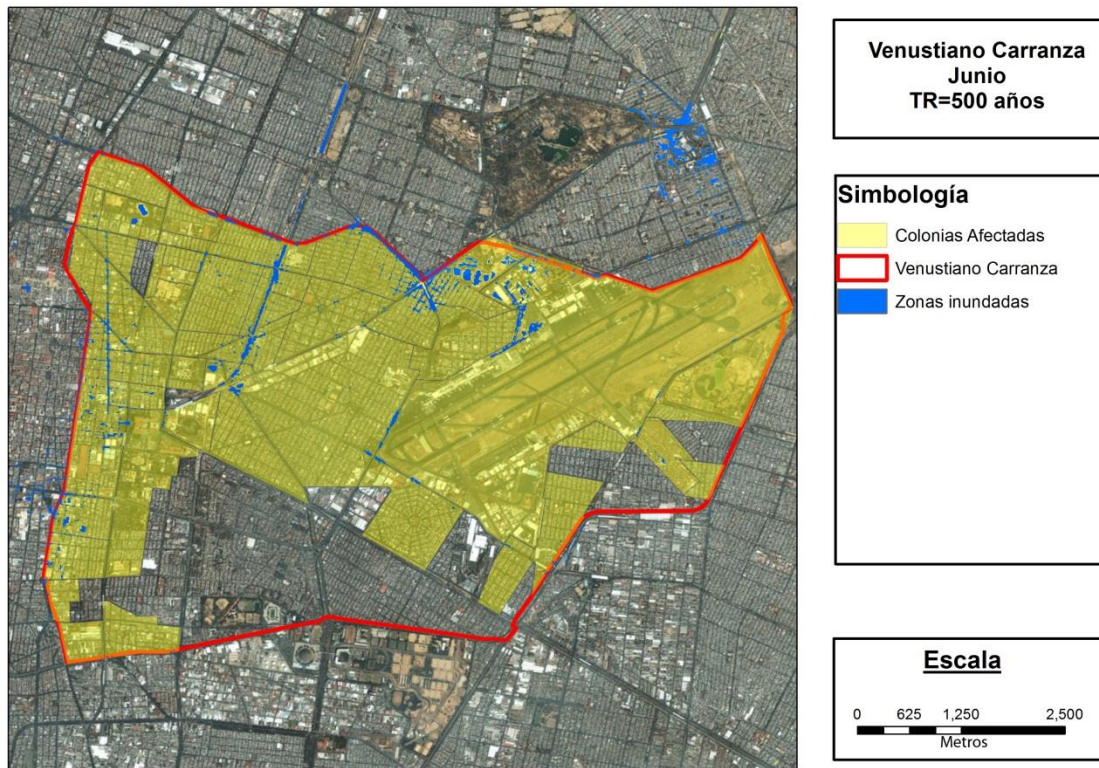


Figura V. 3. Manchas de inundación para la delegación Venustiano Carranza

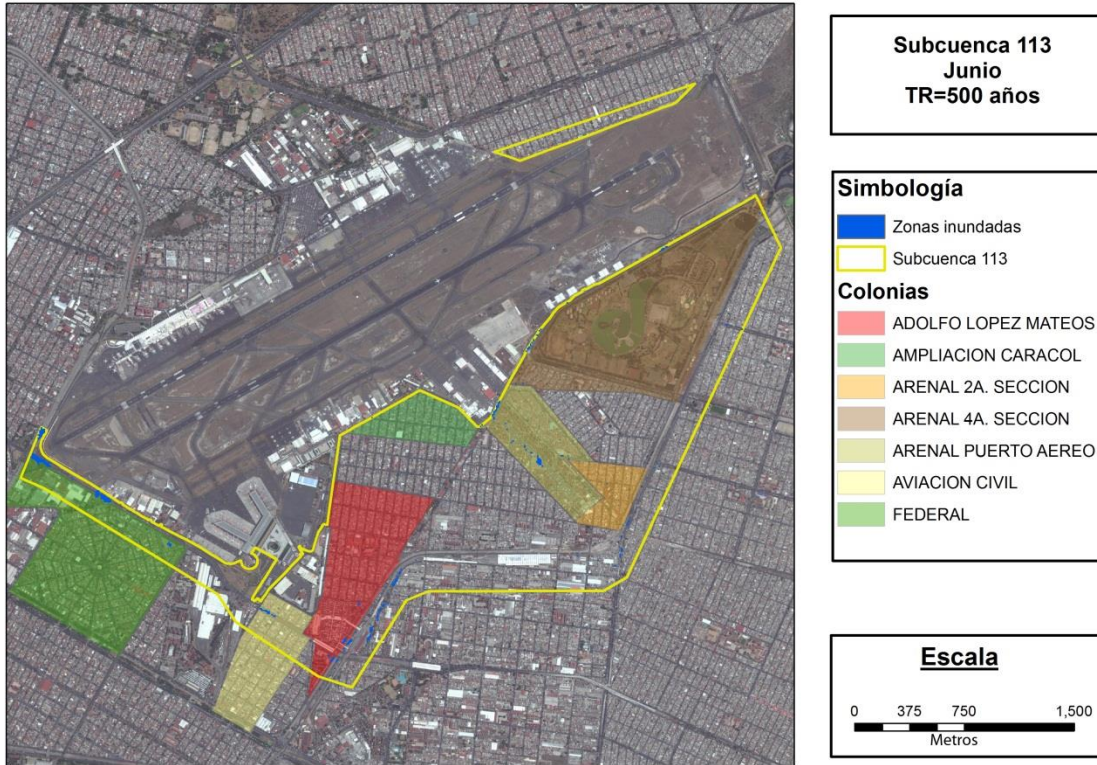


Figura V. 4. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 113

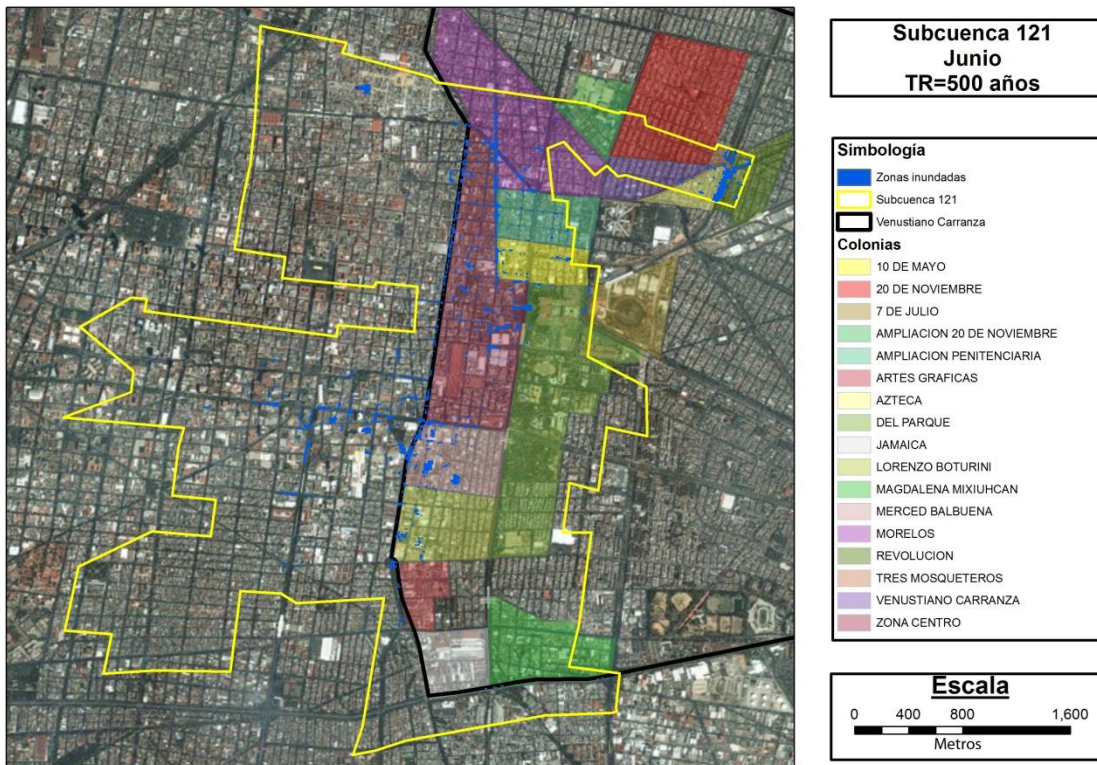


Figura V. 5. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 121

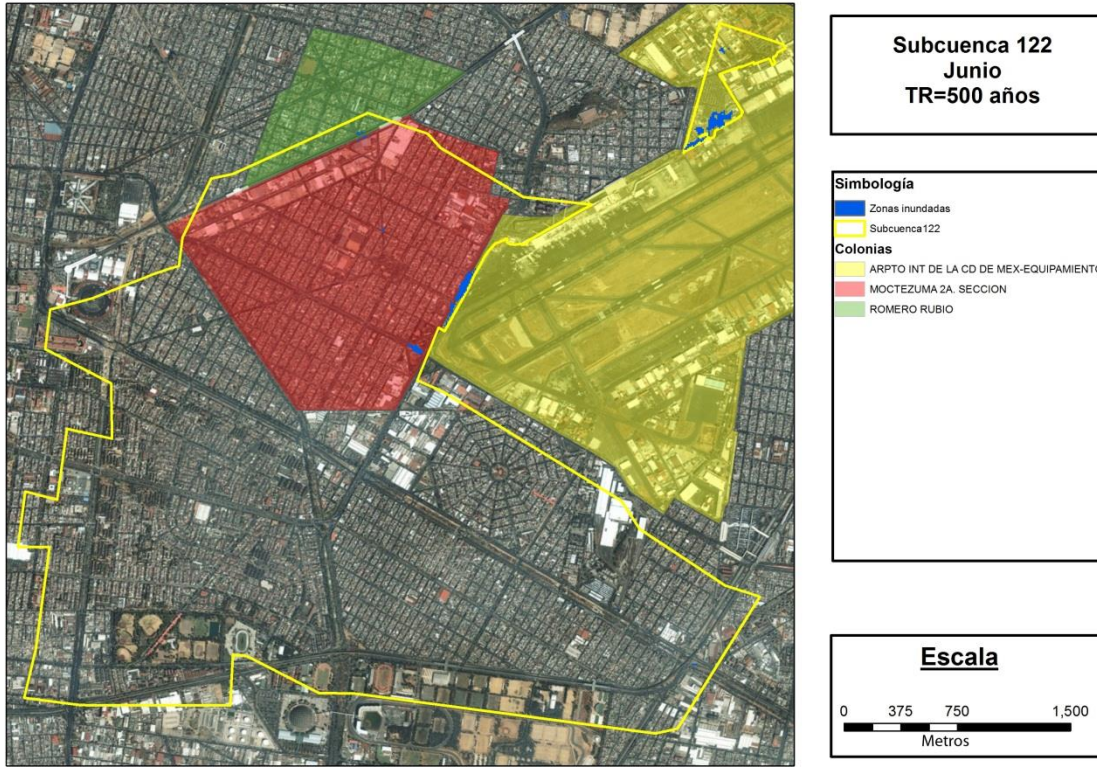


Figura V. 6. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 122

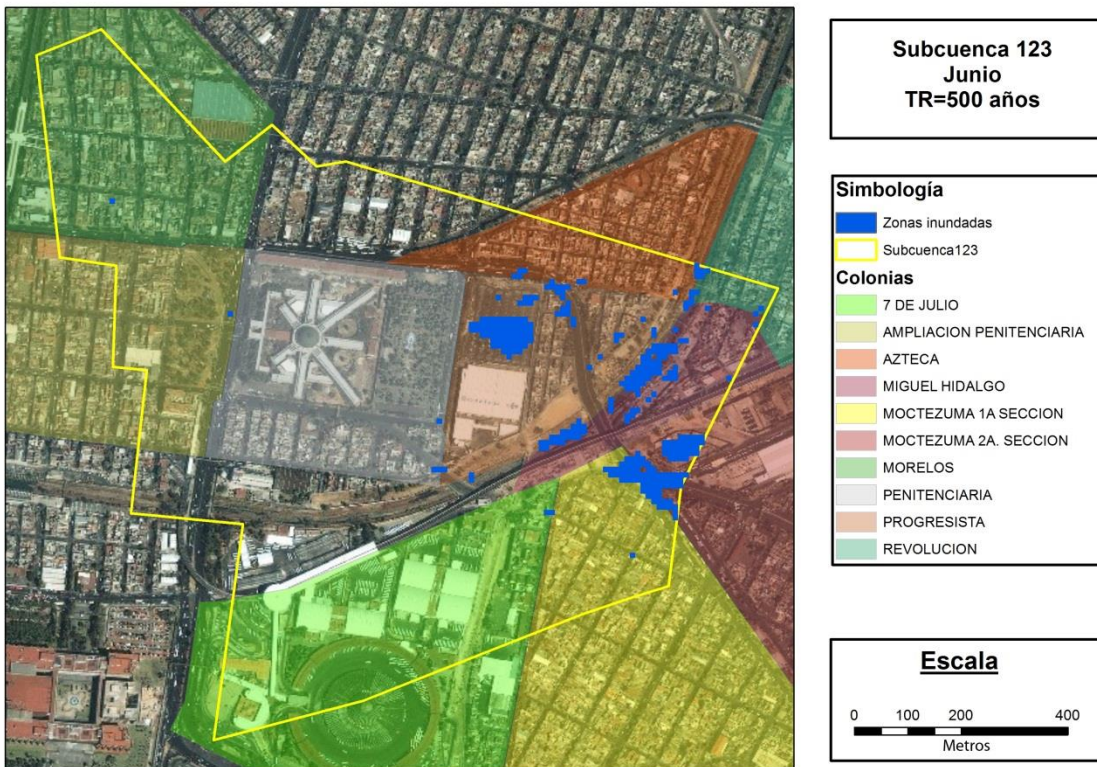


Figura V. 7. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 123

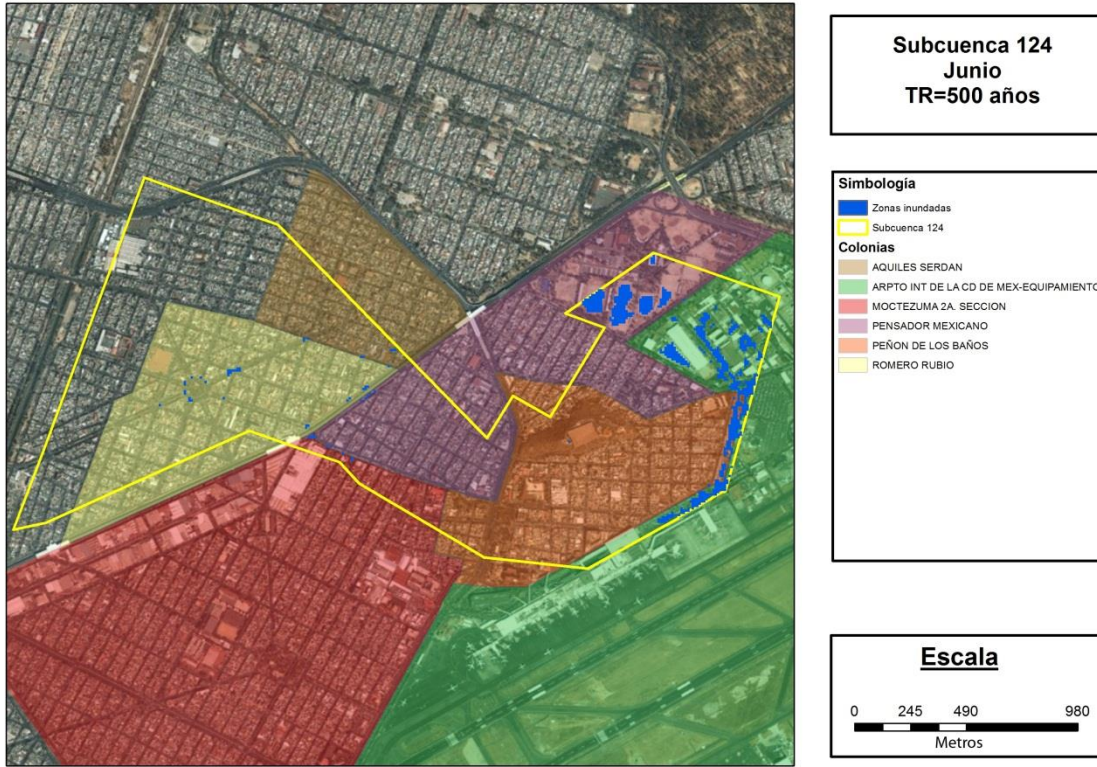


Figura V. 8. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 124

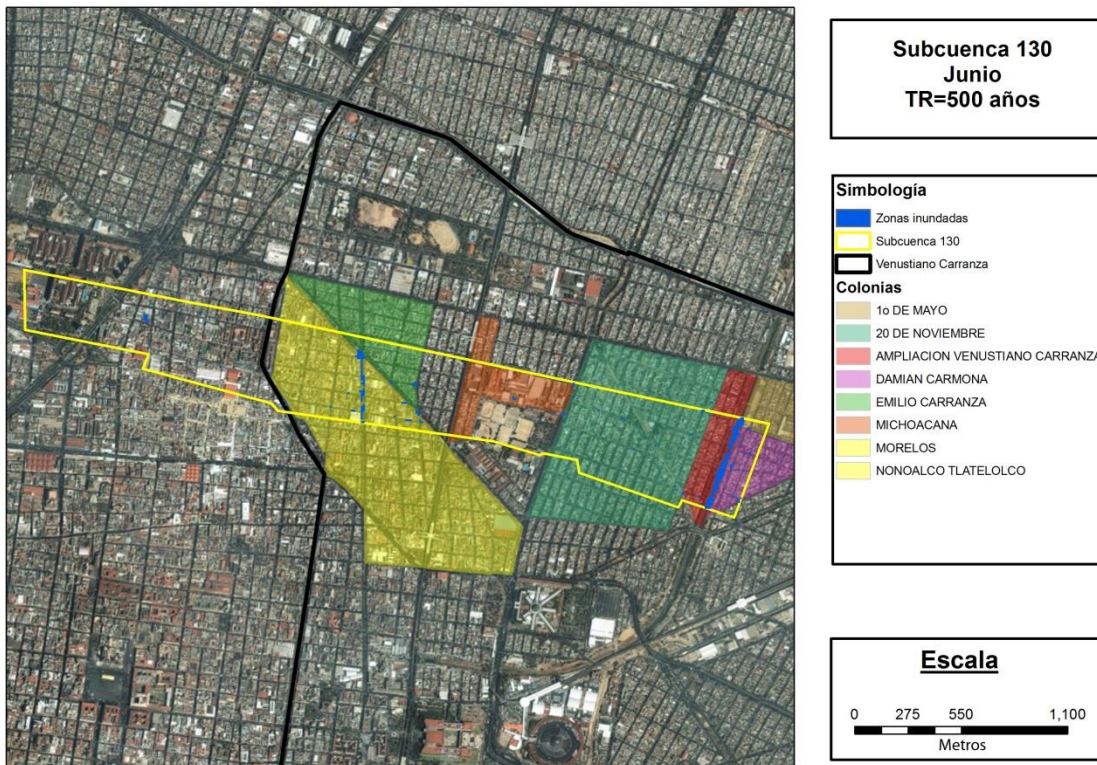


Figura V. 9 Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 130

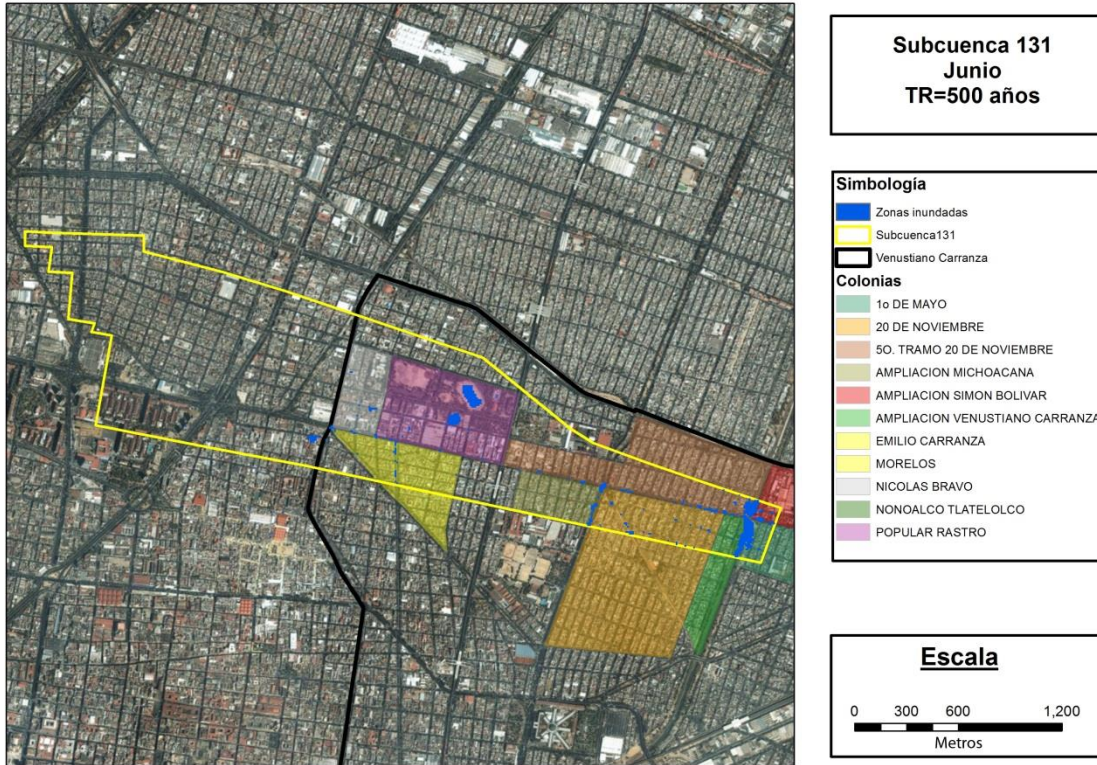


Figura V. 10. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 131

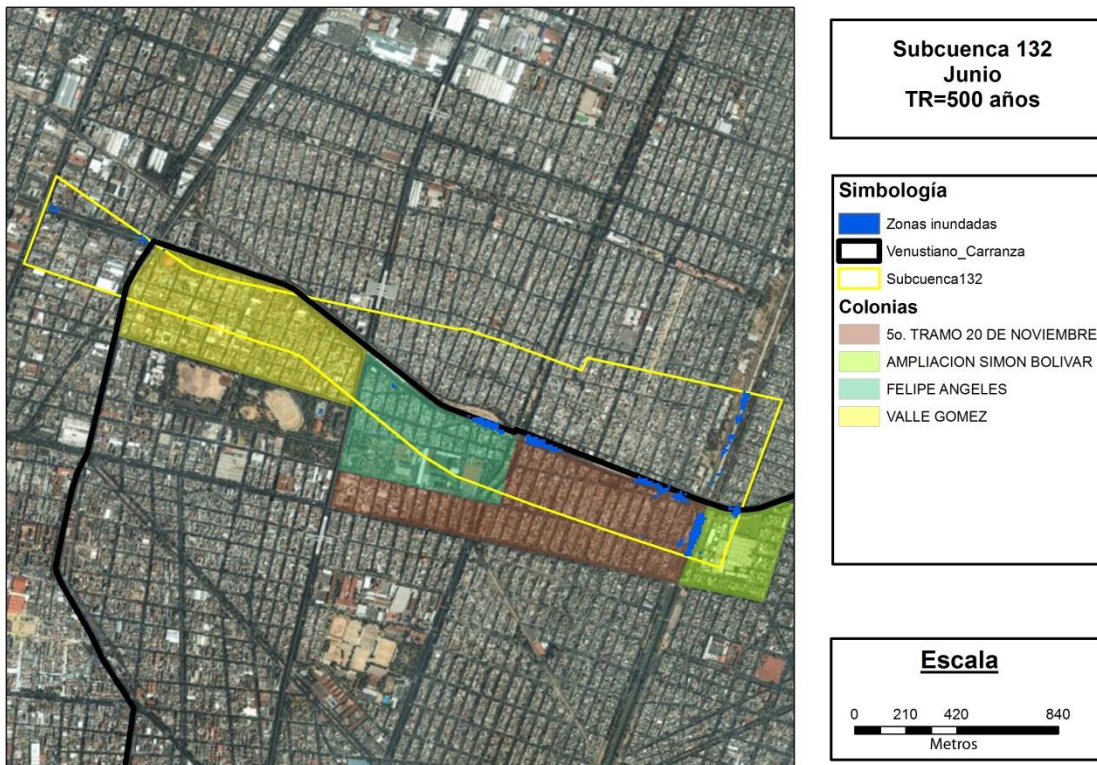


Figura V. 11. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 113



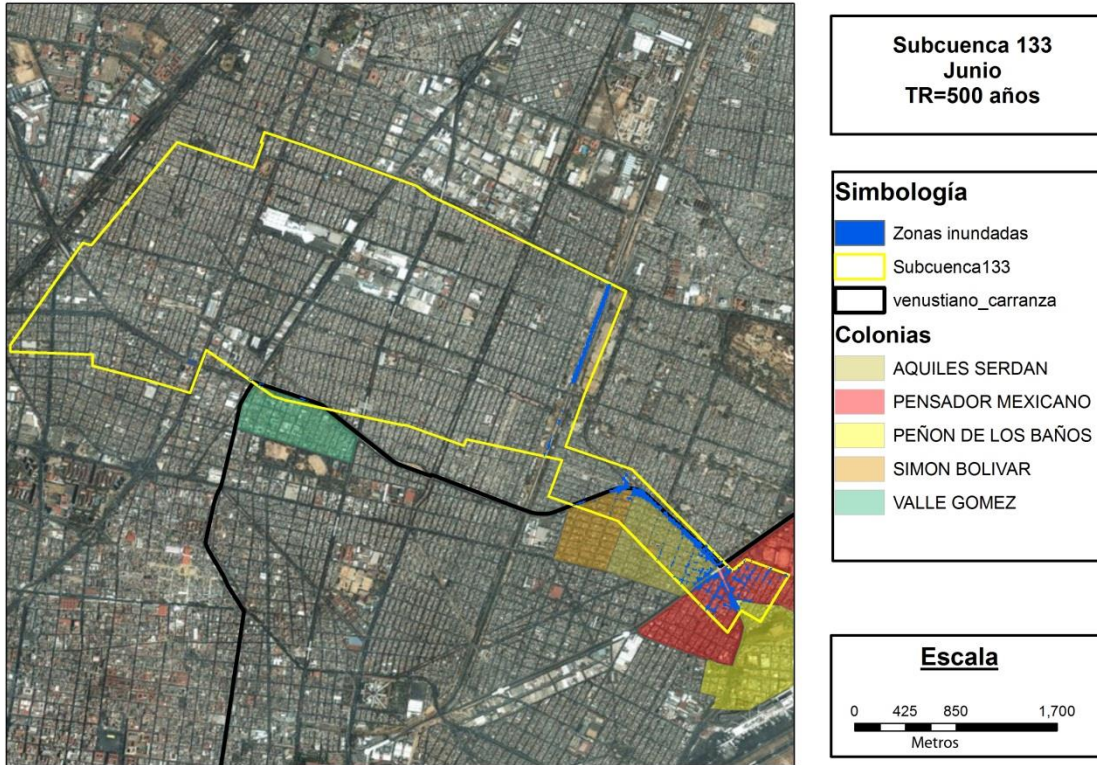


Figura V. 12. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 133

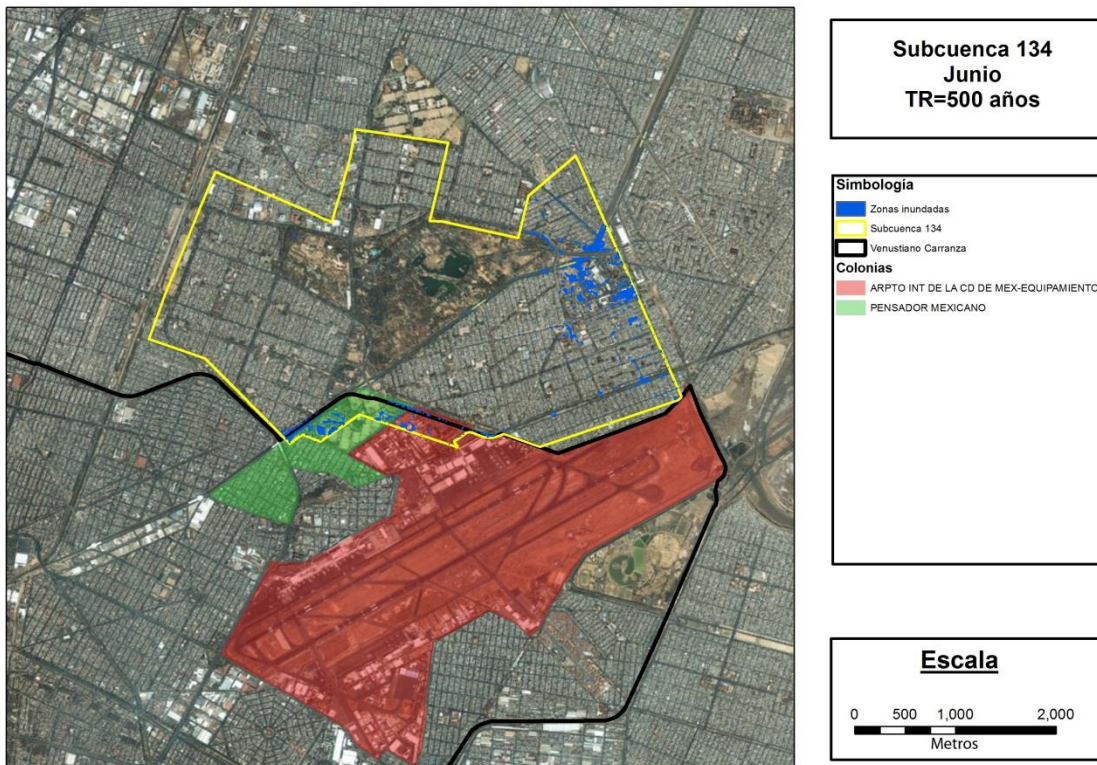


Figura V. 13. Manchas de inundación y colonias afectadas dentro de la subcuenca 134

Como se puede observar en la tabla V.3 y en las figuras anteriores (V.3 a V.13), se afectarán en mayor o menor grado 47 colonias, dentro de la delegación Venustiano Carranza. Como ya se mencionó, este análisis está basado principalmente en la topografía, por lo que las afectaciones se presentan en lugares en los que la topografía favorece el escurrimiento y acumulación del agua precipitada, es por ello grandes volúmenes de agua se acumulan en avenidas o depresiones del terreno, como pasos a desnivel, que se encuentran por debajo del nivel de la calle.

De igual manera como se pudo observar al inicio del presente capítulo, el aeropuerto se encuentra en la zona más baja de la delegación, por lo que al analizar la localización de las manchas de inundación obtenidas se puede ver que muchas de éstas se localizan en las inmediaciones del aeropuerto, coincidiendo con la localización de la barda perimetral, la cual sirve como barrera física y a la vez favorece la acumulación de agua en dichas zonas, lo cual las hace más susceptibles, por lo que, además de la construcción de dicha barda (que es necesaria por la seguridad del aeropuerto), es necesaria la construcción de estructuras de drenaje que permitan el desalojo del agua en dichas zonas.

Como comprobación y comparación de los resultados obtenidos, se compararon los resultados del ejercicio con los datos obtenidos de los antecedentes mencionados al en el apartado 5.1 del presente trabajo, es decir, de las colonias inundadas obtenidas de Gómez (2001) y de los puntos de encharcamiento de Protección Civil del DF dando como resultado el mapa mostrado en la figura V,14. Es de resaltarse que tanto las colonias afectadas obtenidas de Gomez (2001) como los puntos de encharcamiento de Protección Civil del DF, no tienen los mismos periodos de retorno que las manchas de inundación obtenidas, sin embargo, de estos solamente se deberá tomar en cuenta su localización, es decir, se tomarán solo como referencia para conocer la coincidencia de las manchas de inundación obtenida con la ubicación de dichas colonias y puntos de encharcamiento.



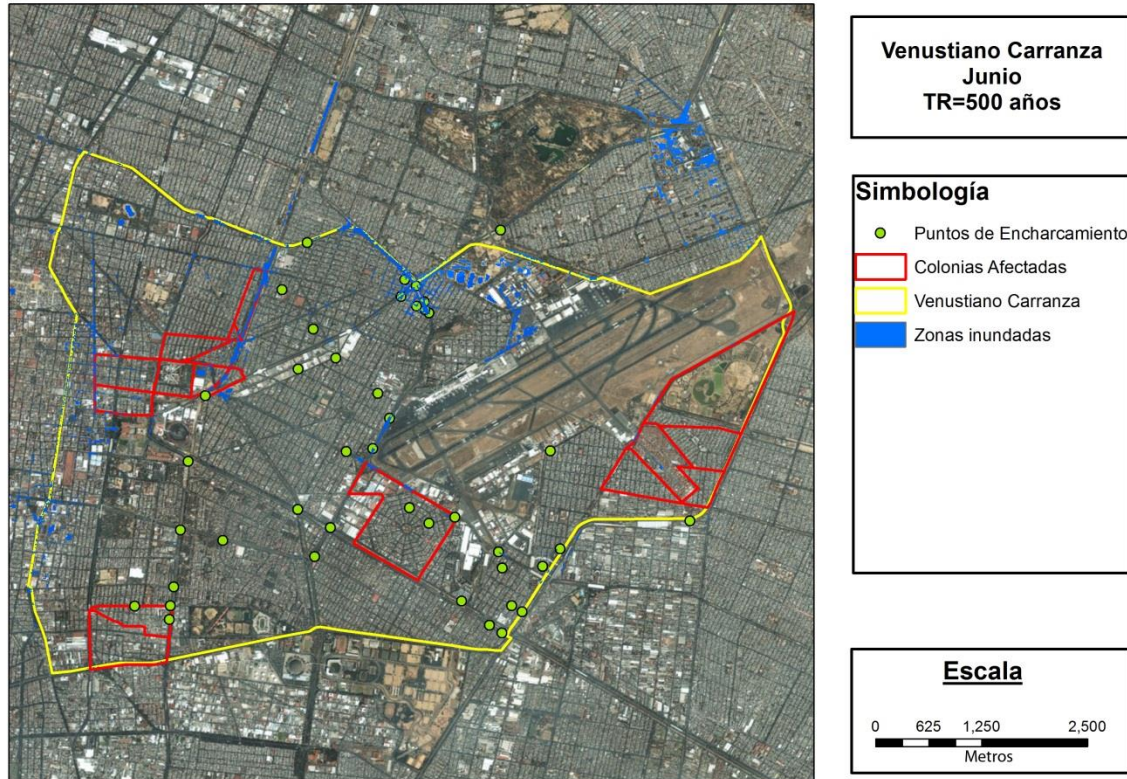


Figura V. 14. Localización de las manchas de inundación respecto a las colonias afectadas (Gómez 2001) y los puntos de encharcamiento de Protección Civil

En la imagen V.14 se puede observar que las manchas de inundación coinciden en muchos puntos así como en varias colonias con los antecedentes de inundación antes mencionados (Gomez (2011) y Puntos de encharcamiento de Protección Civil), lo cual indica que el trabajo realizado es correcto en cuanto a su localización; sin embargo, si las manchas no coinciden en su totalidad con dichas colonias, es debido a varios factores. Uno de ellos es que la presencia de una inundación se debe a diversas variables y no solo la topografía, cantidad de agua precipitada o intensidad de ésta. En este caso, para el presente trabajo se relacionaron solamente el volumen de agua precipitado con la topografía del sitio

Las inundaciones mencionadas por Gómez (2001) y Protección Civil, dependen de variables adicionales a los trabajados en el presente trabajo, por ejemplo la existencia de drenaje y dado que el presente trabajo pretende conocer el comportamiento natural de las subcuencas independientemente de la capacidad de los drenajes, no se tomó en cuenta dicha variable, por lo que si en otro ejercicio se considerará la capacidad de los drenajes de las zonas en conflicto, los resultados podrían variar de acuerdo con las capacidades del drenaje instalado.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

En los últimos años los desastres naturales han sido cada vez más comunes y de mayor magnitud, por lo que las obras preventivas son necesarias para evitar tragedias y pérdidas, llegando a ser éstas hasta de vidas humanas; Para su realización estas obras requieren de planeación e investigación que permita conocer la magnitud y correcta localización de las mismas. Para esto último, la tecnología en los últimos años ha aportado valiosas herramientas para llevar a cabo los análisis correspondientes, entre los que se encuentran los Sistemas de Información Geográfica, que recientemente han tomado mucha fuerza en trabajos de evaluación de riesgos, como es el caso de inundaciones, deslaves, erupciones volcánicas, etc. Por ello, en este trabajo se propone el uso de Sistemas de Información Geográfica para poder conocer la posible localización de manchas de inundación en la delegación Venustiano Carranza.

Para este trabajo se hace uso de la hidrología para la obtención de los resultados de precipitación y escurrimiento, la metodología tradicional involucra el uso de herramientas elementales como cartas topográficas, escalímetros, entre otros, además, para conocer los valores de precipitación entre estaciones se tendría que hacer uso de otras metodologías como los polígonos de Thiessen o isoyetas, lo cual no tiene la misma precisión que se obtiene al hacer uso de los SIG. Las metodologías originales resultan mucho más laboriosas y toman mucho más tiempo y, como se mencionó, la precisión que ofrecen en muchos casos es mucho menor que la obtenida por medio del uso de SIG, por lo que la utilización de estos actualmente es más recomendable dado que se pueden obtener mejores resultados en menos tiempo.

Algo que sin duda resultó fundamental para la realización de este trabajo fue la base de datos de precipitación del CLICOM, ya que es la materia prima para llegar a los resultados obtenidos, dichos datos fueron proporcionados por el Instituto de Ingeniería, para alguien ajeno a una institución puede resultar un poco más complicado conseguirlos, ya que en su mayoría no es información que se encuentre en internet directamente, esta información está disponible para todo el público, pero se tiene que acudir o escribir directamente a las instituciones.

Como ya se mencionó para este trabajo se utilizaron solamente las estaciones del CLICOM, sin duda, para un trabajo con mucha mayor precisión hubiera sido necesario contar con un mayor número de estaciones, dado que se utilizó interpolación espacial y se considera la variabilidad espacial de la lluvia. Como se mencionó al principio de este trabajo existen otras posibles fuentes de información para la obtención de datos de



precipitación, como las estaciones del SACM o del PEMBU, pero dicha información resulta difícil de conseguir, además de que en el caso del PEMBU sus registros en muchos casos no son constantes o tienen periodos sin información por lo que no serían lo suficientemente consistentes para usarse. Dada la metodología utilizada en el presente trabajo, la utilización de dichas estaciones aportaría un poco más de precisión al trabajo realizado, sin dejar de mencionar que el presente trabajo tiene una precisión bastante alta y ofrece resultados bastante acertados dado que se cuenta con un número adecuado de estaciones y años de registro.

Regularmente para la realización de estudios hidrológicos se utilizan promedios anuales o máximos anuales, lo que simplifica enormemente el trabajo, pero en el caso del presente trabajo se utilizaron datos mensuales para todas las estaciones con la finalidad de obtener un modelo de lluvia mucho más representativo que permita conocer el comportamiento de la lluvia a lo largo de todo el año, ya que con ello se pueden conocer los meses con mayor precipitación y posteriormente tomarse en cuenta para la prevención de inundaciones. Tomar todos los meses para cada una de las estaciones y ajustar cada uno de sus valores a una función de probabilidad diferente permite obtener un modelo mucho más realista y apegado a la realidad al poder obtener volúmenes de precipitación más cercanos a los reales.

Para casos como el ajuste de los datos a las funciones de probabilidad donde se trabajó con mucha información, así como otros ejercicios, el uso de la computadora resultó fundamental ya que gracias a los lenguajes de programación y herramientas computacionales la realización de muchos cálculos y procesos resultó mucho más rápido, si estos cálculos hubieran sido realizados tradicionalmente, el tiempo de realización de este trabajo hubiera sido mucho mayor y probablemente los resultados hubieran sido menos exactos o hubieran presentado errores. La automatización de muchos procesos resulta muy útil, sin embargo, es necesario llevar un control de los resultados obtenidos, ya que estos pueden presentar errores y se debe tener la sensibilidad para detectar y corregir estos a tiempo, ya que el confiar y no aplicar filtros a la información obtenida puede cambiar los resultados finales del ejercicio haciéndolo menos confiable.

En el caso específico de las manchas de inundación, las posibles zonas afectadas por inundaciones son congruentes en gran parte con los antecedentes como las colonias de Gómez (2001) y los puntos de encharcamiento de Protección Civil, como se muestra en los resultados del capítulo anterior; sin embargo, no todas las manchas de inundación se presentan en lugares mencionados por los antecedentes, esto se puede deber a muchos factores como la existencia de drenaje, barreras físicas artificiales o naturales, factores humanos, etc. Hay que mencionar que la localización de las manchas de inundación del presente trabajo se basa principalmente en la topografía del terreno ya que al presentarse una inundación, intervienen varios factores, siendo el principal la topografía ya que el agua escurre debido a la fuerza de gravedad a los puntos más bajos de las cuencas.

La zona de estudio se encuentra localizada dentro de una zona urbana, por lo que el comportamiento de las cuencas es diferente ya que en su mayoría el suelo es impermeable y el agua tiende a escurrir en vez de infiltrarse, por lo que se debe



considerar la configuración de la traza urbana; por ejemplo la presencia de avenidas u otras estructuras favorece el estancamiento o escurrimiento del agua y por lo tanto las inundaciones. Un claro ejemplo de ello es la presencia de la barda que rodea al aeropuerto, y dado que el aeropuerto es una de las zonas más bajas de la delegación, el agua escurrirá hacia allá y se acumulará en las zonas donde se encuentra la barda perimetral. Otro factor de importancia a considerar, es el humano, ya que en muchos casos las personas mismas contribuyen a la presencia de inundaciones, al tirar basura, cascajo, etc. y tapar coladeras o impedir el paso del agua. Por ello es importante para el diseño urbano el considerar los aspectos hidrológicos de la zona, ya que un mal diseño puede favorecer la presencia de inundaciones, además de que una concientización de la sociedad respecto al manejo de desechos ayudará a evitar que se presenten inundaciones.

Cabe resaltar que en escenarios históricos como los de Gómez (2001) y Protección Civil si se considera la presencia de drenaje y en el presente trabajo, para una mayor representatividad del comportamiento del agua en las subcuencas éste no se consideró, por lo que es probable que en muchos casos el drenaje mismo sea suficiente para desalojar los volúmenes de agua que se estancarían en los lugares señalados si el drenaje no estuviera presente. En el caso contrario de esto último, en muchas ocasiones el diseño del drenaje no es el adecuado, ya que en muchos casos se diseña para cierta capacidad sin hacer la evaluación necesaria y conocer si existen zonas críticas que requieran de una mayor capacidad, por lo que llegan a presentarse inundaciones severas en dichos puntos, al no tener el drenaje la capacidad para desalojar los volúmenes de agua que escurren en dichas zonas.

Para la obtención de las manchas otro insumo indispensable fue el archivo LIDAR con las elevaciones, ya que cuenta con una precisión adecuada para la realización de este ejercicio, ello porque no existen muchas fuentes para obtener datos de elevaciones, como es el caso del Continuo de Elevaciones Mexicano del INEGI, el cual proporciona datos de la topografía de todo México pero con el inconveniente de que su precisión no es muy alta, ya que ofrece una resolución de 1" x 1" (segundos de arco), lo cual no hubiera resultado suficiente para la realización de los ejercicios correspondientes. Por lo que para la realización de ejercicios como el presente se recomienda utilizar de una topografía con una precisión mayor a la ofrecida por el Continuo de Elevaciones Mexicano.

Es importante mencionar que la variabilidad espacial de la lluvia fue un factor que influyó en la obtención de un modelo más realista, esto ya que permitió manejar una malla de lluvia variable, la cual resulta más parecida a la realidad, sumando lo anterior los coeficientes utilizados se obtienen resultados de precipitación bastante acertados al reducir los volúmenes de escurrimiento considerando la variabilidad de cada una de las subcuencas en cuestión. Sin embargo, para futuros ejercicios valdría la pena conocer, así como se conoce la malla de lluvia, que es variable, una malla con coeficientes de escurrimiento variables para cada punto, lo cual arrojaría resultados de infiltración mucho más exactos, un estudio de este tipo tendría una gran complejidad en su realización, idealmente se podría hacer en campo, lo cual resultaría muy complejo dada la gran



extensión de terreno, pero quizás en la algún momento cuando se cuente con información más detallada, los SIG podrían resultar una valiosa herramienta para generar dicha información.

Los SIG son una valiosa herramienta, que permite realizar una gran diversidad de análisis y modelos para todo tipo de disciplina, tienen la ventaja, como se menciona en el punto anterior, de que conociendo algunas cuantas variables, se puede llegar a obtener información muy valiosa sin siquiera tener que salir al campo; por lo que resultan muy útiles cuando no se dispone de los recursos o tiempo suficiente para ir a los lugares en cuestión, y en caso de contar con información de campo se vuelve una herramienta aún más poderosa ya que permite verificar los datos y generar modelos más apegados a la realidad, siendo lo óptimo el siempre verificar la información en campo.. En muchos casos favorece la comprensión de muchos modelos o problemas que en otras condiciones presentarían una mayor dificultad en su comprensión

En el caso específico de este trabajo se aplicaron los SIG a la hidrología que es una de las ramas utilizadas por la Ingeniería Civil, sin embargo estos sin ningún problema pueden aplicarse a una gran cantidad de ciencias, como las estructuras, geotecnia, etc. Conociendo las bases de lo que se desea hacer es posible aplicar los SIG sin ningún problema para la resolución de cualquier problema, por ejemplo se pueden conocer cosas como topografía, población, riesgos, climas, tránsito, nivel socioeconómico, etc. Los cuales pueden ser variables necesarias para la aplicación de muchas ramas de la ingeniería y otras ciencias.

Los SIG han evolucionado mucho en los últimos años y tienen una gran variedad de aplicaciones, sin mencionar que están presentes en la vida diaria de la gente, como en el caso de los GPS, celulares, etc. Estos se encuentran en constante evolución y cada vez ofrecen más y mejores herramientas, por lo que en un futuro el uso de estos va a ser de gran relevancia para la ingeniería y otras aplicaciones, lo cual puede llevar a grandes avances.



Referencias

Amaro Ríos, P., (2005), **“Propuesta de un procedimiento para determinar relaciones i-d-Tr a partir de lluvias de 24 horas”**, Tesis Maestría (Maestría en Ingeniería (Hidráulica)), UNAM, Facultad de Ingeniería.

Aparicio, F., (2008), **“Apuntes de Hidrología de superficie”**, LIMUSA

Archivo Histórico del Agua (2010), **“Bosquejo Histórico del Desagüe de la Ciudad de México”**

Burrough, P. A. and McDonnell, R., (1998). **“Principles of Geographical Information Systems”**. Oxford University Press, Oxford.

CENAPRED (2006) **“Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Fenómenos Hidrometeorológicos”**.

CENAPRED (2007), **“Fascículo Inundaciones”**

Chen, C-L, (1983). **“Rainfall intensity-duration-frequency formulas”**, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109,núm. 12, número de artículo. 18441, pp. 1603-1621.

Chow, V. T. (1988) **“Handbook of Applied Hydrology”** . Mc Graw- Hill.

Chulsang Y., Kyoungjun K., Hung K., Moo P., (2007). **“Estimation of areal reduction factors using a mixed gamma distribution”**. Journal of Hydrology

Comisión Nacional del Agua, (2011). **“Manual para el Control de Inundaciones”**

CONAGUA(2012), <http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelValledeMexico/>.

Domínguez Mora, Ramón, (1997), **“Sistema para el Control y Drenaje de las Avenidas en el Área Metropolitana del Valle de México”**. Instituto de Ingeniería, UNAM.

Dominguez R. (2000) **“Las Inundaciones en la Ciudad de México. Problemática y Alternativas de Solución”**. Revista Digital Universitaria, Vol. 1 No.2.

Domínguez, R. y Carrizosa, E., (2006). **“Apoyo del Instituto de Ingeniería de la UNAM para Diversos Estudios y Asesorías, Relacionados con el Proyecto de Saneamiento del Valle de México”**, Instituto de Ingeniería, UNAM

Escalante, S.C (2008), **“Técnicas Estadísticas en Hidrología”**, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Espitia Rodriguez Patricia, (2005). **“Análisis, diseño y aplicación de un Sistema de información Geográfica, SIG, en una empresa de consumo: Caso Electropura”**, tesis de maestría en administración, UNAM



ESRI, (2008), **“ArcGIS Desktop help”**

Franco Domínguez, Carlos G., (1998). **“Análisis Regional de Lluvias Convectivas, Aplicación al Valle de México”**. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Gaceta del IMTA,(2007) **“Sistema de Drenaje Principal de la Ciudad de México”**, número 4, Agosto de 2007

Gómez C. (2001),. **“Riesgo por inundaciones en la Zona metropolitana de la Ciudad de México”**. Tesina para obtener el Título de Licenciada en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Kite, G.W. (1988) **“Frequency and risk analyses in hidrology”**. Water Resources Publications, Estados Unidos. 257 p.

Marquez Mendoza Juan Daniel. (2007) **“Elaboracion de la primera carta geográfica para la República Mexicana escala 1:500 000”**. Tesis para obtener el Título de Licenciado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Ruiz Jimenez, Sonia. (2006). **“Almacenamiento y manejo de datos a altas tasas de velocidad en un Lidar”**

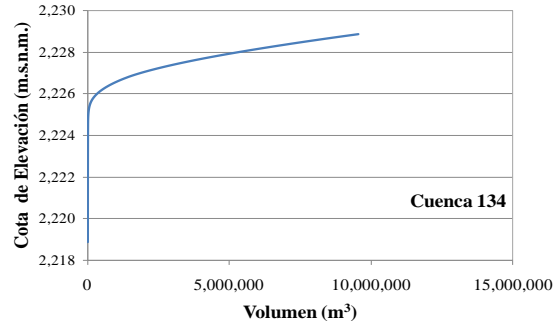
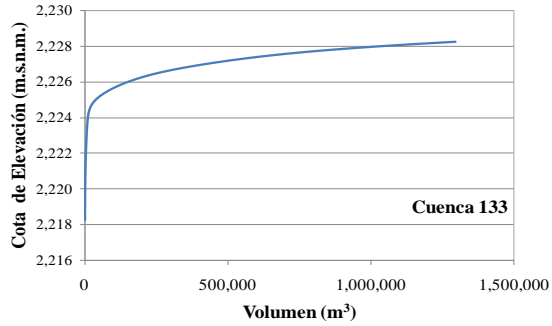
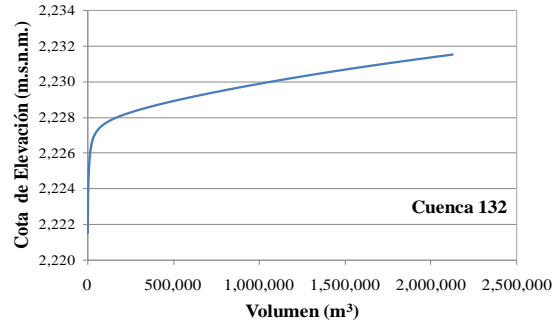
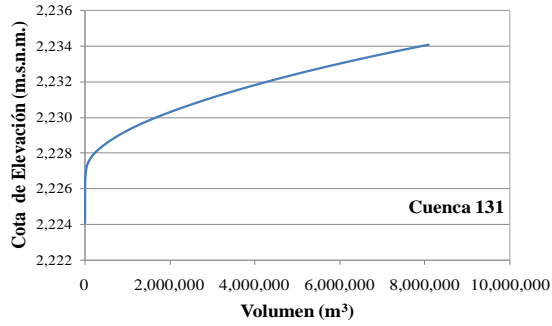
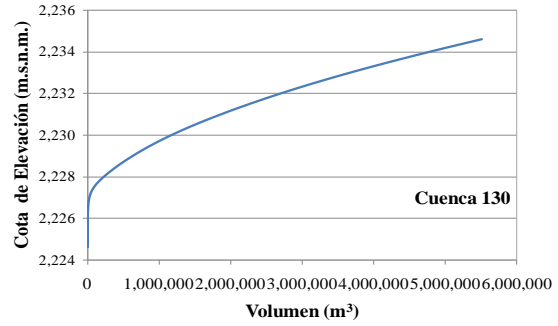
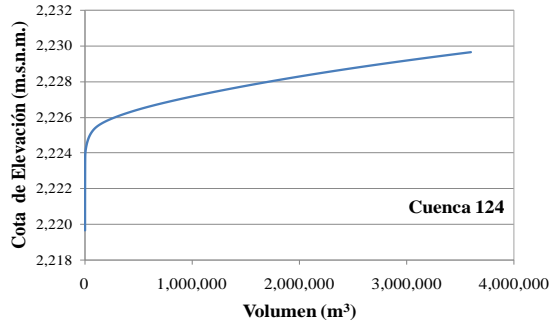
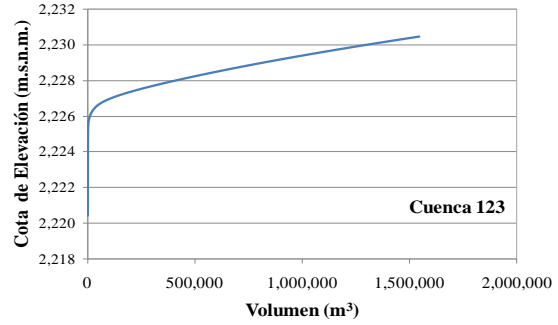
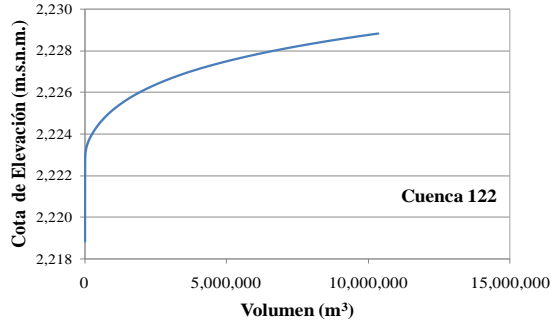
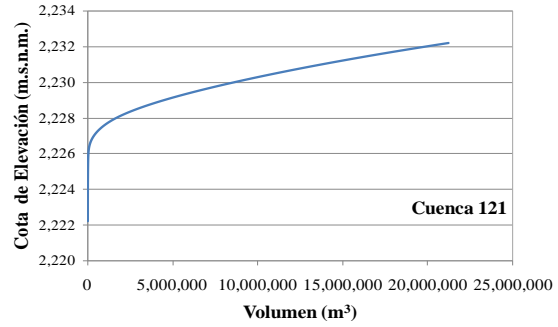
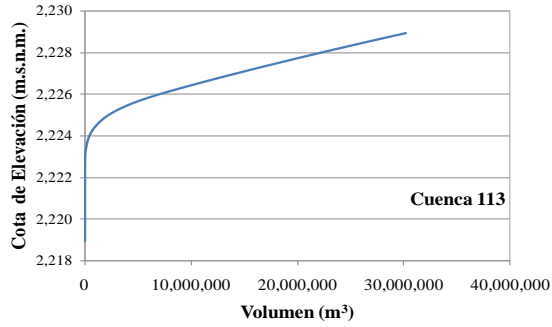
Shahab Fazal, (2008), **“GIS Basics”**, New Age International Publishers



Apéndice A

GRÁFICAS VOLUMEN-ELEVACIÓN PARA LAS SUBCUENCAS UTILIZADAS





Apéndice **B**

VOLÚMENES OBTENIDOS



Tabla 1. Volúmenes Resultantes para un TR=2 años

TR	Mes	Subcuenca	Volumen	Tr	Mes	Subcuenca	Volumen
2	Enero	113	15968.2374	2	Julio	113	45687.84362
2	Enero	121	47834.84547	2	Julio	121	171837.7998
2	Enero	122	38764.50545	2	Julio	122	125508.7984
2	Enero	123	3871.508367	2	Julio	123	12412.69964
2	Enero	124	11022.57235	2	Julio	124	31205.78753
2	Enero	130	6329.207279	2	Julio	130	21341.45777
2	Enero	131	10913.11779	2	Julio	131	36583.20912
2	Enero	132	5318.578948	2	Julio	132	15710.6199
2	Enero	133	33353.37063	2	Julio	133	96310.11526
2	Enero	134	25938.4522	2	Julio	134	84261.25661
2	Febrero	113	9260.365625	2	Agosto	113	44275.52741
2	Febrero	121	26118.7353	2	Agosto	121	157974.0822
2	Febrero	122	21538.99551	2	Agosto	122	119266.0715
2	Febrero	123	1736.14799	2	Agosto	123	11158.31877
2	Febrero	124	5890.819692	2	Agosto	124	29913.22352
2	Febrero	130	3246.326443	2	Agosto	130	20683.6619
2	Febrero	131	5987.489029	2	Agosto	131	38511.48068
2	Febrero	132	2500.084443	2	Agosto	132	15805.92526
2	Febrero	133	17053.21958	2	Agosto	133	105329.5333
2	Febrero	134	20820.60695	2	Agosto	134	89101.8051
2	Marzo	113	16446.71574	2	Septiembre	113	49065.82041
2	Marzo	121	40436.05126	2	Septiembre	121	176680.1769
2	Marzo	122	41690.06291	2	Septiembre	122	134093.7079
2	Marzo	123	3584.63193	2	Septiembre	123	12862.86734
2	Marzo	124	10664.69818	2	Septiembre	124	32672.70296
2	Marzo	130	6063.526492	2	Septiembre	130	21973.71894
2	Marzo	131	11951.28203	2	Septiembre	131	38939.60432
2	Marzo	132	5146.620663	2	Septiembre	132	16220.43107
2	Marzo	133	39614.97234	2	Septiembre	133	103193.1092
2	Marzo	134	29007.73869	2	Septiembre	134	88763.63028
2	Abril	113	24402.30351	2	Octubre	113	39894.35863
2	Abril	121	83753.22223	2	Octubre	121	128244.2267
2	Abril	122	65962.58214	2	Octubre	122	94855.20286
2	Abril	123	5993.96344	2	Octubre	123	8384.931714
2	Abril	124	15804.53377	2	Octubre	124	22671.90408
2	Abril	130	9644.297712	2	Octubre	130	16153.2092
2	Abril	131	15979.74632	2	Octubre	131	30701.09053
2	Abril	132	7823.145775	2	Octubre	132	11691.11969
2	Abril	133	48233.51457	2	Octubre	133	78595.44218
2	Abril	134	37325.6733	2	Octubre	134	73521.40193
2	Mayo	113	28996.52131	2	Noviembre	113	8532.420241
2	Mayo	121	121080.6773	2	Noviembre	121	40012.75642
2	Mayo	122	93772.99777	2	Noviembre	122	25698.38055
2	Mayo	123	8590.741155	2	Noviembre	123	2517.861466
2	Mayo	124	19526.12741	2	Noviembre	124	6296.277729
2	Mayo	130	12770.02491	2	Noviembre	130	4394.169923
2	Mayo	131	20722.52995	2	Noviembre	131	7677.036923
2	Mayo	132	8622.828126	2	Noviembre	132	3387.096558
2	Mayo	133	53161.79886	2	Noviembre	133	23966.39343
2	Mayo	134	50649.17403	2	Noviembre	134	22015.54249
2	Junio	113	63887.5471	2	Diciembre	113	10653.139
2	Junio	121	188827.5605	2	Diciembre	121	26052.88944
2	Junio	122	151064.7914	2	Diciembre	122	27076.45164
2	Junio	123	13797.03645	2	Diciembre	123	2547.724161
2	Junio	124	35804.4977	2	Diciembre	124	7047.352733
2	Junio	130	22884.38205	2	Diciembre	130	3247.282438
2	Junio	131	39082.45219	2	Diciembre	131	5101.667304
2	Junio	132	16626.63226	2	Diciembre	132	2484.398473
2	Junio	133	103705.6358	2	Diciembre	133	14920.1165
2	Junio	134	99217.89089	2	Diciembre	134	16502.67468



Tabla 2. Volúmenes Resultantes para un TR=5 años

TR	Mes	Subcuenca	Volumen
5	Enero	113	26438.885
5	Enero	121	78180.017
5	Enero	122	67063.267
5	Enero	123	6748.379
5	Enero	124	18761.249
5	Enero	130	10385.777
5	Enero	131	17501.995
5	Enero	132	8477.035
5	Enero	133	52605.081
5	Enero	134	41617.534
5	Febrero	113	16000.169
5	Febrero	121	42038.146
5	Febrero	122	38164.311
5	Febrero	123	2894.821
5	Febrero	124	10070.358
5	Febrero	130	5301.772
5	Febrero	131	9795.884
5	Febrero	132	4213.143
5	Febrero	133	29221.810
5	Febrero	134	35234.165
5	Marzo	113	26837.082
5	Marzo	121	65095.868
5	Marzo	122	70219.920
5	Marzo	123	6176.777
5	Marzo	124	17840.272
5	Marzo	130	9766.235
5	Marzo	131	18798.712
5	Marzo	132	8046.514
5	Marzo	133	61555.248
5	Marzo	134	45476.496
5	Abril	113	36237.828
5	Abril	121	127120.407
5	Abril	122	96040.187
5	Abril	123	8724.584
5	Abril	124	22222.223
5	Abril	130	14379.991
5	Abril	131	24393.036
5	Abril	132	11324.464
5	Abril	133	72807.924
5	Abril	134	54038.409
5	Mayo	113	39774.987
5	Mayo	121	164343.313
5	Mayo	122	130202.022
5	Mayo	123	11884.444
5	Mayo	124	27615.777
5	Mayo	130	17217.274
5	Mayo	131	27176.542
5	Mayo	132	11700.479
5	Mayo	133	71231.361
5	Mayo	134	71064.898
5	Junio	113	86058.297
5	Junio	121	250918.414
5	Junio	122	202376.541
5	Junio	123	18786.518
5	Junio	124	48686.371
5	Junio	130	30444.352
5	Junio	131	51376.650
5	Junio	132	22067.408
5	Junio	133	136350.402
5	Junio	134	134722.698

Tr	Mes	Subcuenca	Volumen
5	Julio	113	60178.443
5	Julio	121	222500.770
5	Julio	122	164129.331
5	Julio	123	16351.379
5	Julio	124	41379.486
5	Julio	130	27836.023
5	Julio	131	47258.530
5	Julio	132	20627.875
5	Julio	133	125047.517
5	Julio	134	110690.796
5	Agosto	113	60508.196
5	Agosto	121	204874.241
5	Agosto	122	155866.001
5	Agosto	123	14514.806
5	Agosto	124	39914.114
5	Agosto	130	27175.455
5	Agosto	131	50669.053
5	Agosto	132	21032.824
5	Agosto	133	138585.449
5	Agosto	134	120791.797
5	Septiembre	113	66670.520
5	Septiembre	121	231958.244
5	Septiembre	122	185818.550
5	Septiembre	123	17703.452
5	Septiembre	124	45953.950
5	Septiembre	130	28731.481
5	Septiembre	131	49714.161
5	Septiembre	132	21683.286
5	Septiembre	133	134515.696
5	Septiembre	134	122128.514
5	Octubre	113	54228.338
5	Octubre	121	175647.187
5	Octubre	122	125965.020
5	Octubre	123	11122.417
5	Octubre	124	29882.622
5	Octubre	130	21636.119
5	Octubre	131	41327.001
5	Octubre	132	15530.489
5	Octubre	133	106812.774
5	Octubre	134	99449.172
5	Noviembre	113	14556.843
5	Noviembre	121	64949.433
5	Noviembre	122	45624.066
5	Noviembre	123	4247.558
5	Noviembre	124	10730.079
5	Noviembre	130	7204.579
5	Noviembre	131	12471.498
5	Noviembre	132	5770.851
5	Noviembre	133	39506.738
5	Noviembre	134	35113.517
5	Diciembre	113	17131.174
5	Diciembre	121	41455.212
5	Diciembre	122	44147.339
5	Diciembre	123	4190.729
5	Diciembre	124	11511.938
5	Diciembre	130	5200.300
5	Diciembre	131	8049.196
5	Diciembre	132	3927.754
5	Diciembre	133	23445.067
5	Diciembre	134	26248.612



Tabla 3. Volúmenes Resultantes para un TR=10 años

TR	Mes	Subcuenca	Volumen
10	Enero	113	36001.38913
10	Enero	121	103443.5837
10	Enero	122	90506.77379
10	Enero	123	8901.441655
10	Enero	124	24480.07804
10	Enero	130	13681.16401
10	Enero	131	23174.37979
10	Enero	132	10923.27276
10	Enero	133	68192.84936
10	Enero	134	55534.54739
10	Febrero	113	21328.84859
10	Febrero	121	55768.00709
10	Febrero	122	50178.32853
10	Febrero	123	3795.487765
10	Febrero	124	13003.73541
10	Febrero	130	7064.565899
10	Febrero	131	13130.27664
10	Febrero	132	5517.165261
10	Febrero	133	38417.46126
10	Febrero	134	45737.28439
10	Marzo	113	35557.3172
10	Marzo	121	84935.0093
10	Marzo	122	91911.60681
10	Marzo	123	8068.771629
10	Marzo	124	22986.82787
10	Marzo	130	12446.67382
10	Marzo	131	23787.78369
10	Marzo	132	10141.45245
10	Marzo	133	77469.33969
10	Marzo	134	58018.98421
10	Abril	113	44723.63866
10	Abril	121	162647.1414
10	Abril	122	119763.2915
10	Abril	123	10892.78435
10	Abril	124	26960.50456
10	Abril	130	18268.80969
10	Abril	131	31494.23036
10	Abril	132	14047.12616
10	Abril	133	91965.7696
10	Abril	134	67737.44063
10	Mayo	113	48731.2044
10	Mayo	121	198814.0769
10	Mayo	122	160486.7949
10	Mayo	123	14547.31553
10	Mayo	124	34324.05249
10	Mayo	130	20748.3127
10	Mayo	131	32169.14182
10	Mayo	132	14165.23678
10	Mayo	133	85550.12115
10	Mayo	134	87765.45661
10	Junio	113	102599.6124
10	Junio	121	300494.7281
10	Junio	122	243223.9573
10	Junio	123	22836.62176
10	Junio	124	58992.28442
10	Junio	130	36493.91409
10	Junio	131	61129.68324
10	Junio	132	26415.07366
10	Junio	133	162219.5011
10	Junio	134	162701.0526

Tr	Mes	Subcuenca	Volumen
10	Julio	113	71702.29341
10	Julio	121	262572.2232
10	Julio	122	194753.5362
10	Julio	123	19492.21039
10	Julio	124	49524.52921
10	Julio	130	32980.56659
10	Julio	131	55633.16531
10	Julio	132	24533.61512
10	Julio	133	147572.6254
10	Julio	134	131702.1982
10	Agosto	113	73718.78371
10	Agosto	121	241903.6845
10	Agosto	122	184837.1219
10	Agosto	123	17165.43444
10	Agosto	124	47941.01513
10	Agosto	130	32333.48416
10	Agosto	131	60323.68311
10	Agosto	132	25218.68111
10	Agosto	133	165000.6709
10	Agosto	134	146432.4921
10	Septiembre	113	80368.48574
10	Septiembre	121	275838.8071
10	Septiembre	122	228018.1676
10	Septiembre	123	21657.35115
10	Septiembre	124	56856.38525
10	Septiembre	130	34062.13448
10	Septiembre	131	58020.98424
10	Septiembre	132	26062.39005
10	Septiembre	133	159152.9768
10	Septiembre	134	148994.3263
10	Octubre	113	64684.39703
10	Octubre	121	212757.2957
10	Octubre	122	149127.9755
10	Octubre	123	13182.50171
10	Octubre	124	35140.05183
10	Octubre	130	25779.81432
10	Octubre	131	49281.92235
10	Octubre	132	18408.03837
10	Octubre	133	128317.3176
10	Octubre	134	118634.7023
10	Noviembre	113	18774.6069
10	Noviembre	121	83608.86495
10	Noviembre	122	59378.12526
10	Noviembre	123	5478.86017
10	Noviembre	124	13808.47743
10	Noviembre	130	9253.80876
10	Noviembre	131	15942.18536
10	Noviembre	132	7430.390678
10	Noviembre	133	50412.60435
10	Noviembre	134	44438.66108
10	Diciembre	113	23243.7712
10	Diciembre	121	53874.12379
10	Diciembre	122	59609.05534
10	Diciembre	123	5731.489698
10	Diciembre	124	15714.99587
10	Diciembre	130	6956.112739
10	Diciembre	131	10663.30313
10	Diciembre	132	5118.016401
10	Diciembre	133	30562.94749
10	Diciembre	134	35444.07563



Tabla 4. Volúmenes Resultantes para un TR=25 años

TR	Mes	Subcuenca	Volumen	Tr	Mes	Subcuenca	Volumen
25	Enero	113	51539.7782	25	Julio	113	87612.45511
25	Enero	121	141409.6829	25	Julio	121	317659.9658
25	Enero	122	126174.3853	25	Julio	122	236931.0675
25	Enero	123	11889.65516	25	Julio	123	23837.13146
25	Enero	124	32271.60335	25	Julio	124	60827.33734
25	Enero	130	18545.10817	25	Julio	130	40059.86204
25	Enero	131	31915.12626	25	Julio	131	67073.22469
25	Enero	132	14347.93782	25	Julio	132	29921.66495
25	Enero	133	90874.06583	25	Julio	133	178347.3718
25	Enero	134	77515.13286	25	Julio	134	160697.308
25	Febrero	113	29121.11606	25	Agosto	113	92292.64533
25	Febrero	121	76971.54991	25	Agosto	121	292729.2578
25	Febrero	122	66451.5353	25	Agosto	122	224684.1836
25	Febrero	123	5090.236899	25	Agosto	123	20803.83626
25	Febrero	124	16804.423	25	Agosto	124	59104.61318
25	Febrero	130	9790.813915	25	Agosto	130	39449.78958
25	Febrero	131	18352.4404	25	Agosto	131	73640.25288
25	Febrero	132	7342.993951	25	Agosto	132	31030.72616
25	Febrero	133	51186.96472	25	Agosto	133	201456.3298
25	Febrero	134	59690.97601	25	Agosto	134	182312.9801
25	Marzo	113	48776.80435	25	Septiembre	113	99033.45321
25	Marzo	121	113823.5255	25	Septiembre	121	336378.8244
25	Marzo	122	122196.9061	25	Septiembre	122	287487.8152
25	Marzo	123	10617.7366	25	Septiembre	123	27235.0625
25	Marzo	124	29756.57971	25	Septiembre	124	72295.59585
25	Marzo	130	15945.57897	25	Septiembre	130	41393.91223
25	Marzo	131	30278.17947	25	Septiembre	131	69247.94761
25	Marzo	132	12851.32732	25	Septiembre	132	32154.09082
25	Marzo	133	98038.92584	25	Septiembre	133	192923.3782
25	Marzo	134	75259.42445	25	Septiembre	134	186493.9098
25	Abril	113	55746.35056	25	Octubre	113	39894.35863
25	Abril	121	215125.2055	25	Octubre	121	128244.2267
25	Abril	122	153452.1909	25	Octubre	122	94855.20286
25	Abril	123	13992.00902	25	Octubre	123	8384.931714
25	Abril	124	33234.89688	25	Octubre	124	22671.90408
25	Abril	130	24015.39253	25	Octubre	130	16153.2092
25	Abril	131	42268.11298	25	Octubre	131	30701.09053
25	Abril	132	17871.99516	25	Octubre	132	11691.11969
25	Abril	133	119188.4946	25	Octubre	133	78595.44218
25	Abril	134	87742.67664	25	Octubre	134	73521.40193
25	mayo	113	61719.57689	25	Noviembre	113	24158.79795
25	mayo	121	246541.2014	25	Noviembre	121	109196.5903
25	mayo	122	204325.6021	25	Noviembre	122	77022.71641
25	mayo	123	18273.48268	25	Noviembre	123	7101.598079
25	mayo	124	43909.31299	25	Noviembre	124	17746.82982
25	mayo	130	25615.79364	25	Noviembre	130	11983.78703
25	mayo	131	38905.65605	25	Noviembre	131	20502.29326
25	mayo	132	17587.2006	25	Noviembre	132	9562.897512
25	mayo	133	105284.8949	25	Noviembre	133	64419.32179
25	mayo	134	111341.1564	25	Noviembre	134	56456.2918
25	Junio	113	124508.1331	25	Diciembre	113	33338.42322
25	Junio	121	369167.2738	25	Diciembre	121	71873.8298
25	Junio	122	299749.8383	25	Diciembre	122	84534.66587
25	Junio	123	28517.23763	25	Diciembre	123	8281.530461
25	Junio	124	73313.8278	25	Diciembre	124	22677.89869
25	Junio	130	44884.87821	25	Diciembre	130	9750.263814
25	Junio	131	74565.40132	25	Diciembre	131	14759.99686
25	Junio	132	32437.36892	25	Diciembre	132	6875.431397
25	Junio	133	197826.4215	25	Diciembre	133	41151.65454
25	Junio	134	201190.4336	25	Diciembre	134	50588.8876



Tabla 5. Volúmenes Resultantes para un TR=50 años

TR	Mes	Subcuenca	Volumen
50	Enero	113	65967.43463
50	Enero	121	174466.3898
50	Enero	122	157706.2735
50	Enero	123	14318.83929
50	Enero	124	38475.61975
50	Enero	130	22714.62608
50	Enero	131	39682.40995
50	Enero	132	17136.3791
50	Enero	133	110029.3074
50	Enero	134	97426.83939
50	Febrero	113	35773.29535
50	Febrero	121	95832.40982
50	Febrero	122	79407.48234
50	Febrero	123	6181.326511
50	Febrero	124	19689.58037
50	Febrero	130	12225.55925
50	Febrero	131	23057.4972
50	Febrero	132	8841.779467
50	Febrero	133	61560.27869
50	Febrero	134	70482.66921
50	Marzo	113	60386.80828
50	Marzo	121	138228.1845
50	Marzo	122	146897.9271
50	Marzo	123	12625.29262
50	Marzo	124	34949.53692
50	Marzo	130	18595.22157
50	Marzo	131	35164.48387
50	Marzo	132	14879.36735
50	Marzo	133	113394.9552
50	Marzo	134	89040.47165
50	Abril	113	64029.02622
50	Abril	121	259916.5829
50	Abril	122	181138.353
50	Abril	123	16555.53331
50	Abril	124	38030.7505
50	Abril	130	28925.24049
50	Abril	131	51695.28542
50	Abril	132	20989.91722
50	Abril	133	141670.9337
50	Abril	134	104561.5673
50	Mayo	113	72491.43861
50	Mayo	121	284247.7202
50	Mayo	122	240550.6342
50	Mayo	123	21239.6105
50	Mayo	124	51671.59597
50	Mayo	130	29444.45933
50	Mayo	131	44112.44205
50	Mayo	132	20291.27437
50	Mayo	133	120783.1953
50	Mayo	134	130225.3295
50	junio	113	141217.0807
50	junio	121	423312.0979
50	junio	122	344316.61
50	junio	123	33042.6547
50	junio	124	84645.42023
50	junio	130	51508.26669
50	junio	131	85113.74879
50	junio	132	37186.88656
50	junio	133	225778.5033
50	junio	134	231412.1658

Tr	Mes	Subcuenca	Volumen
50	julio	113	100122.714
50	julio	121	360843.2917
50	julio	122	270020.2841
50	julio	123	27259.30017
50	julio	124	69752.78545
50	julio	130	45612.10954
50	julio	131	75994.12354
50	julio	132	34156.82049
50	julio	133	202356.1646
50	julio	134	183486.4767
50	Agosto	113	107119.5995
50	Agosto	121	332505.0559
50	Agosto	122	255921.8713
50	Agosto	123	23651.50595
50	Agosto	124	67936.71272
50	Agosto	130	45043.54116
50	Agosto	131	84108.19173
50	Agosto	132	35624.10277
50	Agosto	133	230137.0412
50	Agosto	134	210841.0557
50	Septiembre	113	113578.5524
50	Septiembre	121	383955.2821
50	Septiembre	122	335053.2016
50	Septiembre	123	31699.101
50	Septiembre	124	84693.91191
50	Septiembre	130	47136.47896
50	Septiembre	131	77908.70074
50	Septiembre	132	36973.40467
50	Septiembre	133	219320.2779
50	Septiembre	134	216266.8985
50	Octubre	113	88358.38357
50	Octubre	121	304398.1692
50	Octubre	122	202726.7238
50	Octubre	123	17991.81808
50	Octubre	124	47003.59949
50	Octubre	130	35504.4457
50	Octubre	131	67794.26593
50	Octubre	132	25153.89139
50	Octubre	133	180225.9182
50	Octubre	134	163065.6649
50	Noviembre	113	28153.51863
50	Noviembre	121	129535.6334
50	Noviembre	122	90212.04649
50	Noviembre	123	8345.142498
50	Noviembre	124	20681.11634
50	Noviembre	130	14096.6146
50	Noviembre	131	23974.91323
50	Noviembre	132	11158.76795
50	Noviembre	133	74846.80061
50	Noviembre	134	65433.62643
50	Diciembre	113	42815.87488
50	Diciembre	121	87054.73667
50	Diciembre	122	106218.4818
50	Diciembre	123	10693.26088
50	Diciembre	124	29261.76676
50	Diciembre	130	12305.03399
50	Diciembre	131	18450.08195
50	Diciembre	132	8383.443738
50	Diciembre	133	50291.07904
50	Diciembre	134	64760.85531



Tabla 6. Volúmenes Resultantes para un TR=100 años

TR	Mes	Subcuenca	Volumen	Tr	Mes	Subcuenca	Volumen
100	Enero	113	83147.97696	100	julio	113	113013.4594
100	Enero	121	212060.1226	100	julio	121	405252.3405
100	Enero	122	193983.8412	100	julio	122	304064.6381
100	Enero	123	16931.33483	100	julio	123	30790.49351
100	Enero	124	45021.53217	100	julio	124	78979.4434
100	Enero	130	27395.03803	100	julio	130	51323.68812
100	Enero	131	48636.5877	100	julio	131	85130.05708
100	Enero	132	20133.68492	100	julio	132	38520.37067
100	Enero	133	131233.0411	100	julio	133	226949.9849
100	Enero	134	120696.252	100	julio	134	206963.2649
100	Febrero	113	43231.04544	100	Agosto	113	122573.7617
100	Febrero	121	117599.1764	100	Agosto	121	373358.4281
100	Febrero	122	93138.83294	100	Agosto	122	288049.1986
100	Febrero	123	7391.617087	100	Agosto	123	26576.35599
100	Febrero	124	22614.05924	100	Agosto	124	77081.46593
100	Febrero	130	15041.99343	100	Agosto	130	50806.95701
100	Febrero	131	28534.85173	100	Agosto	131	94892.66185
100	Febrero	132	10466.51833	100	Agosto	132	40374.73929
100	Febrero	133	72715.67381	100	Agosto	133	259699.3811
100	Febrero	134	81623.74613	100	Agosto	134	240484.8909
100	Marzo	113	73672.90851	100	Septiembre	113	128478.6386
100	Marzo	121	165300.9699	100	Septiembre	121	432988.6207
100	Marzo	122	173543.0728	100	Septiembre	122	384692.2385
100	Marzo	123	14727.39832	100	Septiembre	123	36360.59536
100	Marzo	124	40249.37958	100	Septiembre	124	97670.9478
100	Marzo	130	21261.60009	100	Septiembre	130	53047.17754
100	Marzo	131	40047.00617	100	Septiembre	131	86728.85354
100	Marzo	132	16892.77597	100	Septiembre	132	41966.25758
100	Marzo	133	128594.9547	100	Septiembre	133	246434.9429
100	Marzo	134	103624.5765	100	Septiembre	134	247173.1235
100	Abril	113	72299.86607	100	Octubre	113	98348.25892
100	Abril	121	309873.5233	100	Octubre	121	346488.3322
100	Abril	122	211122.7549	100	Octubre	122	225885.0992
100	Abril	123	19346.54077	100	Octubre	123	20076.3038
100	Abril	124	42899.43548	100	Octubre	124	51996.32741
100	Abril	130	34411.59466	100	Octubre	130	39746.36211
100	Abril	131	62424.71931	100	Octubre	131	75827.32907
100	Abril	132	24346.56457	100	Octubre	132	28109.41312
100	Abril	133	166138.8973	100	Octubre	133	203739.3326
100	Abril	134	123043.9947	100	Octubre	134	182374.6004
100	Mayo	113	84158.41724	100	Noviembre	113	32087.31705
100	Mayo	121	323215.7127	100	Noviembre	121	150954.9885
100	Mayo	122	279548.8788	100	Noviembre	122	103340.3885
100	Mayo	123	24321.87695	100	Noviembre	123	9612.180096
100	Mayo	124	59856.2324	100	Noviembre	124	23586.52413
100	Mayo	130	33389.60907	100	Noviembre	130	16265.00834
100	Mayo	131	49408.88543	100	Noviembre	131	27487.0258
100	Mayo	132	23088.01974	100	Noviembre	132	12747.91613
100	Mayo	133	136750.4692	100	Noviembre	133	85183.28222
100	Mayo	134	149958.884	100	Noviembre	134	74336.92705
100	junio	113	158047.8544	100	Diciembre	113	54199.89757
100	junio	121	479224.6649	100	Diciembre	121	103865.9639
100	junio	122	390333.6172	100	Diciembre	122	135147.6512
100	junio	123	37750.97121	100	Diciembre	123	13612.48548
100	junio	124	96378.30114	100	Diciembre	124	37224.37583
100	junio	130	58353.63135	100	Diciembre	130	15316.09206
100	junio	131	95969.98459	100	Diciembre	131	22739.61896
100	junio	132	42091.41949	100	Diciembre	132	10074.42233
100	junio	133	254532.2445	100	Diciembre	133	60557.13849
100	junio	134	262533.3609	100	Diciembre	134	81705.9914



Tabla 7. Volúmenes Resultantes para un TR=500 años

TR	Mes	Subcuenca	Volumen
500	Enero	113	136369.7212
500	Enero	121	321469.6309
500	Enero	122	301557.294
500	Enero	123	23932.26062
500	Enero	124	61970.9757
500	Enero	130	40747.30712
500	Enero	131	75161.07232
500	Enero	132	28117.51895
500	Enero	133	190413.2067
500	Enero	134	190800.3427
500	Febrero	113	64430.79893
500	Febrero	121	181923.3367
500	Febrero	122	128868.9223
500	Febrero	123	10773.25209
500	Febrero	124	29613.28272
500	Febrero	130	23397.28784
500	Febrero	131	44932.8059
500	Febrero	132	14845.09539
500	Febrero	133	102393.3303
500	Febrero	134	109117.4217
500	Marzo	113	112628.6605
500	Marzo	121	240992.6036
500	Marzo	122	244882.4041
500	Marzo	123	20082.50787
500	Marzo	124	53133.70201
500	Marzo	130	27565.8464
500	Marzo	131	51424.46513
500	Marzo	132	21519.56772
500	Marzo	133	163294.9442
500	Marzo	134	141436.5607
500	Abril	113	91551.30209
500	Abril	121	450085.8708
500	Abril	122	291408.9764
500	Abril	123	26895.2438
500	Abril	124	54558.66458
500	Abril	130	49872.0044
500	Abril	131	93461.92566
500	Abril	132	33268.16063
500	Abril	133	232253.4467
500	Abril	134	173487.1485
500	Mayo	113	115096.6592
500	Mayo	121	418283.1991
500	Mayo	122	381786.375
500	Mayo	123	31890.43509
500	Mayo	124	80423.20318
500	Mayo	130	42947.16567
500	Mayo	131	61987.01515
500	Mayo	132	29901.82667
500	Mayo	133	175437.5737
500	Mayo	134	198797.7979
500	junio	113	197680.9102
500	junio	121	615383.2112
500	junio	122	502423.3091
500	junio	123	49336.21266
500	junio	124	125062.0705
500	junio	130	75043.17958
500	junio	131	122292.0537
500	junio	132	54037.67703
500	junio	133	324233.2277
500	junio	134	338060.1569

Tr	Mes	Subcuenca	Volumen
500	julio	113	144319.437
500	julio	121	512817.25
500	julio	122	386528.7988
500	julio	123	39380.90419
500	julio	124	101483.2598
500	julio	130	65158.92725
500	julio	131	107131.1595
500	julio	132	49114.82016
500	julio	133	286219.8712
500	julio	134	263938.978
500	Agosto	113	160686.05
500	Agosto	121	472108.4956
500	Agosto	122	365836.8596
500	Agosto	123	33646.35382
500	Agosto	124	99432.54014
500	Agosto	130	64798.37137
500	Agosto	131	121069.9526
500	Agosto	132	51970.81515
500	Agosto	133	331512.7865
500	Agosto	134	313283.4008
500	Septiembre	113	164370.9365
500	Septiembre	121	552031.8099
500	Septiembre	122	507370.789
500	Septiembre	123	47888.18192
500	Septiembre	124	129867.7318
500	Septiembre	130	67350.75357
500	Septiembre	131	107725.6553
500	Septiembre	132	54168.96906
500	Septiembre	133	311878.352
500	Septiembre	134	322994.8256
500	Octubre	113	121050.2463
500	Octubre	121	451058.2709
500	Octubre	122	279980.8068
500	Octubre	123	24934.01237
500	Octubre	124	63299.86155
500	Octubre	130	49720.41634
500	Octubre	131	94679.65526
500	Octubre	132	35132.28283
500	Octubre	133	261798.3415
500	Octubre	134	227896.2226
500	Noviembre	113	41039.86238
500	Noviembre	121	205597.6479
500	Noviembre	122	133924.6438
500	Noviembre	123	12680.38481
500	Noviembre	124	30282.35972
500	Noviembre	130	21577.68348
500	Noviembre	131	35868.8886
500	Noviembre	132	16434.17607
500	Noviembre	133	108902.85
500	Noviembre	134	94823.76242
500	Diciembre	113	89878.14408
500	Diciembre	121	151005.5466
500	Diciembre	122	217548.3106
500	Diciembre	123	22924.05745
500	Diciembre	124	62557.50459
500	Diciembre	130	24541.5932
500	Diciembre	131	35583.69871
500	Diciembre	132	14908.43351
500	Diciembre	133	89894.10159
500	Diciembre	134	134396.9329



