



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE
INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE
MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTA

MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS

DIRECTOR DE TESIS

ING. HÉCTOR LUIS MACÍAS GONZÁLEZ



MÉXICO D. F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/029/08

Señor
MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. HÉCTOR LUIS MACÍAS GONZÁLEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA ZONA SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO
- III. ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO
- IV. ZONAS DE MAYOR SUBSIDENCIA EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO
- V. PROPUESTAS PARA SOLUCIONAR LAS INUNDACIONES EN LAS DELEGACIONES Y MUNICIPIOS AFECTADOS
- VI. CONCLUSIONES

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 31 de Marzo del 2008.
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA
GGZ/RSU/gar.

Agradecimientos

Con sincero agradecimiento a todas aquellas personas sin las cuales no habría sido posible mi formación profesional y la elaboración de esta tesis.

A mis padres Eliseo y Celia, gracias por su apoyo, paciencia, ánimo y tolerancia durante estos años.

A mis hermanos Celia, Eliseo, Félix, Agustín y Alma y a mi abuelo Rafael, gracias por el apoyo brindado cuando más lo necesité.

Gracias a mis amigos César, Emmanuel y Jesús por el tiempo que pasamos juntos y por las muestras de apoyo y confianza hacia mí.

Gracias al Ing. Héctor Macías por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo en el proyecto PAPIIT “Nuevas Alternativas de Drenaje Geológico Artificial para el Desagüe del Valle de México” y por su importante participación en la elaboración de este trabajo.

Deseo dar las gracias también al Ing. Javier Arellano por sus aportes acerca de la geología del sitio de estudio y a Adán Castro por su ayuda para la edición de los planos.

Por último, gracias a mis sinodales: los ingenieros Gonzalo López de Haro, Sergio Tirado Ledesma, Agustín Deméneghi Colina y Gabriel Moreno Pecero, gracias por sus comentarios y aportaciones a mi tesis.

Gracias a todos ustedes y aquellos que por falta de espacio he omitido pero han formado parte en esta etapa tan importante de mi vida, no los olvidé.

Gracias por ayudarme a lograrlo.

Todos somos ignorantes,
lo que pasa es que no todos
ignoramos las mismas cosas.

A.Einstein

El éxito consiste en obtener lo que se desea
y la felicidad en disfrutar lo que se obtiene.

R.W.Emerson

No culpes a nadie

Nunca te quejes de nadie, ni de nada,
porque fundamentalmente tú has hecho
lo que querías en tu vida.

Acepta la dificultad de edificar a ti
mismo y el valor de empezar corrigiéndote.
El triunfo del verdadero hombre surge de
las cenizas de su error.

Nunca te quejes de tu soledad o de tu
suerte, enfréntala con valor y acéptala.
De una manera u otra es el resultado de
tus actos y prueba que tú siempre
has de ganar.

No te amargues de tu propio fracaso ni
se lo cargues a otro, acéptate ahora o
seguirás justificándote como un niño.
Recuerda que cualquier momento es
bueno para comenzar y que ninguno
es tan terrible para claudicar.

No olvides que la causa de tu presente
es tu pasado así como la causa de tu
futuro será tu presente.

Aprende de los audaces, de los fuertes,
de quien no acepta situaciones, de quien
vivirá a pesar de todo, piensa menos en
tus problemas y más en tu trabajo y tus
problemas sin eliminarlos morirán.

Aprende a nacer desde el dolor y a ser
más grande que el más grande de los
obstáculos, mírate en el espejo de ti mismo
y serás libre y fuerte y dejarás de ser un
títere de las circunstancias porque tú
mismo eres tu destino.

Levántate y mira el sol por las mañanas
y respira la luz del amanecer.
Tú eres parte de la fuerza de tu vida,
ahora despiértate, lucha, camina, decídete
y triunfarás en la vida; nunca pienses en
la suerte, porque la suerte es:
el pretexto de los fracasados.

Pablo Neruda

En tanto el mundo exista,
jamás deberán olvidarse
la gloria y honor de México-Tenochtitlán.

Chimalpain Quauhtlehuanitzin

Todo lo que sucede una vez
puede que no suceda nunca más.
Pero todo lo que sucede dos veces,
sucederá, ciertamente, una tercera.

Paulo Coelho, en el Alquimista

INDICE

	INTRODUCCIÓN	1
1.	ANTECEDENTES	
1.1.	MARCO HISTÓRICO	5
1.2.	EXTENSIÓN Y DEMOGRAFÍA DE LA ZONA ESTUDIADA	7
1.3.	PROBLEMÁTICA DE LOS HUNDIMIENTOS E INUNDACIONES	11
2.	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA ZONA SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO	
2.1.	HISTORIA GEOLÓGICA DEL ÁREA ESTUDIADA	17
2.2.	GEOLOGÍA LOCAL	19
3.	ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO	
3.1.	INFORMACIÓN DISPONIBLE	21
3.2.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	24
3.3.	RESULTADOS	48
3.4.	PERÍODOS DE RETORNO RECOMENDADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE DRENAJE EN CUENCA URBANAS	59
4.	ZONAS DE MAYOR SUBSIDENCIA EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO	
4.1.	HISTORIA DEL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO	61
4.2.	CAUSAS DEL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO	61
4.3.	CONSECUENCIAS DEL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO	62
4.4.	MODELOS MATEMÁTICOS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS HUNDIMIENTOS	64
5.	ALTERNATIVAS DE DESAGÜE EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO	
5.1.	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS PARA DESALOJAR VOLÚMENES EXTRAORDINARIOS DE LLUVIA	67
5.2.	ALTERNATIVA 1	73
5.3.	ALTERNATIVA 2	73
5.4.	ALTERNATIVA 3	74
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
	ANEXOS	
	ANEXO 1: REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS	93
	ANEXO 2: CURVAS i-d-T	107
	ANEXO 3: CURVAS MASA ACUMULADA	133
	ANEXO 4: CURVA MASA ACUMULADA MEDIA	159
	ANEXO 5: VALORES DE LOS PARÁMETROS k, m, n DE LAS CURVAS i-d-T	160
	CARTAS TOPOGRÁFICAS, DE UBICACIÓN DE ESTACIONES, ISOYETAS Y SUBSIDENCIA	161
	GLOSARIO	175
	BIBLIOGRAFÍA	179

INTRODUCCIÓN

La presente tesis se desarrolló a partir de mi participación en el proyecto PAPIIT IN 105706-2 “Nuevas Alternativas de Drenaje Geológico-Artificial para el Valle de México”, auspiciado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México durante los años 2006 y 2007, en el cual fui becario. Este proyecto tuvo como objetivo desarrollar propuestas de drenajes artificiales para el desagüe de la Cuenca de México por su porción sureste. En este mismo sentido, el objetivo de esta tesis es desarrollar con mayor amplitud, dado el carácter de tesis de ingeniería civil, el aspecto hidráulico.

La Ciudad de México vive una paradoja relacionada con el recurso agua. Mientras es necesario desalojar en tiempos cortos grandes volúmenes de agua procedentes de la lluvia, por otro se presentan deficiencias en el abasto de agua potable.

Uno de los problemas que más aquejan a los habitantes de la Ciudad de México, que poco ha sido considerado en los programas de desarrollo de ésta, y que se estudia en este trabajo, es la falta de capacidad del sistema de drenaje para desalojar los volúmenes de agua generados por lluvias de alta intensidad y de corta duración. Para los habitantes de este centro urbano, el más importante del país, es común ver que en la temporada de lluvias se inundan importantes y amplias zonas de la misma. En últimas fechas, la zona que ha sido más afectada por estos fenómenos es el sureste, donde se asientan las delegaciones Ixtapalapa, Iztacalco, Tláhuac y Xochimilco, así como los municipios de Valle de Chalco y Chalco.

En una superficie de 511 Km² de suelo lacustre viven 3,554,159¹ habitantes, cantidad equivalente casi al 50% de la población de la Ciudad de México. La expansión de la mancha urbana ha ocasionado que extensas superficies de

¹Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. **Conteo de Población 2005.**

ámbito rural hayan sido convertidas en urbanas. A la fecha el suelo de las cuatro delegaciones de la Ciudad de México y el Valle de Chalco ha sido totalmente urbanizado. Esta dinámica ha producido un desequilibrio ambiental reflejado en inundaciones cada año más extensas que afectan a 98 colonias, en las cuales se hallan 209,818 casas y 920,619 habitantes en una superficie de 40 Km² que encierra a la zona topográficamente más baja de la ciudad.²

Se presenta en este trabajo un estudio sobre la demografía, la geología, la subsidencia del terreno y la hidrología de la zona a fin de proporcionar alternativas para evitar los problemas de inundación recurrentes en la zona.

Se estudia la demografía basada en información del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de la Comisión Nacional de Población y se presentan proyecciones del crecimiento poblacional al año 2022, la cual resulta ser de 3,945,274 habitantes.

Se llevó a cabo una recopilación de información sobre la geología, los hundimientos del terreno y elementos meteorológicos necesarios para el estudio hidrológico.

En el estudio hidrológico de la zona se calculó la lluvia media anual, la cual se sustentó en el análisis de diez estaciones pluviométricas ubicadas dentro de los límites de las delegaciones y los dos municipios y de quince estaciones auxiliares con las cuales se dedujeron datos faltantes. El lapso estudiado de precipitaciones diarias fue 1960 – 2004. Para este tiempo, la lluvia media anual, siguiendo el método de los polígonos de Thiessen, resultó de 651 mm.

Con los registros de siete estaciones pluviográficas dentro del área de estudio y de diecinueve estaciones auxiliares en los límites este y norte, se pronosticaron tormentas de dos horas de duración y períodos de retorno de 3, 5, 10 y 15 años. Las alturas de lluvia respectivas a esa duración y períodos de retorno resultaron

² Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. **Planes de Acciones Hidráulicas 2001-2005.**

de 34.3, 43.1, 60.6 y 68.0 mm. Se calcularon los caudales de agua pluvial a desalojar en 24 horas, las cuales serían 74.44, 103.90, 162.42 y 202.89 m³/s correspondientes a las alturas de lluvia y períodos de retorno mencionados en el párrafo anterior, considerando los gastos de agua residual vertidos a la red en un horizonte de 25 años.

Para desaguar estos caudales se proponen en este trabajo tres alternativas artificiales de desagüe por el sur, de acuerdo a las características topográficas, geológicas e hidrogeológicas más favorables de la Sierra de Chichinautzin: Túnel Salado-Poniente, Túnel Salado-Xico-Achichipico y Túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya.

La solución propuesta en este trabajo no es fácil, el parteaguas es escarpado y de gran altura, la Sierra del Chichinautzin presenta un gran reto a las ingenierías civil y geológica que interactuarían para efectuar obras colosales de desagüe, de las mismas dimensiones que exigen las soluciones de la problemática hidráulica de la ciudad. No se pretende con alguna de estas obras sustituir al elemento fundamental del sistema de drenaje actual, sino coadyuvar con la evacuación de aguas pluviales de la zona Oriente en continuo crecimiento, en contingencias de lluvias cada vez más frecuentes y cuyos volúmenes a desalojar serían tan grandes que conducirlos al norte por el actual sistema de desagüe sería inoperable.

1. ANTECEDENTES

1.1. MARCO HISTÓRICO

El desagüe de la Cuenca de México ha sido desde los tiempos del Imperio Azteca hasta nuestros días, un factor de temor recurrente en la memoria de sus habitantes. Las inundaciones más grandes que asolaron Tenochtitlán en 1449, 1500 y 1510³ quedaron registradas en sus reseñas como los desastres más grandes. Ante el problema de las inundaciones el huey tlatoani de Texcoco, Netzahualcóyotl, diseñó un albarradón de más de doce kilómetros de longitud y cuatro metros de ancho para proteger a la gran Tenochtitlán del azote de las inundaciones.⁴ La construcción de la obra se concluyó en 1450 bajo el reinado del tlatoani tenochca Itzcóatl. El albarradón dividió las aguas salobres de Texcoco de las aguas dulces de los lagos de Zumpango, México, Xochimilco y Chalco. El dique poseía esclusas que permitían vaciar la laguna de México cuando el nivel de las aguas era peligroso.

En el México colonial, estas catástrofes se repitieron en 1555, 1579, 1604, 1607 y 1629 entre las más significativas. A partir de 1607 se iniciaron las obras para desaguar la cuenca con el Tajo de Nochistongo, el Canal del Desagüe y el Túnel de Tequisquiac, en 1900, y el Segundo Túnel de Tequisquiac en 1940, con lo cual la Cuenca de México quedó integrada artificialmente a la Cuenca del Río Moctezuma, que forma parte de la región del Río Pánuco. Estas obras resolvieron temporalmente el problema de las inundaciones, pues en 1951 la Ciudad de México permaneció inundada por varios días con niveles de hasta 3 metros. Un año después se presentó otra inundación de igual magnitud (Figura 1.1).

³ Cfr. RAMÍREZ, J. **Memoria acerca de las obras e inundaciones de México**. Pág. 34, 40 y 42.

⁴ Cfr. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica de la Departamento del Distrito Federal. **El Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México**. Pág. 4.



Figura 1.1. Aspecto de la inundación sufrida en la Ciudad de México en 1951.⁵

En 1975 el desagüe superficial fue reforzado con una obra gigantesca de ingeniería: el Sistema de Drenaje Profundo. Este sistema es una red de 166 km de túneles enclavados a profundidades que varían entre los 22 y los 217 m que desaloja los enormes volúmenes de aguas pluviales y residuales, aún cuando fue diseñado exclusivamente para desalojar las primeras y para servir a una población proyectada para el año 2000 y un área de servicio que en ese entonces era de 722.5km², con una vida útil de 25 años⁶. En la actualidad, dicho sistema sirve para desaguar tanto aguas pluviales como aguas negras de manera constante, lo que ha dificultado el mantenimiento y revisión del mismo.

⁵ Tomado de www.gdf.gob.mx

⁶ Cfr. Departamento del Distrito Federal. Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal, Tomo III. Pág. 24

A pesar de las grandes obras anteriormente mencionadas, la cuenca no pierde su memoria lacustre. En los últimos años las inundaciones se han repetido en dimensiones cada vez mayores y de carácter más trágicas, si se considera la sobrepoblación de la cuenca, la incontrolable expansión de la mancha urbana, el incesante hundimiento del terreno a causa de la extracción de agua del subsuelo por bombeo, la deforestación y el cambio climático.

1.2. EXTENSIÓN Y DEMOGRAFÍA DE LA ZONA ESTUDIADA

Extensión del área estudiada

El área estudiada se determinó en función de la demografía, del potencial de crecimiento poblacional y del área de influencia de las estaciones pluviométricas y pluviográficas detalladas más adelante y corresponde al extremo suroriental de la Cuenca de México (en la porción centro, este y suroeste del Distrito Federal y en al extremo sur-sureste del estado de México). Tiene un perímetro irregular que encierra una superficie de 511 km², entre las coordenadas 480,000 a 530,000 mE y 2,110,000 a 2,160,000 mN. Dentro de este perímetro, mostrado en la Figura 1.2 se albergan las delegaciones Iztacalco, Ixtapalapa, Tláhuac, Xochimilco de la Ciudad de México así como el municipio Valle de Chalco y la porción media este del municipio de Chalco (área urbana de este municipio).

Demografía

En 1325 los aztecas fundaron Tenochtitlán en el centro del lago de México. Lograron adaptarse perfectamente al medio lacustre y construyeron importantes obras hidráulicas para abastecimiento de agua pero sobre todo para la protección de inundaciones. Algunos cronistas e historiadores describen a la gran Tenochtitlán como unas de las ciudades más grandes y colosales del mundo en el siglo XVI ya que ocupaba 13.5 km² de superficie y una población de 300,000 habitantes aproximadamente. Tras la conquista la población de Tenochtitlán comenzó a descender estrepitosamente para llegar a menos de 30,000 habitantes a tan solo un siglo de distancia. Este retroceso en la población fue producto de las

guerras dispares, de la esclavitud y de la llegada de nuevas enfermedades contra las cuales estaba indefensa la población nativa. No fue sino hasta principios del siglo XX cuando la ciudad recuperó la población registrada en el siglo XVI.

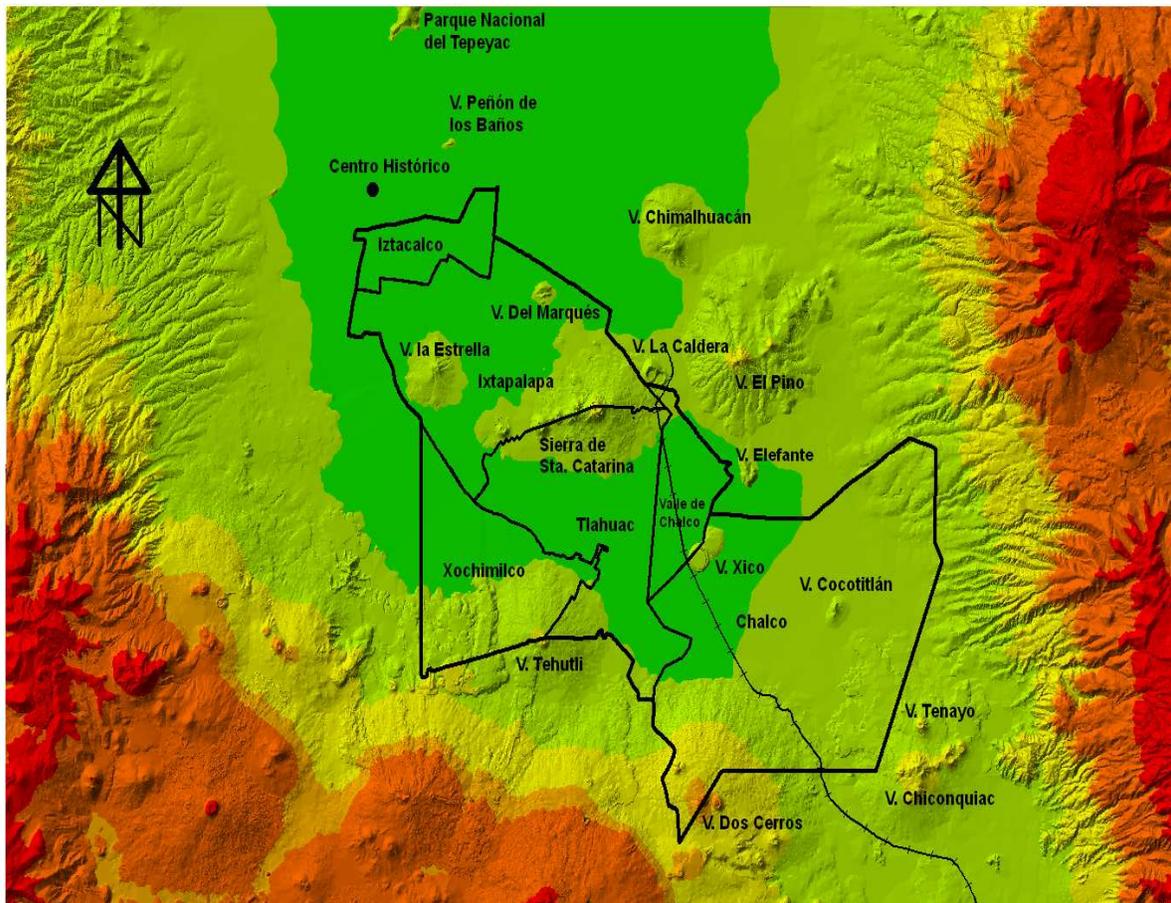


Figura 1.2. Localización del área de estudio.

Después de la Revolución de 1910 se registraron las tasas de crecimiento demográfico más altas de la historia convirtiendo a la Ciudad de México en una de las más grandes y pobladas del mundo.

Por desgracia, la armonía existente en tiempos de los aztecas con su entorno lacustre se perdió para siempre, en un proceso que desecó los lagos y ha hecho que la población dependa del agua de otras cuencas y del agua del subsuelo para poder sobrevivir cuando hace 400 años se tenía ese recurso abundantemente.

En las últimas cuatro décadas el crecimiento demográfico ha ocurrido de manera exponencial. En las delegaciones citadinas y en los dos municipios del Estado de México, viven 3,554,159 habitantes (Ver Tabla 1.1), según el Censo de Población 2005⁷, cantidad equivalente a casi el 50% de la población de la Ciudad de México. Entre los efectos negativos de la expansión poblacional, resalta que extensas superficies de ámbito rural hayan sido convertidas en urbanas. Este fenómeno se disparó en los años setentas y a la fecha el suelo de las cuatro delegaciones de la Ciudad de México y el Valle de Chalco ha sido totalmente urbanizado (Ver figura 1.3); solo la porción oriental del municipio de Chalco conserva áreas rurales. Este impresionante acontecimiento tiene múltiples razones, entre las más importantes está que sea el mayor centro económico político, comercial, educativo y cultural del país. De acuerdo a proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), se estima que para el año 2022 la población llegue a los 3,945,274 de habitantes. (Ver tabla 1.2) Esta dinámica ha producido y producirá un desequilibrio ambiental cuyos máximos exponentes son el drenaje y el abastecimiento de agua potable.

Tabla 1.1. Población y superficie de las delegaciones y municipios estudiados, 2005

Delegación o municipio	Población [hab]	Superficie [km ²]	Densidad poblacional [hab/km ²]
Ixtapalapa	1,820,888	117	15,563
Iztacalco	395,025	23.3	16,954
Tláhuac	344,106	85.35	4,032
Valle de Chalco	332,279	46.36	7,167
Chalco	257,403	120.99	1,097
Xochimilco	404,458	118	3,428

⁷ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. **op. cit.**



Figura 1.3. Expansión urbana de la Ciudad de México.⁸

Tabla 1.2. Proyección del crecimiento poblacional según CONAPO

Año	Población
2010	3,775,021
2012	3,818,173
2017	3,894,526
2022	3,945,274

⁸ Tomado de www.imagenesaereasdemexico.com

1.3.PROBLEMÁTICA DE LOS HUNDIMIENTOS E INUNDACIONES

Hundimientos

La Ciudad de México está asentada en su mayor parte sobre lo que fue el lecho del Lago de México. El subsuelo de la Ciudad de México está formado por una serie arcillosa sumamente compresible, cuyo origen es la alteración de cenizas volcánicas.

La consolidación de las arcillas de la Ciudad de México ha ocasionado un fuerte hundimiento del suelo, aunado a una alta densidad de población y a la sobre explotación de los mantos acuíferos. Cada año, la Ciudad de México se hunde 10 centímetros, que pueden ser imperceptibles a simple vista, pero en los últimos diez años el hundimiento sumó un metro y el siglo pasado fueron 10 metros.

Más allá del hundimiento visualmente perceptible, los problemas ocasionados por este fenómeno repercuten directamente en los servicios básicos de las zonas habitacionales y escolares, entre los que destacan daños a las redes de drenaje e instalaciones de agua potable.

Inundaciones

Por su ubicación geográfica, la Cuenca de México, que en tiempos muy remotos tuvo desagüe natural al Río Balsas, está sujeta a fenómenos meteorológicos que provocan precipitaciones intensas y de corta duración de tipo convectivo y además, a los eventuales ciclones cada vez más frecuentes. La manifestación de estos eventos, aunado a los asentamientos irregulares y a que en cuatro meses se concentra más de dos terceras partes de la precipitación, propicia constantes inundaciones en las zonas con grandes asentamientos humanos en áreas que formaban parte de los antiguos lagos, como el de México, Texcoco, Chalco y Xochimilco. De acuerdo a los registros de los daños ocasionados por las inundaciones, en la Cuenca de México, en los últimos 30 años se han presentado más de 160 eventos, el más reciente que se tiene registrado es el ocurrido en el

año 2000 cuando las fuertes precipitaciones generaron una avenida de 42 m³/s en el Río La Compañía, rebasando la capacidad de conducción del mismo y provocando una fractura y el posterior colapso de 15 metros de la margen izquierda del cauce, afectando una superficie de 80 ha de los municipios de Chalco, Valle de Chalco e Ixtapaluca en el Estado de México. Como consecuencia fundamental se derivaron daños muy significativos al desarrollo de la actividad económica.

En los últimos años las inundaciones en esta porción de la cuenca se han vuelto cada vez más persistentes debido a que el escurrimiento ha aumentado significativamente por la disminución de suelos naturales y vegetación, a la extracción desmedida de agua del manto freático y por el vertido de aguas residuales a la red de drenaje de una población que año con año va en aumento. Al año 2001 el Gobierno de la Ciudad de México ha detectado 98 colonias, que cubren una superficie de 40 km², propensas a sufrir inundaciones. En la tabla 1.3 se muestra el número de colonias afectadas por delegación o municipio del área en estudio⁹.

Las inundaciones que sufre la ciudad en época de lluvias, se explican por la diferencia de niveles entre una parte de la ciudad y el Gran Canal, así como por la incapacidad de bombear toda el agua cuando se registran las mayores precipitaciones pluviales.

Por otro lado, debido a la importancia económica, social, política y cultural de la Ciudad de México se ha atraído a un gran número de inmigrantes del interior de la República en forma desordenada provocando un crecimiento no controlado de la Zona Metropolitana de la Ciudad México, con grandes asentamientos humanos en áreas que antiguamente formaban parte del Lago de Texcoco y de otros lagos; con esto se agudizaron los problemas de las inundaciones, ya que la parte potencialmente más inundable, corresponde a las antiguas zonas lacustres, en donde se asientan grandes núcleos de población. En la Carta 1.1 se muestra la

⁹ Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. **op. cit.**

superposición de los límites de lo que eran los grandes lagos de la Cuenca de México y el área estudiada.

Tabla 1.3. Afectación por inundaciones

Delegación o municipio	No. Colonias Afectadas	No. Casas afectadas	Población afectada	Área afectada [km ²]
Iztacalco	7	40,468	163,911	4.04
Ixtapalapa	36	109,876	490,335	15.43
Tláhuac	30	22,978	103,779	12.42
Xochimilco	9	9,570	40,532	1.97
Valle de Chalco	16	26,926	122,062	6.17
Total	98	209,818	920,619	40.05

El desordenado crecimiento de la Zona Metropolitana de la Ciudad México ha propiciado la ocupación y deterioro de los cauces y barrancas de la Ciudad, los cuales siempre han sido usados como basureros por personas con poca o nula conciencia del daño que ocasionan a los demás y así mismos, lo cual reduce significativamente la capacidad de conducción. Aunado a lo anterior, se debe mencionar que también han sido invadidas antiguas zonas lacustres y que se ha reducido la capacidad de almacenamiento de las presas y lagunas de regulación construidas para el control de avenidas debido a su azolvamiento. Los factores anteriores en conjunto han incrementado los riesgos de inundaciones en las zonas bajas de la cuenca.

A pesar de las grandes obras realizadas en la Ciudad de México para el desalojo de las aguas residuales y pluviales que se generan, todavía se presentan en la época de lluvias inundaciones y encharcamientos en diversas partes de la Zona Metropolitana de la Ciudad México. De manera prioritaria es indispensable desalojar las aguas residuales para reducir los problemas de contaminación y mejorar las condiciones sanitarias de sus habitantes.

Ante lo anterior, cada vez hay más voces de alerta sobre una falla del Sistema de Drenaje Profundo lo que ocasionaría una terrible inundación con efectos catastróficos para la población de la Ciudad de México y de algunos de sus municipios conurbados.

Si en esta zona se presentara una lluvia extraordinaria de 68 milímetros de altura y de dos horas de duración, generaría 40 millones de metros cúbicos, de los cuales, como se verá más adelante, se tendrían que desaguar 16 millones de metros cúbicos. Si este volumen se desalojara, por ejemplo, en 24 horas, el caudal respectivo sería de 200 m³/s. Como el Emisor Central tiene una capacidad de desalojo de 200 m³/s, se infiere fácilmente que se necesitarían dos emisores con la misma capacidad de éste para desaguar a la ciudad en 24 horas. De no ser así, acontecería una inundación catastrófica en las áreas inundables detectadas por el Gobierno de la Ciudad de México, que actualmente cubren una superficie de 40 km² y en las que se alcanzaría una altura de 40 cm. La infraestructura actual de desalojo de aguas pluviales y aguas negras, incluidos el Río La Compañía y Canal Nacional, serían insuficientes para un desfogue expedito y el riesgo de una pandemia por la permanencia de aguas negras sobrevendría en pocos días.

Otro factor adverso de mucho peso sobre la extensa red de drenaje profundo de la Ciudad son los sismos frecuentes en la Faja Volcánica Mexicana y que en la capa arcillosa superior del subsuelo de la Ciudad pueden producir rompimiento de tuberías y desplazamientos significativos en los interceptores.

A estos escenarios puede agregarse que mientras se produce una lluvia en forma simultánea ocurriera una emisión de cenizas del Volcán Popocatepétl que taponaría las redes de desalojo. En estas condiciones, la magnitud de la catástrofe se vería considerablemente aumentada. En junio de 1998, una capa de cenizas cubrió totalmente esta zona suroriental de la Cuenca y el 29 de julio de 2005, se presentaron los fenómenos climáticos y volcánicos de manera simultánea aunque en reducidas proporciones, según se constata en información proporcionada por Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED.

Para librar a la Ciudad de México y a sus dos municipios conurbados del Estado de México de estas eventuales y no lejanas calamidades, se proponen nuevas salidas artificiales de la cuenca, pero ahora por el sur, como serían túneles excavados en la roca volcánica de la Sierra del Chichinautzin así como la rectificación de los cauces de la Cuenca de Cuautla, Morelos.

El desagüe artificial de la Cuenca por el sur es una prevención hidrológica impostergable, no sólo por la ocurrencia de una lluvia extraordinaria. En pocos años, a las condiciones actuales de la zona suroriente, se sumarán decenas de miles de habitantes y centenas de Kilómetros cuadrados de bosques serán convertidos en zonas habitacionales. Los requerimientos de agua potable obligarán a la perforación de más pozos, la subsidencia del suelo lacustre cubrirá mayores extensiones y el volumen de agua residual por desalojar se verá también incrementado. Al mismo tiempo, los componentes de infraestructura de desagüe del norponiente continuarán deteriorándose y también en pocos años serán insuficientes para desalojar las aguas negras y de lluvia de una metrópoli mayor que la actual. Solamente una nueva salida artificial de la Cuenca por el sur evitaría una inundación de consecuencias trágicas, pues la Cuenca de México se niega a olvidar su pasado lacustre.

Depender de un solo desagüe principal representa un riesgo muy alto para una ciudad con la importancia que representa. La solución propuesta en este trabajo no será fácil, el parteaguas sur de la cuenca es escarpado y de gran altura, la Sierra del Chichinautzin presenta un gran reto a las ingenierías civil y geológica que deberán interactuar para efectuar obras colosales de desagüe.

2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA ZONA SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO

2.1. HISTORIA GEOLÓGICA DEL ÁREA ESTUDIADA

Hace un millón de años, en el antiguo Valle de México existía un sistema fluvial que drenaba hacia el sur, integrándose al río Amacuzac. De acuerdo con Mooser¹⁰, los Ríos Cuautla y Cuernavaca integraban la cuenca alta del sistema mencionado. El primero era nutrido por las aguas que descendían de la Sierra Nevada, mientras que el segundo drenaba los escurrimientos provenientes de los conjuntos montañosos ubicados al oeste. (Figura 2.1)

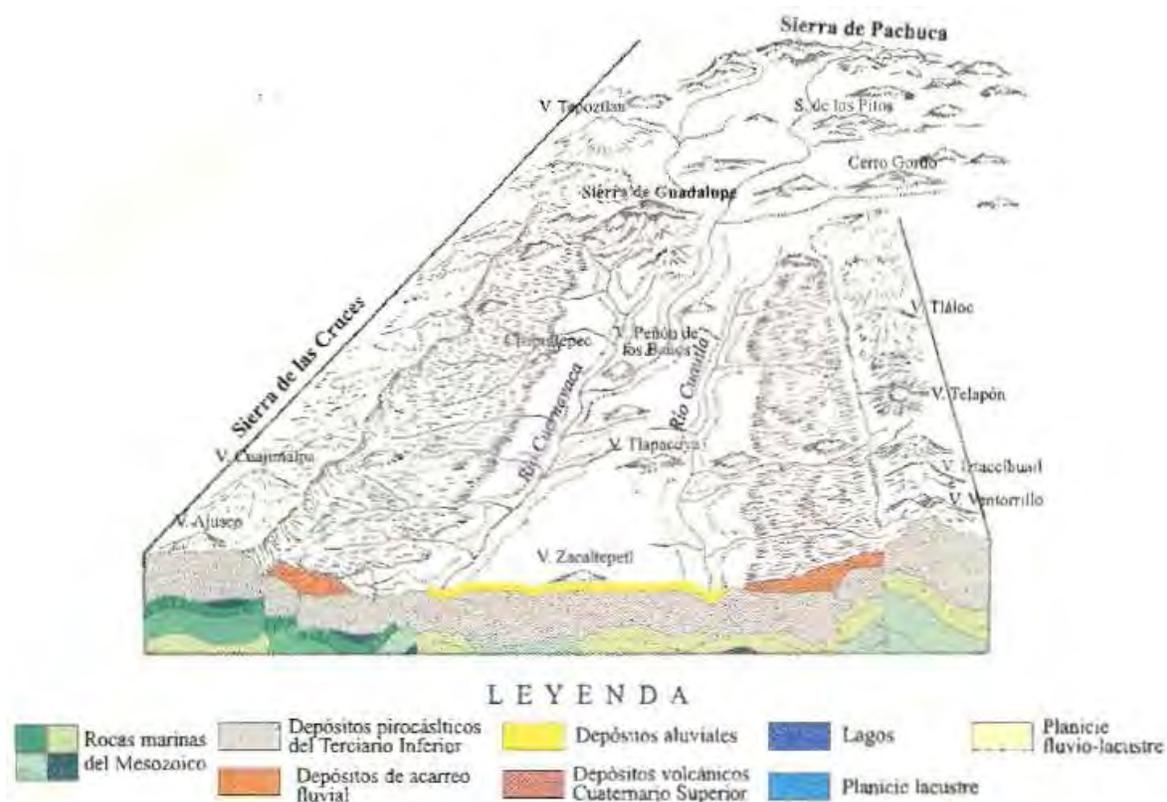


Figura 2.1. La cuenca de México hace 1 millón de años.¹¹

¹⁰ MOOSER, F. La cuenca lacustre del Valle de México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables A. C. Págs. 12-16.

¹¹ Tomado de GUTIERREZ, M. La cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales. Pág. 14

Hace 700,000 años, como resultado de una intensa actividad volcánica se formó la Sierra del Chichinautzin, la cual cerró el antiguo Valle de México por el sur, dando origen a la actual Cuenca de México. Este conjunto montañoso formó una represa natural e interrumpió el drenaje existente, debido a la acumulación considerable de lavas y productos vulcanoclasticos. Estas condiciones favorecieron la existencia de lagos y el azolvamiento paulatino de todo este territorio (Figura 2.2). La parte central de la cuenca se fue rellenando con materiales limo-arenosos, limo-arcillosos y emisiones de cenizas y pómez, acarreados por las lluvias provenientes de los volcanes del sur. Al pie de las sierras y por el brusco cambio de pendiente de los ríos, se localizan grandes depósitos aluviales de composición muy variable y estratificación cruzada o lenticular, evidencia de una dinámica erosiva debido a periodos de lluvias intensas.

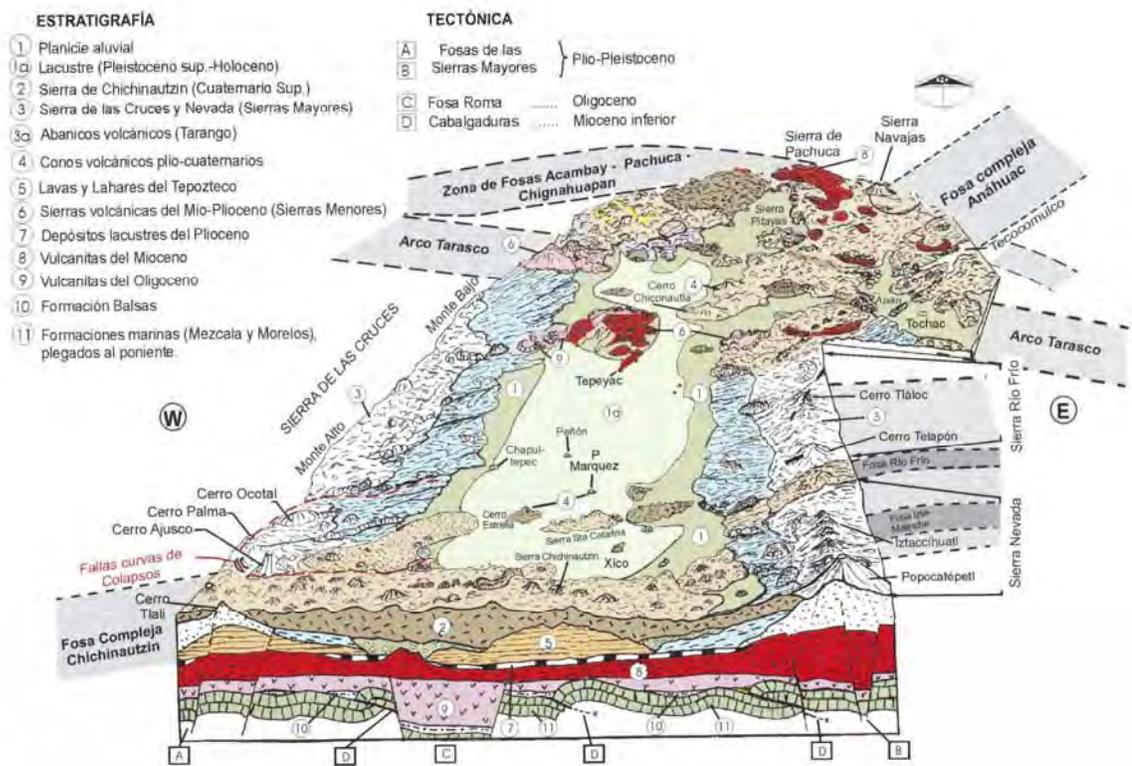


Figura 2.2. La cuenca de México hace 700 mil años.¹²

¹²Tomado de Santoyo E. Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México. Pág. 19.

En Xochimilco y Chalco, esos sedimentos tienen un espesor de 800 metros y los depósitos superficiales de origen lacustre, consistentes en arcillas altamente hidratadas (jaboncillo), una profundidad variable entre 50 y 60 metros.

Otro indicio de la gran potencia pulsante que anida bajo la superficie de la Cuenca de México, son: la erupción del Xitle, apenas 200 a. C., cuyas lavas destruyeron la población de Cuicuilco y dieron origen al Pedregal de San Ángel.

2.2.GEOLOGÍA LOCAL

La geología del área de estudio se elaboró tomando como base el análisis de trabajos antecedentes, trabajo de campo, interpretación de imágenes de satélite y con estudios petrográficos en laboratorio. Como resultado de estas actividades, se elaboró un mapa geológico de aproximadamente 50 km de largo por 15 km de ancho, dentro de las coordenadas geográficas 394,745 a 500,000 mN y 2,101,126 a 2,156,152 mE (Figura 2.3).

La Cuenca de México es la parte más alta de la Zona Volcánica Transmexicana. Está formada, casi en su totalidad, de mantos de lava y materiales piroclásticos. En la parte sur de la cuenca, el espesor de estos materiales es enorme, según indican estudios geofísicos. Los volcanes de la cuenca presentan muchas formas, desde los más viejos con las laderas suavizadas y redondeadas hasta los más recientes, de flancos empinados y sin señas de erosión.

La mayor parte de las laderas superiores que rodean a la cuenca están cubiertas por la Formación Tarango, compuesta de depósitos aluviales derivados de las sierras adyacentes. El piso de la cuenca está formado en parte de sedimentos lacustres, originados durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno. La serie basáltica Chichinautzin es un complejo de múltiples conos cineríticos, conos escóriaseos, anillos de tefra y mantos de lava, tefra y brechas volcánicas, con sedimentos volcánicos entreverados, todos ellos de composición basalto-andesítica. Esta estructura forma la división del borde sur de la Cuenca de México.

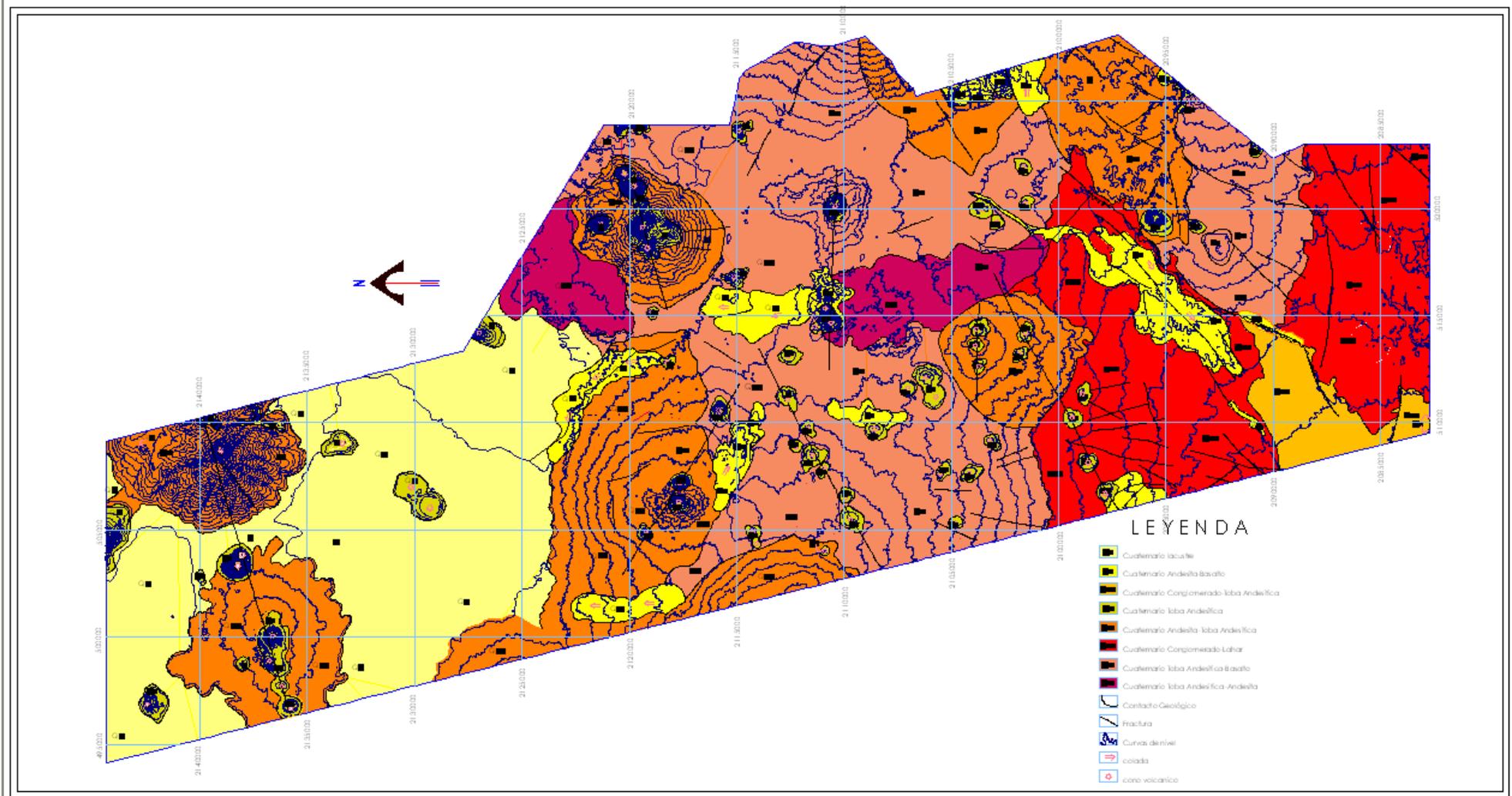


Figura 2.3. Mapa geológico.

3. ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO

3.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para fines del estudio hidrológico se consideró un área irregular que cubre las superficies de las delegaciones Iztacalco, Ixtapalapa, Tláhuac y el municipio de Valle de Chalco, así como la parte noreste de la delegación Xochimilco y el este del municipio de Chalco entre las coordenadas 480,000 a 530,000 mE y 2,110,000 a 2,160,000 mN. La extensión de esta superficie es de 511 km². La delimitación de esta área en el sur y en el este se asignó a partir del establecimiento de los polígonos de Thiessen.

En el Servicio Meteorológico Mexicano, SMN, se obtuvo información digital de las estaciones pluviométricas de la Ciudad de México y del Estado de México para los lapsos que se muestran en las tablas 3.1 y 3.2. En dichas tablas puede observarse que el período de estudio abarcó de 1960 a 2004. La información recabada se presenta en las tablas 3.5 y 3.6, y la distribución espacial de las estaciones pluviométricas se observa en la carta 3.1.

Por otra parte, en la Gerencia de Aguas del Valle de México, GRAVAMEX, se obtuvieron los Boletines Hidrológicos 30 al 57. La información contenida en los boletines abarca desde el año 1977 hasta el año 2004. Como parte de la recopilación de datos, también se obtuvieron los Boletines Hidrológicos Resumen 4, 5, 6, y 7 que compilan información de 1981 al año 2000. De estos boletines climatológicos se obtuvieron datos de curvas de intensidad máxima de 26 estaciones pluviográficas para los años 1960 - 2004. La relación de estaciones pluviográficas y sus lapsos de información se muestra en la tabla 3.3, y su distribución espacial en la carta 3.2. La información recabada se presenta en el anexo.

Tabla 3.1. Estaciones pluviométricas, D. F.

Clave SMN	Nombre de la Estación	Coordenadas		Período de Registro
		mE	mN	
9004	Calvario 61 (Tlalpan)	482,489	2,134,057	1970-2004
9009	Col. Agrícola Oriental	491,305	2,145,158	1961-1988
9014	Col. Santa Úrsula Coapa	491,248	2,135,898	1969-2005
9024	Hda. Peña Pobre (Tlalpan)	482,489	2,134,059	1961-1992
9026	Morelos 77 (Ixtapalapa)	491,248	2,141,427	1960-1996
9032	Milpa Alta, Milpa Alta	497,399	2,121,011	1960-2003
9034	Moyoguarda (Xochimilco)	489,490	2,128,519	1960-1988
9036	Col. Marte, Col. Marte	485,998	2,143,275	1969-2005
9041	San Fco. Tlalne.(Xochi)	487,733	2,121,143	1961-2004
9042	San Gregorio Atlap. Xoch	491,216	2,124,554	1960-1983
9044	San Lorenzo (Milpa Alta)	487,733	2,121,139	1969-1999
9045	Santa Ana (Milpa Alta)	500,000	2,119,295	1969-1998
9051	Tláhuac (Xochimilco)	499,962	2,128,318	1961-2004
9052	Unidad Modelo Ixtapalapa	487,747	2,141,429	1961-1981
9058	Vertedor Milpa Alta	497,399	2,121,011	1969-1985
9071	Col. Educación Coyoacán	488,732	2,137,495	1982-2004

Tabla 3.2. Estaciones pluviométricas, Estado de México.

Clave SMN	Nombre de la Estación	Coordenadas		Período de Registro
		mE	mN	
15007	Amecameca de Juárez,	524,515	2,115,475	1961-2000
15017	Coatepec de los Olivos,	517,573	2,143,096	1961-2000
15018	Col. Manuel Ávila Camacho,	526,400	2,135,724	1961-2000
15020	Chalco, Chalco	512,127	2,128,315	1961-2003
15023	Chimalhuacán	507,102	2,146,993	1968-1988
15039	Juchitepec, Juchitepec	512,109	2,109,964	1969-2003
15103	San Pedro Nexapa	527,930	2,110,104	1961-1988
15106	San Rafael, Tlalmanalco	526,261	2,122,735	1961-1987
15266	CODAGEM, Metepec	514,012	2,135,630	1980-2001

Tabla 3.3. Estaciones pluviográficas

Nombre de la Estación	Coordenadas	
	mE	mN
Amecameca*	524,515	2115475
Col. Agrícola Oriental	491,305	2145158
Col. Manuel Ávila Camacho	526,400	2,135,724
Chalco	512,127	2,128,315
Chapingo*	512,230	2,154,210
Coatepec De Los Olivos*	517,573	2,143,096
Coyol*	490,660	2,154,210
G. D. F.*	489,400	2,148,700
Juchitepec*	512,109	2,109,964
Milpa Alta	497,399	2,121,011
P. B. Aculco*	489,450	2,143,150
P. B. Churubusco Lago*	497,720	2,152,350
P. B. López Mateos*	492,960	2,149,080
P. B. Nueva Santa María*	482,430	2,152,390
P. B. Villa Coapa*	486,820	2,132,620
Planta Generadora 101*	488,480	2,151,420
Planta Xotepingo*	482,400	2,137,600
P. T. La Estrella	488,732	2,137,495
P. T. Santa Catarina	491,296	2,140,210
Radiocomunicación*	482,430	2,145,000
Rebombeo Bosque De Tlalpan*	479,830	2,133,090
San Pedro Nexapa*	527,930	2,110,104
San Pedro Tláhuac	499,962	2,128,318
San Rafael*	526,261	2,122,735
Tanque San Pedro Mártir*	482,430	2,130,200
Topilejo*	482,500	2,119,080

* Estaciones auxiliares que servirán para configurar isoyetas fuera del área de estudio.

Es conveniente recalcar que la falta de registros de precipitación y escurrimiento, lapsos de interrupción de toma de datos tanto en estaciones pluviométricas, pluviográficas así como hidrométricas, es una situación común en nuestro país e incluso en la Cuenca de México. Dicha situación no permite determinar con precisión los parámetros de diseño o revisión de obras hidráulicas de manera satisfactoria, como son entre otras las curvas intensidad-duración-período de retorno (i-d-T), las cuales son una herramienta fundamental para este tipo de actividades, por lo que el ingeniero que proyecta o revisa se ve limitado a trabajar sólo con la información disponible.

El control de inundaciones en áreas agrícolas y sobre todo en cuencas urbanas y suburbanas, ha llevado a la construcción de sistemas de drenaje locales, por lo que el estudio de las precipitaciones con fines de diseño se ha centrado en áreas y duraciones de tormenta de magnitudes pequeñas, sin tomar en cuenta desde luego, el tamaño de toda la cuenca.

3.2.PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Análisis pluviométrico

La lluvia es el elemento meteorológico más medido. Sin embargo, muchas veces, como ya se mencionó, se carece de datos suficientes para realizar el análisis y manejo de este elemento en el tiempo para una zona bajo estudio, pero se pueden reemplazar con valores deducidos o estimados por métodos desarrollados por la misma Hidrología.

Un aspecto importante es medir la lluvia acumulada anual de una determinada zona. Dado que muchas veces existen más de una estación pluviométrica o pluviográfica en dicha zona, se realiza un promedio o media.

Para la determinación de este parámetro, se seleccionaron las estaciones pluviométricas dentro de la zona en estudio y se obtuvo la información de lluvia diaria que ha recabado el Servicio Meteorológico Nacional, S. M. N. El número de

estaciones con las que se dispuso fue de 16 correspondientes al D. F. y 9 al Estado de México.

Una vez recabada la información, se sometió a un análisis a fin de identificar datos erróneos o dudosos. Para el caso de valores dudosos, se compararon con valores de estaciones cercanas, con lo cual se corrigieron o se eliminaron.

Deducción de datos faltantes

Cuando hubo necesidad de deducir datos faltantes, se buscó primero utilizar el método de regresión lineal, pero en la mayoría de los casos no existía correlación entre los datos de la estación completa y de la incompleta, por lo cual se utilizó la metodología propuesta por Aparicio¹³, cuando las estaciones estuvieran la misma elevación y sin estructuras volcánicas de por medio. Dicha metodología se explica a continuación. Si la precipitación media anual en cada una de las estaciones circundantes difiere en menos del 10% de la precipitación media anual de la estación en estudio, los datos se estiman haciendo un promedio aritmético de los registros de las estaciones circundantes. Pero, si la precipitación media anual difiere en más de 10%, se utiliza la fórmula siguiente:

$$hp_x = \frac{1}{n} \left(\frac{p_x}{p_1} hp_1 + \frac{p_x}{p_2} hp_2 + \dots + \frac{p_x}{p_n} hp_n \right) \quad (3.1)$$

Donde:

hp_x : Altura de precipitación faltante en la estación en estudio

hp_i : Altura de precipitación registrada en la estación auxiliar i

p_i : Precipitación media anual en la estación auxiliar i

p_x : Precipitación media anual en la estación en estudio

n : Número de estaciones auxiliares

¹³ APARICIO, F. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Pág. 151.

En el caso de estaciones con barreras geográficas entre ellas, se optó por utilizar el promedio móvil, el cual consiste en el determinar el valor medio de los últimos k puntos de datos. Por ejemplo, si se supone que el promedio está compuesto de las últimas 12 observaciones ($k = 12$), entonces, a medida que se considere cada nueva observación (incluida en el promedio), se suprime la más antigua (el dato 12). Un promedio móvil es el valor medio aritmético de las k observaciones.

En la tabla 3.4 se observa el método empleado para deducir los datos faltantes y en las tablas 3.5 y 3.6 se muestran los datos obtenidos y deducidos. Como puede observarse, el porcentaje de datos deducidos es de 40 % para el D. F. y 35 % para el Estado de México.

Lluvia media anual

El siguiente paso consistió en determinar la precipitación media anual llovida en la zona, para lo cual fue necesario construir los polígonos de Thiessen, que como es sabido, delimitan el área de influencia de cada estación, mismos que se muestran en la carta 3.3.

La lluvia media calculada con este método es el promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente. La expresión utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$\bar{hp}_{PT} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i hp_i \quad (3.2)$$

Donde:

A_i : Área de influencia de la estación i

A_T : Área total de la cuenca

hp_i : Precipitación registrada en la estación i .

Tabla 3.4. Relación de estaciones reconstruidas con estaciones auxiliares

ESTACIÓN RECONSTRUIDA	AÑOS RECONSTRUIDOS	ESTACIÓN AUXILIAR	MÉTODO EMPLEADO
CALVARIO 61, TLALPAN	1961-1969	HDA. PEÑA POBRE	APARICIO
HDA. PEÑA POBRE	1974-1981, 1986-2004	CALVARIO 61, TLALPAN	APARICIO
STA. URSULA COAPA	1961-1970	MORELOS 77, IXTAPALAPA	APARICIO
COL. EDUCACIÓN	1961-1981	TLALNE, XOCHIMILCO SAN GREGORIO XOCHIMILCO	APARICIO
TLALNE, XOCHIMILCO	1991-1996, 2004	COL. EDUCACIÓN, COYOACÁN	APARICIO
SAN GREGORIO XOCHIMILCO	1984-2004	TLALNE, XOCHIMILCO COL. EDUCACIÓN, COYOACÁN	APARICIO
COL. AGRÍCOLA ORIENTAL	1986-2004	MORELOS 77, IXTAPALAPA COL. MARTE UNIDAD MODELO, IXTAPALAPA	APARICIO
MILPA ALTA, MILPA ALTA	1999-2003	MILPA ALTA, MILPA ALTA	PROMEDIO MOVIL
MOYOGUARDA, XOCHIMILCO	1989-2003	SAN GREGORIO XOCHIMILCO	APARICIO
COL. MARTE	1960-1968	COL. AGRÍCOLA ORIENTAL MORELOS 77, IXTAPALAPA UNIDAD MODELO, IXTAPALAPA VERTEDOR MILPA ALTA	APARICIO
SAN LORENZO, MILPA ALTA	1960-1968, 1989-2004	MILPA ALTA, MILPA ALTA	APARICIO
SANTA ANA, MILPA ALTA	1960,1968-1999, 2004	MILPA ALTA, MILPA ALTA SAN LORENZO, MILPA ALTA	APARICIO
TLÁHUAC, XOCHIMILCO	1989-2003	TLÁHUAC, XOCHIMILCO	PROMEDIO MOVIL
UNIDAD MODELO-IXTAPALAPA	1982,2003	MORELOS 77, IXTAPALAPA COL. MARTE	PROMEDIO MOVIL
VERTEDOR MILPA ALTA	1960-1968, 1986-2003	MILPA ALTA, SAN LORENZO SANTA ANA	APARICIO
AMECAMECA	1963-1965, 1968, 1970, 1989-1996, 1999, 2001-2003	SAN RAFAEL, TLALMANALCO	APARICIO
COATEPEC DE LOS OLIVOS	1989-1996, 2001-2004	CODAGEM, METEPEC	APARICIO
COL. MANUEL ÁVILA CAMACHO	1989-1996, 2001-2003	COATEPEC DE LOS OLIVOS	APARICIO
CHALCO, CHALCO	1989-1994, 1996	CHALCO, CHALCO	PROMEDIO MOVIL
CHIMALHUACAN	1961-1968, 1987-2003	COATEPEC DE LOS OLIVOS CODAGEM, METEPEC	APARICIO
JUCHITEPEC, JUCHITEPEC	1961-1968, 1989-1996	CHIMALHUACAN	APARICIO
SAN PEDRO NEXAPA	1961-1965, 1989-2003	AMECAMECA DE JUAREZ	APARICIO
SAN RAFAEL, TLALMANALCO	1985, 1987-2002	CHALCO, CHALCO	APARICIO
CODAGEM, METEPEC	1961-1979, 2002,2003	COATEPEC DE LOS OLIVOS	APARICIO

Tabla 3.5. Estaciones pluviométricas, Ciudad de México.

Ciudad de México								
AÑO	CALVARIO 61 TLALPAN	COL. AGRÍCOLA ORIENTAL	SANTA ÚRSULA COAPA	HDA. PEÑA POBRE	MORELOS 17	MALPA ALTA	MOYO GUARDA	COL. MARTE
1960	864	477	684	860	512	556	1040	572
1961	806	453	655	802	490	794	554	573
1962	808	509	834	804	624	598	694	631
1963	837	616	824	833	616	704	724	679
1964	690	465	720	687	538	676	580	582
1965	884	622	825	880	617	584	688	638
1966	983	556	786	978	588	635	633	640
1967	975	681	1017	971	761	902	988	827
1968	996	688	873	992	653	718	899	756
1969	900	480	701	896	525	674	801	642
1970	638	486	732	695	548	777	646	543
1971	850	639	748	861	696	725	657	710
1972	772	648	792	797	758	782	655	750
1973	876	469	734	890	505	650	646	591
1974	920	505	773	915	606	660	681	589
1975	956	643	758	951	714	588	798	927
1976	942	693	951	937	687	867	885	781
1977	914	435	802	910	496	506	545	591
1978	897	819	970	893	628	744	734	1006
1979	695	582	711	691	593	729	590	536
1980	736	597	814	732	549	690	457	615
1981	946	566	1073	941	679	689	661	723
1982	530	491	565	527	484	496	512	580
1983	803	472	701	784	599	622	702	574
1984	1061	569	916	1012	624	554	985	839
1985	864	542	754	814	484	608	608	635
1986	851	602	722	846	658	557	757	711
1987	747	556	680	743	629	556	669	636
1988	804	504	784	800	522	457	649	629
1989	863	430	737	858	342	596	702	649
1990	977	643	974	972	632	645	691	838
1991	807	627	849	803	669	656	788	761
1992	891	790	1124	886	826	656	765	976
1993	627	602	820	624	671	763	940	697
1994	665	760	591	662	895	724	720	828
1995	487	337	1119	484	519	967	680	232
1996	854	443	828	849	404	387	655	612
1997	821	622	831	817	715	882	798	698
1998	866	633	866	862	719	946	814	720
1999	830	349	593	826	452	675	593	335
2000	1162	564	815	1157	614	678	669	671
2001	1399	498	1080	1392	516	675	619	621
2002	950	552	980	946	627	637	691	627
2003	1122	719	682	1117	817	675	764	817
2004	952	827	813	947	877	902	776	1007
2005	843	725	649	839	718	552	650	810

721.1 Valor deducido

Tabla 3.5. Estaciones pluviométricas, Ciudad de México. Continuación

Ciudad de México								
AÑO	SAN FRANCISCO TLALNE	SAN GREGORIO	SAN LORENZO	SANTA ANA	TLAHUAC	IXTAPALAPA	V. MILPA ALTA	COL. EDUCACION
1960	947	764	641	592	588	577	569	670
1961	1036	642	915	845	579	389	813	655
1962	855	618	689	637	523	608	612	579
1963	1110	697	811	749	825	568	720	706
1964	617	602	779	720	451	476	692	487
1965	937	634	672	621	615	518	598	615
1966	1026	580	732	676	522	589	650	623
1967	1138	871	1039	960	676	721	923	793
1968	925	847	827	764	716	736	735	706
1969	959	621	983	702	516	622	691	618
1970	812	719	710	777	744	555	776	609
1971	996	1085	855	711	610	859	756	837
1972	871	560	779	825	726	791	725	559
1973	948	770	723	769	582	588	651	680
1974	833	811	743	635	535	633	663	657
1975	855	1006	618	709	584	752	535	751
1976	1245	1196	933	973	774	946	866	975
1977	799	945	677	587	524	696	561	704
1978	1045	899	846	740	638	1070	719	772
1979	852	704	876	696	681	675	778	616
1980	935	620	805	684	718	766	663	609
1981	1006	824	839	767	575	1047	734	725
1982	753	457	519	502	355	569	489	472
1983	540	621	693	701	675	631	650	560
1984	970	770	905	832	640	780	747	673
1985	856	782	751	610	454	596	624	777
1986	947	722	690	688	545	734	615	606
1987	834	686	664	690	410	679	607	622
1988	933	675	822	764	542	615	645	532
1989	817	761	664	698	598	524	624	767
1990	912	749	829	725	598	784	698	665
1991	1058	854	723	698	601	765	662	760
1992	1027	829	958	1072	593	963	852	738
1993	1262	1018	729	534	598	734	648	907
1994	966	780	754	734	597	927	706	694
1995	913	737	923	863	600	411	880	656
1996	880	710	743	481	597	540	507	632
1997	1124	865	922	985	475	759	890	732
1998	1185	882	925	203	592	772	662	719
1999	801	643	739	716	586	425	691	569
2000	942	725	790	719	585	688	694	614
2001	1087	670	786	716	580	608	691	412
2002	982	749	789	718	580	673	693	628
2003	1028	828	788	717	476	877	692	735
2004	1042	841	789	717	459	1008	692	748
2005	1050	704	792	719	438	1016	694	627

721.1 Valor deducido

Tabla 3.6. Estaciones pluviométricas, Estado de México

AÑO	AMECAMECA	COATEPEC	COL. AVILA CAMACHO	CHALCO	CHIMALHUAC AN	JUCHITEPEC	SAN PEDRO NEXAPA	SAN RAFAEL	METEPEC
1961	876	657	606	635	599	711	828	995	830
1962	626	547	582	638	499	508	592	835	692
1963	908	686	1586	623	627	737	858	1046	868
1964	915	515	659	517	470	743	865	1055	651
1965	1053	708	928	721	646	855	995	1214	895
1966	881	708	710	728	646	715	896	1297	895
1967	777	744	638	847	679	631	966	1262	941
1968	957	693	849	714	632	777	721	1103	876
1969	966	590	731	588	410	796	401	1069	746
1970	885	545	570	683	538	930	696	1020	689
1971	966	577	624	537	692	764	1013	1018	729
1972	1202	650	883	809	637	1124	299	1160	823
1973	1264	538	811	680	626	673	1180	1021	681
1974	850	629	751	514	556	546	973	944	796
1975	903	686	764	633	494	660	890	1072	868
1976	1231	764	981	889	672	1037	1129	1367	967
1977	915	605	740	488	496	659	892	940	765
1978	1022	640	695	721	699	864	887	1128	809
1979	682	809	704	618	686	696	789	713	1023
1980	975	750	849	528	623	872	1019	1012	672
1981	1122	749	885	606	719	794	1012	1128	1002
1982	774	429	478	434	526	539	608	928	608
1983	890	623	739	426	637	785	1002	925	613
1984	970	670	934	545	527	770	1094	1126	748
1985	837	653	755	610	475	574	825	1045	817
1986	817	677	679	735	581	804	917	907	856
1987	814	533	541	614	599	554	786	1051	805
1988	845	621	653	554	603	492	807	949	799
1989	936	591	707	630	539	759	696	1078	747
1990	935	774	927	630	706	759	884	1078	979
1991	935	681	816	629	622	759	884	1077	862
1992	935	633	759	630	578	759	884	1078	801
1993	941	503	603	634	460	764	890	1085	637
1994	936	685	821	630	626	760	885	1079	867
1995	608	812	973	410	742	494	575	701	1028
1996	908	566	678	611	517	737	858	1046	716
1997	1107	615	942	566	561	778	1047	970	778
1998	757	646	811	555	685	732	715	950	1081
1999	776	629	805	522	567	765	733	894	776
2000	647	728	807	642	657	527	612	1099	901
2001	732	659	790	493	602	562	692	843	834
2002	965	647	775	650	590	862	912	1113	816
2003	800	646	774	539	590	836	756	922	816
2004	918	620	801	640		650	968	1095	
2005	518	626	517	489		577	673	837	

721.1 Valor deducido

En la tabla 3.7 se muestra la precipitación media anual calculada para el área estudiada y se observa que la precipitación media anual es de 651 mm.

Tabla 3.7. Precipitación Media Anual

ESTACIÓN	ÁREA [m ²]	hp [m]	VOLUMEN [m ³]
COL. AGRÍCOLA ORIENTAL	31,350,715	0.572	17,932,609
MORELOS 77, IXTAPALAPA	67,565,792	0.608	41,046,218
COL. EDUCACIÓN COYOACÁN	12,682,230	0.670	8,497,094
CHIMALHUACAN	5,279,144	0.731	3,859,054
SANTA URSULA COAPA	62,321,280	0.813	50,667,201
SAN GREGORIO XOCHIMILCO	30,073,355	0.763	22,945,970
SAN PEDRO TLÁHUAC	102,891,891	0.587	60,397,540
CODAGEM METEPEC	27,422,588	0.816	22,376,832
VERTEDOR MILPA ALTA	15,863,009	0.786	12,468,325
CHALCO, CHALCO	155,576,613	0.596	92,723,661

TOTAL	511,026,621
HP MEDIA ANUAL [m]	0.651

332,914,507

Análisis de intensidades de lluvia

Este trabajo relaciona la información de precipitación en el área en estudio dentro de la cuenca, a fin de poder determinar las curvas i-d-T y con ello presentar una predicción del comportamiento de la lluvia, con el objetivo de proponer y diseñar estructuras hidráulicas que desalojen volúmenes extraordinarios de agua, no sólo de lluvia, sino de aguas residuales que sean impedidas de transitar al verse rebasadas las capacidades de conducción de las redes primarias y secundarias de drenaje, así como el Canal Nacional-Canal de Chalco y el Río La Compañía. Además es necesario resaltar la ausencia de obras de drenaje profundo en esta zona y que en 1975 no estaban contempladas en el diseño del drenaje profundo.

Curvas intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-T)

La lluvia se define mediante tres parámetros: magnitud, duración y frecuencia. La magnitud de la lluvia es la precipitación total medida (en milímetros) en la duración de la tormenta; la frecuencia se expresa por medio del período de retorno de la

lluvia o su intervalo de ocurrencia, que es el tiempo promedio en años en el cual el evento puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio.¹⁴

Al agrupar las tres variables mencionadas en una gráfica, con la duración d en el eje de las abscisas, la intensidad i en el eje de las ordenadas, y la frecuencia o período de retorno T como parámetro de la curva, obtenemos las curvas i - d - T . Estas curvas representan la probabilidad de que una cierta intensidad de lluvia promedio sea superada dada una duración. Una ecuación que defina las curvas i - d - T es necesaria para el desarrollo, planeación y diseño de proyectos hidráulicos.

Cuando se tienen datos de un cierto período y se desea extrapolar dichos valores a períodos de retorno mayores al de las mediciones, es necesario asignar un valor de T a cada dato registrado. El período de retorno será estimado con la siguiente ecuación, que es la más usada en hidrología:

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (3.3)$$

Donde:

T : Período de retorno

n : Número de datos

m : Número de orden de mayor a menor en una serie de datos

En México, se obtienen las curvas i - d - T de dos maneras:

1. Método de correlación lineal múltiple, en el cual, se hace un ajuste simultáneo de los valores de las tres variables.
2. Método intensidad de lluvia-período de retorno, en el cual, el análisis se realiza para valores correspondientes a una sola duración.

Ambos métodos requieren información de pluviógrafos. Para este estudio se contó con 15 estaciones pluviográficas dentro del área de estudio que es de 511 km²,

¹⁴ apud. Ortiz, A. La influencia del tamaño de la muestra. Pág. 20.

situación que satisface los requerimientos de la Organización Meteorológica Mundial.¹⁵

En el presente estudio, la obtención de las curvas i-d-T se realizó siguiendo el criterio del modelo de correlación lineal múltiple, utilizando la siguiente ecuación:

$$i = \frac{kT^m}{d^n} \quad (3.4)$$

Donde:

i: Intensidad de la lluvia, en mm/h

T: Período de retorno, en años

d: Duración de la intensidad, en minutos u horas

k, m y n: Parámetros que se obtienen al hacer el ajuste de la ecuación

Para evaluar los parámetros k, m y n, se transforma la ecuación (3.4) a una forma lineal aplicando el logaritmo natural a ambos logaritmos, obteniendo la expresión siguiente:

$$\log i = \log k + m \log T - n \log d \quad (3.5)$$

Si hacemos

$$y = \log i \quad (3.6)$$

$$x_1 = \log T \quad (3.7)$$

$$x_2 = \log d \quad (3.8)$$

Esta ecuación es del tipo:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (3.9)$$

La ecuación 3.9 es una familia de rectas de pendiente a_2 , ordenada al origen a_0 y espaciamiento a_1 . Los parámetros a_0 , a_1 y a_2 se calculan mediante un ajuste de correlación lineal múltiple, usando el método de mínimos cuadrados.

¹⁵ Aparicio. op. cit. Pág. 146.

Estos parámetros se obtienen de resolver el siguiente sistema de ecuaciones normales:

$$a_0 N + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 = \sum y \quad (3.10)$$

$$a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2 = \sum x_1 y \quad (3.11)$$

$$a_0 \sum x_2 + a_1 \sum x_1 x_2 + a_2 \sum x_2^2 = \sum x_2 y \quad (3.12)$$

Obtención de las curvas i-d-T a través de registros pluviográficos

Dado que los pluviógrafos registran en forma continua como varía la altura de lluvia de una tormenta en el tiempo, sus registros nos permiten realizar el análisis más completo de las lluvias en una zona o región. De los registros de los pluviógrafos se construyen las curvas masa, que son gráficas que muestran la acumulación de la lluvia al transcurrir el tiempo. A partir de las curvas masa se pueden obtener las curvas i-d-T.

Los registros pluviográficos tienen como objetivo verificar las lluvias máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno. Los períodos de retorno se determinan de acuerdo al tipo de estructura hidráulica de que se trate, en las cuales se utilizan las lluvias máximas en 24 horas como un parámetro de diseño, a través de las curvas i-d-T. Los registros que se recopilaron de los Boletines hidrológicos anuales que edita GRAVAMEX presentan intensidades de lluvia para duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 80, 90, 100, 120 minutos de duración. Con esta información se construyeron las curvas de intensidad-duración máximas anuales de cada estación. Como puede observarse, dichas curvas llegan solo a 120 minutos de duración, lo cual no es impedimento para el desarrollo de este trabajo, pues al tratarse de drenajes en cuencas urbanas, se centra el estudio a áreas y duraciones de tormenta pequeñas, que es el caso del presente estudio.

Como se mencionó anteriormente, el proceso para la obtención de las curvas i-d-T para la zona en estudio fue por medio del método de correlación lineal. Presentamos como ejemplo la manera en que se determinaron dichas curvas para

la estación San Pedro Tláhuac, estación típica del Valle de México y las 24 estaciones restantes se pueden consultar en el anexo. Una vez capturados los datos de intensidades máximas de lluvia anuales en una hoja de cálculo (Tabla 3.8), se ordenaron para cada duración de mayor a menor y se les asignó un período de retorno de acuerdo con la ecuación 3.3 (Tabla 3.9)

Tabla 3.8. Intensidades máximas anuales, San Pedro Tláhuac.

Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	76	63	58	57	50	35	26	19	15	13
1985	30	23	23	23	23	23	19	14	11	9
1986	76	65	50	38	35	23	17	12	12	9
1987	106	83	76	68	63	46	35	24	23	18
1988	100	62	58	57	45	37	35	25	20	18
1989	92	53	49	44	38	29	24	18	12	14
1990	108	57	42	42	36	36	36	25	25	20
1991	SIN REGISTROS									
1992	76	76	73	68	55	38	31	24	24	19
1993	75	45	36	32	29	26	22	15	15	11
1994	75	65	50	40	30	24	18	12	12	9
1995	38	38	38	38	35	33	29	22	20	18
1996	54	36	34	28	23	19	17	12	12	12
1997	31	31	31	31	31	25	20	18	18	14
1998	38	38	38	38	38	25	19	13	13	11
1999	73	55	49	43	33	22	17	13	11	9
2000	82	72	72	54	51	36	28	20	20	15
2001	152	85	62	51	37	26	26	23	23	17
2002	60	60	49	40	32	27	23	15	15	12
2003	52	52	52	52	52	52	52	40	40	31
2004	61	51	51	41	32	29	28	26	26	20

i [mm/h]

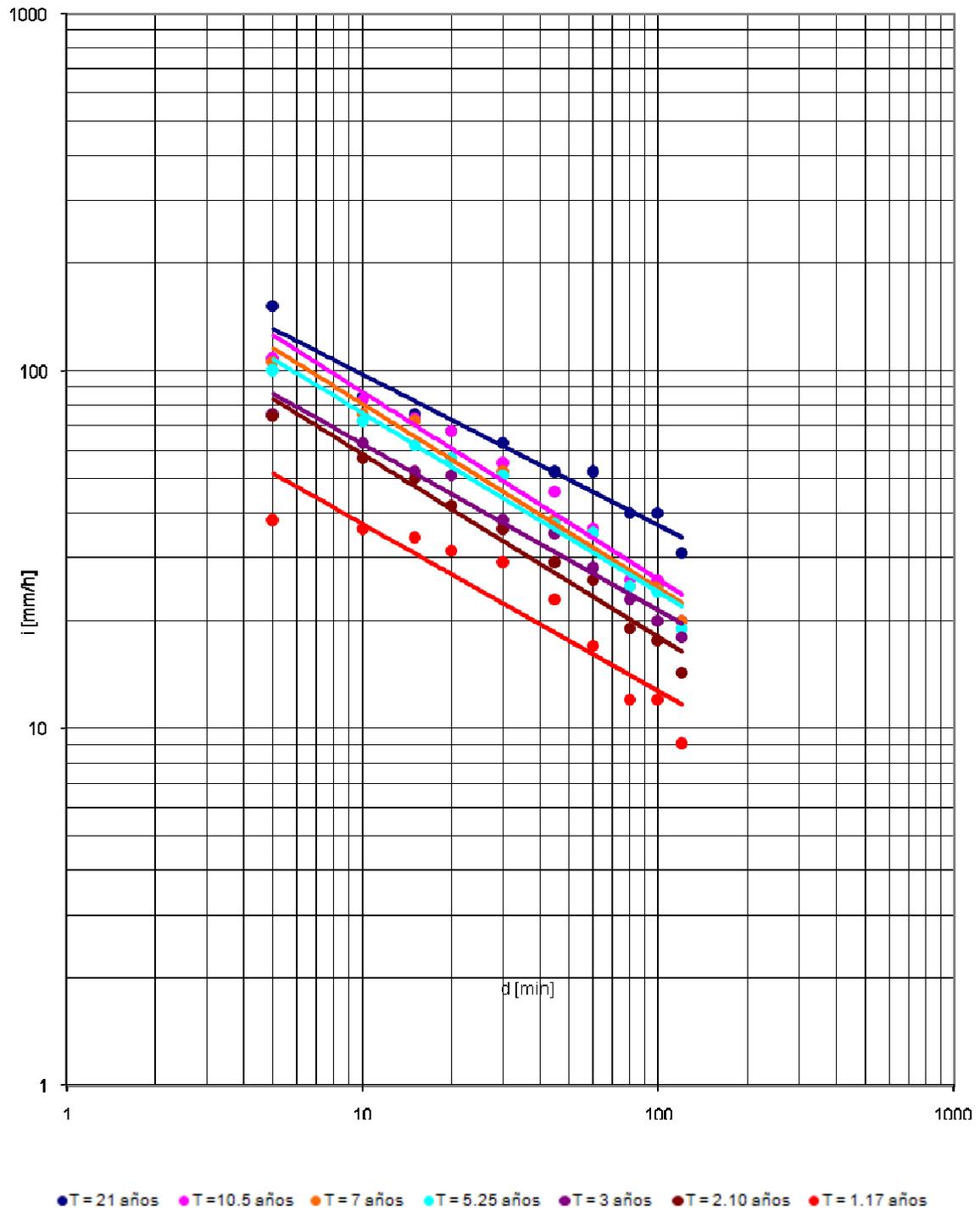
Tabla 3.9. Períodos de retorno, San Pedro Tláhuac.

Número de orden	T [años]	d [minutos]									
		5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1	21	152	85	76	68	63	52	52	40	40	31
2	10.5	108	83	73	68	55	46	36	26	26	20
3	7	106	76	72	57	52	38	35	25	25	20
4	5.25	100	72	62	57	51	37	35	25	24	19
5	4.2	92	65	58	54	50	36	31	24	23	18
6	3.5	82	65	58	52	45	36	29	24	23	18
7	3	76	63	52	51	38	35	28	23	20	18
8	2.63	76	62	51	44	38	33	28	22	20	17
9	2.33	76	60	50	43	37	29	26	20	20	15
10	2.1	75	57	50	42	36	29	26	19	18	14
11	1.91	75	55	49	41	35	27	24	18	15	14
12	1.75	73	53	49	40	35	26	23	18	15	13
13	1.62	61	52	49	40	33	26	22	15	15	12
14	1.5	60	51	42	38	32	25	20	15	13	12
15	1.4	54	45	38	38	32	25	19	14	12	11
16	1.31	52	38	38	38	31	24	19	13	12	11
17	1.24	38	38	36	32	30	23	18	13	12	9
18	1.17	38	36	34	31	29	23	17	12	12	9
19	1.11	31	31	31	28	23	22	17	12	11	9
20	1.05	30	23	23	23	23	19	17	12	11	9

i [mm/h]

En la Figura 3.1 se muestran los puntos correspondientes a los datos de la Tabla 3.9 para algunos períodos de retorno representativos. Como puede observarse, los datos tienden a agruparse en torno a líneas rectas.

En la Tabla 3.10 se muestran las sumatorias de las variables x_1, x_2 y y , las sumatorias de los productos x_1x_2 , x_1y y x_2y y los cuadrados x_1^2 y x_2^2 , a fin de establecer un sistema de ecuaciones normales como las ecuaciones 3.10, 3.11 y 3.12 y aplicar el método de correlación lineal múltiple en la determinación de las curvas i-d-T.



**Figura 3.1. Curvas i-d-T. San Pedro Tláhuac.
Antes del ajuste de correlación lineal múltiple.**

Tabla 3.10. Sumatorias de las variables x_1, x_2 y y .

Variable	x_2	x_1	y	x_1y	x_2y	x_1^2	x_2^2	x_1x_2
Σ	301.337	80.5826	298.883	129.102	431.93	56.1377	491.72	121.413

Sustituyendo los resultados en las ecuaciones 3.7, 3.8 y 3.9, resulta:

$$200a_0 + 80.5826a_1 + 301.337a_2 = 298.883 \quad (3.13)$$

$$80.5826a_0 + 56.1377a_1 + 121.413a_2 = 129.102 \quad (3.14)$$

$$301.337a_0 + 121.413a_1 + 491.72a_2 = 431.93 \quad (3.15)$$

Resolviendo el sistema:

$$a_0=2.08 \quad a_1=0.37 \quad a_2=-0.49$$

Los valores de los parámetros de la ecuación 3.4 son:

$$K = 10^{2.08} = 120.71 \quad m = 0.37 \quad n = 0.49$$

y la ecuación de las curvas i-d-T para esta estación es:

$$i = \frac{120.71T^{0.37}}{d^{0.49}} \quad (3.16)$$

(d en min, T en años, i en mm/h)

Se determina un período de retorno, por ejemplo: T = 5 años, lo que resulta:

$$i = \frac{120.71(5)^{0.37}}{d^{0.49}} = \frac{217.671}{d^{0.49}} \quad (3.17)$$

Multiplicando la ecuación 3.17 por d , se obtiene la altura de precipitación:

$$hp = i \frac{d}{60} = \frac{217.671}{d^{0.49}} \frac{d}{60} = 3.6278d^{0.51} \quad (3.18)$$

La Tabla 3.11 presenta valores de intensidades para diferentes tiempos de duración y diferentes períodos de retorno y la Tabla 3.12 muestra las curvas masa derivadas de los valores de la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Intensidades, en mm/h para diferentes períodos de retorno y diferentes duraciones, San Pedro Tláhuac

T	<i>d [minutos]</i>									
[años]	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1	55	39	32	28	23	19	16	14	13	12
2	71	51	42	36	30	24	21	18	16	15
3	82	59	48	42	34	28	25	21	19	17
5	99	71	58	51	41	34	30	26	23	21
10	128	91	75	65	53	44	38	33	30	27
15	149	106	87	76	62	51	44	38	34	32
20	165	118	97	84	69	57	49	43	38	35
30	192	137	112	97	80	66	57	50	44	41
50	231	165	135	117	96	79	69	60	54	49
100	298	212	174	151	124	102	89	77	69	63

i en [mm/h]

Tabla 3.12. Lluvia acumulada, en mm para diferentes períodos de retorno y diferentes duraciones, Estación San Pedro Tláhuac.

T	<i>d [minutos]</i>										
[años]	0	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1	0	5	7	8	9	11	14	16	19	21	23
2	0	6	8	10	12	15	18	21	24	27	30
3	0	7	10	12	14	17	21	25	28	32	35
5	0	8	12	15	17	21	26	30	34	38	42
10	0	11	15	19	22	27	33	38	44	49	54
15	0	12	18	22	25	31	38	44	51	57	63
20	0	14	20	24	28	34	42	49	57	64	70
30	0	16	23	28	32	40	49	57	66	74	81
50	0	19	27	34	39	48	59	69	80	89	98
100	0	25	35	44	50	62	76	89	103	115	126

hp en [mm]

Las Figuras 3.2 y 3.3 muestran las curvas i-d-T y las curvas masa para diferentes períodos de retorno, respectivamente, para la estación en cuestión.

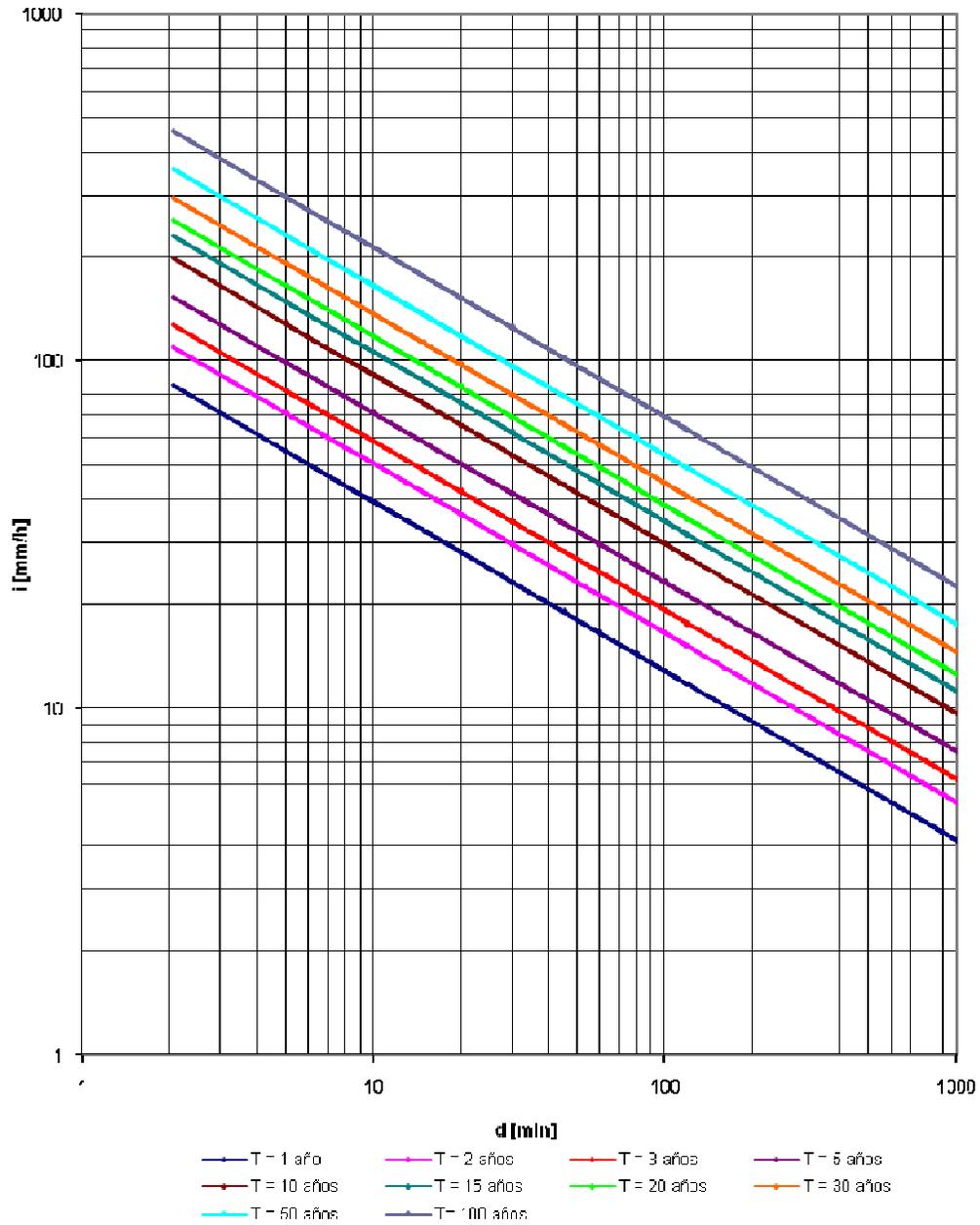


Figura 3.2 Curvas i-d-T. San Pedro Tláhuac

Después del ajuste de correlación lineal múltiple.

El Subdirector del Servicio Meteorológico Nacional, Ing. Alberto Hernández Unzón ha advertido que las lluvias que pueden inundar áreas importantes del oriente del Valle de México como Ixtapalapa, Tláhuac, Chalco y Chalco Solidaridad son aquellas tormentas que acumulan 70 mm de lluvia en 24 horas. Además, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México añade que las lluvias en el Valle de México se caracterizan por su gran intensidad y corta duración a lo que se agrega que durante esas lluvias se acumulan grandes cantidades de azolve en los componentes del sistema de drenaje. Con respecto a las lluvias, se presenta la tabla 3.13 que muestra la acumulación de lluvia en 24 horas para diferentes períodos de retorno de la estación San Pedro Tláhuac. Nótese que para un período de retorno de 1 año se supera el valor de lluvia acumulada en 24 horas mencionado por el Ing. Hernández en el párrafo anterior y para un período de retorno de 15 años se calcula que se acumulen 225 mm de lluvia en el mismo lapso.

Utilizando la información disponible de las estaciones pluviográficas de la zona en cuestión, se realizó un estudio regional, a través del cual se ha logrado estimar, para la zona oriente del Valle de México, precipitaciones para diferentes duraciones entre 5 y 120 minutos y para períodos de retorno entre 3 a 15 años. Este acotamiento se tomó por que se requiere una solución a corto plazo al problema de desagüe alternativo en el suroriente, que libere de carga al drenaje profundo de la zona norponiente.

Además, las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), destacan que en los próximos 15 años, continuará el incremento de población y de extensión urbana en Ixtapalapa, Chalco, Valle de Chalco, Tlalmanalco y Amecameca, sitios en donde se presentan actualmente tasas altas de subsidencia del terreno, por lo que se pronostican grandes inundaciones en estas áreas

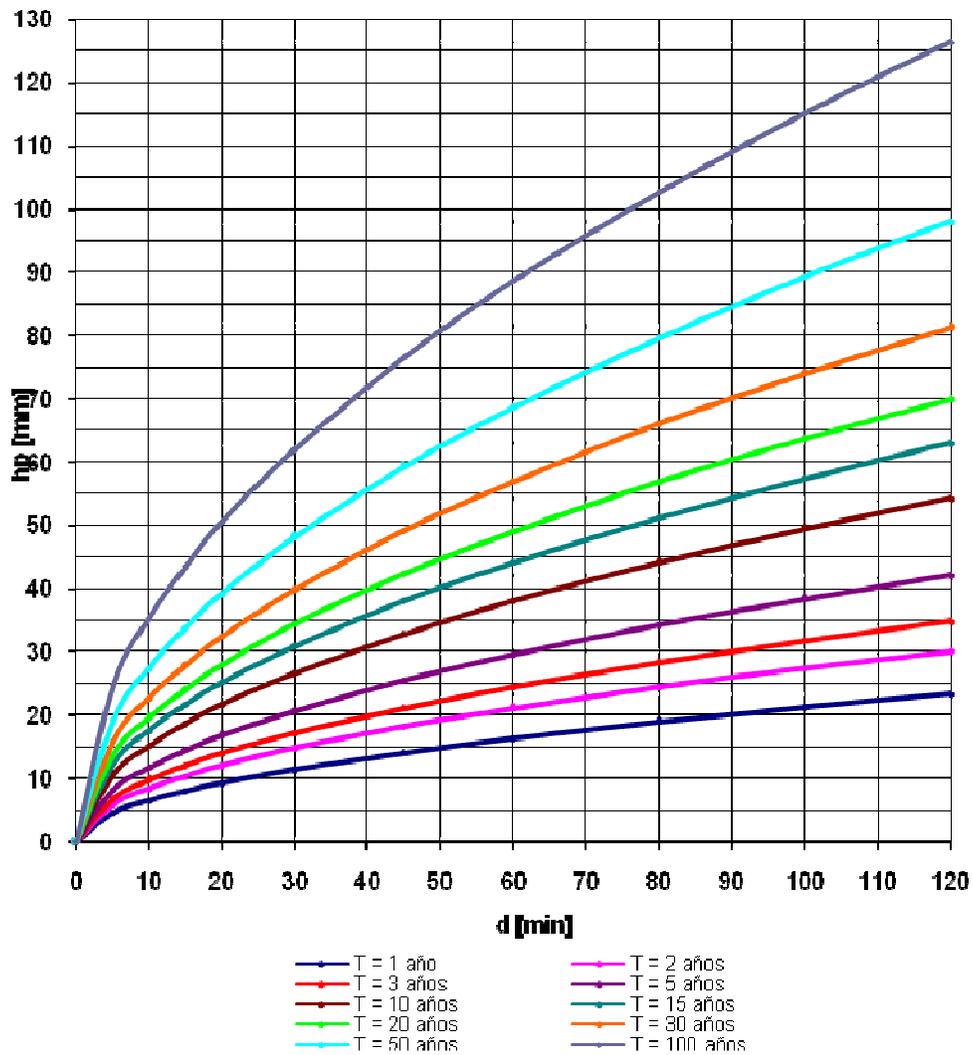


Figura 3.3 Curvas masa acumulada. San Pedro Tláhuac

Lluvia acumulada para una tormenta de 2 horas para períodos de retorno T = 3, 5, 10, 15 años.

a) Cálculo con polígonos de Thiessen

De forma similar al cálculo para la lluvia media anual para estaciones pluviométricas, se calculó la lluvia media acumulada para una tormenta de dos horas para las 7 estaciones pluviográficas dentro del área de estudio con que se

dispuso para este estudio, construyendo los polígonos de Thiessen respectivos mostrados en la carta 3.4.

Tabla 3.13. Lluvia acumulada en 24 horas para diferentes períodos de retorno San Pedro Tláhuac.

T [años]	d [minutos]												
	0	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320	1440
1	0	23	33	41	48	53	58	63	68	72	76	80	83
2	0	30	43	53	61	69	75	82	87	93	98	103	108
3	0	35	50	61	71	80	87	95	101	108	114	119	125
5	0	42	60	74	86	96	105	114	122	130	137	144	150
10	0	54	77	95	111	124	136	147	158	167	177	186	194
15	0	63	90	111	128	144	158	171	183	194	205	215	225
20	0	70	100	123	142	160	175	190	203	216	228	239	250
30	0	81	116	143	165	185	203	220	236	250	264	278	290
50	0	98	140	172	199	224	245	266	284	302	319	335	350
100	0	126	180	222	257	288	316	342	367	389	411	432	451

hp en [mm]

Se muestra en las tablas 3.14 y 3.15 las curvas masa acumulada para cada una de las estaciones ubicadas dentro del área estudiada, para diferentes duraciones entre 5 y 120 minutos y períodos de retorno de 3 y 15 años, respectivamente. Para períodos de retorno $T = 1, 5, 10, 20, 50$ y 100 años consultar gráficas mostradas en el anexo.

b) Cálculo con isoyetas

Con el resultado de las dos tablas anteriores se configuraron las isoyetas de lluvia acumulada para 2 horas y los períodos de retorno citados arriba. Dichas isoyetas pueden observarse en las cartas 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8. En ellas están consignados los valores de superficie entre isoyetas, las alturas medias de lluvia acumulada para dos horas y los productos respectivos. Cabe mencionar que para configurar isoyetas fuera del área de estudio en los límites norte y oeste, se utilizaron 19 estaciones pluviográficas auxiliares, mencionadas en la tabla 3.2.

Tabla 3.14. Curva masa acumulada para una tormenta de dos horas y un período de retorno de 3 años.

Estación/ d [min]	Col. Agrícola Oriental	Chalco	Col. Ávila Camacho	Milpa Alta	P. T. La Estrella	P. T. Santa Catarina	San Pedro Tláhuac
0	0	0	0	0	0	0	0
5	11	9	8	10	7	7	7
10	14	12	10	13	10	10	10
15	17	14	12	15	12	12	12
20	18	16	13	17	14	14	14
30	21	18	16	20	18	17	17
45	25	21	18	23	23	20	21
60	27	23	20	26	26	23	25
80	30	26	22	29	31	27	28
100	33	28	24	32	35	30	32
120	35	30	26	35	39	32	35

hp en [mm]

Tabla 3.15. Curva masa acumulada para una tormenta de dos horas y un período de retorno de 15 años.

Estación/ Duración [min]	Col. Agrícola Oriental	Chalco	Col. Ávila Camacho	Milpa Alta	P. T. La Estrella	P. T. Santa Catarina	San Pedro Tláhuac
0	0	0	0	0	0	0	0
5	19	20	16	18	13	14	21
10	24	26	20	24	19	20	26
15	28	30	24	28	24	24	30
20	31	33	26	31	28	28	34
30	36	38	31	37	35	33	39
45	41	44	36	43	44	41	45
60	46	49	40	48	52	46	50
80	51	55	44	54	60	53	56
100	55	59	48	59	68	59	60
120	59	64	51	64	76	65	64

hp en [mm]

La lluvia media acumulada utilizando este método se calcula utilizando la ecuación:

$$\overline{hp}_{iso} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_{iso} \overline{hp}_{iso} \quad (3.19)$$

Donde:

A_{iso} : Área entre isoyetas

A_T : Área total de la cuenca

\overline{hp}_{iso} : Precipitación media entre isoyetas

La lluvia media calculada por este método se presenta en la tabla 3.16.

Tabla 3.16. Lluvia media para una tormenta de 2 horas aplicando el método de isoyetas.

T [años]	hp [mm]
3	34.3
5	43.1
10	60.6
15	68.0

Curva masa acumulada media

Se calculó la curva masa acumulada media a fin de conocer la variación en el tiempo de la precipitación media en la zona en estudio. Esta curva se construyó aplicando el método de polígonos de Thiessen a las alturas de lluvia acumulada en cada estación para diferentes duraciones y se afinó multiplicando cada altura de lluvia por un factor de ajuste F_a que se calcula de la siguiente manera:

$$F_a = \frac{\overline{hp}_{iso}}{hp_{PT}} \quad (3.20)$$

En la Figura 3.4 se muestra la curva masa acumulada media para diferentes períodos de retorno.

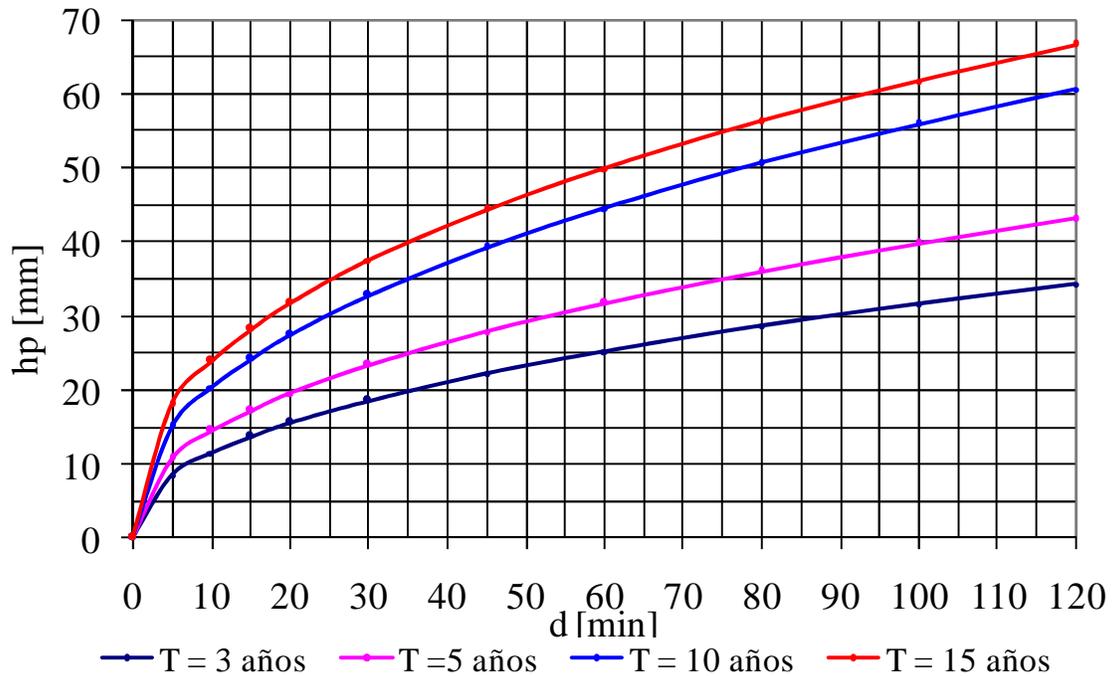


Figura 3.4. Curva masa acumulada media

Cálculo de volúmenes para períodos de retorno T = 3, 5, 10 y 15 años

Los métodos tradicionales para determinar tormentas de diseño por medio de la construcción de las curvas i-d-T, tiene dos desventajas importantes:

1. La disponibilidad de datos pluviográficos es generalmente escasa y en algunos casos de poca calidad en México.
2. No hay criterios de diseño para colectores que drenan cuencas relativamente grandes o estructuras de regulación cuyo diseño depende más del volumen de la avenida que de su gasto pico.¹⁶

Tal es el caso de este estudio, en el que por medio la curva masa acumulada media se determinaron volúmenes para diferentes períodos de retorno.

¹⁶ Ortiz, A. op. cit. Pág. 39.

Los volúmenes de lluvia se calcularon multiplicando la altura de precipitación por el área de la porción de cuenca en estudio. Los volúmenes calculados para los períodos de retorno mencionados se presentan en la tabla 3.17.

Tabla 3.17. Volúmenes acumulados para períodos de retorno T = 3, 5,10 y 15 años

T [años]	V [m ³]
3	17,546,742
5	22,046,671
10	30,991,187
15	37,176,042

Como se verá más adelante, el coeficiente de escurrimiento es de 56% y el agua de lluvia escurriría a la zona más bajas envueltas por la curva 2240 msnm y que ocupan una extensión de 40 km², dentro de la que quedan comprendidas las delegaciones Iztacalco, Ixtapalapa, Tláhuac, Xochimilco y los municipios de Chalco y Chalco Solidaridad. Al dividir el volumen entre el área mencionada y al restar el volumen almacenado en las lagunas de regulación de 4,576,761 m³ se obtienen las alturas de inundación presentadas en la tabla 3.18.

Tabla 3.18. Alturas de inundación para períodos de retorno T = 3, 5,10 y 15 años

T [años]	H [m]
3	0.13
5	0.19
10	0.31
15	0.40

3.3.RESULTADOS

Se realizó un estudio hidrológico de la zona calculando la lluvia media anual, la cual se sustentó en el análisis de diez estaciones pluviométricas ubicadas dentro de los límites de las delegaciones y los dos municipios. El lapso estudiado de precipitaciones diarias fue 1960 – 2004. Para este tiempo, la lluvia media anual, siguiendo el método de los polígonos de Thiessen, resultó de 651 mm.

Con los registros de siete estaciones pluviográficas dentro del área de estudio y 19 estaciones auxiliares en los límites este y norte, se pronosticaron tormentas de dos horas de duración y períodos de retorno de 3, 5, 10 y 15 años. Las alturas de lluvia respectivas a esa duración y períodos de retorno resultaron de 34.3, 43.1, 60.6 y 68.0 mm. Se calcularon además, la curva masa acumulada media, los volúmenes acumulados para dos horas y diferentes períodos de retorno y las alturas de inundación que se alcanzarían si se presentaran las lluvias calculadas.

La Ciudad de México y sus municipios conurbados requieren mayor capacidad de desagüe, la cual, irónicamente se ha reducido debido al hundimiento la Ciudad y la pérdida consecuente de pendiente en los ductos del Sistema de Drenaje Profundo y de los canales a cielo abierto que aún existen.

Debido a las características que presentan las lluvias en la Cuenca de México, intensas y de corta duración, y a que el 70% de estas se presentan en cuatro meses y a la topografía del terreno, no es posible aprovechar esta agua llovida para abastecer a la población de agua potable, antes bien, es necesario desalojarla inmediatamente a fin de prevenir las inundaciones y evitar las repercusiones económicas y sanitarias consecuentes.

El desalojo de agua residual de esta zona se logra mediante un sistema de drenaje combinado, el cual se compone tanto de elementos superficiales como de elementos profundo. A continuación se describen los principales elementos del sistema de drenaje dentro del área en estudio.

DRENAJE PROFUNDO

El Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México consta de 166 km de túneles enclavados a profundidades que varían entre los 22 y los 217 m, obras que desalojan los enormes volúmenes de aguas residuales y pluviales.¹⁷

En la zona oriente, el Sistema de Drenaje Profundo está compuesto por los interceptores Centro-Centro, Ermita, Ixtapalapa, Oriente, Oriente-Oriente y Oriente-Sur. Las obras anteriores trabajan conjuntamente con las obras semiprofundas Canal Nacional-Canal de Chalco y Río Churubusco así como con las superficiales Río La Compañía y Canal Nacional-Canal de Chalco.

Interceptor Centro – Centro

Este interceptor tiene 5 m de diámetro y una longitud total 3.6 Km. Beneficia a algunas colonias de la zona centro del D.F. Para esto se construyó una estructura de captación para el colector en la Lumbreira 2, desde la cual se conducen las aguas del Interceptor Oriente, que a su vez alivia al Río Churubusco y al Interceptor Canal Nacional – Canal de Chalco.

Interceptor Ermita

Con una longitud de 6 km inicia su trazo a la altura del Eje 5 sur con la Calzada Ermita Ixtapalapa, sigue su trayectoria hacia el poniente de la Ciudad para dar vuelta en la Calle Luis Manuel Rojas y descargar finalmente en la Lumbreira 2 del Interceptor Oriente-Sur; cuenta con cuatro lumbreras con las que captará a los colectores Paraje San Juan, Justo Sierra I y II, Cañas, Quetzalcóatl, Pozos y Luis Manuel Rojas, dando así alivio a parte de la zona oriente de la delegación Ixtapalapa.

¹⁷ Sistema de Aguas de la Ciudad de México. **Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México.** Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México. Págs. 2-17.



Figura 3.5. Sistema de drenaje profundo (Emisor Central).¹⁸

Interceptor Ixtapalapa

Tiene una longitud de 5,500 metros y un diámetro de 3.10 metros. Capta gran parte de las aguas generales de la delegación Ixtapalapa, las conduce hasta la Planta de Bombeo Central de Abasto II de 20 m³/s de capacidad, que a su vez las incorpora hacia el Río Churubusco. También recibe de los desfogues de las lagunas Mayor y Menor de Ixtapalapa, beneficiando la parte noreste de esta delegación.

¹⁸ Tomado de www.gdf.gob.mx

Interceptor Oriente

Esta obra tiene 5 m de diámetro y 28.1 Km de longitud. Su tramo norte inicia en las calles de Agiabampo y Troncoso y de allí se dirige hacia el norte por la Calzada de Zaragoza. Continúa en forma paralela al Gran Canal hasta la Calzada de San Juan de Aragón y termina en la Lumbrera Cero del Emisor Central en Cuauhtepac. La función principal de este tramo del túnel es aliviar al Gran Canal del Desagüe a través de la obra de toma del cual depende para su drenaje gran parte del centro y norte de la Ciudad de México.

Hacia el sur, este interceptor corre por el Eje 3 Oriente, a partir de la Calle de Agiabampo en su intersección con el Interceptor Centro – Centro en la Lumbrera 4, hasta la Av. Taxqueña donde se conecta al Interceptor Canal Nacional – Canal de Chalco. En el cruce con la Calle Tlazintla se ubica la Lumbrera 3, cercana a ella es captado el Colector Plutarco E. Calles directamente al túnel; en la Lumbrera 2 ubicada en la esquina de la Av. Apatlaco, capta al colector del mismo nombre. Las aguas del cauce del Río Churubusco son captadas en la Lumbrera 1.

Interceptor Oriente – Oriente

Su trazo se inicia en la esquina norponiente de la Laguna de Regulación El Salado, ubicada en el cruce de las avenidas Texcoco y Kennedy, para concluir en la Lumbrera 6, del Interceptor Oriente-Sur, en la esquina de Canal de San Juan e Ignacio Zaragoza. Por medio de 4 lumbreras capta los colectores que drenan la zona nororiente de la delegación Ixtapalapa, la Laguna de Regulación El Salado, donde se reciben las aportaciones de los colectores Kennedy, Zaragoza Norte, Las Torres, Santa Martha – Ejercito de Oriente, entre otros.

Interceptor Oriente- Sur

Inicia en la Lumbrera 1 ubicada en Ex Hacienda San Nicolás y Av. de las Torres, Colonia Ixtapalapa, para concluir, en una primera etapa, en la Lumbrera 4 en Francisco del Paso y Troncoso esquina con Calzada Zaragoza. Su finalidad es

captar el agua residual y pluvial de gran parte de la delegación Ixtapalapa. En una segunda etapa, este interceptor se conectará con el Interceptor Oriente. Contará con 11 estructuras de captación, que beneficiarán, además, a las delegaciones Iztacalco y Venustiano Carranza.

DRENAJE SEMIPROFUNDO

Interceptor Canal Nacional – Canal de Chalco

El trazo de este túnel se inicia en la Lumbrera Cero en Av. Río Churubusco y Canal Nacional. Se desplaza en forma paralela al Canal Nacional hasta el Eje 3 Oriente, para continuar por este hasta la Calzada de la Virgen, donde toma un ramal superficial de 1.7 Km hacia el sur. Continúa por la calzada en dirección Oriente hasta la confluencia de los canales Nacional y Chalco. De aquí, sigue en forma paralela al Canal Nacional para terminar en la Laguna de Regulación San Lorenzo en Tláhuac. Su longitud total es de 14.3 Km y un diámetro de 3.10 m. El tramo de 6.9 Km entre las lumbreras 0 y 5 se encuentra en operación, en la Lumbrera 5 se captan las aguas del Canal de Chalco y de la Ciénega Grande; de la Lumbrera 5 a la Lumbrera 7 se está excavado y en proceso de revestimiento definitivo. Se continúa la excavación del Interceptor para entrar en operación hasta la Laguna de Regulación San Lorenzo en mediano plazo.

Su caudal será conducido hacia el Interceptor Oriente o al Río Churubusco, mediante la Planta de Bombeo Miramontes de 20 m³/s de capacidad. Con esta estructura se beneficiará principalmente a las delegaciones Coyoacán, Ixtapalapa, Xochimilco y Tláhuac.

Río Churubusco

El Río Churubusco tiene su origen en la confluencia de los ríos Mixcoac y Magdalena, que bajan de las sierras ubicadas al poniente de la Cuenca de México. Además recibe las aguas de los ríos Barranca del Muerto y San Ángel,

formando el Río Churubusco el límite natural entre las delegaciones Benito Juárez, Coyoacán e Iztacalco.

Si bien, el Sistema de Drenaje Profundo ha ampliado su cobertura con objeto de auxiliar al Río Churubusco y absorber las avenidas generadas por el crecimiento acelerado de las delegaciones Ixtapalapa y Tláhuac, situadas al sur-oriente del Distrito Federal, el Río Churubusco, con sus 21 km de longitud, constituye la infraestructura básica para el desagüe de las zonas ubicadas al sur de su recorrido descargando sus aguas en los lagos de Texcoco (Churubusco y Regulación Horaria), que las regulan antes de descargarlas en el Dren General del Valle.

A mediados del siglo XIX el Río Churubusco comenzó a ser entubado resolviendo de esta manera el problema de insalubridad, que representó el haber convertido el río en desagüe, y posteriormente, sobre él se construyó la vialidad conocida como Circuito Interior.

Si bien el entubamiento de este y otros ríos, combinada con la construcción de miles de kilómetros de drenaje, buscaba ser una solución a las inundaciones recurrentes de la ciudad, esta medida, resulta hoy en día insuficiente por el crecimiento acelerado de la población, de la mancha urbana y sobre todo, por el hundimiento de la ciudad.

Un hecho de interés se refiere al 30 de abril de 2008, cuando luego de las intensas lluvias que azotaron a la ciudad de México y su área conurbada, el Río Churubusco se desbordó y las aguas negras inundaron casas de la colonia El Sol, situada en Ciudad Nezahualcóyotl, 9 m abajo del lecho del Lago de Texcoco que es donde este río desagua.

Otro antecedente se tiene del 22 de enero de 2009 cuando vecinos de Ciudad Lago, sufrieron una severa inundación con aguas negras, cuando autoridades del Sistema de Aguas de la Ciudad de México cerraron las compuertas del drenaje

profundo y no bombearon las aguas residuales, lo que provocó que el agua del Río Churubusco inundara Periférico Oriente y al municipio de Nezahualcóyotl.

DRENAJE SUPERFICIAL

Río La Compañía.

Nace en lo alto de la ladera occidental del Iztaccihuatl a una elevación de 2700 msnm. Desciende a la planicie siguiendo diversos cursos de barrancas que confluyen a los 2300 msnm con el colector Miraflores en la vecindad del poblado del mismo nombre. De este punto cambia su dirección hacia el norte hasta su unión con el Bordo de Xochiaca. Las aguas allí recogidas por una red de cursos naturales y canales son conducidas hacia el norte-noroeste a través de este canal en la dirección del vaso de Texcoco. Allí se une al caudal de las lagunas Churubusco y Horaria cambiando su denominación a Dren General del Valle. Finalmente, este último descarga en el Gran Canal de Desagüe a través del Canal de la Draga.

Desde la época de la Colonia, el Río La Compañía ha sido uno de los drenes más importantes de la Cuenca de México. En esa época, el cauce de este río era ya insuficiente para desalojar al Lago de Texcoco y los caudales originados por las lluvias en los valles de Chalco e Ixtapaluca, y más aún cuando se presentaban lluvias extraordinarias que rebasaban su capacidad y producían enormes inundaciones que alcanzaban la zona de Xochimilco. Con el paso del tiempo y el consecuente crecimiento de la Ciudad de México, el cauce del Río La Compañía tuvo que dar cabida, además de las aguas de lluvia, a las aguas negras desechadas en la zona oriental de la ciudad, del Valle de Chalco, Xico, Ixtapaluca y Ciudad Nezahualcóyotl.

Actualmente, el Río La Compañía constituye la única salida de las aguas negras y pluviales de los municipios de Chalco, Valle de Chalco, Ixtapaluca y aportaciones de la delegación Tláhuac del Distrito Federal. Actualmente, para evitar contingencias por inundaciones, se están haciendo obras para conducir por

tubería 20 m bajo la superficie el escurrimiento del río en el tramo comprendido entre los volcanes El Elefante y la Caldera. Sin embargo, de ocurrir lluvias extraordinarias de corta duración, la basura y el escombro que invaden el cauce aguas arriba de esa obra podrían taponar el conducto y el agua desbordaría e inundaría el Valle de Chalco.

Como se mencionó en el capítulo Antecedentes, la sobreexplotación del acuífero del Valle de México, ha causado grandes áreas de subsidencia, principalmente en el Valle de Chalco, donde se tienen registrados hundimientos de 50 a 70 cm por año, lo que ha provocado que el Río La Compañía en su recorrido por este municipio en el tramo comprendido entre los volcanes El Elefante y La Caldera esté por encima del terreno natural, alcanzando alturas de hasta 15 metros por encima de la zona habitacional. Además, como se ha mencionado anteriormente, se tienen tramos con pendientes muy bajas, donde se acumula gran cantidad de azolves, que pueden producir contrapendientes en el cauce. Además, de presentarse avenidas extraordinarias en el cauce, ocurrirían rompimientos del bordo occidental, y sucederían inundaciones en el Valle.

El Río La Compañía fue proyectado y construido cuando las expectativas de crecimiento del área metropolitana no concebían los asentamientos, lejanos para esa época, de Ciudad Nezahualcóyotl y Valle de Chalco. Además, la rectificación del Río La Compañía no se hizo progresivamente más amplia en su trayecto hacia el Gran Canal, sino que se hizo con cauce de ancho constante y aún, más angosto en algunas zonas, lo que limita su capacidad.

La longitud del Río La Compañía dentro de los límites del área de estudio es de 38 km.

Canal Nacional–Canal de Chalco

El Canal de Chalco, Huey Apantli, cientos de años después llamado Canal Nacional, se empezó a abrir en la época prehispánica para desaguar la Laguna o Ciénega de Chalco. El desagüe tenía dos fines: disminuir las inundaciones en

Chalco y Xochimilco y disponer de más superficie para el cultivo. Ya en el tiempo del México independiente, alrededor del año 1898, entre las obras de desagüe, destacan, el canal de 16 km de Chalco a Texcoco y otro de 10 km que conducía el agua de los manantiales y escurrimientos de la Sierra Nevada a Xochimilco. En esta época, la Acequia Real de Mexicaltzingo, conocida más tarde como el Canal Nacional, fue extendida hasta el Embarcadero de Roldán, pasando por la Calzada de la Viga.

El Canal de Chalco se ubica en los límites de las delegaciones Coyoacán, Ixtapalapa, Tlalpan y Xochimilco. Tiene una longitud de 10+860 Km desde el lado sur del Periférico, junto al Parque Ecológico Xochimilco hasta el Río Churubusco y Canal de Miramontes. La parte entubada del Canal Nacional, forma parte del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad para conducir aguas residuales. El cauce a cielo abierto conduce aguas residuales tratadas.

El Canal de Chalco es la continuación del Río Amacameca. Este se inicia en las barrancas situadas aguas arriba de Amecameca desde donde comienza a recolectar aguas negras y pluviales hasta su unión con el Canal Nacional. Aguas abajo de Amecameca, toma el nombre de Río Panoaya, desciende por San Francisco Zentlalpan, San Cistobal Poxtla, donde toma el nombre de Río Hueyatla, escurre por San Juan Caxtocan, Tepolula, Tenango del Aire, donde conocen al Río como Apozonalco, se extiende por Temamatla y llega a San Martín Xico Nuevo y Mixquic.

Comprende dos tramos: el primero, conocido como Canal de la Viga, entubado en 1930, de Ermita Ixtapalapa a Corregidora, cubriendo una longitud de 10 km. El segundo, libre o abierto, desde Ermita hasta Mixquic y el tercero que es el Río Amecameca.

Los sistemas de drenaje profundo, semiprofundo y superficial son auxiliados por lagunas de regulación, donde SACM almacena temporalmente volúmenes de tormentas o lloviznas de varias horas de duración, que saturan el sistema de

drenaje, cuando recupera capacidad, los operadores de SACM desalojan los volúmenes de estas lagunas a donde más convenga, en una operación compleja que requiere conocimiento del sistema, oportunidad, manteniendo al sistema en una capacidad de funcionamiento óptima. Las lagunas de regulación de la parte oriente se presentan en la tabla 3.19.

Tabla 3.19. Lagunas de regulación de la zona oriente de la Ciudad de México.

Laguna de regulación	Volumen [m ³]	Delegación	Coordenadas	
			mE	mN
Ciénega Grande	1,621,761	Tláhuac	489,899	2,124,903
Ciénega Chica	900,000	Tláhuac	488,539	2,132,390
San Lorenzo Tezonco	900,000	Xochimilco	495,790	2,130,920
El Salado	540,000	Ixtapalapa	499,800	2,141,700
Laguna Mayor	480,000	Ixtapalapa	496,042	2,142,619
Laguna Menor	135,000	Ixtapalapa	495,776	2,141,509
SUMA	4,576,761			

En la carta 3.9 se muestran los principales elementos del sistema de drenaje dentro del área en estudio descritos anteriormente.

EL EMISOR CENTRAL Y EL VALLE DEL MEZQUITAL

El Valle del Mezquital se encuentra en su mayor parte ubicado en el occidente del estado de Hidalgo dentro de la subcuenca del Río Tula, entre las coordenadas 473,620 a 486,270 mE y 2,199,030 a 2,261,770 mN, a 56 km del Distrito Federal. Colinda al norte con la Cuenca del Bajo Pánuco, al sur con la Cuenca del Valle de México, al sureste con la Cuenca del Río Lerma al poniente con la Subcuenca del Río San Juan del Río.

En el Valle del Mezquital se presenta un clima de semiseco a templado (con lluvias en verano las cuales escasean a lo largo de otoño; la temperatura media anual prevaleciente es del orden de 17 a 20° C, siendo los meses más calurosos abril y mayo.

La precipitación media anual varía de 450 a 500 mm en la porción norte, mientras que en la porción sur es de 500 mm; la temporada de lluvias abarca los meses de mayo a septiembre.

En el Valle del Mezquital se encuentra la salida del Emisor Central del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, por allí pasan hasta 65 mil litros de aguas negras por segundo que después son reencauzadas para el riego de extensas áreas que una vez fueron desérticas. Estas aguas residuales que expulsa la capital del país han transformado un semidesierto de 90 mil hectáreas en un vergel.

En el valle del Mezquital esas aguas son “oro negro” para unos 50 mil agricultores que riegan los cultivos con líquido cargado de metales pesados, detergentes y coliformes fecales, todo en medio de un dudoso plan de control sanitario y ambiental.

Estas son las tierras de mayor extensión en el mundo que se irrigan con lo que se arroja al alcantarillado; también aquí se encuentra el vaso receptor más amplio del orbe de esas aguas, con una capacidad de 189 millones de litros de líquido contaminado, en una extensión de mil 260 hectáreas: la presa Endhó.

Es paradójico, pero en el valle del Mezquital la actividad agrícola logra que esas aguas negras regresen a la ciudad o vayan a las zonas urbanas del centro del país convertidas en alimento, con un valor en el mercado por 2 mil millones de pesos al año, según estimaciones de la Comisión Nacional del Agua.

A nivel nacional el rendimiento de cada hectárea sembrada con maíz es de 6.80 toneladas, de acuerdo con información del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, mientras que en esta región se alcanza un rendimiento de 10 toneladas por hectárea. Esto se lo debe a las aguas negras y a sus concentraciones de Nitrógeno y Fósforo, que para los agricultores son el sustituto perfecto de cualquier fertilizante.

Durante su uso en los distritos de riego del Valle del Mezquital, el agua residual de la Ciudad de México (una mezcla de residuos domésticos e industriales) recibe un tratamiento de infiltración natural en el suelo, el cual es equivalente o superior al tratamiento secundario convencional de agua residual.

El agua residual del Valle de México que es enviada al Valle del Mezquital, donde se usa para el riego, ha originado una recarga artificial del acuífero en una cantidad que se estima del orden de 25 m³/s. La infiltración natural en los acuíferos del Valle del Mezquital es de tres mil metros cúbicos por año, mientras que la infiltración incidental debida al riego con aguas residuales llega a 126,200 metros cúbicos.¹⁹ Esta recarga podría ser aprovechada nuevamente en el Valle de México como abastecimiento. De hecho, esta agua se emplea ya para consumo humano por los habitantes del Valle del Mezquital.

La preocupación por la calidad del agua del acuífero ha originado que el Instituto de Ingeniería de la UNAM realizara un estudio sobre ella. Sorpresivamente, los resultados preliminares indicaron que, a pesar de provenir de la infiltración del agua negra sin tratamiento alguno del Valle de México, esta agua es de buena calidad y, así ante la cantidad disponible y la calidad apropiada, se planteó la idea de efectuar un estudio detallado para evaluar el empleo del acuífero del Valle del Mezquital como fuente de abastecimiento para la Ciudad de México.²⁰

3.4.PERÍODOS DE RETORNO RECOMENDADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE DRENAJE EN CUENCAS URBANAS

Los períodos de retorno deberán ser determinados con base a los lineamientos que dicte la institución o dependencia para la cual se va a construir la obra.

¹⁹ Academia Mexicana de Ciencias. **Acuíferos del Mezquital alternativa de agua para la Ciudad de México**. Boletín AMC/44/08, México, D.F., jueves 24 de abril de 2008.

²⁰ Jiménez, B. **Estudio de la factibilidad del empleo del agua del acuífero del valle del Mezquital para suministro del Valle de México**. Instituto de Ingeniería de la UNAM. México.

W. Viesman, J. W. Knapp, G. L. Lewis y T. E. Harburgh propusieron en 1977 un período de retorno que varía entre 2 y 10 años para drenajes pluviales. Ese mismo año, E. Mosonyi y W. Buck propusieron un período de retorno de 100 años cuando se trata de proteger zonas urbanas importantes. Por otra parte, V. Yevjevich y J. D. Salas propusieron en 1980 un periodo de retorno de 25 años para alcantarillas.²¹

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, así como la Comisión Nacional del Agua recomiendan períodos de retorno entre 10 y 25 años para la estimación del gasto máximo de diseño en las obras hidráulicas destinadas para drenajes de tipo pluvial en zonas urbanas pobladas con más de un millón de habitantes.

²¹ Ortiz, A. op. cit. Pág. 21.

4. ZONAS DE MAYOR SUBSIDENCIA EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO

4.1.HISTORIA DEL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

A partir de 1890 se inició la extracción de agua por bombeo de los pozos enclavados en la zona lacustre a fin de abastecer de agua potable a una población cada vez más creciente. Como consecuencia de lo anterior, el suelo arcilloso comenzó un proceso de consolidación que tuvo como consecuencia hundimientos diferenciales en distintas partes de la ciudad. En 1936 los hundimientos de la ciudad eran del orden de 5 cm al año. Al aumentar la demanda de agua se inició la perforación de pozos profundos y entre 1938 y 1948 la subsidencia del subsuelo aumentó a 30 y 50 cm por año. Entre 1950 y 1980 la zona central de la Ciudad se hundió 5 metros y en la zona lacustre del sur el hundimiento fue de 4 metros²².

4.2.CAUSAS DEL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

La causa principal del hundimiento de la Ciudad está ligada a una disminución notable en la distribución de presiones del agua en el subsuelo ocasionada por el excesivo bombeo que se ha efectuado a fin de abastecer de agua potable a la población de la Ciudad.

La Ciudad de México está asentada en su mayor parte sobre lo que fue el lecho del lago de México. La estratigrafía del terreno está formada por depósitos arcillosos muy compresibles de origen volcánico y cuyas propiedades son muy variables de un punto a otro. Al efectuar la extracción de agua del subsuelo y al cambiar las condiciones de carga del mismo, se inició la consolidación de la arcilla con el consecuente hundimiento del terreno.

²² Lesser, J. El hundimiento de la Ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje. Pág. 2 y 3.

4.3. CONSECUENCIAS DEL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

El hundimiento de la Ciudad ocasionó que el Gran Canal, que en 1900 tenía una pendiente de 19 cm por km hacia Zumpango, en 1950 fuera de 12 cm por km, lo que ocasionaba en grandes avenidas el rebase del cauce. En 1980 el declive se había invertido y fue necesario iniciar el bombeo para asegurar el desagüe. En la Figura 4.1 se observa la evolución del hundimiento de la Ciudad de México y la consecuente pérdida de pendiente del Gran Canal del Desagüe²³. En otras palabras, el agua que salía por gravedad a través del Gran Canal se fue regresando a la misma. Para continuar desalojando las aguas que produce la población de la ciudad se construyeron sistemas de bombeo para canalizar parte de sus afluentes al Drenaje Profundo.

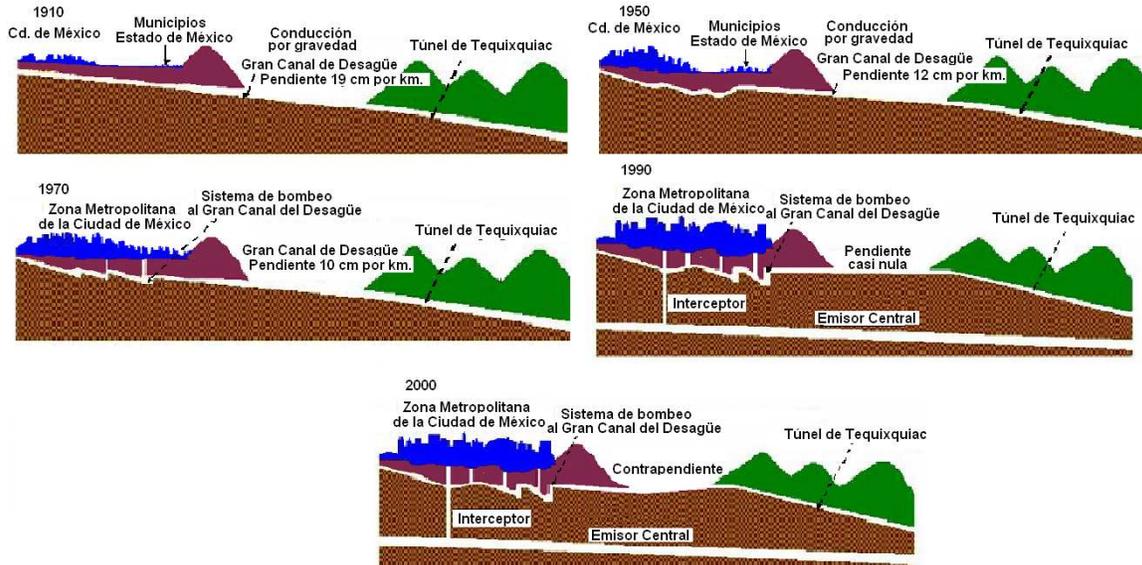


Figura 4.1. Representación del hundimiento gradual de la Ciudad de México²⁴.

Otra consecuencia del hundimiento de la Ciudad se explica a continuación. Según una referencia instalada en 1862 en el monumento a Enrico Martínez en la

²³ Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica de la Departamento del Distrito Federal. op. cit. Pág. 4.

²⁴ Tomado de <http://www.df.gob.mx>

catedral de la Ciudad de México, el fondo del Lago de Texcoco se situaba 2.8 m debajo del nivel de la plaza.

Estudios realizados por Velázquez y Aldasoro establecieron en 1876 como referencia para la Ciudad la tangente inferior del Calendario Azteca (TICA) ubicado en la catedral de México y le asignaron la cota +10.0 m. De acuerdo con estas nivelaciones, la cota de aguas máximas del lago de Texcoco era +7.10 m y el del fondo del mismo quedaba a + 5.57 m.

La extracción de agua del subsuelo ha provocado que el suelo de la capital se haya hundido tanto, que en la actualidad el nivel de éste se ubica 7 metros por debajo del nivel de lo que era el Lago de Texcoco.

Los asentamientos que padece la ciudad no solo afectan a las líneas de distribución de agua potable, además dañan las redes de drenaje lo cual se traduce en un constante riesgo de inundación de la Ciudad de México, en caso de que se presente una falla en los túneles del Sistema de Drenaje Profundo, en particular en el Emisor Central que opera de manera continua sin posibilidad de revisar su estado, en tanto no se cuente con infraestructura alternativa para la conducción de toda el agua que hoy se drena por este desagüe.

La Ciudad de México y sus municipios conurbados requieren mayor capacidad de desagüe, la cual, irónicamente se ha reducido debido al hundimiento la ciudad y la pérdida consecuente de pendiente en los ductos del Sistema de Drenaje Profundo y de los canales a cielo abierto que aún existen.

Debido a las características que presentan las lluvias en la Cuenca de México, intensas y de corta duración, y a que el 70% de estas se presentan en cuatro meses y a la topografía del terreno, no es posible aprovechar esta agua llovida para abastecer a la población de agua potable, antes bien, es necesario desalojarla inmediatamente a fin de prevenir las inundaciones y evitar las repercusiones económicas y sanitarias consecuentes.



Figura 4.2. Hundimiento del terreno ocasionado por la extracción de agua del subsuelo por bombeo observado en el lago de Texcoco de más de 7 m.

4.4. MODELOS MATEMÁTICOS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS HUNDIMIENTOS

Los hundimientos acumulados del terreno de 1891 a 1994, según Lesser presentan máximos de poco más de 10 metros en el centro de la Ciudad de México, hundimientos de entre 6 y 7 metros en el ex Lago de Texcoco, hundimientos ligeramente mayores a 6 metros en Canal Nacional y Canal de Chalco y hundimientos ligeramente mayores a 5 metros en el área de Tláhuac.²⁵

²⁵ Lesser, J. **op. cit.** Pág. 2 y 3.

Modelos matemáticos del comportamiento de los hundimientos muestran a la zona sureste como la de mayor subsidencia de la ciudad y de la cuenca. En los lagos de Chalco y Tláhuac el hundimiento medio anual es de 40 centímetros. Los hundimientos totales medidos en Chalco son de casi 10 metros para el año 2000, pronosticándose hundimientos de hasta 15 metros para el 2010. El Centro Histórico de la Ciudad de México se ha hundido 10 metros en 100 años. La gran concentración de pozos en la zona de Chalco causó un hundimiento similar al de la Ciudad de México en tan sólo 30 años de extracción de agua del acuífero, de 1965 a 1995.²⁶

El hundimiento del suelo lacustre formado por depósitos arcillosos compresibles de origen volcánico y cuyas propiedades son muy variables de un punto a otro, hace que estos hundimientos no sean homogéneos en el espacio. Actualmente, la velocidad de hundimiento del suelo de 1 a 10 cm/año ocupa una superficie de 191.76 Km², la de 10 a 20 cm/año, 124.69 Km² en el norte de la delegación Ixtapalapa y sur de Iztacalco. La tasa de hundimiento de 20 a 30 cm/año cubre ya una extensión de 48.25 Km², sobre la delegación Iztacalco, el sur de Tláhuac y del Valle de Chalco. Esta última zona es atravesada por el ramal de pozos Santa Catarina Mixquic, que provoca una subsidencia constante y la consecuente expansión de la superficie de inundación. Ver carta 4.1.

El desalojo de agua residual de esta zona se logra mediante un sistema de drenaje combinado, el cual se compone tanto de elementos superficiales como de elementos profundos descritos en el capítulo 3.

²⁶ Museo CuiTláhuac. Tláhuac y Chalco se hundieron. Tema en Vida Tláhuac.

5. ALTERNATIVAS DE DESAGÜE EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO

5.1. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS PARA DESALOJAR VOLÚMENES EXTRAORDINARIOS DE LLUVIA

Para el diseño y dimensionamiento de las estructuras hidráulicas de drenaje se han utilizado por muchos años ecuaciones de flujo uniforme. Estas ecuaciones son generalmente de fácil implementación e intentan relacionar la velocidad de flujo con otras variables geométricas e hidráulicas.

Por definición, el flujo uniforme ocurre cuando la relación entre el área hidráulica y el ancho superficial, el área hidráulica y la velocidad en cada sección transversal son constantes y la línea de gradiente de energía, la superficie del agua y el fondo del canal son paralelos.

La expresión utilizada para el cálculo de la velocidad promedio de un flujo uniforme puede calcularse con la ecuación de Manning, que se enuncia de la siguiente manera:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (5.1)$$

Donde:

V : Velocidad media del fluido a través de la sección

n : Coeficiente de rugosidad de Manning,

R_h : Radio hidráulico

S : Pendiente del túnel

Debido a la simplicidad de su forma y a los resultados satisfactorios que arroja en aplicaciones prácticas, esta ecuación se ha convertido en la más utilizada para el flujo uniforme en canales.

Por lo general, en problemas de hidráulica de canales se conoce o se propone la pendiente y el gasto de diseño de forma inicial, pero se desconoce el tirante normal y , así como otras características geométricas que deben calcularse o proponerse.

De acuerdo a la ecuación de continuidad, se tiene que el gasto se expresa de la siguiente forma:

$$Q = AV \quad (5.2)$$

Entonces, sustituyendo la ecuación 5.1 en la ecuación 5.2 tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} AR_h^{2/3} S^{1/2} \quad (5.3)$$

Donde:

A : Área hidráulica

Los elementos geométricos de una sección circular se muestran en la Figura 5.1, y en la tabla 5.1, expresados en términos del tirante.

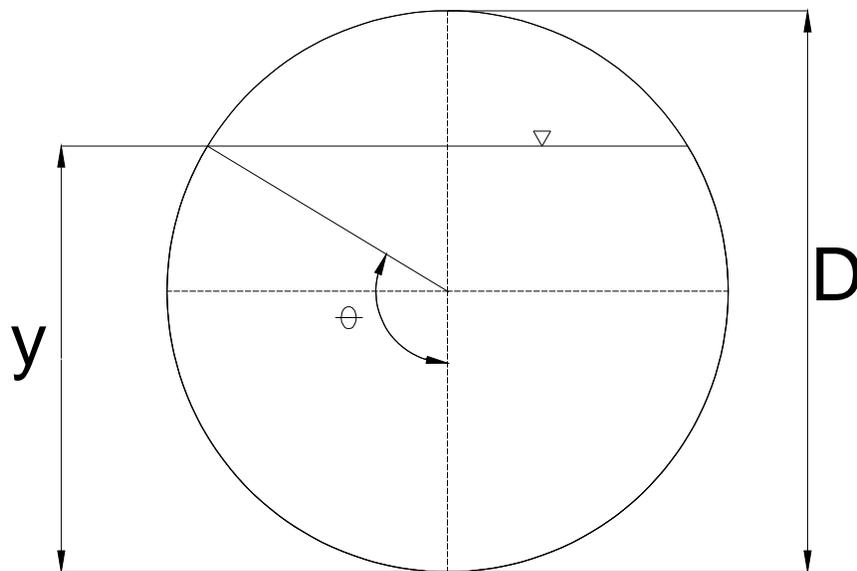


Figura 5.1. Elementos geométricos de un canal de sección circular.

Tabla 5.1. Definición de elementos geométricos de un canal de sección circular.

Elemento geométrico	Literal	Definición	Expresión
Tirante	y	Es la distancia perpendicular a la plantilla, medida desde el punto más bajo de la sección hasta la superficie libre del agua.	$0 \leq \frac{y}{D} \leq 1$
Ángulo	θ	Es el ángulo creado por la vertical y la línea que une el centro de la sección y la intersección de la superficie libre del fluido con la pared del tubo.	$\theta = \text{ang} \cos\left(1 - \frac{2y}{D}\right)$
Área	A	Es el área ocupada por el flujo en la sección del canal.	$A = \frac{1}{4} \left(\theta - \frac{1}{2} \text{sen} 2\theta \right) D^2$
Perímetro mojado	P	Es la longitud de la línea de contacto entre el agua y las paredes del canal, no incluye a la superficie libre.	$P = \theta D$
Radio hidráulico	R_h	Es el cociente del área hidráulica y el perímetro mojado.	$R_h = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\text{sen} 2\theta}{2\theta} \right) D$

Dados Q , n y S si se realiza un agrupamiento de variables conocidas y desconocidas de la ecuación 5.3, tenemos:

$$AR^{2/3} = \frac{Qn}{S^{1/2}} \quad (5.4)$$

Donde $AR^{2/3}$ se conoce como factor de sección para el cálculo de flujo uniforme.

La pendiente se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$S = \frac{\Delta z}{L} = \frac{z_1 - z_2}{L} \quad (5.5)$$

Donde:

Δz : Gradiente de la altura de la plantilla

z_1 : Altura inicial

z_2 : Altura final

L : Longitud del canal

El valor de n es muy variable y depende de una cantidad de factores. Al aplicar la ecuación de Manning, el problema reside en la determinación del coeficiente de

rugosidad n pues no hay un método exacto de seleccionar un valor n . Para calcular entonces el coeficiente de rugosidad n se dispone de tablas y numerosas fórmulas para expresar el coeficiente de rugosidad de Manning en función del diámetro de las partículas, las cuales tienen la forma $n = m D^{1/6}$, donde m es un factor de escala y D es un diámetro característico del material del lecho (D_{50} , D_{75} , D_{84} , D_{90}) que son, respectivamente, los diámetros correspondientes al 50, 75, 84 y 90% de la curva granulométrica del material del lecho.

Otros modelos tienen forma logarítmica y expresan n en función del diámetro de las partículas (D_{50} ó D_{84}) y de las características del flujo (radio hidráulico, profundidad media del flujo).

En general, el coeficiente de rugosidad para canales revestidos de concreto toma el valor de 0.01.

Los caudales de escurrimiento causados por las lluvias para períodos de retorno de 3, 5, 10 y 15 años se calcularon de la siguiente manera:

1. El coeficiente de escurrimiento se calculó por medio de la expresión:

$$C = \frac{C_u A_u + C_{nu} A_{nu}}{A_u + A_{nu}} \quad (5.6)$$

Donde:

C : Coeficiente de escurrimiento del área estudiada

C_u : Coeficiente de escurrimiento urbano = 0.85, tomado de la referencia Aparicio

C_{nu} : Coeficiente de escurrimiento no urbano = 0.15, tomado de la referencia Aparicio

A_u : Área urbana

A_{nu} : Área no urbana

y con los datos de la tabla 5.2, que muestra las áreas urbanizadas por delegación.

El coeficiente de escurrimiento que se aplicó a los volúmenes de la tabla 3.16 es de:

$$C = \frac{0.85(301.38) + 0.15(209.62)}{301.38 + 209.62} = 0.5628 \quad (5.7)$$

Tabla 5.2. Urbanización del área estudiada.²⁷

Delegación o municipio	Área total [km ²]	% Área urbanizada	% Área no urbanizada	Área urbanizada [km ²]	Área no urbanizada [km ²]
Ixtapalapa	117.00	92.70	7.30	108.46	8.54
Iztacalco	23.30	100	0	23.30	0
Tláhuac	85.35	33.51	66.49	28.60	56.75
Valle de Chalco	46.36	20.01	79.99	9.28	37.08
Chalco	120.99	11.36	88.64	13.74	107.25
Xochimilco	118.00	100	0	118.00	0
Σ	511			301.38	209.62

2. A los volúmenes escurridos se les resta la capacidad de almacenamiento de las lagunas de regulación situadas dentro del área de estudio, que es 4,576,761 m³.
3. Si se considera un tiempo de 24 horas para el desagüe de los volúmenes, se obtendrían los siguientes caudales a desalojar. Ver tabla 5.3.

A estos caudales de escurrimiento de lluvia se agregarían los caudales de agua residual vertidos al drenaje, por el crecimiento de población proyectado al año 2020. En la tabla 5.4 se muestra la proyección del crecimiento poblacional y de los caudales de aguas residuales que se agregarían a los caudales de la tabla 5.3.

Tabla. 5.3 Caudales de escurrimiento de lluvias drenados en 24 horas para períodos de retorno T = 3, 5, 10 y 15 años

T [años]	V _{lluvioso} [m ³]	V _{escurrido} [m ³]	V _{a desalojar} [m ³]	Q _{24 h} [m ³ /s]
3	17,546,742	9,875,306.40	5,298,545.40	61.33
5	22,046,671	12,407,866.44	7,831,105.44	90.64
10	30,991,187	17,441,840.04	12,865,079.04	148.90
15	37,176,042	20,922,676.44	16,345,915.44	189.19

²⁷ Plan de Desarrollo de la Ciudad de México, 2000

Tabla. 5.4 Aumento de la aportación de aguas residuales en el área en estudio, según proyecciones de crecimiento demográfico al año 2020.²⁸

Año	Población	Q _{ar} [m ³ /s]
2010	3,775,021	13.11
2012	3,818,173	13.26
2017	3,894,526	13.52
2022	3,945,274	13.70

En la tabla 5.5 se muestran los caudales netos calculados a desalojar para períodos de retorno de 3, 5, 10 y 15 años.

Tabla. 5.5. Caudales netos a desalojar para períodos de retorno T = 3, 5, 10 y 15 años

T [años]	Q _{24 h} [m ³ /s]	Q _{agua residual} [m ³ /s]	Q _{total} [m ³ /s]
3	61.33	13.11	74.44
5	90.64	13.26	103.90
10	148.9	13.52	162.42
15	189.19	13.70	202.89

Como puede verse, para el año 2020, el Emisor Central tendría que desaguar 200 m³/s sólo de la zona de estudio. Se concluye que de no construirse nuevas obras de drenaje, para el año 2020 el Emisor Central tendría que evacuar 400 m³/s en el caso de que se presentara una tormenta de 68 mm de lluvia acumulada y 2 horas de duración, correspondiente a un período de retorno de 15 años. Este caudal representaría el doble para el que fue diseñado hace 42 años.

Para desaguar los caudales registrados en la tabla 5.5 se proponen tres alternativas de obras hidráulicas artificiales de acuerdo a las características topográficas, geológicas e hidrogeológicas, denominadas Túnel Salado-Poniente, Túnel Salado-Xico-Achichipico y Túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya mostradas en la figura 5.2. A continuación se describen las características como son longitud,

²⁸ Consejo Nacional de Población.

dirección, diámetro, pendiente, separación entre lumbreras, profundidades, intersecciones con obras de toma, posición del nivel freático y referencias topográficas en superficie.

5.2.ALTERNATIVA 1

Túnel Salado Poniente.

La primera alternativa, Túnel Salado-Poniente, conecta en línea recta el Tanque de sedimentación el Salado con el Arroyo Chalpa, afluente del Río Cuautla. La longitud del túnel con una dirección S-SE es la más corta, 55 + 000 km, sin embargo, presenta grandes desventajas en la profundidad de las lumbreras sobre todo en la parte central donde la lumbrera 4 alcanza 940 m. Si se optara por no construir esta lumbrera, se tendrían 26 + 600 km de túnel sin lumbreras, situación que no es recomendable por severas restricciones de seguridad y ventilación. Las lumbreras 1, 2 ,3 y 5 tendrían longitudes de 50, 130, 220, y 265 m respectivamente y la pendiente del túnel sería de 0.0121. Debido a la desventaja de tener un tramo tan grande de túnel sin lumbreras esta alternativa fue desechada. La planta de esta alternativa se presenta en el anexo.

5.3.ALTERNATIVA 2

Túnel Salado Xico-Achichipico.

La segunda alternativa, Túnel Salado-Xico-Achichipico se delineó con una traza que comprende cuatro quiebres de dirección con el fin de evitar las prominencias topográficas, por lo que la longitud aumenta a 60+500 km. Sin embargo, los desarrollos de las lumbreras son todavía muy grandes, 30 m la mínima y 738 m la máxima y se tendría la misma desventaja de la alternativa anterior, esto es, excavar 27 km de túnel sin lumbreras, por lo que también esta alternativa fue desechada. La planta de esta alternativa se encuentra en el anexo.

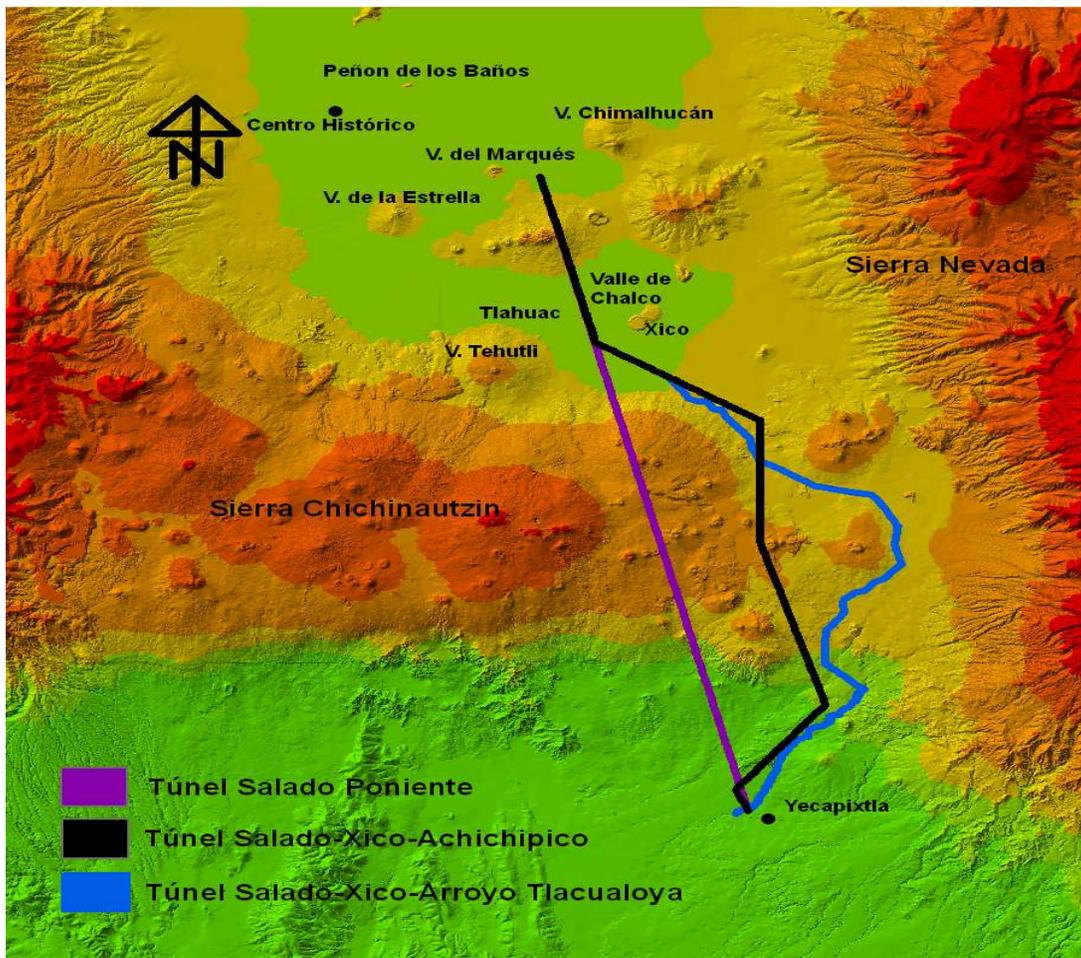


Figura 5.2. Túneles de alternativas de desagüe.

5.4. ALTERNATIVA 3

Túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya.

Tendría una longitud de 57+850 km, 6.5 m de diámetro y 10 lumbreras. Sus cambios de direcciones se muestran en la tabla 5.6. En la tabla 5.7 se exponen las inflexiones, cadenamiento y profundidad de las lumbreras, localidades y datos relevantes. La lumbrera 0 de este túnel se ubicaría en el centro del tanque de sedimentación El Salado, colonia Colmena, delegación Ixtapalapa en las coordenadas 499,800 mE, 2,141,700 mN. Esta lumbrera tendría una profundidad de 30 m (2206 msnm). Ver figura 5.3, planta topográfica-geológica y figura 5.4, perfil del túnel.

Tabla 5.5. Características topográficas del Túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya-Chalpa

Lumbrera o vértice	Longitud (m)	Dirección del tramo	Coordenadas Inicio		Coordenadas Fin	
			mE	mN	mE	mN
L0-V1	14+390	S 66°30' E	499,800	2,141,700	503,350	2,127,750
V1-V2	5+500	S 33°30' E	503,350	2,127,750	508,061	2,124,831
V2-V3	31+500	Vía ferrocarril	508,061	2,124,831	518,071	2,102,248
V3-PS	5+800	S 73°00'	518,071	2,102,248	518,100	2,100,650
V3-PS	5+800	S 73°00'	518,100	2,100,650	520,614	2,098,463

Su objetivo sería drenar el suroriente de la Ciudad de México y los municipios Valle de Chalco y Chalco en contingencias de lluvias extraordinarias y tendría capacidad para recibir caudales adicionales del centro de la ciudad. Iniciaría con la captación en el Tanque de Sedimentación El Salado de los caudales del Interceptor Oriente-Oriente y las aportaciones de los colectores Kennedy, Zaragoza Norte, San Miguel Teotongo, Las Torres y Santa Martha-Ejército de Oriente. Además colectaría los caudales de una eventual inundación en el Valle de Chalco y derivaciones del Río Churubusco que circularían por el Canal de Chalco hacia la Laguna de Regulación San Lorenzo Tezonco. Lo anterior aliviaría de un gran caudal al Emisor Central así como al Río La Compañía. Además, su trazo por el sur y terminación en la Cuenca del Río Balsas, tiene una visión a futuro, cuando la expansión urbana Tláhuac-Mixquic-Ayotzingo-Amecameca descargue volúmenes residuales mucho mayores a los actuales al Río Amecameca.

Por este túnel circularía un caudal de diseño de 189.19 m³/s para un período de retorno de 15 años, más un caudal de agua residual de 13.79 m³/s proyectado para una población de 3,855,816 habitantes en el año 2020, lo cual daría por resultado un caudal de 202.98 m³/s.

El portal de salida de este túnel se ubicaría en las coordenadas 520,615 mE, 2,098,465 mN en la margen derecha del arroyo Tlacualoya a una elevación de 2080 msnm en el cauce, lo que le da al túnel una pendiente de 0.0019. Este espacio fue elegido con el fin de evitar mayores longitudes de túnel aunque aumentara la longitud del canal. En este sitio la pared del portal tiene una altura de 15 metros y un ancho de 18 metros. La pared está formada por un conglomerado

poco consolidado aglutinado en una matriz arenosa. En la margen izquierda este material podría ser fácilmente erosionado por el caudal que sería vertido, por lo que deberán hacerse estudios de comportamiento de taludes a fin de poder programar las obras necesarias de ingeniería que protejan al cauce y los bordos del arroyo de dicha erosión.

Tabla 5.6. Ubicación y características constructivas de las lumbreras del túnel Salado-Xico-arroyo Tlacualoya

Lumbrera	Coordenadas		Cadenamiento (Km)	Profundidad (m)	Diámetro (m)
	mE	mN			
L0	499,800	2,141,700	0+000	32	8
L1	500,217	2,140,057	1+695	50	8
L2	501,898	2,135,455	8+507	50	8
L3	502,934	2,129,382	12+705	56	8
L4	506,408	2,125,855	19+983	69	8
L5	511,318	2,122,074	24+473	150	8
L6	514,884	2,117,220	30+764	241	8
L7	521,750	2,114,036	38+600	315	8
L8	520,998	2,107,186	46+737	285	8
L9	518,097	2,100,780	54+455	185	8

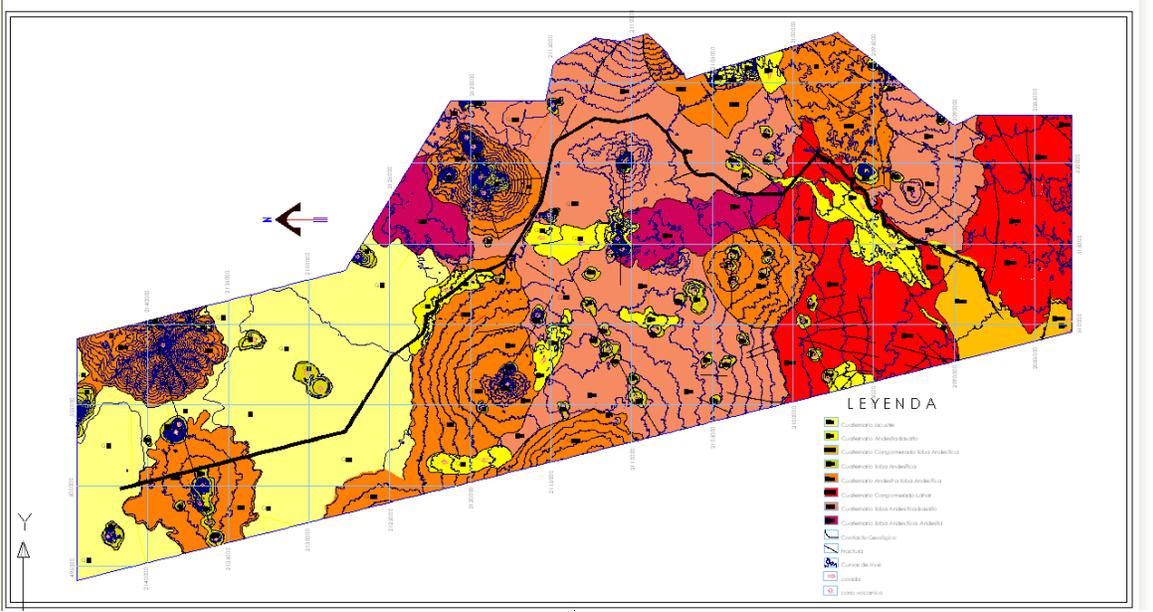


Figura 5.3. Planta Túnel Salado- Xico- Arroyo Tlacualoya.

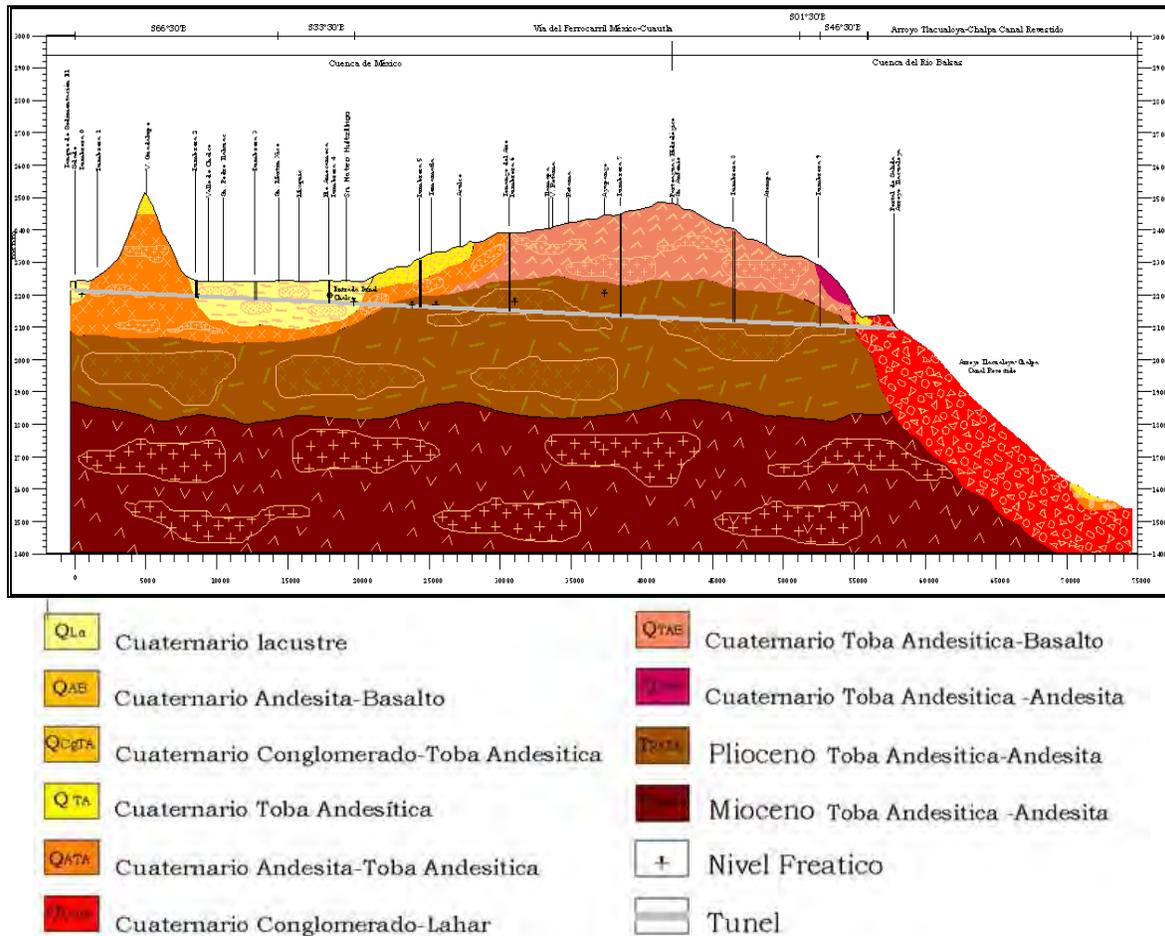


Figura 5.4. Perfil Túnel Salado- Xico- Arroyo Tlacualoya.

Cálculo del tirante normal

El tirante normal es aquel al que tiende el flujo del agua en estado de flujo uniforme. El cálculo del tirante normal se efectuó utilizando la ecuación 5.4.

$$AR^{2/3} = \frac{Qn}{S^{1/2}}$$

Donde el término $AR^{2/3}$ está en función del tirante, mientras que los términos de la derecha n y S se consideran constantes, no así Q que varía de acuerdo con el área A . En la tabla 5.7 se muestra la memoria de cálculo para la determinación del tirante normal para el túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya. En dicho cálculo se hizo variar el tirante del agua y se calcularon los elementos geométricos de área, perímetro y radio hidráulico, luego se calculó el término $AR^{2/3}$ y la velocidad media

y el gasto, posteriormente se calculo el término $\frac{Qn}{S^{1/2}}$ y finalmente se realizo la comparación entre ambos términos, observándose que el tirante normal es aproximadamente igual a 5.85 m.

Tabla 5.7. Determinación del tirante normal para el túnel Salado-Xico-Canal Arroyo Tlacualoya.

% tubo lleno	y [m]	Angulo [°]	Angulo [rad]	A [m ²]	P [m]	R _h [m]	AR ^{2/3}	V [m/s]	Q [m ³ /s]	AR ^{2/3} -Qn/S ^{1/2}
100%	6.50	360	6.28	33.18	20.42	1.63	45.87	6.02	199.92	2.31
95%	6.18	308	5.38	32.55	17.47	1.86	49.29	6.60	214.84	1.11
90%	5.85	286	4.99	31.44	16.22	1.94	48.87	6.78	213.01	0.69
85%	5.53	269	4.69	30.08	15.26	1.97	47.28	6.85	206.09	0.90
80%	5.20	254	4.43	28.49	14.41	1.98	44.88	6.87	195.64	3.30
75%	4.88	235	4.10	25.99	13.33	1.95	40.56	6.80	176.78	7.62
70%	4.55	223	3.89	24.16	12.65	1.91	37.18	6.71	162.08	10.99

Por último se revisó que la velocidad obtenida estuviera dentro de los límites máximos permisibles auxiliándose de la tabla 5.8.

Tabla 5.8. Velocidades máximas permisibles en túneles de concreto en función de la resistencia del concreto.²⁹

RESISTENCIA, [kg/cm ²]	PROFUNDIDAD DEL TIRANTE [m]				
	0.5	1	3	5	10
50	9.6	10.6	12.3	13	14.1
75	11.2	12.4	14.3	15.2	16.4
100	12.7	13.8	16	17	18.3
150	14	15.6	18	19.1	20.6
200	15.6	17.3	20	21.2	22.9

La tabla 5.8 da valores de velocidad admisibles altos, sin embargo la se recomienda realizar pruebas a modelos para definir el comportamiento de la velocidad del flujo sobre la pared de concreto.

En la tabla 5.9 se muestran resumidas las propiedades geométricas e hidráulicas del túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya.

²⁹Krochin Sviatoslav. **Diseño Hidráulico**, Ed. MIR, Moscú, 1978.

Tabla. 5.9. Resumen de características geométricas e hidráulicas del túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya.

D [m]	MATERIAL	Q	n	ΔZ [m]	L	S	S ^{1/2}	Qn/S ^{1/2}
6.5	CONCRETO	200	0.01	111	57850	0.0019	0.044	47.94

Diagrama de operación propuesto.

El diagrama de operación propuesto para la evacuación de agua y mostrado en la figura 5.5, iniciaría con la captación en el centro del Tanque de Sedimentación El Salado, en la lumbrera 0+000, de los caudales provenientes del Interceptor Oriente-Oriente y las aportaciones de los colectores Kennedy, Zaragoza Norte, San Miguel Teotongo, Las Torres y Santa Martha-Ejército de Oriente. En el cadenamiento 17 + 900 Km se incorporaría en la Lumbrera 4 del túnel propuesto al Canal Nacional que conduciría los caudales necesarios para aliviar la enorme carga de las lluvias del poniente que conduce el Río Churubusco. En este mismo punto se introducirían los caudales que el Río Amecameca acarrea de la Sierra Nevada. Aunque el Valle de Chalco tiene desagües al norte y al sur por el Río La Compañía y Río Amecameca respectivamente, estas corrientes presentan añejas dificultades para evacuar las aguas residuales y de lluvia debido a que sus cauces se encuentran topográficamente arriba del Valle entre 9 y 5 m; además, el hundimiento del suelo provoca agrietamientos en las bases de los ríos y deformaciones en los bordos; a esto deben agregarse las acumulaciones de sedimentos, basura y escombros que son arrastradas por las avenidas de verano que ocasionan obstrucciones, rompimiento de bordos y las consecuentes inundaciones. Por esto, para desaguar al Valle de Chalco se propone la construcción de otro túnel secundario, llamado Túnel Chalco. Este túnel tendría 8+067 km de longitud, un diámetro de 5 m y con una pendiente de 0.0043 que desfogaría en la lumbrera 4 del túnel mayor a una profundidad de 40 m. Con estas características, el Túnel Chalco podría drenar 140 m³/s.

Este flujo de operación propuesto dejaría una capacidad de maniobra muy holgada al Río La Compañía, al Río Churubusco, a los interceptores del oriente y al Emisor Central.

Según la intensidad de la tormenta, duración, localidad y extensión, los operadores de SACM y harían las maniobras necesarias en las compuertas de las lumbreras de los interceptores actuales para conducir los caudales extraordinarios al Túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya, por lo que el diagrama de operación propuesto en este trabajo, evitaría enormes cargas al Emisor Central.

Lo anterior son números a los cuales desafortunadamente hay que agregar el estado del medio antropogénico y natural que en conjunto pueden producir afectaciones fatales a toda la Ciudad de México y la zona conurbana. El Sistema de Drenaje Profundo se encuentra al límite de su capacidad pues su colector principal, el Emisor Central, fue diseñado con proyecciones de crecimiento poblacional para el año 2000 y para drenar una superficie 10 veces menor a la actual mancha urbana. En un gran número de tormentas acaecidas en la Ciudad de México y en los municipios conurbanos los operadores del manejo del drenaje profundo temen tanto a las tormentas de alta intensidad y corta duración como a las lluvias de baja intensidad y larga duración. Estas últimas colman las lagunas de regulación sin que se tenga opción en ocasiones para incorporarlas al drenaje. Además, tienen como uno de los factores más adversos el arrastre de basura doméstica arrojada en los canales y en las coladeras, lo que ha producido grandes taponamientos en zonas particulares. A la basura es necesario agregar los efectos adversos por el arrastre de sedimentos, los cuales producen azolve y erosionan las paredes de interceptores y del Emisor Central. Así mismo, dañan severamente los elementos de los equipos de bombeo, lo cual reduce el rendimiento de las máquinas y el consecuente incremento en el consumo de energía.

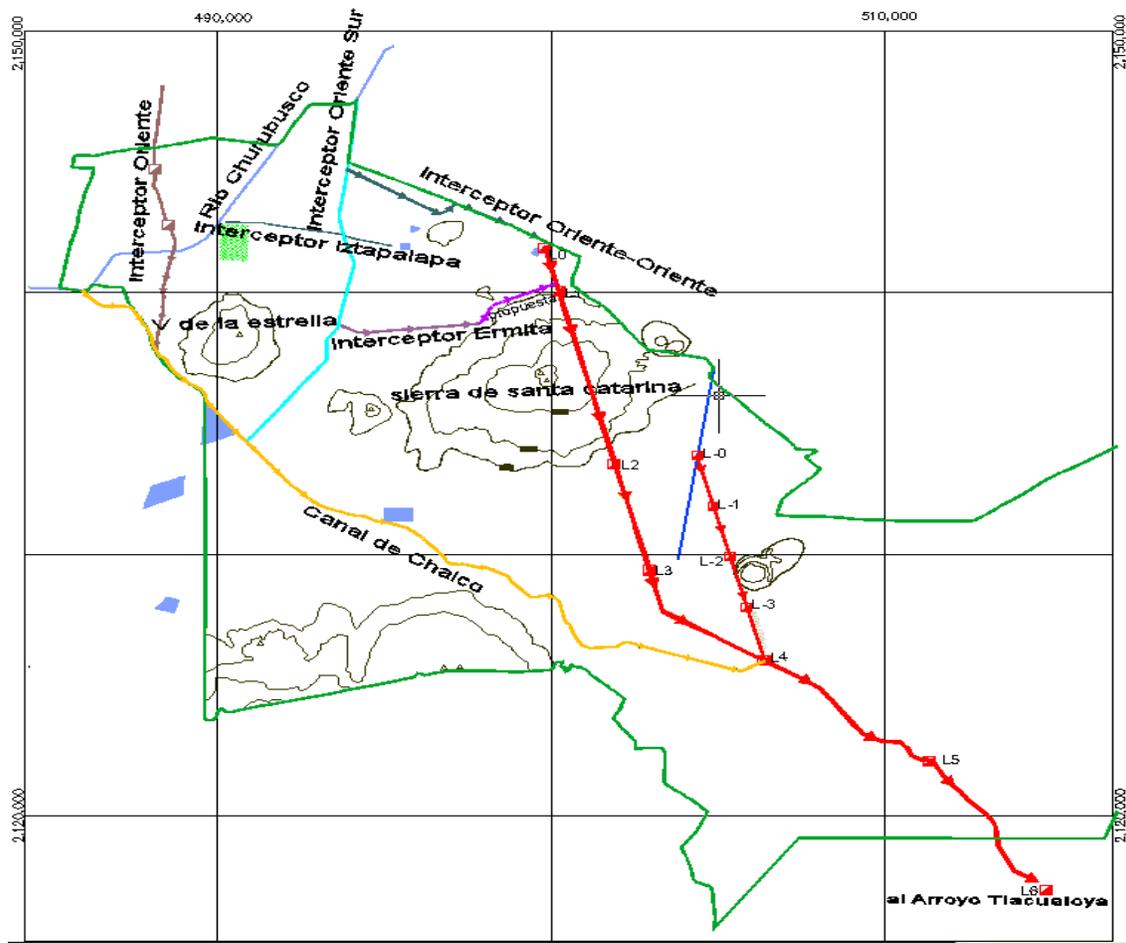


Figura 5.5. Diagrama de funcionamiento propuesto.

Otro fenómeno antropogénico adverso es el hundimiento del suelo lacustre formado por depósitos arcillosos extraordinariamente compresibles de origen volcánico y cuyas propiedades son muy variables de un punto a otro, lo que da lugar a que estos hundimientos no sean homogéneos en el espacio. Como se mencionó anteriormente en la carta 4.1, la velocidad de hundimiento del suelo de 1 a 10 cm/año ocupa una superficie de 191.76 Km², la de 10 a 20 cm/año, 124.69 Km² en el norte de la delegación Iztapalapa y sur de Iztacalco. La tasa de hundimiento de 20 a 30 cm/año cubre ya una extensión de 48.25 Km², sobre la delegación Iztacalco, el sur de Tláhuac y del Valle de Chalco. Esta última zona es atravesada por el ramal de pozos Santa Catarina Mixquic, que provoca una subsidencia constante y la consecuente expansión de la superficie de inundación.

Otro factor adverso de mucho peso sobre la extensa red de drenaje profundo de la ciudad son los sismos frecuentes en la Faja Volcánica Mexicana y que en capa arcillosa superior del subsuelo de la ciudad pueden producir rompimiento de tuberías y desplazamientos significativos en los interceptores.

A los factores anteriores se suman las discontinuidades del subsuelo como grietas que igualmente a las anteriores, producen daños a las tuberías y colectores. Estas discontinuidades se dividen en hidrodinámicas y las ocasionadas por esfuerzos debidos a estructuras civiles que consolidan los sedimentos lacustres. Las fracturas hidrodinámicas (distinguidas en grietas de secado, grietas o fracturas ocasionadas por tensión de esfuerzos horizontales y las ocasionadas por la extracción de agua subterránea y la correspondiente compresibilidad del suelo). Aunque toda el área está afectada, en la delegación Ixtapalapa se tiene la mayor densidad de fallas hidrodinámicas por superficie.

La sección geológica (Figura 5.4) se construyó con la finalidad de interpretar las características geológicas del subsuelo en donde se propone la construcción del Túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya, el cual sigue una traza sinuosa que inicia en el centro del Tanque de Sedimentación El Salado y el portal de salida se ubica en la margen derecha del Arroyo Tlacualoya en el Valle de Cuautla. La sección geológica está trazada en el mapa geológico (Figura 5.3) el cual cubre la totalidad del área de estudio en donde afloran las siguientes ocho unidades estratigráficas: una secuencia lacustre-volcánica (QLa) y siete unidades volcánicas formadas de derrames de lava, rocas piroclásticas, lahares y conglomerados. Por sus características litológicas, por sus estructuras y por sus relaciones estratigráficas estas unidades volcánicas, volcánicas-fluviales y lahares se agruparon de la siguiente manera: Cuaternario Toba Andesítica-Andesita (QTAA), Cuaternario Toba Andesítica-Basalto (QTAB), Cuaternario Conglomerado-Lahar (QCgLh), Cuaternario Andesita-Toba Andesítica (QATA), Cuaternario Toba Andesítica (QTA), Cuaternario Conglomerado-Toba Andesítica (QCgTA) y Cuaternario Andesita-Basalto (QAB). Estas unidades descansan discordantemente sobre una

secuencia del plioceno (TPATA) que a su vez cubre a rocas de edad Mioceno Medio-Tardío (TMTA), tal como se muestra en la sección geológica.

La unidad más antigua corresponde a la secuencia volcánica del Mioceno Medio-Tardío (TMTA), reportada en el subsuelo de la Cuenca de Mexico con espesores mayores a 500 m, se compone de tobas, brechas volcánicas y derrames de lava de composición andesítica, que en conjunto representan el inicio de la actividad magmática de la Faja Volcánica Transmexicana; esta unidad cubre mediante una discordancia a rocas volcánicas del Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano, y en donde no se encuentran estas rocas, cubren al Grupo Balsas y/o a rocas cretácicas. El túnel no cortaría esta unidad.

Sobre la unidad del Mioceno Medio-Tardío, se tiene un conjunto de rocas extrusivas de más de 400 m de espesor de edad Plioceno (TPATA) que representan un segundo período de magmatismo de la Faja Volcánica Transmexicana. Su composición varía de andesítica a andesita basáltica y se caracteriza por rocas piroclásticas (cenizas y tobas vítreas), derrames de lava y brechas de flujo. Esta unidad subyace discordantemente a las rocas volcánicas del Cuaternario de las formaciones Chichinautzin y Pino. El túnel cortaría esta unidad en aproximadamente un 57% de su longitud.

La Formación Chichinautzin definida por Fries (1960) como Grupo Chichinautzin, modificada posteriormente por Bloombield (1975) y Martín (1982), quienes la cambian con rango de formación; es la unidad estratigráfica que aflora en la mayor parte del área de estudio en la Sierra de Chichinautzin. Está compuesta por las siguientes siete unidades: Cuaternario Toba Andesítica-Andesita (QTAA), Cuaternario Toba Andesítica-Basalto (QTAB), Cuaternario Conglomerado-Lahar (QCgLh), Cuaternario Andesita-Toba Andesítica (QATA), Cuaternario Toba Andesítica (QTA), Cuaternario Conglomerado-Toba Andesítica (QCgTA) y Cuaternario Andesita-Basalto (QAB). Esta unidad estratigráfica comprende derrames de lava y material volcánico asociado de composición andesítica andesítica-basáltica y basáltica, incluyendo piroclastos y materiales clásticos

depositados por agua. Los derrames de esta unidad son en general extensos, vesiculares, masivos o lajeados y junto con las cenizas son los productos más abundantes de esta unidad, originada principalmente por volcanismo monogenético. El espesor de la unidad en el área del túnel es del orden de 300 m, aunque se han reportado espesores máximos de 1800 m. El túnel cortaría a esta formación en un 20% de su longitud.

Al oriente de la Laguna El Salado, en las proximidades donde inicia el trazo del túnel, se tienen prominencias topográficas correspondientes con el Volcán de Guadalupe y a otros conos cineríticos, que pertenecen a la Formación El Pino. A esta formación también pertenecen los cerros La Estrella, El Pino, Chimalhuacán, Chiconautla, Gordo y otros aislados dentro de la Cuenca de México, donde se tienen rocas volcánicas con espesores máximos de 750 m, compuestas de derrames de lava, cenizas, lapilli y brechas volcánicas de composición andesítica (QATA y QTA). Esta unidad es contemporánea a las unidades de la base de la Formación Chichinautzin y subyace a la secuencia lacustre.

Culminando la secuencia estratigráfica volcánica se tiene a la secuencia lacustre (QLa) que aflora en la Cuenca de México, en la parte norte del área de estudio, en la zona donde inicia la sección geológica. En esta unidad se agrupan los sedimentos clásticos conformados por estratos de arena, grava, limo y productos piroclásticos relacionados a la actividad volcánica del Estratovolcán Popocatepétl y de la Sierra de Chichinautzin; también se tiene la presencia de algunos horizontes aislados de suelos, evaporitas y tobas consolidadas, que permiten interpretar la existencia de un clima húmedo con períodos de sequías. Estos depósitos constituyen una gran altiplanicie lacustre, extendida una altitud promedio de 2200 m, desde Zumpango, Texcoco y Xochimilco. Los espesores de esta unidad varían de 30 a 300 m como ocurre al suroeste del Volcán Xico, en la zona propuesta para la construcción del túnel; sin embargo esos espesores que se adelgazan en las proximidades donde afloran rocas volcánicas por acuñaamiento. El origen de los depósitos lacustres está estrechamente ligado a la obstrucción

natural del desagüe de la Cuenca de México causado por la intensa actividad ígnea que originó la Sierra de Chichinautzin. La secuencia lacustre sería cortada por el túnel propuesto en 20% de su longitud.

Comentarios finales

Si en el suroriente de la Ciudad de México y los dos municipios conurbados del este del Estado de México ocurriera una lluvia extraordinaria de 68 milímetros de altura y de dos horas de duración, para un periodo de recurrencia de 15 años, se tendrían que desaguar 16 millones de metros cúbicos, imposibles de almacenar en ninguna obra de la ciudad por la enorme superficie libre requerida, equivalente a 7.2 veces la superficie de la Central de Abasto con un tirante de 2 m. Si el volumen de 16 millones de metros cúbicos se desalojara en 24 horas, el caudal respectivo sería de $202 \text{ m}^3/\text{s}$ sólo en la zona oriental de la ciudad; si a este caudal se le agregaran los caudales llovidos en la zona centro y poniente de la ciudad y en las zonas de Atizapán, Tlalnepantla y Ecatepec del Estado de México, el Emisor Central, que tiene una capacidad de desalojo de $200 \text{ m}^3/\text{s}$ quedaría rebasado en su capacidad.

La infraestructura actual de desalojo de aguas pluviales y aguas negras en el oriente, se limita al Río La Compañía y el Canal Nacional, los cuales serían insuficientes para un desfogue expedito; a la afectación de la población se agregarían las enormes pérdidas económicas y el riesgo de una pandemia por la permanencia de aguas negras sobrevendría en pocos días.

El desagüe artificial de la cuenca por el sur es una prevención hidrológica impostergable. En pocos años, en la zona suroriente de la cuenca se sumarán decenas de miles de habitantes y áreas importantes de bosques serán convertidos en zonas habitacionales. Los requerimientos de agua potable obligarán a la perforación de más pozos y en consecuencia la subsidencia del suelo lacustre cubrirá mayores extensiones y el volumen de agua residual por desalojar se verá también incrementado. Al mismo tiempo, los componentes de infraestructura de

desagüe del norponiente continuarán deteriorándose y también en pocos años serán insuficientes para desalojar las aguas negras y de lluvia de una metrópoli mayor que la actual. Solamente una nueva salida artificial de la cuenca por el sur equilibraría las condiciones hidráulicas, pues la Cuenca de México se niega a olvidar su pasado lacustre. Además, no debe soslayarse el hecho de que la ausencia de medidas preventivas de la sociedad y el gobierno, son los detonantes mayores en la amplificación de los desastres naturales.

El agua de lluvia evacuada al Valle de Cuautla no es viable infiltrarla, porque no hay en este valle una planicie extensa y permeable como la del Valle del Mezquital, ni una presa de retención como la Presa Hendó ni las características hidrogeológicas de sus rocas son favorables por lo que se propone incorporarla al Río Cuautla donde éste y la Barranca Tlacualoya confluyen.

En la parte alta del Valle de Cuautla, las brechas, piroclastos y conos volcánicos de tezontle de la Formación Chichinautzin cubren un área extensa de relieve escarpado cortado por numerosas barrancas que forman la zona de recarga del acuífero de Cuautla y Yautepec. Estos depósitos alcanzan espesores de 300 m y el agua infiltrada circula a profundidades mayores a los 200 m; tienen permeabilidad media sin grandes capacidades de almacenamiento. Los derrames de basalto, contemporáneos a estos depósitos son en algunas localidades acuíferos colgados y en la mayor parte del valle basaltos masivos impermeables.

Al sur de Yecapixtla, donde se incorporaría el agua de la Cuenca de México al Río Cuautla, el relieve del valle es más moderado y cubriendo grandes extensiones se encuentran flujos de lodo cementados con algunas intercalaciones de arenas de grano grueso a fino y turbas que en conjunto son llamados Formación Tlayecac. Su espesor es muy grande y contiene dos acuíferos. El primero, acuífero principal, está situado entre los 50 y los 340 m de profundidad y el segundo, entre los 470 y 660 m. En general es un acuífero de baja conductividad hidráulica que no podría absorber grandes caudales de agua mediante pozos de infiltración. El acuífero es explotado únicamente por dos decenas de pozos de baja producción.

En la parte baja del valle, en los alrededores de Cuautla, hay depósitos aluviales de alta capacidad de infiltración que forman un acuífero libre de transmisibilidad media a alta. La infiltración del agua de la Cuenca de México en este acuífero presenta tres fuertes desventajas. La primera consiste en que se tendría que elevar el agua del cauce del río a los pozos de infiltración en la planicie, la segunda es que en el Río Cuautla circula agua muy sucia desde su cabecera cerca de Ocuituco y contaminaría al acuífero. La tercera es que la profundidad al nivel del agua es tan somera, 10 a 80 m, que no habría la carga de presión suficiente para introducir el agua al acuífero.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

1.- Una lluvia extraordinaria de 68 milímetros de altura y de dos horas de duración, para un periodo de recurrencia de 15 años, generaría 16 millones de metros cúbicos, imposibles de almacenar en ninguna obra dentro del área estudiada por la enorme superficie requerida por lo que la altura de inundación en las zonas más bajas del área estudiada sería de 40 cm.

2.- Si los 16 millones de metros cúbicos se drenaran en 24 horas el caudal de desalojo sería de $202 \text{ m}^3/\text{s}$

3.- El Túnel Salado-Xico-Canal-Arroyo-Arroyo Tlacualoya, es la alternativa más viable para el desalojo de los $202 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta es una obra que integra un túnel de 6.5 m de diámetro y 57+850 Km de longitud con diez lumbreras y un escurrimiento sobre el Arroyo Tlacualoya de 16 +700 Km. La obra iniciaría en el centro del Tanque de Sedimentación El Salado y el portal de salida del túnel se ubicaría en la margen derecha del Arroyo Tlacualoya.

4.- De la longitud total del túnel, sólo el 20%, 12 Km, se excavarían en materiales lacustres y el complemento, se horadaría en piroclastos y basaltos fracturados de la Formación Chichinautzin. Desde su origen se trabajaría por arriba del nivel freático con cargas de 5 a 7 Kg/cm^2 y a partir del cadenamiento 23+750 Km se trabajaría por debajo del nivel freático.

5.- El diagrama de operación de túnel propuesto iniciaría con la captación en el centro del Tanque de Sedimentación El Salado, en la Lumbrera 0+000 de los caudales provenientes del Interceptor Oriente y las aportaciones de los colectores Kennedy, Zaragoza Norte, San Miguel Teotongo, Las Torres y Santa Martha-Ejército de Oriente.

En el cadenamamiento 17 + 900 Km se uniría al túnel, en la Lumbrera 4 al Canal Nacional, donde el SACM podría verter en esta lumbrera, los caudales requeridos para aliviar la carga del Río Churubusco y disminuir potencias de bombeo en su descarga en el Lago de Texcoco. En este mismo punto, el túnel intersectaría al Río Amecameca con el propósito de recibir en el túnel caudales de grandes avenidas procedentes del escurrimiento de la Sierra Nevada.

Aunque el Valle de Chalco tiene desagües al norte y sur por el Río La Compañía y Río Amecameca respectivamente, estas corrientes presentan añejas dificultades para evacuar los escurrimientos debido a que se encuentran topográficamente 7 y 9 m arriba del Valle. Además las acumulaciones de sedimentos, basura y escombros que son arrastradas por estas avenidas en estos cauces ocasionan obstrucciones y rompimiento de bordos. Por esto, para desaguar al Valle de Chalco se propone la construcción de un túnel secundario, llamado Túnel Chalco. Este túnel tendría 8 +067 km de longitud, un diámetro de 5 m, con una pendiente de 0.0037 y un gasto de diseño de 140 m³/s. Esta obra desfogaría por gravedad en la lumbrera 4 del túnel mayor a una profundidad de 40 m. Esta obra de alivio evitaría los muy costosos bombeos a los Ríos Compañía y Amecameca.

6.- De los 57+850 km, de longitud del túnel, 22 + 350 Km se delinearon bajo la traza de la vía del FC México-Cuautla, con lo que se obtuvo un perfil suave y con la consecuente disminución de la profundidad de las diez lumbreras que varían en longitud de 30 m la mínima y 314 la máxima. El sitio de cada lumbrera obedece a cambios litológicos e intersección de obras hidráulicas superficiales.

7.- El sistema de Drenaje Profundo se encuentra al límite de su capacidad pues su colector principal, el Emisor Central, fue diseñado con proyecciones de crecimiento poblacional para el año 2000 y para drenar una superficie 10 veces menor a la actual mancha urbana.

8.- En el área estudiada el crecimiento demográfico en las últimas cuatro décadas ha ocurrido de forma exponencial. En una superficie de 511 km² de suelo lacustre,

viven 3,554,159 habitantes, cantidad equivalente a casi el 50% de la población de la Ciudad de México.

9.- La expansión de la mancha urbana ocasionó que extensas superficies de ámbito rural fueran convertidas en urbanas. A la fecha, el suelo de las cuatro delegaciones citadinas y el del municipio de Valle de Chalco ha sido totalmente urbanizado. Esta dinámica ha producido un desequilibrio ambiental reflejado en inundaciones cada año más extensas que afectan a 98 colonias, 209,818 casas y 920619 habitantes en una superficie de 40 km² que encierra la zona topográficamente más baja del área estudiada.

10.- En la zona de estudio, donde en cada época de lluvias las inundaciones ocurren con regularidad, la lluvia media anual es de 651 mm calculada para el lapso 1960-2004.

11.- En el área ocurren en verano, tormentas de alta intensidad y corta duración y en otoño, lluvias ciclónicas de baja intensidad y larga duración. Ambos eventos meteorológicos colman las seis lagunas de regulación del Oriente por lo que su manejo repercute e manera adversa en los interceptores el drenaje profundo. Además, de otro de los factores adversos es el arrastre de basura arrojada en el Río La Compañía , Río Amecameca, en las lagunas de regulación, calles, coladeras y barrancas, que producen taponamientos en las redes primaria y secundaria de drenaje y en puntos críticos de entrada a los interceptores del drenaje profundo.

12.- No puede descartarse por su irregularidad, una eventual caída de cenizas del Volcán Popocatepétl en la zona oriente antes y durante una lluvia extraordinaria. El arrastre de cenizas podría ser de tal magnitud, que solo una tercera salida artificial como la propuesta en este trabajo podría ayudar a evacuarlas.

Recomendaciones

1.- Construir el túnel Salado-Xico-Arroyo Tlacualoya de 57+850 Km y 6.5 m de diámetro con el fin de contar con una alternativa fundamental para el desagüe artificial de la porción sureste de la cuenca de México, ante una inundación ocasionada por una tormenta de 2 horas de duración y 68 mm de altura para un período de retorno de 15 años.

2.- Construir el Túnel Chalco, de 8+067 km de longitud y 5 m de diámetro. El objetivo de este túnel secundario sería drenar inundaciones en el Valle de Chalco. Se conectaría al túnel principal en la lumbrera 4.

3.- Realizar un programa de exploraciones directas con muestreo continuo para conocer con detalle la posición, espesor y consolidación de los sedimentos lacustres, piroclastos y la densidad de fracturamiento de las rocas basálticas. También estas exploraciones permitirían conocer con mayor detalle la distribución de los niveles freáticos.

ANEXOS

ANEXO 1: REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS

Estación Amecameca										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1976	109.00	75.00	63.00	64.60	47.00	35.00	33.00	29.00	24.00	22.00
1977	80.40	76.20	62.80	54.60	43.10	31.20	24.10	19.90	16.00	13.40
1978	93.00	63.00	52.20	46.80	36.60	30.50	25.30	20.00	16.50	14.20
1979	84.00	63.00	56.80	48.00	38.70	32.40	26.00	21.00	17.10	14.40
1980	117.60	91.80	83.20	67.50	52.80	50.00	44.00	34.80	28.00	23.50
1981	123.60	97.60	82.40	73.80	53.50	39.60	30.60	23.70	19.40	16.40
1982	132.00	105.00	88.00	75.00	60.00	48.50	36.90	28.10	22.50	18.70
1983	146.80	118.80	112.00	99.00	87.50	67.00	52.00	39.00	33.00	26.00
1984	104.80	86.30	66.40	59.20	46.40	36.20	31.70	28.80	24.60	22.00
1985	90.00	78.80	62.50	53.80	39.00	31.20	25.00	23.70	19.00	16.20
1986	286.80	179.30	132.80	99.60	66.40	44.30	33.20	24.90	19.90	16.60
1987	196.80	120.00	80.00	60.00	40.00	26.70	24.20	22.40	18.40	15.60

Estación Chalco										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	102.00	84.50	69.00	61.80	43.30	30.60	23.40	18.50	15.00	12.60
1985	90.00	62.40	49.70	44.70	34.20	23.20	19.20	16.60	14.50	12.80
1986	70.80	69.60	67.20	64.50	62.40	42.20	32.30	24.30	19.50	16.30
1987	40.80	39.60	38.80	38.50	38.40	25.60	19.20	14.40	11.50	10.70
1898	178.80	91.20	44.30	31.90	24.10	18.50	15.20	12.60	11.70	11.50
1991	101.00	51.00	38.00	36.00	29.00	23.00	18.00	16.00	13.00	11.00

Estación Chapingo										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1977	87.60	69.60	57.20	51.00	40.20	34.30	26.10	19.80	16.50	14.00
1978	123.60	93.60	83.60	69.50	52.50	36.80	28.30	26.90	25.60	23.30
1979	96.00	83.40	79.30	76.10	66.50	48.00	36.70	28.20	23.20	20.40
1980	90.00	49.50	36.00	30.90	26.60	23.70	19.30	15.80	13.90	12.80
1981	204.00	126.00	108.00	94.50	74.80	53.60	41.60	32.00	26.10	22.00
1982	61.20	39.60	32.40	24.40	16.30	10.90	10.00	7.70	6.50	5.40
1983	150.00	93.00	72.00	54.80	37.00	24.70	18.50	14.40	12.20	10.30
1984	74.40	57.70	43.50	36.90	28.60	25.60	20.30	16.40	14.80	12.80
1985	85.20	69.60	57.20	51.00	39.00	31.20	25.00	21.50	19.00	17.50
1986	36.00	35.40	34.40	33.00	32.00	26.50	26.40	18.20	15.80	13.20
1987	52.80	50.40	49.20	47.10	39.50	31.80	25.00	18.90	15.20	15.00
1988	153.00	123.00	84.00	61.00	40.00	26.00	20.40	15.30	13.00	10.20
1989	100.00	50.00	33.00	25.00	19.00	13.00	10.00	7.00	6.00	6.00
1990	112.00	56.00	37.00	35.00	27.00	26.00	24.00	22.00	21.00	20.00
1991	97.97	58.53	44.00	34.00	25.00	19.00	17.00	13.00	10.00	9.00
1996	109.00	58.00	47.00	41.00	35.00	29.00	22.00	17.00	14.00	11.00

Estación Coatepec de los Olivos										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1977	138.00	93.60	67.80	54.90	40.00	34.00	26.40	20.60	16.80	14.10
1978	84.00	52.50	42.00	34.70	27.40	18.60	14.50	11.10	9.00	7.50
1979	120.00	79.30	61.10	53.80	42.00	33.10	28.10	21.40	17.80	15.10
1980	123.60	120.00	118.80	98.10	85.00	57.00	43.00	32.40	26.10	21.70
1981	252.00	180.00	168.00	135.80	101.00	70.30	55.00	41.30	33.00	27.50
1982	106.80	66.00	48.80	40.20	38.00	29.50	24.40	18.60	14.90	12.40
1983	144.00	82.50	62.00	50.00	38.00	36.90	30.70	24.20	19.60	20.60
1984	140.70	119.50	102.80	88.00	86.00	56.00	44.00	32.40	25.20	19.30
1985	116.00	94.80	68.50	59.90	49.00	34.00	26.40	20.60	16.80	14.10
1986	120.00	78.00	64.00	54.00	38.00	29.30	23.40	18.60	15.70	13.80
1987	76.80	55.20	49.60	43.50	34.00	24.30	19.30	14.80	11.90	9.90
1988	134.00	92.50	72.00	60.00	48.00	46.90	40.70	24.90	29.60	23.20
1989	77.00	65.00	50.00	43.00	35.00	25.00	18.00	16.00	12.00	10.00
1990	118.00	77.00	67.50	53.00	37.50	28.00	24.00	22.00	13.00	10.00
1991	102.00	56.00	60.00	52.00	45.00	35.00	27.00	20.00	15.00	12.00

Estación Colonia Agrícola Oriental										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1968	90.00	70.00	57.00	47.00	34.00	25.00	19.00	15.00	11.00	10.00
1969	101.00	79.00	67.00	57.00	39.00	26.00	19.00	15.00	12.00	11.00
1970	72.00	54.00	50.40	39.80	29.10	21.00	16.90	13.80	11.90	10.90
1971	117.00	74.00	62.00	55.00	47.00	40.00	33.00	27.00	22.00	18.00
1972	109.00	67.00	54.00	47.00	38.00	29.00	24.00	18.00	15.00	13.00
1973	121.00	79.00	62.00	49.00	34.00	23.00	17.00	13.00	10.00	8.00
1974	50.00	47.00	44.00	39.00	32.00	23.00	17.00	15.00	13.00	11.00
1975	145.00	97.00	80.00	68.00	51.00	40.00	38.00	32.00	28.00	25.00
1976	106.00	88.00	72.00	63.00	44.00	31.00	23.00	18.00	14.00	12.00
1977	120.00	81.00	68.00	54.00	38.50	29.30	24.20	18.50	15.10	13.60
1978	168.00	122.40	97.60	83.80	67.30	48.40	36.50	27.40	21.90	18.30
1979	117.60	70.50	62.00	52.50	37.60	25.30	19.10	14.50	11.70	9.90
1980	105.60	90.00	79.20	73.80	55.00	39.50	30.20	23.40	18.80	15.70
1981	134.47	83.70	70.40	58.40	43.00	39.70	32.30	24.60	20.10	16.80
1982	157.20	108.00	84.70	73.00	58.00	44.80	35.40	26.90	21.60	18.40
1983	162.00	103.50	85.60	73.30	52.40	35.50	26.70	20.00	16.00	13.40
1984	92.00	80.60	64.50	56.50	48.60	40.30	35.30	31.60	29.30	27.80
1985	102.00	90.00	81.20	63.90	55.10	42.00	38.00	34.40	32.40	29.00
1986	117.10	72.00	48.00	39.60	39.60	39.60	39.40	39.20	31.40	26.10

Estación Colonia Manuel Ávila Camacho										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1965	119.50	60.00	43.50	33.00	25.00	19.00	15.00	12.80	11.50	10.00
1966	76.00	47.00	37.50	31.50	22.00	18.00	13.50	12.50	11.00	10.50
1967	85.00	54.00	48.00	42.50	37.00	30.00	25.00	22.00	18.75	15.50
1968	108.50	75.00	65.50	56.25	46.00	31.25	24.00	18.70	16.50	12.50
1969	94.00	78.00	73.00	68.50	63.00	57.50	53.50	49.00	43.50	40.00
1970	84.00	66.00	46.50	36.80	28.00	25.30	22.70	19.40	16.60	14.50
1971	94.00	50.00	37.00	32.50	28.00	22.00	17.50	12.50	11.50	8.50
1972	97.00	72.00	62.00	52.00	44.50	34.50	28.50	23.00	18.50	17.50
1973	117.00	85.50	67.50	56.30	43.75	32.00	26.50	23.00	18.50	15.00
1974	94.00	72.00	55.00	47.00	37.00	28.50	23.00	19.50	18.00	15.00
1975	84.00	47.00	37.50	31.00	25.00	18.50	13.50	11.50	9.00	8.00
1976	156.50	137.50	119.00	96.50	68.00	47.00	36.50	26.50	23.00	19.00
1977	123.60	66.30	54.00	46.50	34.60	32.40	25.60	20.10	16.40	13.90
1978	80.80	80.80	80.80	60.90	41.00	27.50	20.80	15.80	12.90	11.00
1979	126.00	78.00	62.00	47.40	36.80	30.00	25.00	19.60	16.00	13.30
1980	86.40	61.50	56.00	51.90	46.60	40.00	30.00	22.50	18.00	15.00
1981	67.20	43.50	38.00	33.00	26.40	22.80	22.00	19.20	16.00	13.50
1982	115.20	71.20	56.50	49.20	33.80	24.80	19.20	14.60	12.00	10.30
1983	96.00	60.00	40.00	31.50	30.00	23.60	19.40	15.20	12.50	10.70
1984	86.40	61.50	56.00	51.90	46.60	40.00	30.00	22.50	18.00	15.00
1985	97.20	66.00	49.10	40.60	33.70	28.30	22.60	17.50	14.30	12.20
1986	144.00	84.60	84.00	64.80	44.60	29.60	22.30	16.70	13.40	11.20
1987	79.20	52.80	40.00	36.00	29.20	21.10	16.20	12.30	10.80	10.00
1988	105.60	54.00	48.40	42.00	31.20	22.50	18.00	13.50	11.40	10.10

Estación Coyol, D. F.										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	91.00	51.00	41.00	40.00	33.00	23.00	18.00	SR	SR	9.00
1985	149.00	74.00	64.00	64.00	64.00	42.00	32.00	SR	SR	16.00
1986	76.00	50.00	42.00	38.00	28.00	21.00	17.00	13.00	11.00	10.00
1987	97.00	48.00	43.00	41.00	40.00	39.00	38.00	36.00	32.00	27.00
1988	47.00	47.00	47.00	47.00	32.00	21.00	16.00	10.00	10.00	8.00
1989	85.00	60.00	50.00	45.00	35.00	25.00	20.00	15.00	13.00	12.00
1990	45.00	30.00	27.00	27.00	27.00	19.00	14.00	15.00	15.00	11.00
1991	70.00	70.00	67.00	62.00	56.00	43.00	32.00	28.00	26.00	21.00
1992	83.00	83.00	56.00	51.00	43.00	33.00	25.00	19.00	15.00	13.00
1993	67.00	58.00	56.00	54.00	38.00	27.00	22.00	19.00	15.00	14.00
1994	128.00	72.00	54.00	50.00	50.00	37.00	29.00	22.00	18.00	16.00
1995	152.00	81.00	57.00	46.00	46.00	31.00	27.00	22.00	21.00	21.00
1996	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	55.00	42.00	26.00	24.00	21.00
1997	40.60	40.60	40.60	30.50	27.20	27.20	27.20	21.10	21.10	16.10
1998	152.40	78.00	53.20	44.70	44.70	30.00	22.60	15.50	15.50	12.30
1999	124.00	66.00	46.00	37.00	28.00	26.00	22.00	17.00	17.00	13.00
2000	56.00	56.00	56.00	56.00	37.00	25.00	19.00	13.00	13.00	10.00
2001	94.00	47.00	46.00	35.00	31.00	31.00	31.00	24.00	24.00	18.00
2002	67.00	67.00	67.00	67.00	47.00	35.00	35.00	27.00	27.00	25.00
2003	42.00	42.00	42.00	33.00	24.00	18.00	15.00	13.00	13.00	11.00
2004	72.00	72.00	72.00	58.00	44.00	31.00	28.00	19.00	19.00	14.00

Estación G. D. F.										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	152.00	114.00	101.00	76.00	52.00	35.00	27.00	22.93	19.33	15.00
1985	201.00	100.00	71.00	64.00	58.00	58.00	58.00	42.82	38.81	39.00
1986	88.00	74.00	59.00	52.00	40.00	27.00	20.00	14.00	12.00	11.00
1987	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	55.00	41.00	33.00	33.00	25.00
1988	60.00	59.00	59.00	46.00	32.00	22.00	17.00	11.00	11.00	8.00
1989	106.00	76.00	58.00	46.00	34.00	23.00	17.00	12.00	12.00	9.00
1990	88.00	44.00	36.00	36.00	36.00	36.00	33.00	22.00	22.00	17.00
1991	76.00	76.00	74.00	56.00	38.00	35.00	30.00	25.00	25.00	19.00
1992	76.00	76.00	67.00	63.00	55.00	47.00	40.00	32.00	32.00	26.00
1993	152.00	114.00	101.00	95.00	85.00	63.00	49.00	33.00	33.00	24.00
1994	46.00	46.00	46.00	35.00	33.00	33.00	25.00	18.00	18.00	13.00
1995	84.00	84.00	84.00	84.00	56.00	37.00	28.00	19.00	19.00	14.00
1996	51.00	51.00	34.00	30.00	28.00	28.00	23.00	15.00	15.00	12.00
1997	21.60	21.60	21.60	21.60	21.60	21.50	21.50	14.20	14.20	10.80
1998	137.20	86.90	58.30	58.30	58.30	51.70	38.90	25.60	25.60	19.40
1999	103.00	101.00	101.00	76.00	51.00	34.00	30.00	24.00	24.00	19.00
2000	210.00	105.00	71.00	53.00	52.00	47.00	35.00	23.00	23.00	17.00
2001	54.00	31.00	23.00	19.00	17.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
2002	93.00	93.00	93.00	77.00	62.00	46.00	37.00	25.00	25.00	19.00
2003	152.00	152.00	107.00	85.00	62.00	48.00	40.00	27.00	27.00	20.00
2004	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	26.00	20.00	14.00	14.00	11.00

Estación Juchitepec										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1970	211.20	133.80	93.60	86.50	61.00	41.70	31.60	24.10	19.80	16.70
1971	239.50	136.00	96.00	74.00	49.00	36.00	27.00	25.00	20.00	13.00
1972	156.00	110.00	87.50	76.00	62.50	50.00	37.50	31.00	25.00	22.00
1973	110.00	87.50	75.00	64.00	50.00	37.50	27.00	24.00	19.00	13.00
1974	75.00	67.00	60.00	55.00	46.00	35.00	SR	26.50	19.50	14.00
1975	90.00	75.00	63.00	56.00	41.50	33.00	27.00	24.00	20.00	18.00
1976	144.00	89.00	75.00	62.50	54.00	50.00	47.00	39.00	34.00	30.00
1977	154.80	77.40	51.60	38.80	25.90	19.40	15.80	13.00	11.40	9.90
1978	109.20	72.00	59.60	48.30	37.80	28.00	22.10	17.00	13.60	11.30
1979	180.00	105.40	80.50	68.10	51.80	36.80	31.20	25.30	20.60	17.40
1980	135.60	103.20	90.00	83.40	67.30	51.00	39.10	29.50	23.70	19.80
1981	120.00	81.00	68.00	61.00	54.00	42.20	33.50	26.70	22.20	18.70
1982	86.40	64.70	58.80	47.80	35.70	25.50	20.80	17.00	13.70	11.50
1983	138.00	123.00	91.40	75.60	54.90	39.10	30.10	22.80	18.80	16.10
1984	160.00	90.50	70.50	78.10	41.80	26.80	17.80	14.50	13.80	12.30
1985	90.00	62.00	50.00	39.00	28.00	20.00	14.00	11.50	11.00	8.00
1986	158.40	103.80	98.80	93.00	65.60	44.00	33.40	25.30	20.40	17.30
1987	175.20	159.60	106.40	79.80	53.20	35.50	26.60	20.00	16.00	13.30

Estación Milpa Alta										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1960	120.00	108.00	92.00	81.00	64.00	49.00	38.00	28.00	23.00	20.00
1961	246.00	181.00	134.00	112.00	96.00	66.00	50.00	36.00	30.00	24.00
1962	100.00	80.00	61.00	51.00	38.00	31.00	26.00	20.00	18.00	14.00
1963	120.00	80.00	59.00	49.00	35.00	26.00	22.00	20.00	19.00	18.00
1964	130.00	109.00	99.00	86.00	76.00	65.00	55.00	45.00	36.00	31.00
1965	90.00	77.00	69.00	60.00	50.00	39.00	31.00	26.00	22.00	18.00
1966	97.00	74.00	61.00	51.00	40.00	31.00	27.00	22.00	20.00	16.00
1967	86.00	59.00	50.00	43.00	38.00	31.00	27.00	23.00	20.00	16.00
1968	84.00	66.00	55.00	43.00	30.00	19.00	15.00	12.00	9.00	8.00
1969	84.00	70.00	59.00	49.00	38.00	26.00	19.00	18.00	15.00	14.00
1970	154.80	119.40	92.00	75.30	50.40	33.70	27.50	21.90	18.40	15.90
1971	169.00	131.00	106.00	87.50	58.00	49.00	42.00	26.00	23.00	19.00
1972	100.00	78.00	69.00	63.00	49.00	34.00	25.00	22.00	20.00	17.00
1973	98.00	64.00	54.00	46.00	35.00	26.00	19.00	14.00	12.50	10.00
1974	106.00	73.00	56.00	44.00	31.00	25.00	20.00	18.00	12.50	10.00
1975	74.00	62.00	53.00	47.00	37.00	28.00	22.00	19.00	14.00	13.00
1976	87.50	79.00	69.00	61.00	52.00	39.00	35.00	28.00	25.00	21.00
1977	162.00	87.00	64.00	54.00	39.20	26.90	20.20	15.20	12.20	10.00
1978	36.00	26.20	22.90	22.20	21.20	18.00	14.50	13.80	12.00	10.00
1979	97.20	68.10	58.40	48.60	33.60	22.80	19.20	17.20	14.70	12.60
1980	114.00	69.00	54.00	49.50	35.90	25.50	23.20	19.10	16.50	14.80
1981	105.60	79.80	71.20	55.20	38.80	27.80	22.00	16.80	13.50	11.30
1982	96.00	56.70	46.00	41.30	34.00	25.70	20.30	15.60	12.70	10.70
1983	108.00	69.30	56.40	49.50	40.40	30.00	25.60	21.10	18.50	15.80
1984	96.00	63.00	48.00	41.30	36.20	30.10	26.50	21.00	18.40	15.80
1985	111.60	80.40	68.00	57.60	51.40	42.00	33.70	28.00	24.50	20.50
1986	84.00	60.00	43.20	33.90	27.80	22.80	18.20	14.80	12.80	11.10
1987	50.00	44.00	40.50	37.50	29.50	23.00	13.50	12.00	9.00	8.00
1988	75.00	65.00	60.00	55.00	44.50	37.50	31.50	24.00	19.50	18.00
1989	146.00	92.00	72.00	62.00	43.00	30.00	22.00	17.00	14.00	12.00
1990	64.00	59.00	49.00	44.00	44.00	40.00	32.00	24.00	24.00	18.00
1991	33.00	33.00	33.00	33.00	23.00	17.00	13.00	10.00	10.00	10.00
1992	76.00	76.00	67.00	63.00	55.00	47.00	39.00	27.00	27.00	20.00
1993	120.00	85.00	73.00	56.00	40.00	28.00	22.00	17.00	14.00	12.00
1994	152.00	77.00	52.00	40.00	35.00	29.00	22.00	15.00	15.00	12.00
1995	84.00	60.00	44.00	36.00	28.00	20.80	16.10	13.40	10.90	9.10
1996	121.00	101.00	75.00	60.00	42.00	30.00	23.00	19.00	19.00	17.00
1997	86.10	86.10	86.10	86.10	57.60	38.50	29.10	19.40	19.40	14.90
1998	120.00	105.00	87.00	78.00	70.00	55.90	47.30	41.90	36.50	29.50
1999	47.00	47.00	36.00	30.00	28.00	26.00	25.00	21.00	21.00	20.00
2000	236.40	176.40	144.80	129.60	86.80	58.10	43.80	32.10	32.10	25.20
2001	120.00	112.20	76.00	66.00	60.00	50.70	39.80	30.60	30.60	23.90
2002	29.00	29.00	29.00	25.00	21.00	16.00	12.00	9.00	9.00	9.00
2003	65.00	65.00	65.00	50.00	36.00	36.00	27.00	19.00	19.00	15.00
2004	118.00	71.00	56.00	48.00	40.00	35.00	29.00	28.00	28.00	22.00

Estación P. B. Aculco										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	91.00	76.00	50.00	44.00	39.00	27.00	16.00	14.00	13.00	11.00
1985	152.00	82.00	64.00	64.00	64.00	43.00	32.00	26.00	20.00	16.00
1986	76.00	57.00	50.00	45.00	40.00	27.00	24.00	21.00	17.00	16.00
1987	70.00	55.00	50.00	43.00	37.00	37.00	28.00	22.00	18.00	15.00
1988	54.00	52.00	52.00	52.00	44.00	30.00	23.00	18.00	14.00	12.00
1989	96.00	96.00	71.00	60.00	60.00	45.00	39.00	30.00	26.00	22.00
1990	241.00	121.00	80.00	60.00	40.00	29.00	23.00	17.00	15.00	12.00
1991	47.00	41.00	34.00	34.00	34.00	27.00	20.00	17.00	13.00	12.00
1992	76.00	76.00	76.00	76.00	68.00	52.00	45.00	35.00	31.00	26.00
1993	76.00	76.00	72.00	72.00	72.00	57.00	44.00	33.00	27.00	23.00
1994	274.00	137.00	91.00	68.00	50.00	50.00	42.00	32.00	28.00	23.00
1995	76.00	76.00	74.00	74.00	74.00	59.00	46.00	36.00	32.00	26.00
1996	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	37.00	26.00	22.00	18.00
1997	17.50	17.50	17.50	17.50	14.40	14.40	13.30	12.80	12.80	12.80
1998	112.80	77.70	52.80	40.40	27.90	28.60	21.90	16.30	16.30	16.00
1999	134.00	85.00	65.00	56.00	46.00	36.00	27.00	18.00	18.00	14.00
2000	60.00	44.00	44.00	44.00	34.00	29.00	24.00	17.00	17.00	13.00
2001	152.00	79.00	54.00	42.00	30.00	22.00	18.00	15.00	15.00	14.00
2002	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	66.00	66.00	51.00
2003	51.00	47.00	46.00	45.00	44.00	36.00	28.00	18.00	18.00	14.00
2004	48.00	48.00	48.00	41.00	34.00	26.00	22.00	17.00	17.00	13.00

Estación P. B. Churubusco Lago										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	76.00	56.00	54.00	53.00	39.00	28.00	21.00	17.53	15.29	10.00
1985	60.00	53.00	50.00	44.00	38.00	36.00	31.00	24.69	22.70	16.00
1986	76.00	74.00	55.00	57.00	50.00	34.00	27.00	19.00	19.00	15.00
1987	48.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	38.00	28.00	24.00	20.00
1988	49.00	39.00	39.00	33.00	33.00	33.00	25.00	16.00	16.00	13.00
1989	76.00	60.00	60.00	57.00	44.00	30.00	22.00	15.00	15.00	11.00
1990	44.00	44.00	36.00	29.00	27.00	27.00	20.00	14.00	14.00	13.00
1991	152.00	152.00	127.00	114.00	88.00	68.00	53.00	35.00	35.00	26.00
1992	50.00	50.00	50.00	48.00	44.00	39.00	30.00	20.00	20.00	15.00
1993	18.00	18.00	18.00	18.00	15.00	12.00	10.00	9.00	9.00	7.00
1994	76.00	76.00	63.00	57.00	40.00	33.00	28.00	20.00	20.00	15.00
1995	100.00	50.00	34.00	26.00	26.00	24.00	18.00	12.00	12.00	9.00
1996	53.00	53.00	53.00	53.00	53.00	53.00	39.00	26.00	26.00	20.00
1997	47.20	47.20	47.20	47.20	47.20	31.50	31.00	30.70	30.70	30.70
1998	134.10	75.20	55.50	45.70	31.40	21.80	17.10	11.70	11.70	8.90
1999	67.00	41.00	41.00	41.00	41.00	27.00	20.00	14.00	14.00	10.00
2000	106.00	57.00	45.00	45.00	35.00	30.00	25.00	22.00	22.00	16.00
2001	67.00	54.00	54.00	54.00	38.00	27.00	25.00	17.00	17.00	13.00
2002	140.00	70.00	57.00	57.00	43.00	32.00	32.00	23.00	23.00	17.00
2003	74.00	74.00	74.00	56.00	39.00	33.00	27.00	18.00	18.00	15.00
2004	78.00	78.00	78.00	59.00	54.00	37.00	28.00	19.00	19.00	15.00

Estación P. B. López Mateos										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	134.00	108.00	95.00	73.00	51.00	36.00	27.00	24.00	20.00	16.00
1985	103.00	76.00	58.00	48.00	42.00	34.00	28.00	24.00	19.00	15.00
1986	53.00	53.00	45.00	42.00	36.00	28.00	22.00	18.00	14.00	13.00
1987	76.00	64.00	44.00	44.00	32.00	30.00	25.00	19.00	15.00	12.00
1988	65.00	65.00	65.00	65.00	47.00	33.00	25.00	19.00	15.00	13.00
1989	97.00	59.00	50.00	49.00	36.00	24.00	19.00	14.00	12.00	10.00
1990	67.00	49.00	49.00	39.00	27.00	23.00	21.00	16.00	14.00	12.00
1991	152.00	80.00	66.00	52.00	37.00	27.00	22.00	17.00	13.00	11.00
1992	50.00	50.00	50.00	50.00	42.00	29.00	22.00	20.00	18.00	16.00
1993	60.00	50.00	50.00	47.00	44.00	33.00	27.00	21.00	17.00	14.00
1994	106.00	76.00	52.00	20.00	20.00	35.00	27.00	20.00	18.00	15.00
1995	50.00	50.00	50.00	42.00	32.00	27.00	26.00	20.00	16.00	13.00
1996	54.00	54.00	54.00	46.00	46.00	36.00	27.00	20.00	16.00	13.00
1997	33.90	33.90	33.90	33.90	33.90	33.90	33.90	31.70	31.70	24.30
1998	152.40	101.60	84.70	76.20	52.70	36.90	28.20	18.60	18.60	14.10
1999	152.00	114.00	101.00	95.00	78.00	56.00	44.00	33.00	33.00	25.00
2000	67.00	50.00	50.00	38.00	36.00	25.00	19.00	13.00	13.00	10.00
2001	50.00	50.00	50.00	44.00	38.00	33.00	28.00	22.00	22.00	19.00
2002	57.00	57.00	57.00	57.00	57.00	41.00	31.00	21.00	21.00	17.00
2003	101.00	101.00	101.00	83.00	65.00	44.00	33.00	23.00	23.00	18.00
2004	50.00	50.00	50.00	38.00	37.00	29.00	23.00	16.00	16.00	12.00

Estación P. B. Nueva Santa María										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	137.00	86.00	70.00	61.00	43.00	29.00	27.00	23.00	21.00	19.00
1985	76.00	76.00	76.00	76.00	67.00	60.00	50.00	40.00	30.00	25.00
1986	76.00	57.00	50.00	47.00	40.00	30.00	25.00	18.00	14.00	12.00
1987	65.00	65.00	52.00	52.00	52.00	44.00	43.00	40.00	36.00	30.00
1988	45.00	27.00	27.00	25.00	19.00	15.00	11.00	10.00	9.00	8.00
1989	64.00	50.00	43.00	38.00	31.00	23.00	18.00	15.00	13.00	11.00
1990	51.00	35.00	35.00	35.00	30.00	23.00	23.00	20.00	20.00	16.00
1991	231.00	122.00	85.00	76.00	68.00	64.00	58.00	45.00	41.00	33.00
1992	85.00	56.00	53.00	45.00	36.00	29.00	26.00	22.00	21.00	19.00
1993	50.00	50.00	50.00	44.00	38.00	33.00	30.00	23.00	17.00	15.00
1994	76.00	76.00	53.00	43.00	37.00	26.00	22.00	18.00	16.00	14.00
1995	152.00	97.00	79.00	68.00	57.00	40.00	32.00	24.00	22.00	18.00
1996	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	54.00	48.00	39.00	35.00	28.00
1997	35.40	35.40	35.40	35.40	35.40	35.40	35.40	29.20	29.20	22.10
1998	152.40	76.30	76.20	76.20	52.90	42.30	34.10	25.30	25.30	19.50
1999	62.00	62.00	42.00	35.00	28.00	18.00	14.00	12.00	12.00	9.00
2000	57.00	34.00	34.00	34.00	34.00	23.00	17.00	11.00	11.00	8.00
2001	152.00	77.00	52.00	46.00	41.00	28.00	22.00	17.00	17.00	15.00
2002	57.00	57.00	57.00	54.00	41.00	33.00	28.00	19.00	19.00	15.00
2003	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	39.00	31.00	21.00	21.00	16.00
2004	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	43.00	33.00	22.00	22.00	17.00

Estación P. B. Villa Coapa										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	121.00	86.00	76.00	76.00	66.00	50.00	38.00	30.00	24.00	19.00
1985	152.00	95.00	76.00	65.00	51.00	34.00	25.00	23.00	19.00	14.00
1986	85.00	63.00	55.00	44.00	32.00	27.00	24.00	18.00	14.00	12.00
1987	67.00	45.00	45.00	45.00	40.00	31.00	25.00	22.00	20.00	19.00
1988	62.00	62.00	46.00	46.00	46.00	32.00	24.00	24.00	22.00	21.00
1989	76.00	56.00	55.00	55.00	55.00	55.00	48.00	34.00	30.00	24.00
1990	307.00	154.00	102.00	77.00	51.00	34.00	29.00	28.00	26.00	20.00
1991	76.00	48.00	38.00	34.00	29.00	24.00	21.00	17.00	13.00	12.00
1992	203.00	102.00	68.00	54.00	37.00	33.00	33.00	26.00	22.00	18.00
1993	76.00	76.00	67.00	63.00	51.00	35.00	28.00	26.00	22.00	19.00
1994	92.00	92.00	61.00	47.00	38.00	31.00	27.00	22.00	22.00	19.00
1995	96.00	96.00	64.00	48.00	46.00	36.00	37.00	19.00	17.00	16.00
1996	32.00	32.00	32.00	32.00	29.00	27.00	25.00	20.00	20.00	16.00
1997	180.80	180.80	180.80	135.60	90.40	60.10	45.20	29.80	29.80	22.60
1998	152.40	76.50	51.20	38.50	35.60	33.80	31.50	26.90	26.90	21.20
1999	82.00	57.00	49.00	48.00	41.00	30.00	23.00	15.00	15.00	11.00
2000	79.00	79.00	79.00	63.00	53.00	42.00	32.00	21.00	21.00	16.00
2001	152.00	95.00	76.00	66.00	50.00	34.00	25.00	17.00	17.00	13.00
2002	48.00	48.00	48.00	42.00	37.00	37.00	37.00	27.00	27.00	20.00
2003	48.00	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00	39.00	39.00	29.00
2004	54.00	54.00	54.00	45.00	31.00	26.00	19.00	14.00	12.00	11.00

Estación Planta Generadora 101										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	76.00	76.00	63.00	57.00	50.00	34.00	26.00	22.00	16.00	14.00
1985	42.00	33.00	28.00	26.00	25.00	20.00	20.00	18.00	17.00	16.00
1986	76.00	76.00	76.00	67.00	58.00	47.00	35.00	25.00	21.00	17.00
1987	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	32.00	23.00	19.00	16.00
1988	123.00	69.00	59.00	44.00	33.00	24.00	18.00	12.00	12.00	9.00
1989	45.00	38.00	35.00	33.00	32.00	28.00	25.00	20.00	18.00	17.00
1990	322.00	162.00	109.00	82.00	55.00	38.00	28.00	21.00	19.00	17.00
1991	67.00	67.00	67.00	67.00	67.00	45.00	33.00	24.00	20.00	16.00
1992	94.00	65.00	55.00	51.00	38.00	34.00	26.00	21.00	17.00	14.00
1993	152.00	91.00	71.00	60.00	50.00	40.00	34.00	28.00	24.00	20.00
1994	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	24.00	18.00	14.00	12.00
1995	174.00	87.00	58.00	46.00	43.00	38.00	34.00	24.00	22.00	18.00
1996	49.00	49.00	49.00	49.00	34.00	26.00	22.00	17.00	13.00	11.00
1997	61.70	61.70	61.70	61.70	41.70	34.10	25.70	16.90	16.90	13.80
1998	152.40	77.70	81.30	63.20	45.20	34.10	31.50	22.90	22.90	19.10
1999	82.00	48.00	37.00	36.00	32.00	27.00	24.00	16.00	16.00	12.00
2000	91.00	48.00	35.00	32.00	25.00	25.00	23.00	15.00	15.00	11.00
2001	76.00	76.00	63.00	57.00	50.00	34.00	26.00	17.00	17.00	13.00
2002	79.00	79.00	79.00	65.00	50.00	50.00	39.00	26.00	26.00	21.00
2003	54.00	54.00	54.00	45.00	40.00	33.00	26.00	19.00	19.00	16.00
2004	68.00	68.00	68.00	54.00	40.00	28.00	21.00	14.00	14.00	10.00

Estación P. T. La Estrella										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	57.00	36.00	35.00	31.00	27.00	20.00	15.00	13.00	11.00	10.00
1985	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	15.00
1986	33.00	33.00	26.00	20.00	20.00	15.00	11.00	9.00	9.00	7.00
1987	48.00	42.00	40.00	34.00	25.00	19.00	17.00	13.00	11.50	11.00
1988	121.00	79.00	79.00	79.00	67.00	47.00	35.00	24.00	22.00	18.00
1989	76.00	70.00	58.00	53.00	41.00	31.00	25.00	18.00	15.00	14.00
1990	76.00	76.00	76.00	76.00	68.00	68.00	56.00	38.00	35.00	29.00
1991	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
1992	55.00	55.00	55.00	49.00	36.00	30.00	25.00	18.00	18.00	16.00
1993	77.00	77.00	77.00	58.00	40.00	27.00	20.00	16.00	16.00	12.00
1994	152.00	100.00	83.00	76.00	56.00	41.00	33.00	22.00	22.00	17.00
1995	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	34.00	26.00	17.00	17.00	13.00
1996	64.00	64.00	64.00	64.00	42.00	32.00	24.00	16.00	16.00	12.00
1997	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	25.70	25.70	22.60	22.60	17.10
1998	50.80	50.80	50.80	50.80	50.80	35.20	27.50	19.60	19.60	15.40
1999	40.00	40.00	40.00	35.00	30.00	21.00	17.00	12.00	12.00	11.00
2000	82.00	57.00	57.00	57.00	38.00	26.00	20.00	13.00	13.00	10.00
2001	76.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	30.00	30.00	23.00
2002	54.00	54.00	54.00	52.00	52.00	43.00	36.00	32.00	32.00	27.00
2003	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	33.00	33.00	25.00
2004	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00	41.00	31.00	20.00	20.00	15.00

Estación P. T. Santa Catarina										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	76.00	53.00	45.00	40.00	35.00	26.00	21.00	18.00	15.00	13.00
1985	42.00	30.00	27.00	27.00	27.00	21.00	16.00	13.00	10.00	8.00
1986	76.00	53.00	50.00	48.00	43.00	34.00	25.00	18.00	18.00	15.00
1987	45.00	45.00	45.00	45.00	37.00	24.00	18.00	12.00	10.00	9.00
1988	47.00	47.00	41.00	41.00	41.00	28.00	21.00	14.00	13.00	11.00
1989	85.00	65.00	53.00	48.00	41.00	35.00	35.00	26.00	24.00	21.00
1990	76.00	76.00	76.00	76.00	51.00	34.00	26.00	18.00	15.00	13.00
1991	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
1992	152.00	152.00	124.00	95.00	66.00	49.00	43.00	30.00	30.00	24.00
1993	76.00	76.00	73.00	57.00	42.00	28.00	21.00	14.00	14.00	11.00
1994	76.00	76.00	63.00	57.00	38.00	26.00	20.00	14.00	14.00	12.00
1995	50.00	50.00	50.00	43.00	35.00	23.00	17.00	12.00	12.00	9.00
1996	29.00	29.00	29.00	29.00	25.00	20.00	16.00	12.00	12.00	9.00
1997	24.40	20.20	20.20	20.20	20.20	18.50	15.50	10.30	10.30	8.00
1998	76.20	76.20	73.20	56.80	54.40	45.60	41.40	27.90	27.90	21.40
1999	40.00	40.00	40.00	35.00	30.00	21.00	17.00	12.00	12.00	11.00
2000	69.00	44.00	44.00	44.00	36.00	31.00	26.00	18.00	18.00	14.00
2001	152.00	114.00	101.00	79.00	57.00	40.00	31.00	21.00	21.00	16.00
2002	39.00	39.00	39.00	34.00	28.00	20.00	15.00	10.00	10.00	7.00
2003	94.00	54.00	50.00	44.00	36.00	33.00	29.00	21.00	21.00	18.00
2004	49.00	49.00	49.00	37.00	24.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00

Estación Planta Xotepingo										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	106.00	78.00	69.00	64.00	57.00	45.00	38.00	28.00	18.00	13.00
1985	60.00	60.00	56.00	54.00	45.00	33.00	25.00	19.00	15.00	12.00
1986	76.00	57.00	50.00	48.00	46.00	34.00	26.00	21.00	17.00	15.00
1987	50.00	50.00	50.00	38.00	25.00	19.00	17.00	13.00	11.00	9.00
1988	58.00	40.00	40.00	40.00	33.00	33.00	30.00	22.00	18.00	15.00
1989	82.00	64.00	47.00	47.00	40.00	28.00	27.00	20.00	18.00	14.00
1990	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	29.00	22.00	18.00	14.00	13.00
1991	78.00	78.00	78.00	78.00	68.00	50.00	39.00	28.00	24.00	20.00
1992	74.00	74.00	65.00	60.00	51.00	37.00	28.00	20.00	17.00	15.00
1993	51.00	50.00	50.00	44.00	34.00	23.00	17.00	15.00	13.00	12.00
1994	152.00	149.00	107.00	80.00	60.00	40.00	30.00	23.00	19.00	17.00
1995	54.00	54.00	54.00	41.00	28.00	21.00	21.00	17.00	13.00	11.00
1996	38.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	28.00	21.00	17.00	15.00
1997	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80	12.00	11.10	11.00	11.00	11.00
1998	118.90	96.00	86.40	74.70	57.90	38.60	29.20	19.40	19.40	14.80
1999	94.00	91.00	67.00	55.00	44.00	34.00	26.00	18.00	18.00	14.00
2000	102.00	102.00	102.00	102.00	70.00	48.00	36.00	24.00	24.00	18.00
2001	152.00	101.00	84.00	76.00	56.00	38.00	28.00	19.00	19.00	14.00
2002	91.00	45.00	43.00	42.00	42.00	29.00	26.00	18.00	18.00	13.00
2003	77.00	77.00	77.00	65.00	48.00	35.00	28.00	20.00	20.00	15.00
2004	94.00	74.00	74.00	58.00	43.00	29.00	22.00	15.00	15.00	11.00

Estación Radiocomunicación										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	152.00	114.00	101.00	77.00	54.00	38.00	35.00	27.00	22.00	18.00
1985	76.00	50.00	42.00	38.00	30.00	24.00	20.00	16.00	14.00	12.00
1986	91.00	76.00	66.00	60.00	47.00	35.00	28.00	23.00	19.00	16.00
1987	46.00	46.00	46.00	38.00	27.00	23.00	19.00	15.00	13.00	11.00
1988	76.00	52.00	52.00	41.00	33.00	27.00	23.00	20.00	16.00	14.00
1989	115.00	77.00	67.00	67.00	67.00	47.00	35.00	24.00	22.00	17.00
1990	57.00	50.00	50.00	42.00	34.00	29.00	26.00	22.00	18.00	15.00
1991	106.00	106.00	72.00	55.00	42.00	41.00	36.00	26.00	22.00	18.00
1992	76.00	76.00	76.00	76.00	67.00	62.00	58.00	42.00	38.00	34.00
1993	45.00	45.00	45.00	38.00	28.00	22.00	20.00	16.00	12.00	10.00
1994	305.00	162.00	114.00	90.00	66.00	52.00	43.00	31.00	27.00	22.00
1995	106.00	53.00	35.00	31.00	31.00	31.00	26.00	18.00	14.00	13.00
1996	84.00	84.00	84.00	63.00	42.00	42.00	42.00	39.00	35.00	28.00
1997	51.80	51.80	51.80	51.80	43.20	28.70	22.60	14.90	14.90	11.30
1998	152.40	83.10	101.60	80.40	59.30	45.00	38.10	25.70	25.70	19.90
1999	152.00	76.00	52.00	49.00	47.00	34.00	25.00	17.00	17.00	12.00
2000	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	33.00	33.00	22.00	22.00	16.00
2001	40.00	40.00	40.00	30.00	25.00	23.00	18.00	14.00	14.00	13.00
2002	89.00	89.00	89.00	78.00	67.00	55.00	42.00	29.00	29.00	22.00
2003	91.00	91.00	91.00	73.00	54.00	37.00	28.00	18.00	18.00	14.00
2004	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	52.00	39.00	28.00	28.00	22.00

Estación Rebombeo Bosque de Tlalpan										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	91.00	76.00	76.00	73.00	62.00	47.00	39.00	32.00	26.00	24.00
1985	121.00	88.00	81.00	76.00	58.00	41.00	31.00	24.00	18.00	15.00
1986	140.00	76.00	76.00	76.00	76.00	52.00	40.00	28.00	24.00	20.00
1987	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	38.00	28.00	21.00	17.00	14.00
1988	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	41.00	31.00	23.00	23.00	18.00
1989	200.00	106.00	81.00	72.00	55.00	39.00	30.00	24.00	20.00	17.00
1990	48.00	48.00	32.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
1991	137.00	87.00	71.00	55.00	40.00	29.00	24.00	22.00	18.00	16.00
1992	76.00	76.00	55.00	47.00	44.00	39.00	33.00	26.00	22.00	20.00
1993	152.00	101.00	94.00	94.00	94.00	71.00	54.00	41.00	33.00	29.00
1994	152.00	96.00	78.00	60.00	43.00	33.00	31.00	30.00	29.00	28.00
1995	82.00	82.00	58.00	50.00	41.00	35.00	32.00	25.00	23.00	22.00
1996	71.00	71.00	71.00	58.00	45.00	36.00	32.00	24.00	20.00	17.00
1997	33.90	33.90	33.90	33.90	33.90	30.10	22.60	14.90	14.90	11.30
1998	50.80	50.80	50.80	43.90	37.10	27.50	26.10	21.50	21.50	18.00
1999	96.00	62.00	46.00	38.00	36.00	31.00	26.00	17.00	17.00	16.00
2000	76.00	53.00	53.00	42.00	30.00	25.00	25.00	17.00	17.00	13.00
2001	152.00	101.00	84.00	76.00	62.00	52.00	45.00	31.00	31.00	23.00
2002	76.00	76.00	67.00	63.00	56.00	49.00	39.00	26.00	26.00	20.00
2003	54.00	54.00	54.00	54.00	48.00	40.00	35.00	26.00	26.00	19.00
2004	56.00	56.00	56.00	46.00	36.00	26.00	20.00	13.00	11.00	10.00

Estación San Pedro Nexapa										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1960	110.00	78.00	65.00	51.00	35.00	24.00	19.00	15.00	13.00	11.00
1961	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
1962	92.00	61.00	48.00	45.00	35.00	26.00	20.00	14.00	11.00	10.00
1963	132.00	90.00	70.00	59.00	45.00	31.00	27.00	22.00	19.00	16.00
1964	90.00	80.00	70.00	60.00	44.00	32.00	27.00	20.00	16.00	14.00
1965	144.00	125.00	109.00	95.00	75.00	54.00	42.00	31.00	27.00	24.00
1966	170.00	150.00	134.00	126.00	108.00	87.00	72.00	60.00	50.00	42.00
1967	90.00	61.00	52.00	46.00	39.00	31.00	27.00	21.00	18.00	16.00
1968	127.00	90.00	70.00	59.00	44.00	32.00	26.00	21.00	18.00	16.00
1969	111.00	90.00	75.00	65.00	53.00	42.00	34.00	26.00	21.00	16.00
1970	90.00	67.00	54.00	49.00	41.00	34.00	29.00	25.00	20.00	17.00
1971	126.00	106.00	88.00	74.00	55.00	37.00	28.00	21.00	16.00	15.00
1972	117.00	95.00	75.00	65.00	47.00	36.00	31.00	28.00	25.00	23.00
1973	90.00	79.00	70.00	60.00	45.00	30.00	24.00	17.00	14.00	12.00
1974	119.00	100.00	90.00	79.00	65.00	46.00	34.00	27.00	21.00	18.00
1975	106.00	77.00	65.00	58.00	47.00	36.00	29.00	24.00	20.00	18.00
1976	108.00	79.00	60.00	50.00	40.00	28.00	22.00	17.00	14.00	12.00
1977	116.40	92.40	85.60	78.60	65.90	52.50	39.60	29.80	23.80	19.90
1978	102.00	69.20	59.50	54.60	37.90	26.70	21.50	17.10	14.40	12.30
1979	120.00	84.00	72.00	66.00	50.90	36.00	27.40	20.70	16.70	14.00
1980	88.80	64.00	55.70	51.60	43.10	36.80	29.20	22.70	18.70	16.40
1981	121.20	92.40	71.80	61.50	50.30	46.00	41.00	37.70	34.00	30.30
1982	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
1983	168.21	115.78	80.00	78.00	71.00	60.00	50.00	37.00	30.00	28.00
1984	81.60	62.40	56.00	46.40	34.40	23.70	17.80	13.40	10.70	8.90
1985	101.00	81.00	70.00	61.00	49.00	38.00	32.00	28.00	25.00	23.00
1986	74.50	61.30	48.90	47.50	44.80	29.90	22.40	16.90	15.00	12.90
1987	157.00	88.00	59.00	45.00	37.00	25.00	19.00	13.00	11.00	10.00
1988	182.00	69.00	60.00	52.00	37.00	30.00	24.00	16.00	13.00	10.00
1989	155.00	87.00	62.00	47.00	38.00	25.00	19.00	13.00	11.00	10.00
1990	72.00	36.00	24.00	18.00	17.00	12.00	11.00	8.00	7.00	6.00

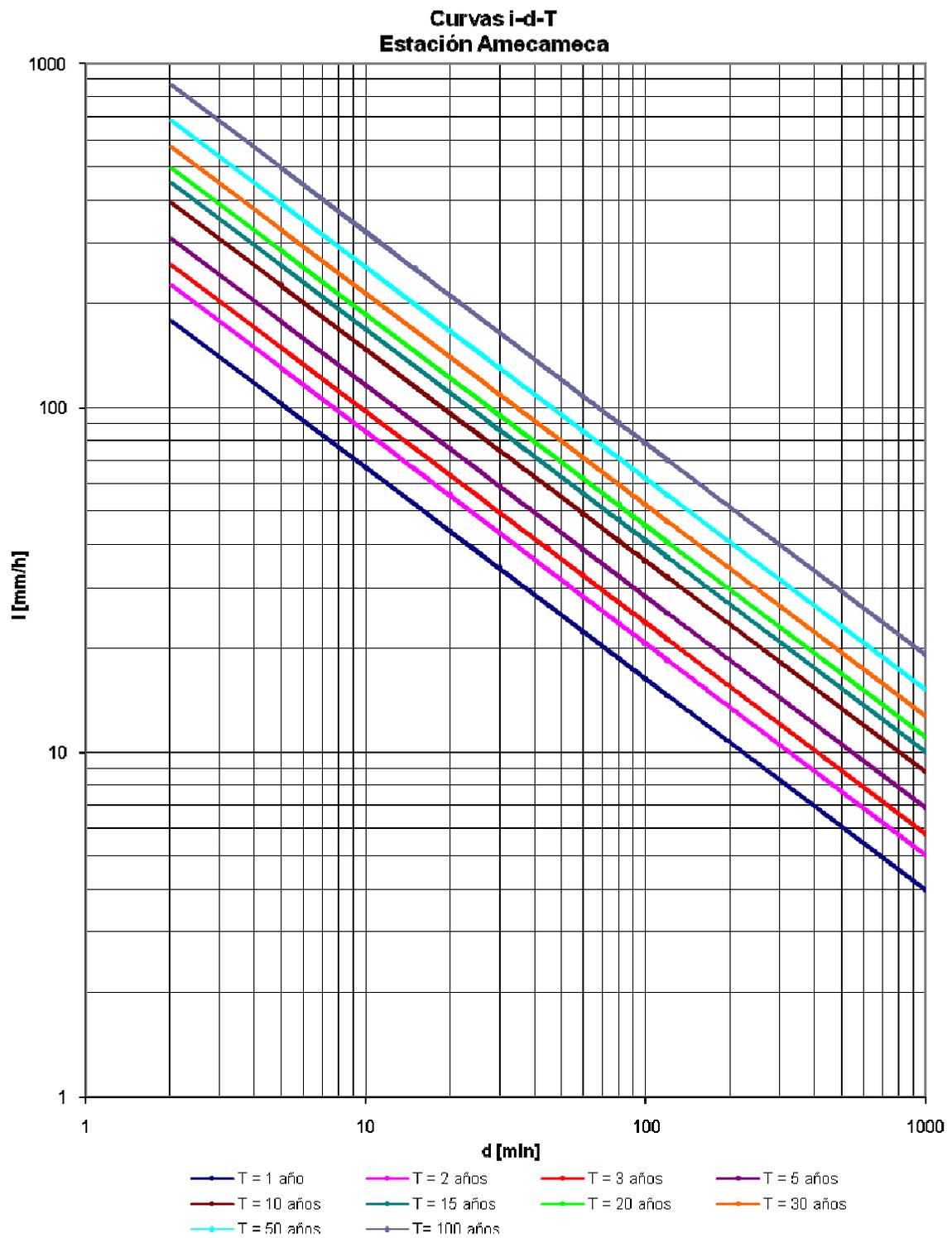
Estación San Pedro Tláhuac										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	76.00	63.00	58.00	57.00	50.00	35.00	26.00	19.00	15.00	13.00
1985	30.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	19.00	14.00	11.00	9.00
1986	76.00	65.00	50.00	38.00	35.00	23.00	17.00	12.00	12.00	9.00
1987	106.00	83.00	76.00	68.00	63.00	46.00	35.00	24.00	23.00	18.00
1988	100.00	62.00	58.00	57.00	45.00	37.00	35.00	25.00	20.00	18.00
1989	92.00	53.00	49.00	44.00	38.00	29.00	24.00	18.00	12.00	14.00
1990	108.00	57.00	42.00	42.00	36.00	36.00	36.00	25.00	25.00	20.00
1991	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR
1992	76.00	76.00	73.00	68.00	55.00	38.00	31.00	24.00	24.00	19.00
1993	75.00	45.00	36.00	32.00	29.00	26.00	22.00	15.00	15.00	11.00
1994	75.00	65.00	50.00	40.00	30.00	24.00	18.00	12.00	12.00	9.00
1995	38.00	38.00	38.00	38.00	35.00	33.00	29.00	22.00	20.00	18.00
1996	54.00	36.00	34.00	28.00	23.00	19.00	17.00	12.00	12.00	12.00
1997	31.40	31.40	31.40	31.40	31.40	25.10	19.70	17.60	17.60	14.30
1998	38.40	38.40	38.40	38.40	37.60	25.00	18.90	13.10	13.10	10.80
1999	73.00	55.00	49.00	43.00	33.00	22.00	17.00	13.00	11.00	9.00
2000	82.00	72.00	72.00	54.00	51.00	36.00	28.00	20.00	20.00	15.00
2001	152.00	85.00	62.00	51.00	37.00	26.00	26.00	23.00	23.00	17.00
2002	60.00	60.00	49.00	40.00	32.00	27.00	23.00	15.00	15.00	12.00
2003	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00	40.00	40.00	31.00
2004	61.00	51.00	51.00	41.00	32.00	29.00	28.00	26.00	26.00	20.00

Estación San Rafael										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1965	213.50	181.50	161.00	137.50	105.50	74.00	57.50	43.50	35.00	30.00
1966	125.00	98.00	80.00	67.00	54.50	38.50	31.50	25.00	23.00	19.00
1967	240.00	177.00	139.00	119.00	100.00	80.00	69.00	55.00	45.00	37.50
1968	118.50	87.00	73.00	64.00	54.00	42.50	37.50	32.00	28.00	25.50
1969	119.00	103.00	94.00	79.00	62.50	45.00	37.50	30.50	25.50	23.50
1970	131.00	98.00	75.00	62.50	49.50	37.00	31.00	24.00	18.00	17.50
1971	164.40	96.00	77.20	65.40	49.70	34.30	25.70	19.60	17.30	16.90
1972	160.00	119.00	85.00	65.00	48.00	31.30	25.00	20.00	18.50	15.00
1973	135.00	98.00	84.00	62.50	47.00	31.00	25.00	19.50	18.00	14.00
1974	113.00	73.50	55.00	41.00	32.50	24.00	20.00	14.00	13.00	11.00
1975	135.00	119.00	104.00	82.50	72.00	55.00	48.00	38.00	30.00	25.00
1976	162.50	126.00	93.00	75.00	56.25	42.00	36.50	31.20	26.00	24.50
1977	162.50	118.80	82.00	70.50	61.00	53.30	46.00	40.60	34.30	29.20
1978	202.80	131.40	107.60	87.00	61.60	49.20	39.30	30.70	25.30	21.30
1979	120.00	81.30	63.30	61.70	57.70	53.10	50.30	44.60	36.50	30.80
1980	117.60	66.60	52.80	44.90	37.00	25.50	22.90	21.60	21.30	20.20
1981	126.00	94.50	84.00	73.70	61.70	46.60	36.50	28.00	23.20	20.00
1982	132.00	99.00	88.00	77.30	62.20	48.30	38.10	29.00	23.60	19.90
1983	122.40	90.00	76.90	70.50	58.50	44.80	37.60	28.70	23.00	19.20
1984	117.60	60.40	48.00	42.00	36.00	24.70	18.70	14.30	12.70	11.70
1985	152.00	105.30	90.00	77.50	61.00	44.40	37.60	33.00	29.20	25.90
1986	91.20	60.00	47.20	39.00	28.00	26.70	26.60	26.50	23.40	21.00
1987	21.60	16.20	14.40	12.90	12.20	9.90	8.70	7.10	6.10	5.20

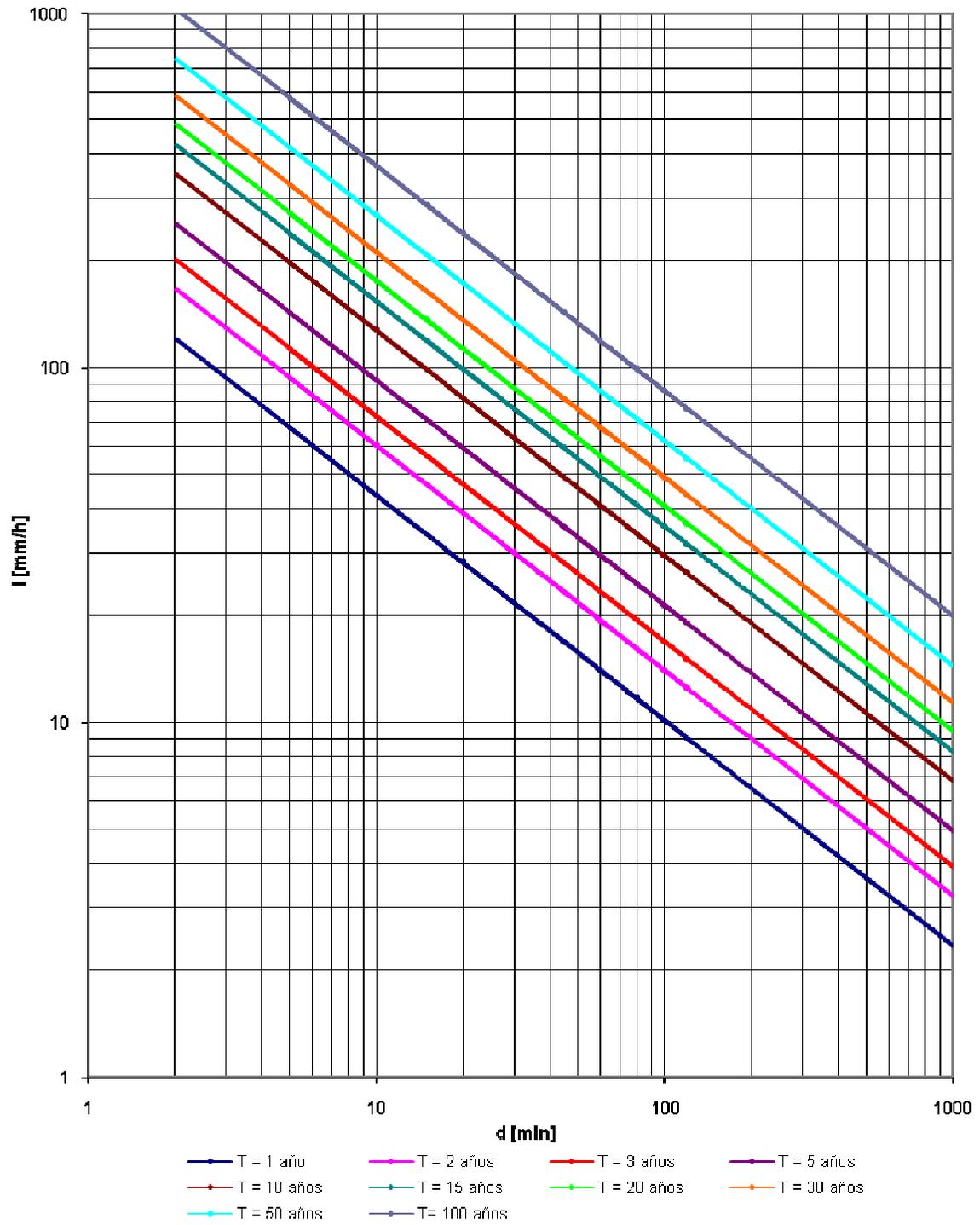
Estación Tanque San Pedro Mártir										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	100.00	73.00	51.00	40.00	27.00	23.00	20.00	16.00	13.00	11.00
1985	225.00	115.00	79.00	60.00	45.00	38.00	33.00	26.00	21.00	17.00
1986	121.00	76.00	71.00	68.00	60.00	48.00	36.00	25.00	23.00	22.00
1987	76.00	57.00	50.00	46.00	44.00	41.00	38.00	24.00	30.00	24.00
1988	60.00	41.00	34.00	34.00	34.00	34.00	32.00	28.00	26.00	23.00
1989	106.00	71.00	71.00	62.00	54.00	44.00	35.00	28.00	24.00	20.00
1990	36.00	32.00	32.00	32.00	32.00	28.00	22.00	19.00	17.00	14.00
1991	57.00	53.00	50.00	44.00	42.00	33.00	25.00	18.00	14.00	13.00
1992	82.00	82.00	82.00	82.00	58.00	43.00	35.00	28.00	24.00	20.00
1993	54.00	50.00	50.00	42.00	35.00	24.00	19.00	15.00	13.00	11.00
1994	52.00	52.00	52.00	47.00	44.00	39.00	35.00	25.00	25.00	19.00
1995	56.00	56.00	56.00	56.00	56.00	50.00	38.00	26.00	24.00	19.00
1996	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	37.00	34.00	28.00
1997	43.40	43.40	43.40	43.40	32.20	25.00	20.10	15.60	15.60	12.40
1998	76.20	76.20	67.70	63.50	53.20	39.70	32.50	24.60	24.60	20.80
1999	85.00	80.00	78.00	67.00	51.00	35.00	27.00	22.00	22.00	19.00
2000	73.00	62.00	48.00	48.00	35.00	26.00	24.00	19.00	19.00	15.00
2001	152.00	93.00	73.00	63.00	51.00	50.00	45.00	30.00	30.00	23.00
2002	65.00	65.00	44.00	40.00	35.00	28.00	24.00	16.00	16.00	12.00
2003	97.00	97.00	74.00	63.00	61.00	60.00	49.00	33.00	33.00	25.00
2004	152.00	76.00	50.00	43.00	43.00	39.00	37.00	36.00	34.00	32.00

Estación Topilejo										
Año	d [minutos]									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1984	140.00	89.00	72.00	63.00	49.00	34.00	26.00	21.42	18.28	14.00
1985	51.00	30.00	26.00	26.00	26.00	22.00	20.00	15.97	14.69	12.00
1986	60.00	53.00	50.00	43.00	32.00	25.00	25.00	17.00	17.00	12.00
1987	121.00	67.00	67.00	54.00	54.00	48.00	36.00	24.00	24.00	18.00
1988	59.00	59.00	48.00	36.00	32.00	23.00	19.00	15.00	15.00	11.00
1989	110.00	61.00	57.00	57.00	48.00	32.00	24.00	18.00	18.00	14.00
1990	100.00	100.00	100.00	100.00	84.00	56.00	42.00	28.00	28.00	21.00
1991	53.00	53.00	43.00	38.00	30.00	23.00	22.00	16.00	16.00	13.00
1992	58.00	50.00	50.00	43.00	36.00	33.00	26.00	19.00	19.00	17.00
1993	106.00	66.00	66.00	50.00	36.00	32.00	24.00	16.00	16.00	12.00
1994	152.00	118.00	107.00	89.00	70.00	67.00	57.00	42.00	42.00	31.00
1995	67.00	39.00	39.00	39.00	39.00	39.00	39.00	31.00	31.00	23.00
1996	91.00	55.00	55.00	55.00	37.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
1997	40.40	40.40	40.40	40.40	27.00	23.70	23.70	23.50	23.50	23.50
1998	91.40	61.00	50.80	45.70	40.60	33.80	25.50	19.40	19.40	17.80
1999	91.40	61.00	50.80	45.70	40.60	33.80	25.50	19.40	19.40	17.80
2000	78.00	78.00	78.00	67.00	48.00	41.00	41.00	41.00	41.00	38.00
2001	182.00	91.00	60.00	45.00	31.00	24.00	18.00	15.00	15.00	13.00
2002	94.00	94.00	94.00	77.00	60.00	41.00	41.00	31.00	31.00	20.00
2003	49.00	49.00	49.00	41.00	36.00	36.00	28.00	19.00	19.00	15.00
2004	75.00	75.00	75.00	70.00	70.00	54.00	43.00	30.00	30.00	23.00

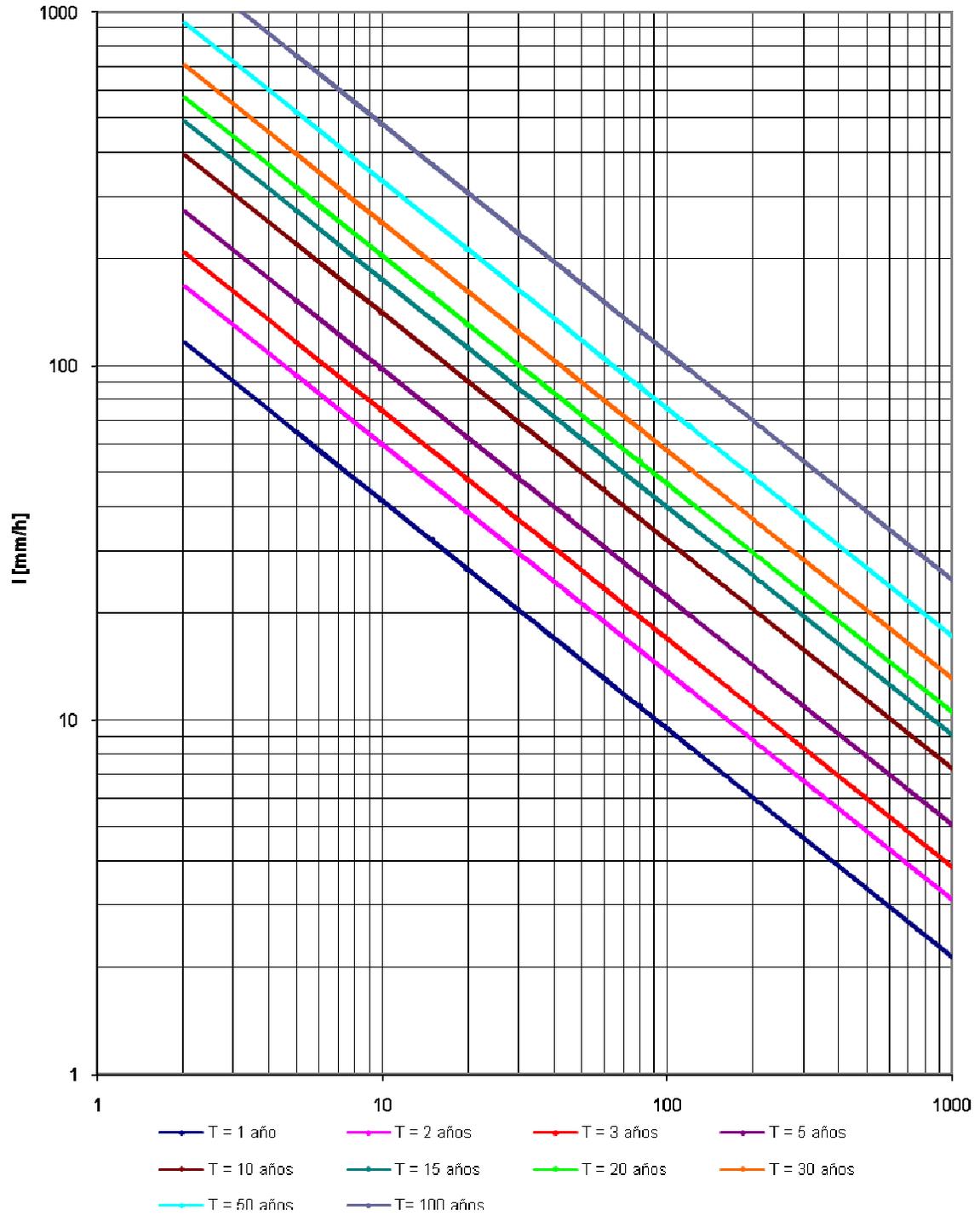
ANEXO 2: CURVAS i-d-T



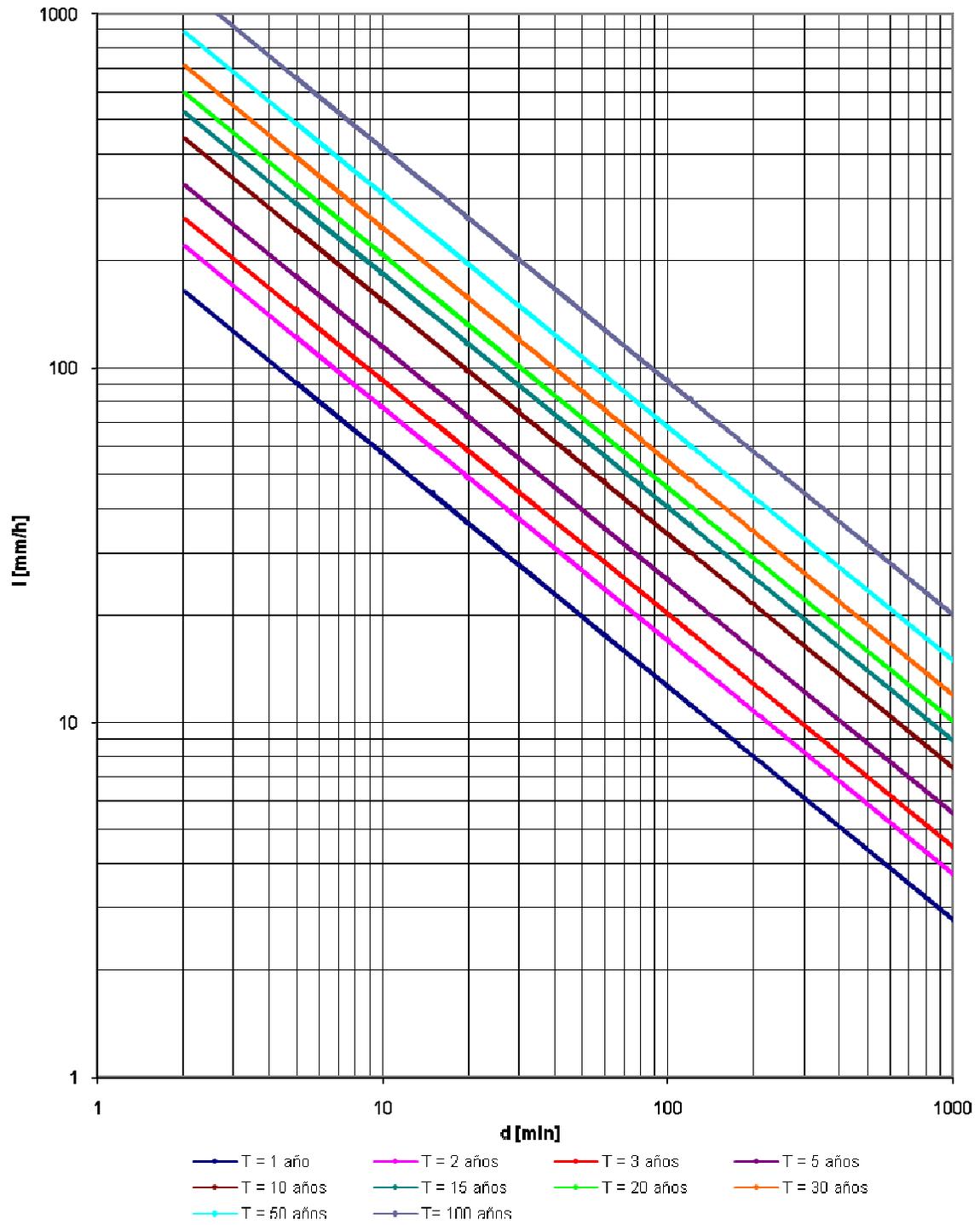
Curvas i-d-T Estación Chalco



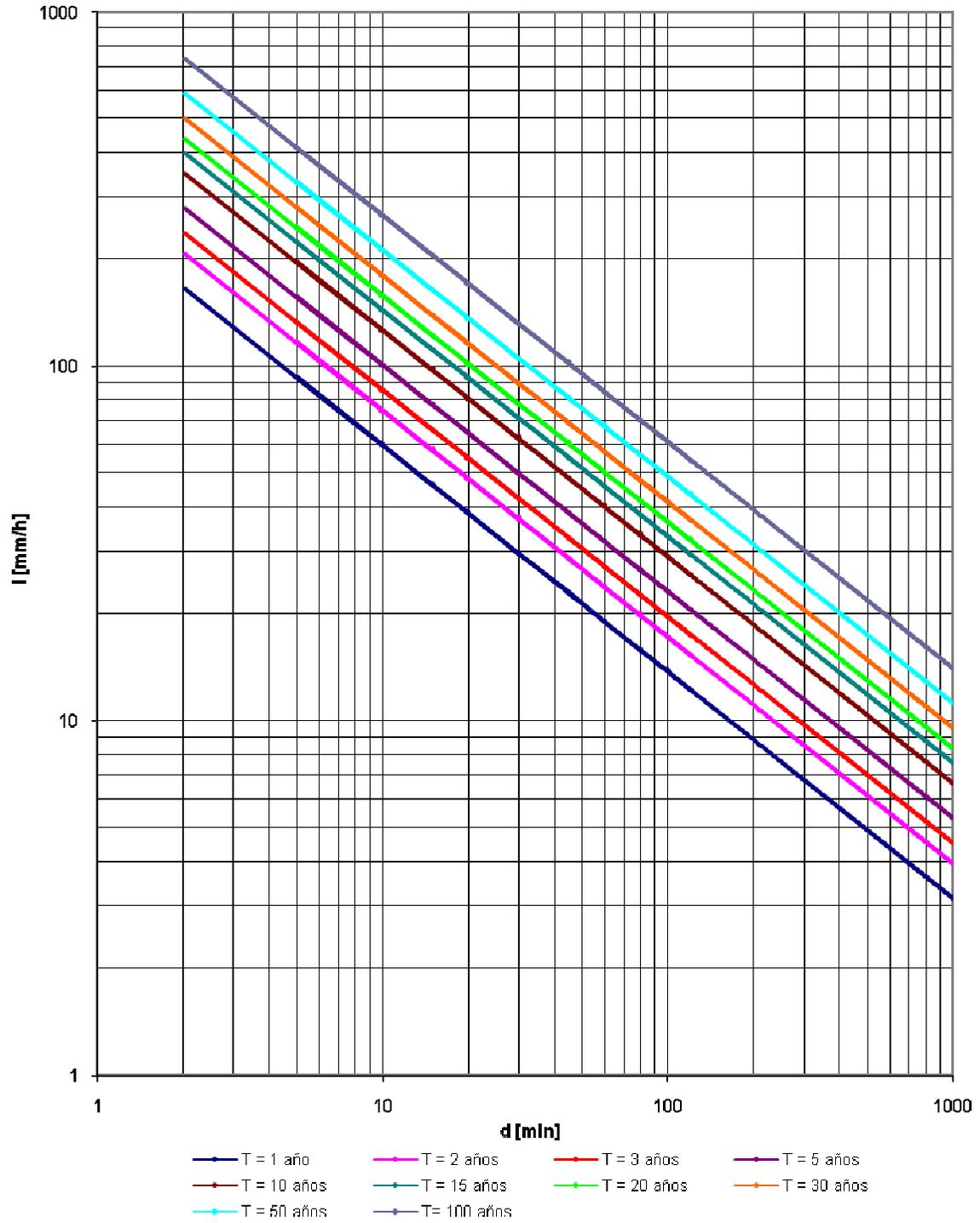
Curvas i-d-T Estación Chapingo



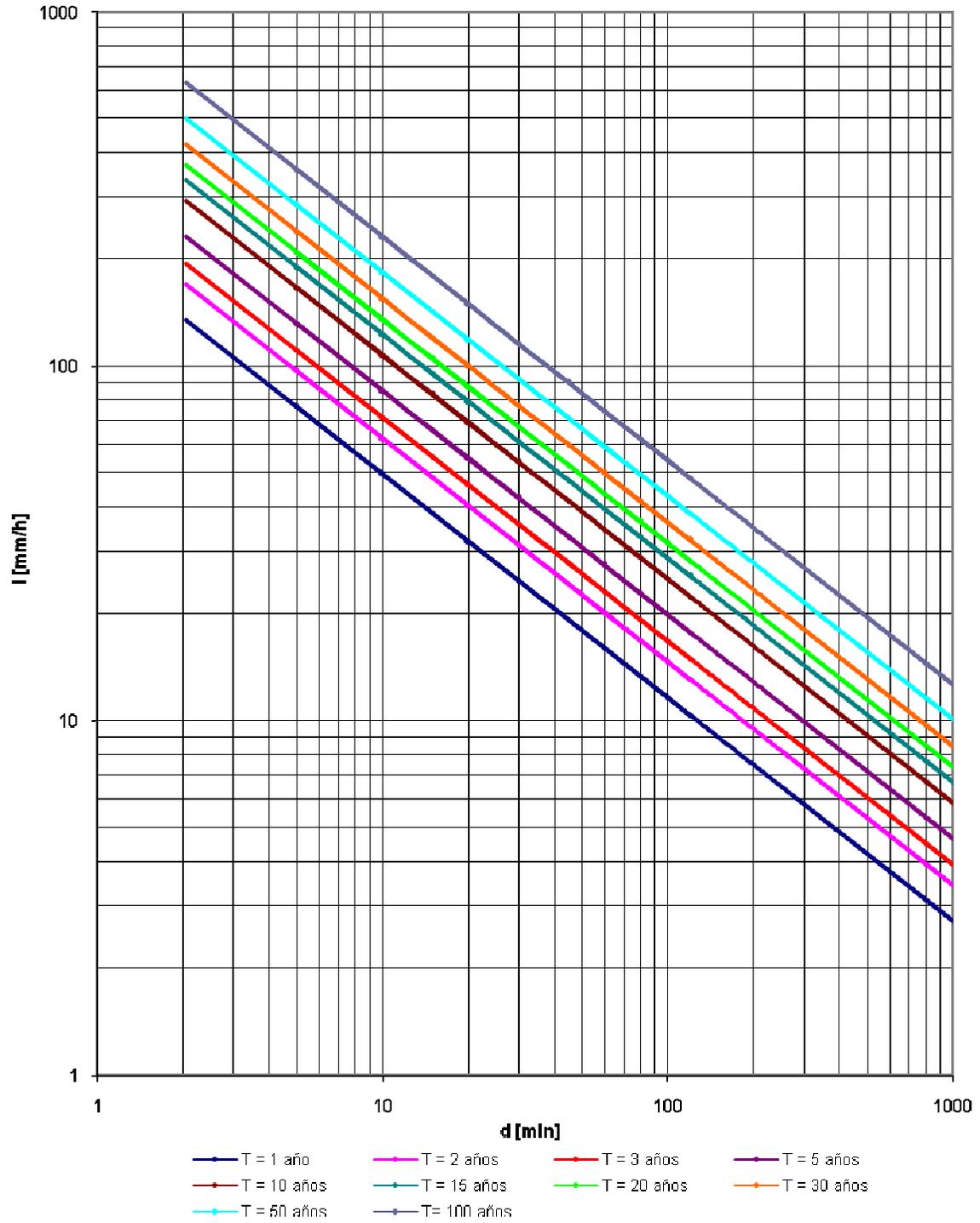
Curvas i-d-T
Estación Coatepec de los Olivos



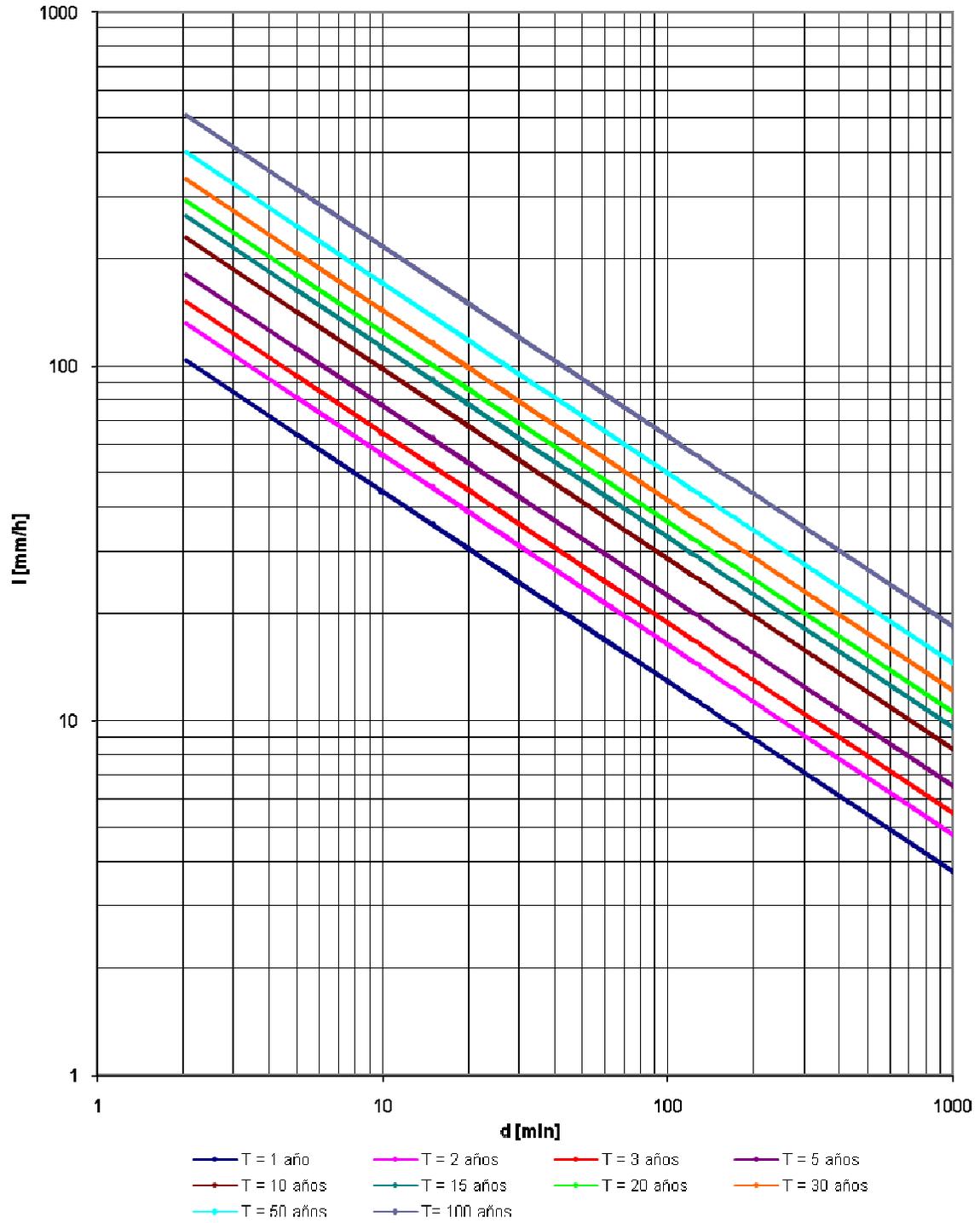
Curvas i-d-T
Estación Colonia Agrícola Oriental



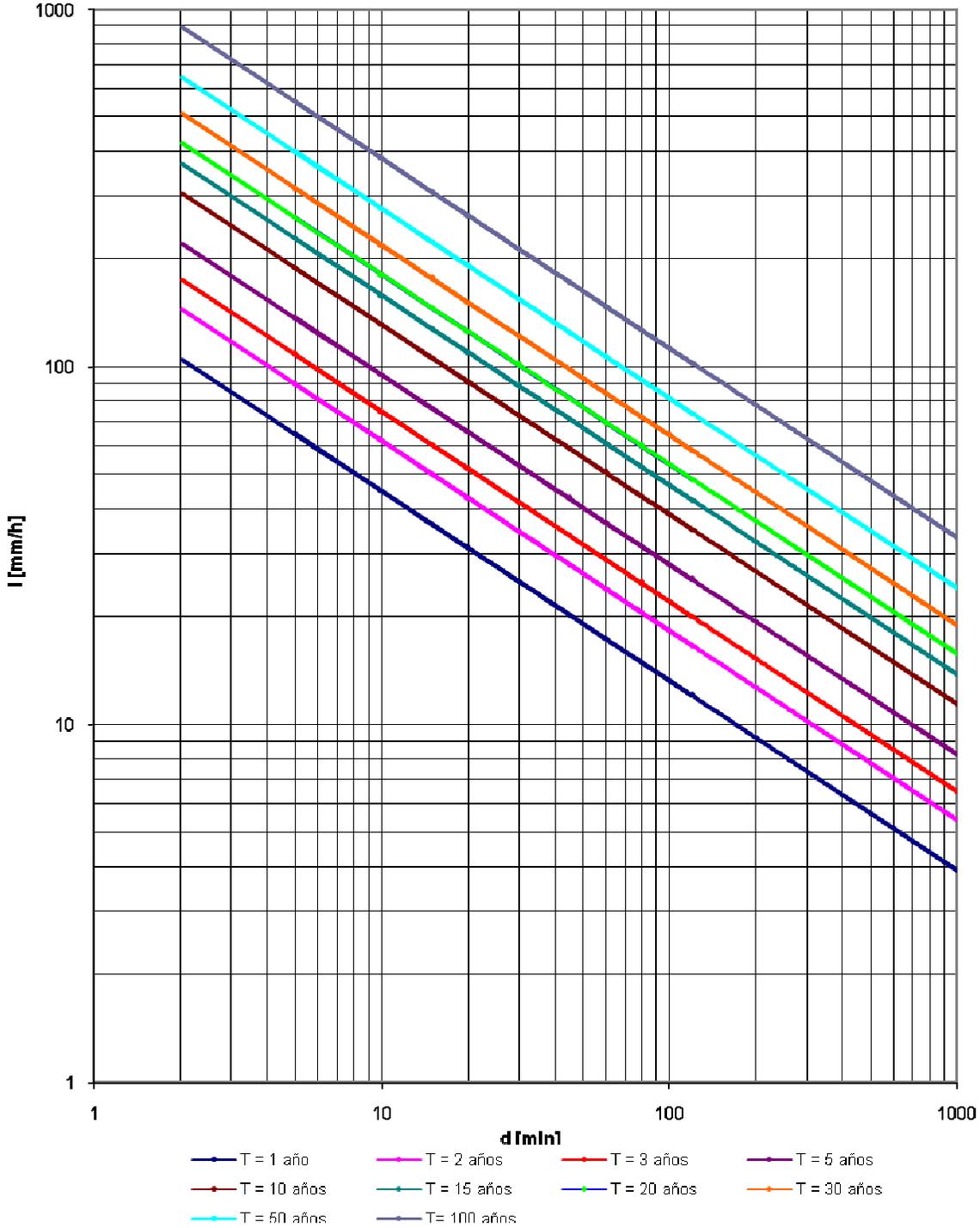
Curvas i-d-T
Estación Colonia Manuel Ávila Camacho



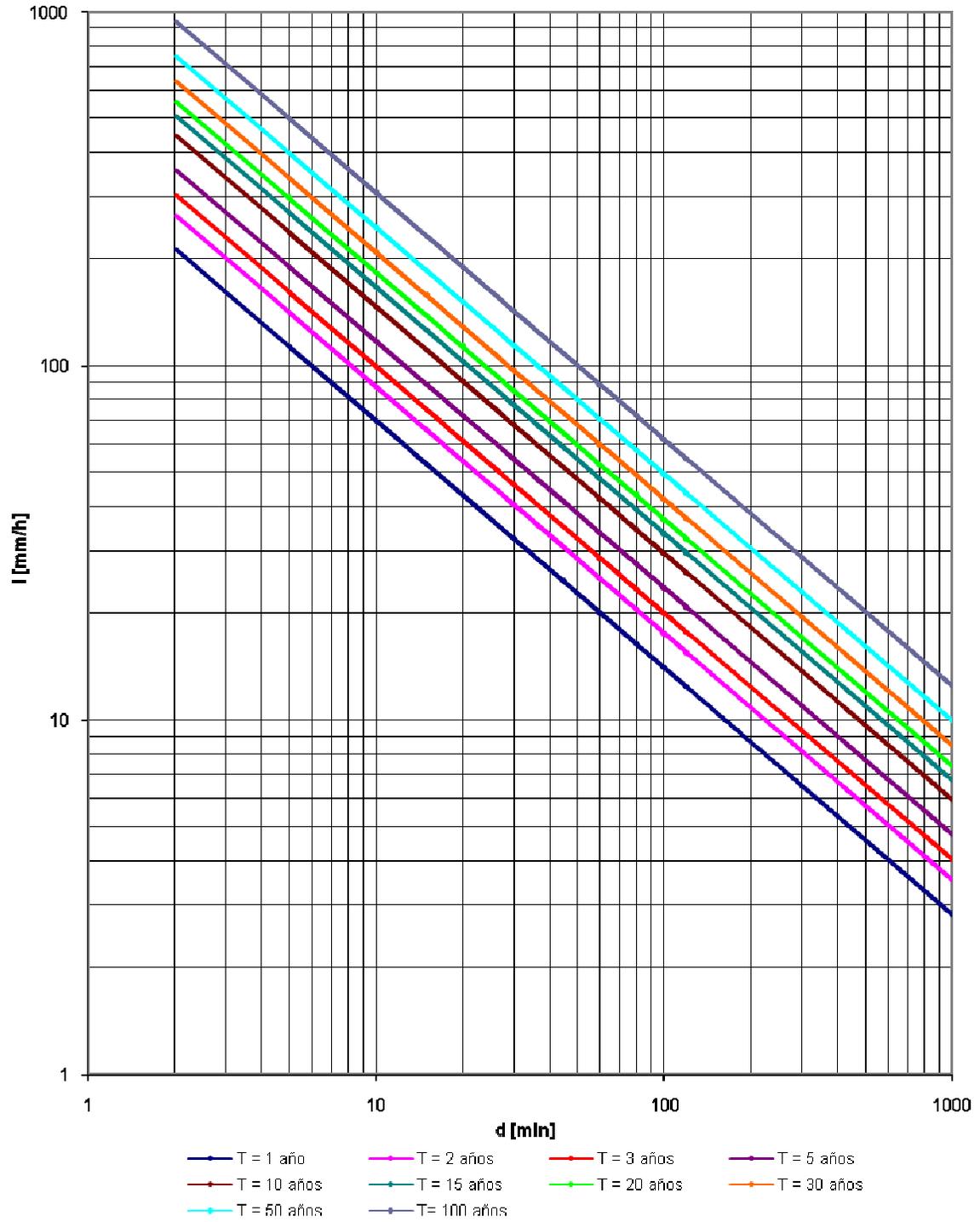
Curvas i-d-T Estación Coyol



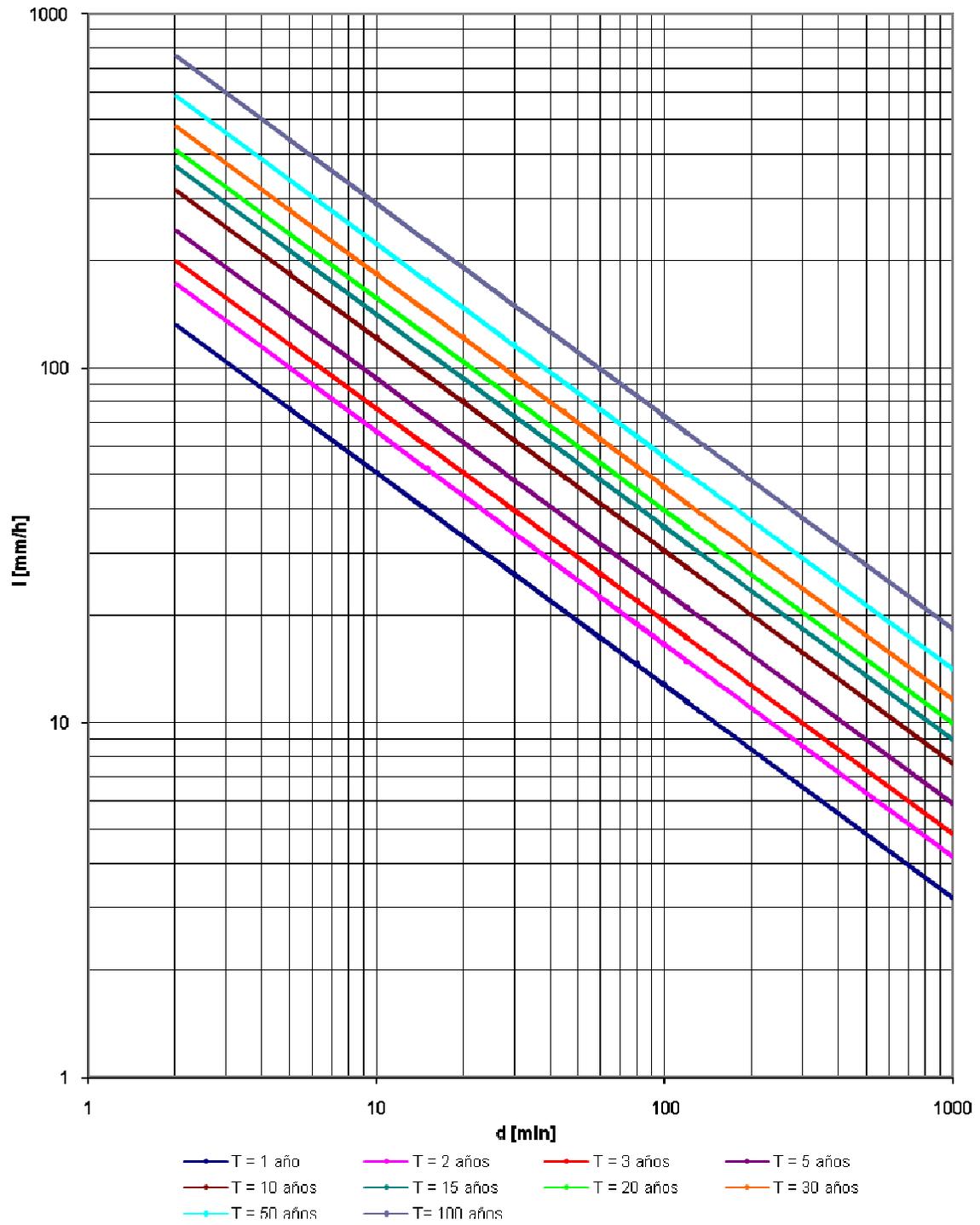
**Curvas i-d-T
Estación G. D. F.**



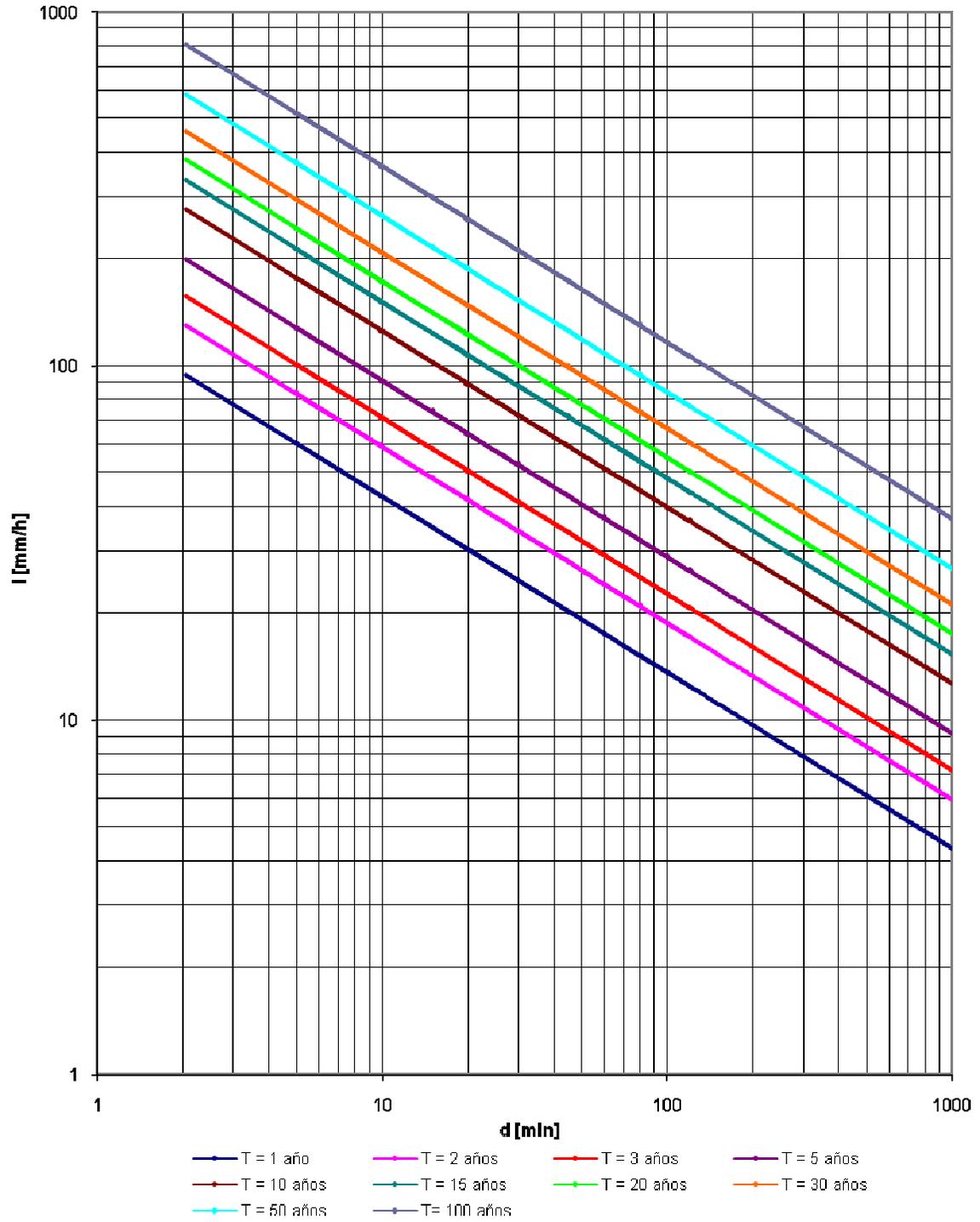
Curvas i-d-T Estación Juchitepec



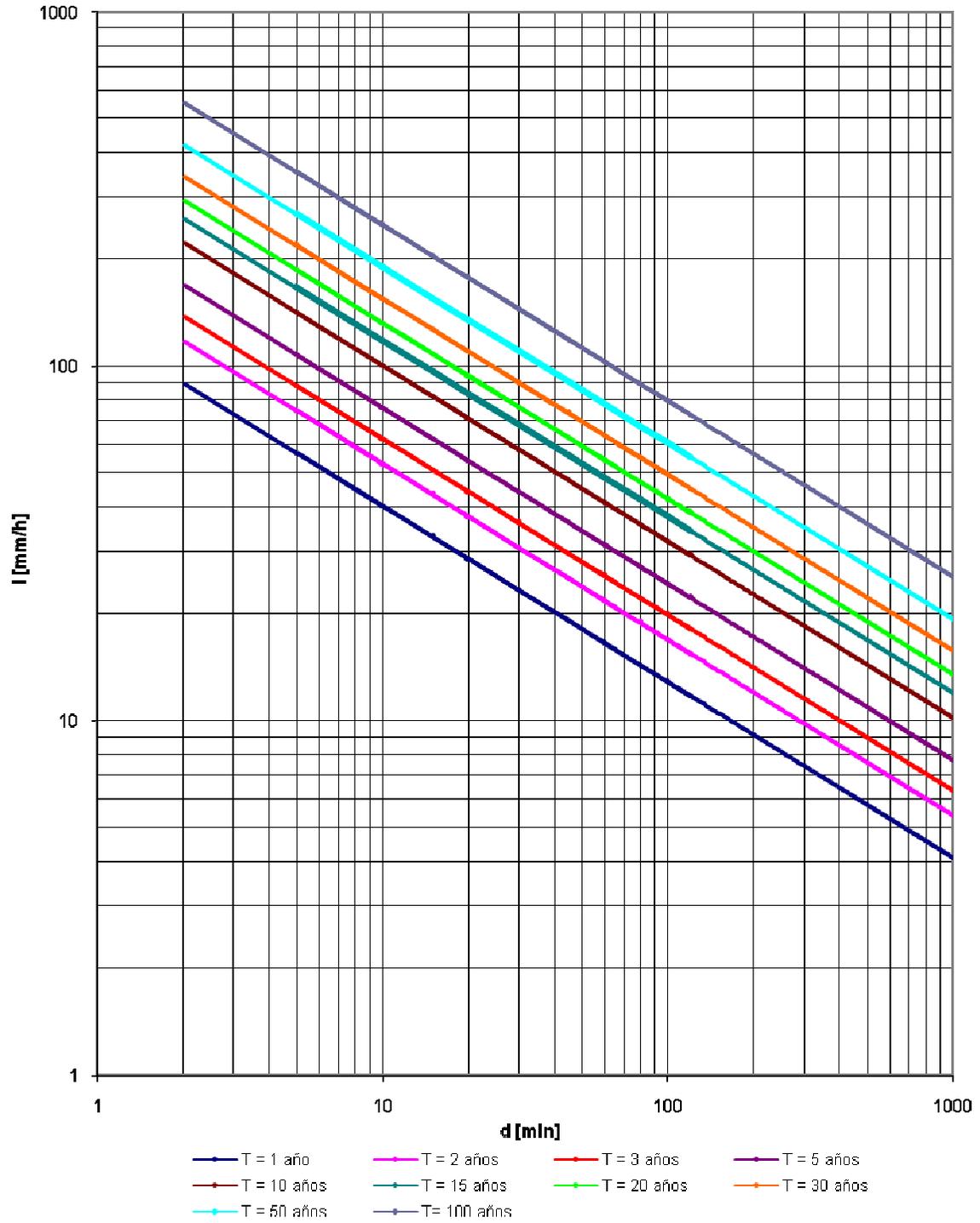
Curvas i-d-T Estación Milpa Alta



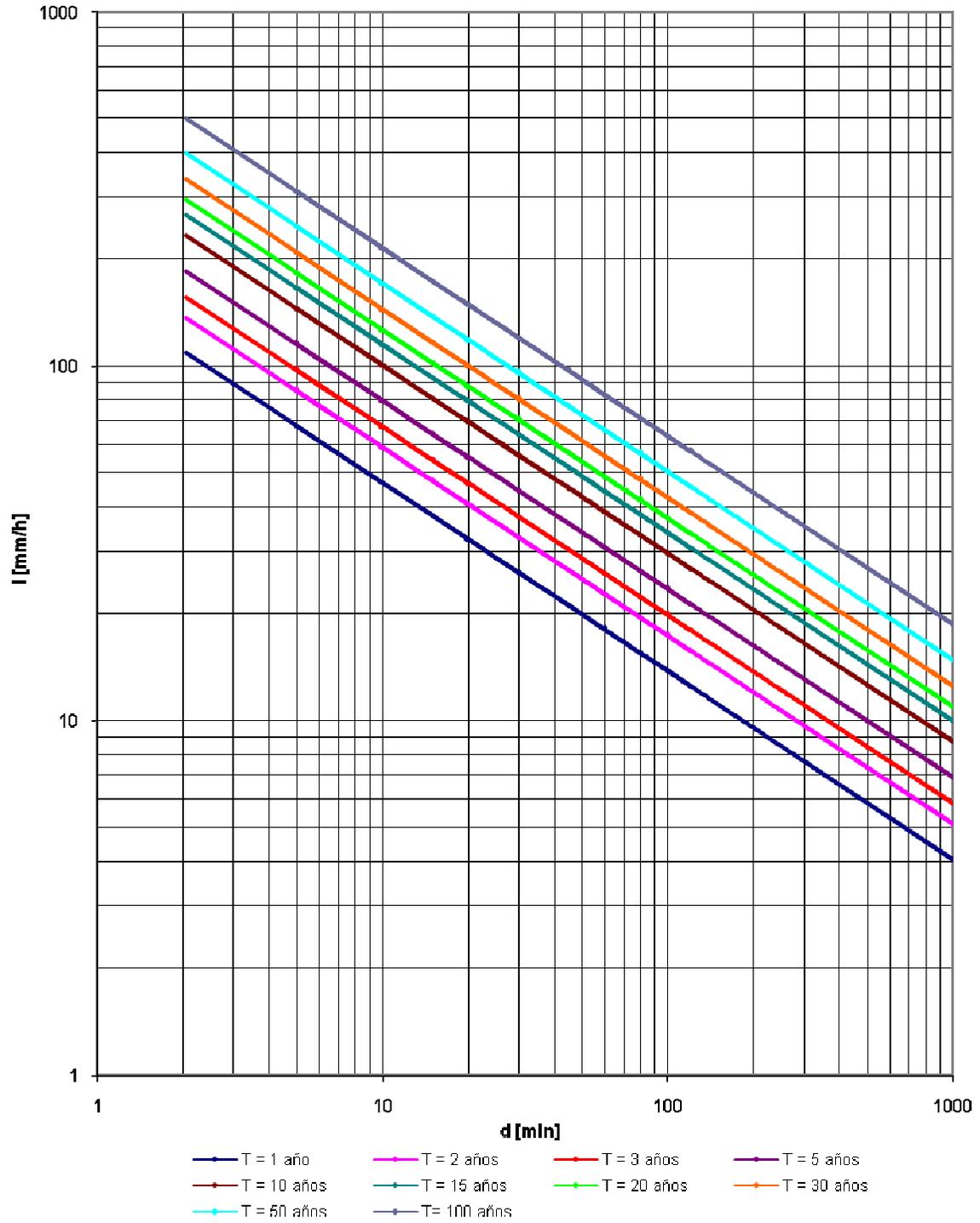
Curvas i-d-T
Estación P. B. Aculco



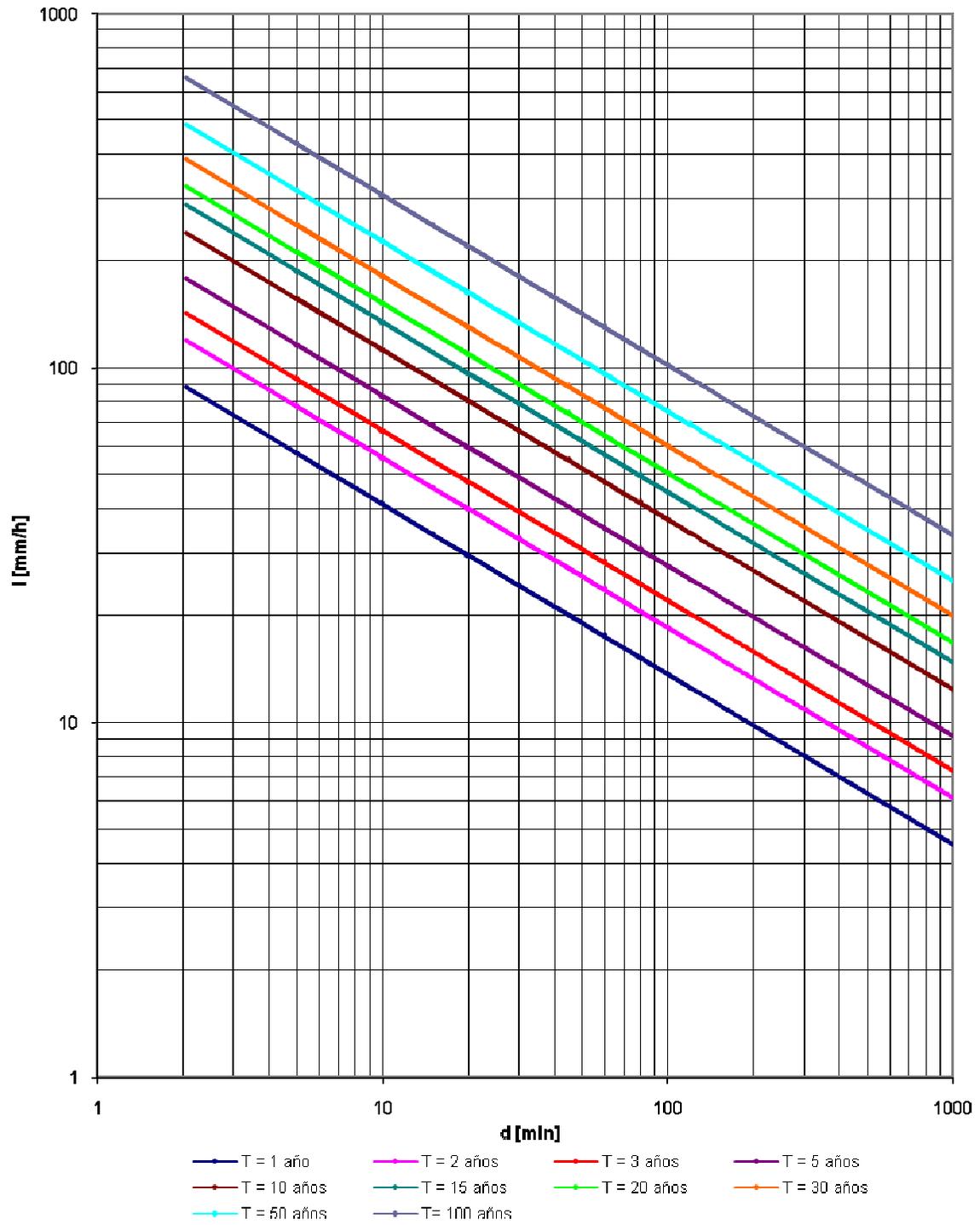
Curvas i-d-T
Estación P. B. Churubusco Lago



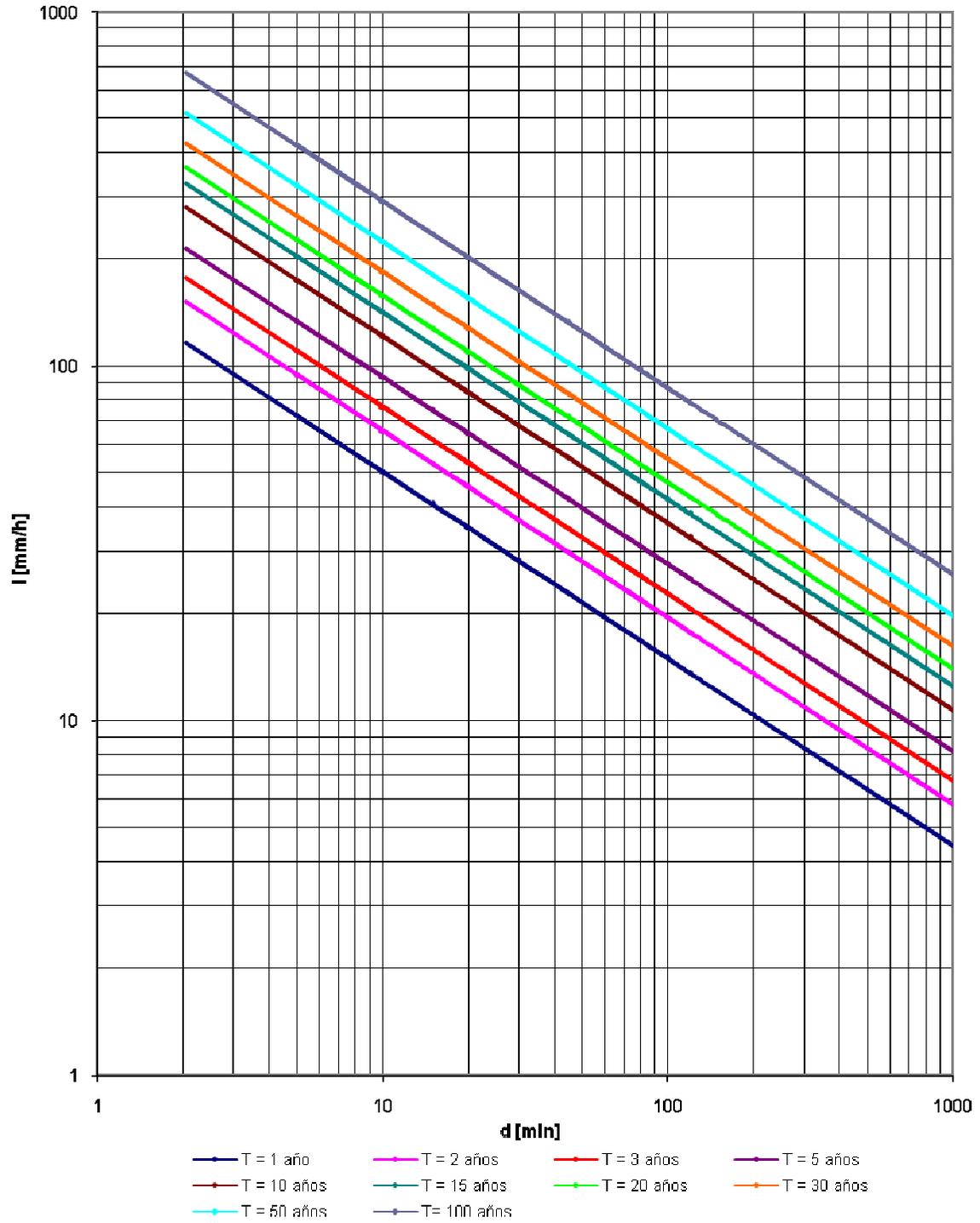
Curvas i-d-T Estación P. B. López Mateos



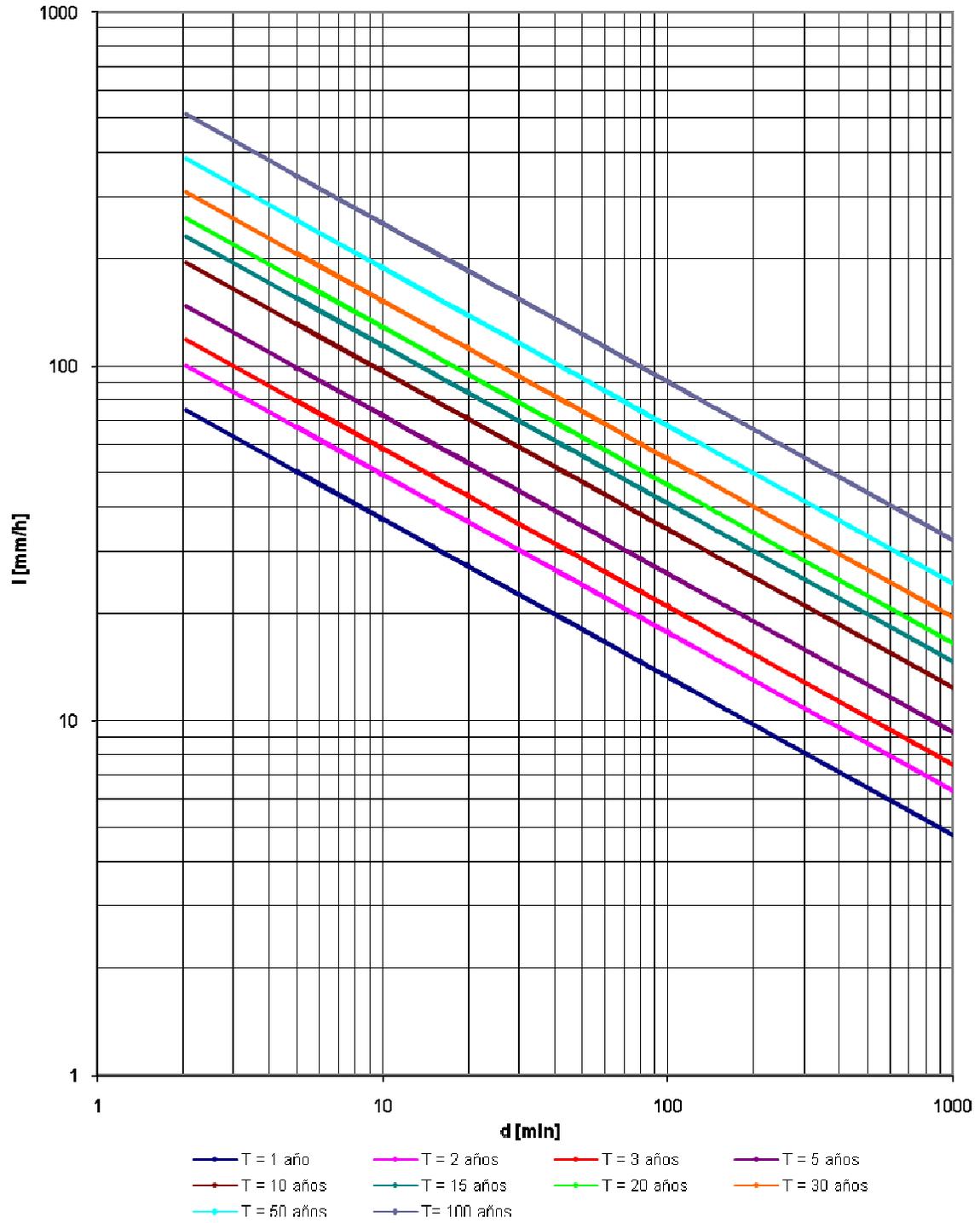
Curvas i-d-T
Estación P. B. Nueva Santa María



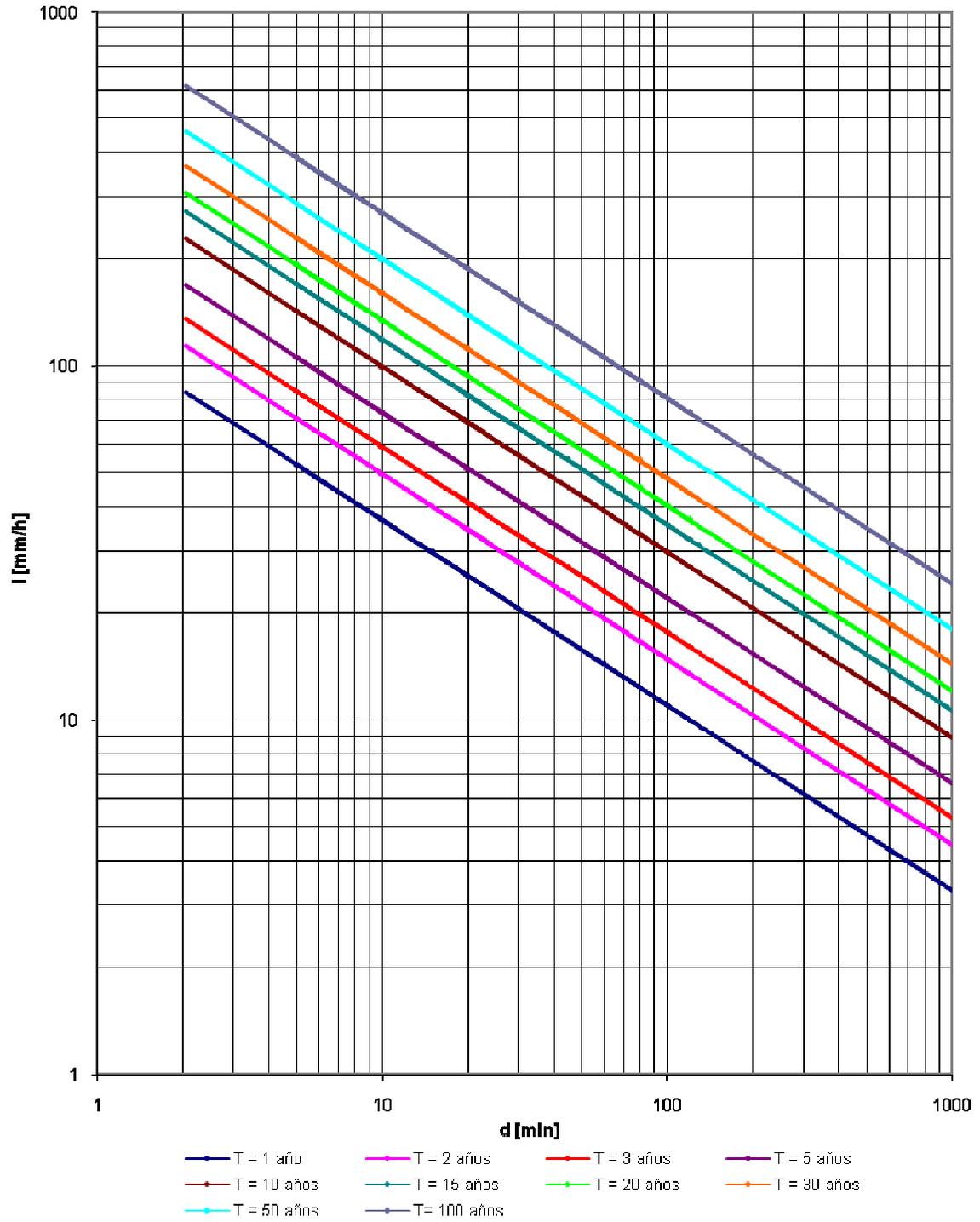
**Curvas i-d-T
Estación P. B. Villa Coapa**



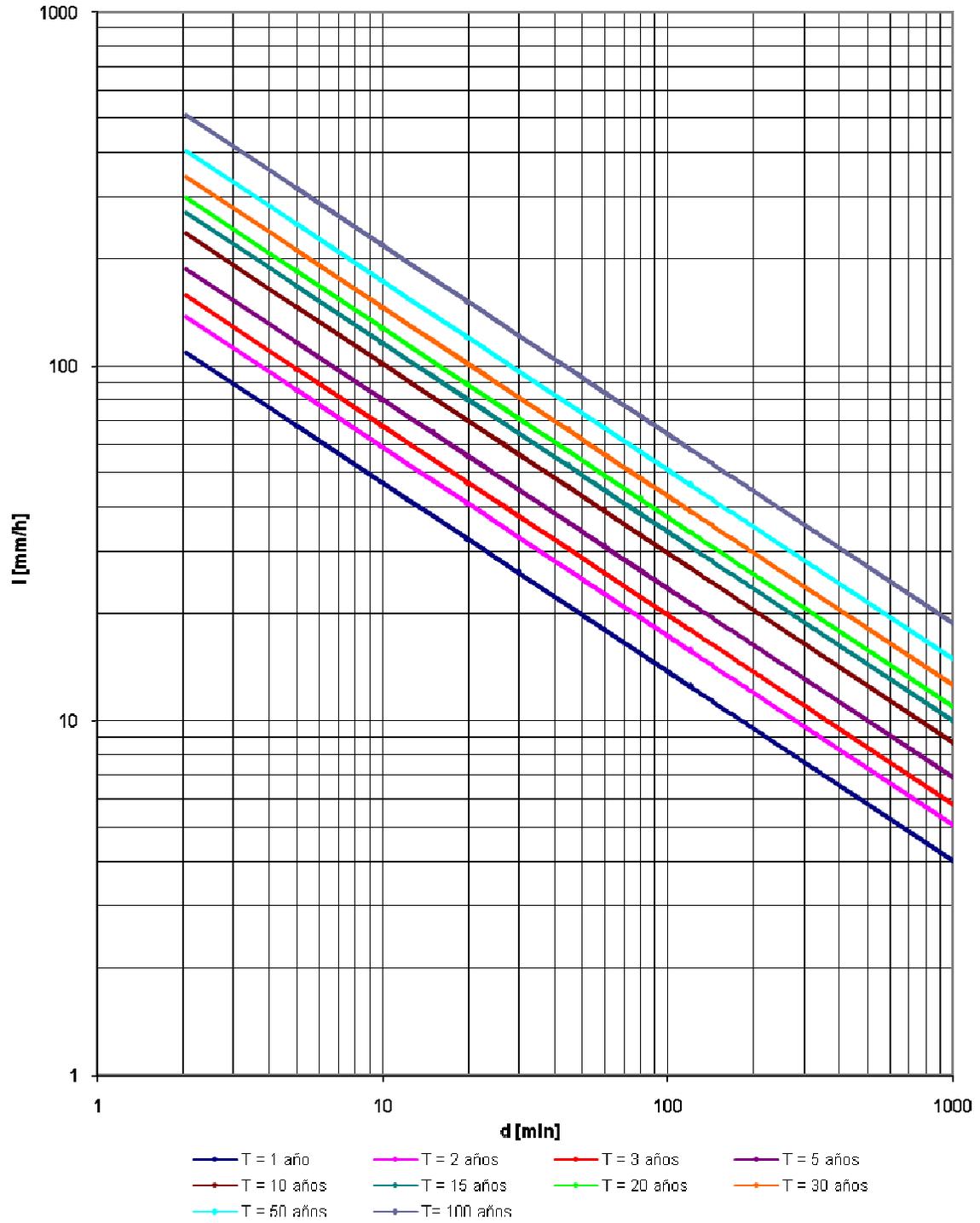
Curvas i-d-T Estación P. T. La Estrella



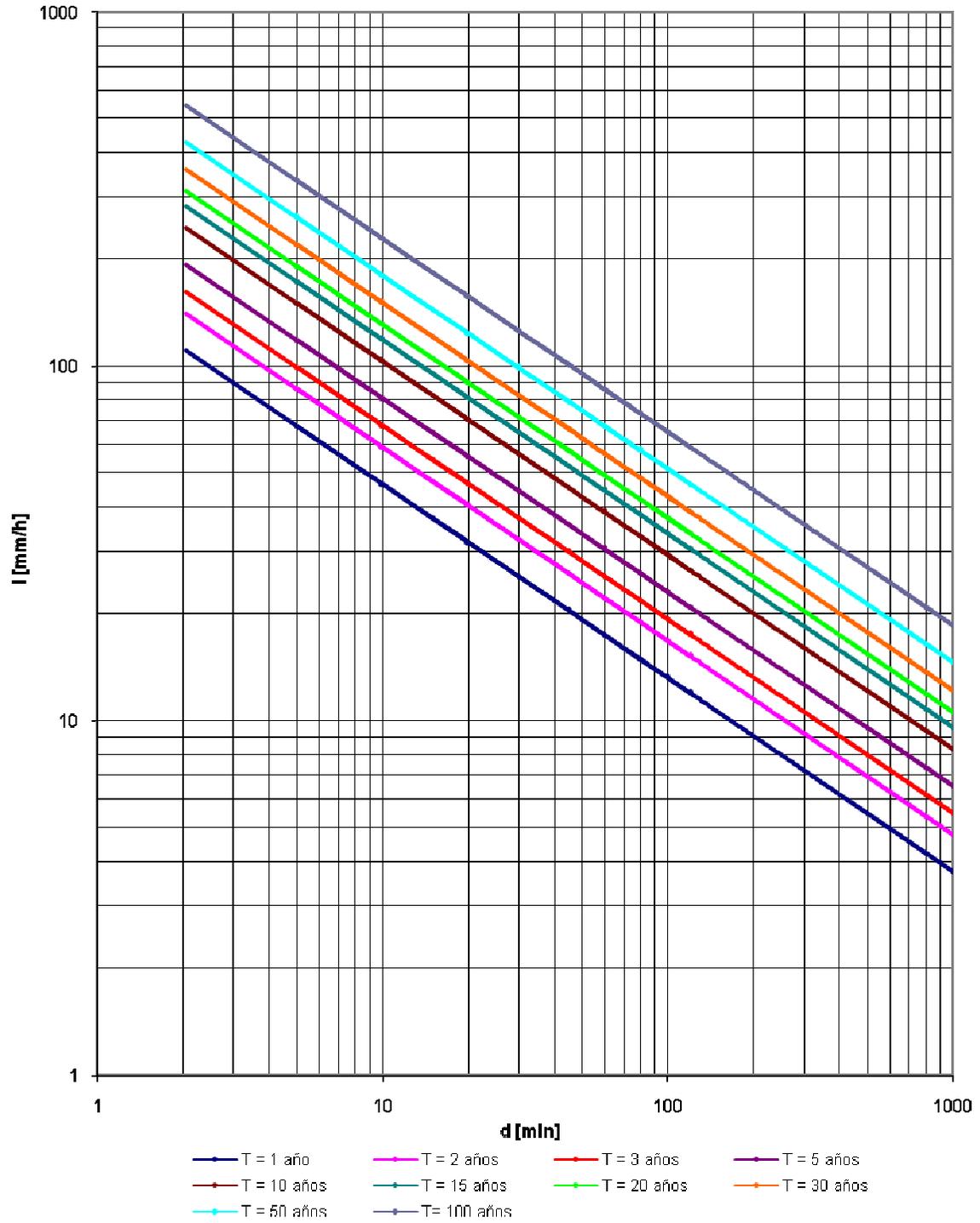
Curvas i-d-T
Estación P. T. Santa Catarina



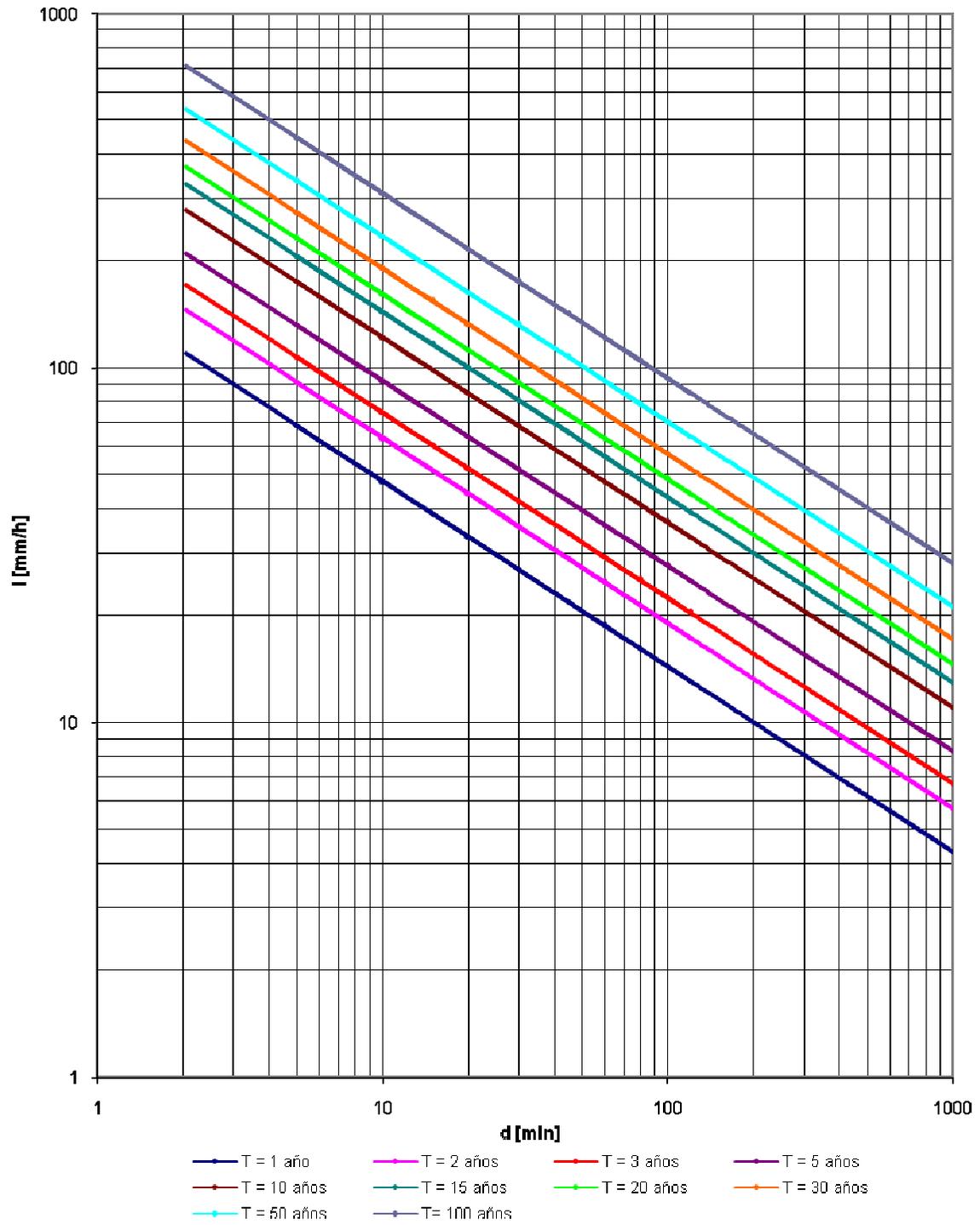
Curvas i-d-T Estación Planta Generadora 101



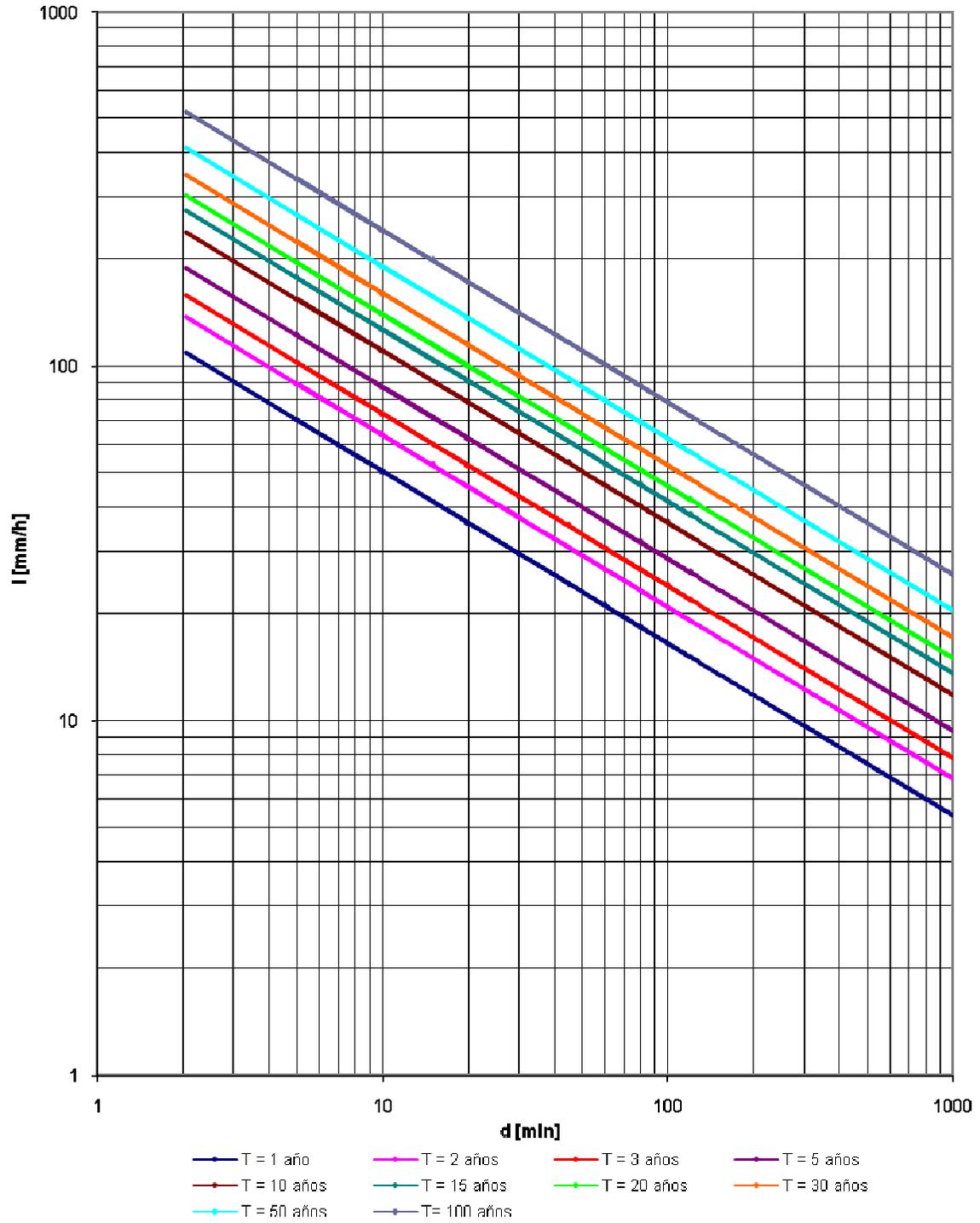
Curvas i-d-T
Estación Planta Xotepingo



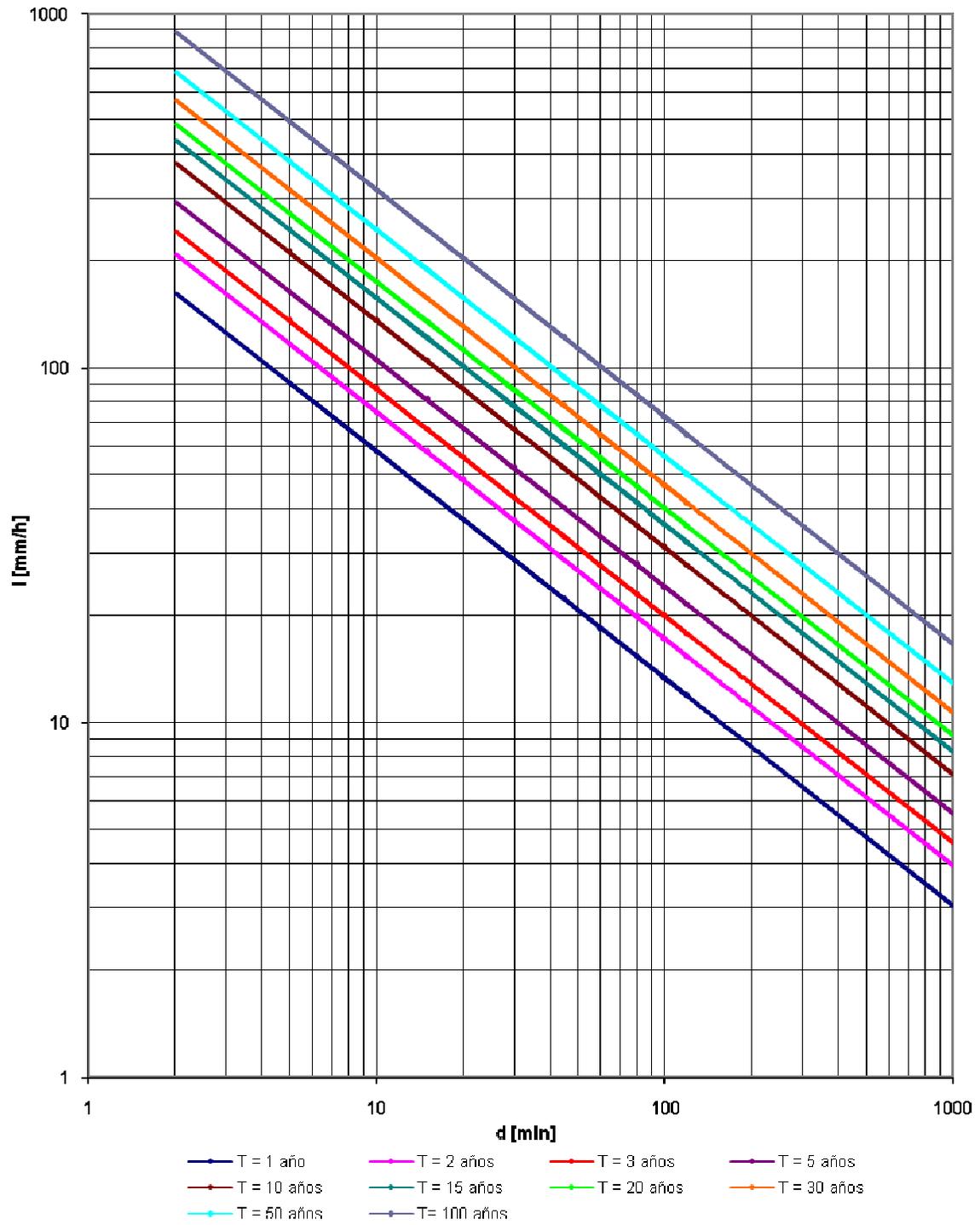
Curvas i-d-T Estación Radiocomunicación



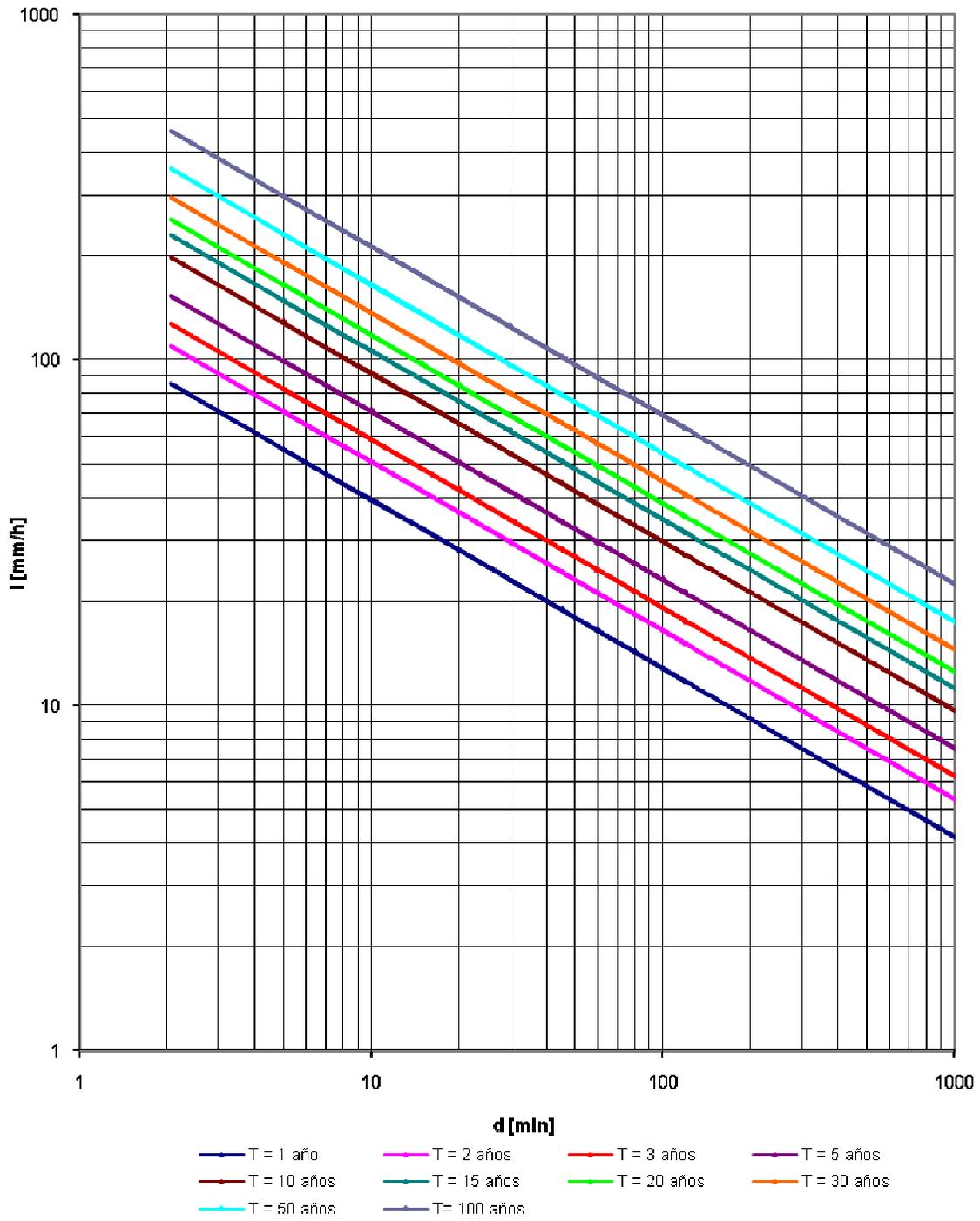
Curvas i-d-T
Estación Rebombeo Bosque de Tlalpan



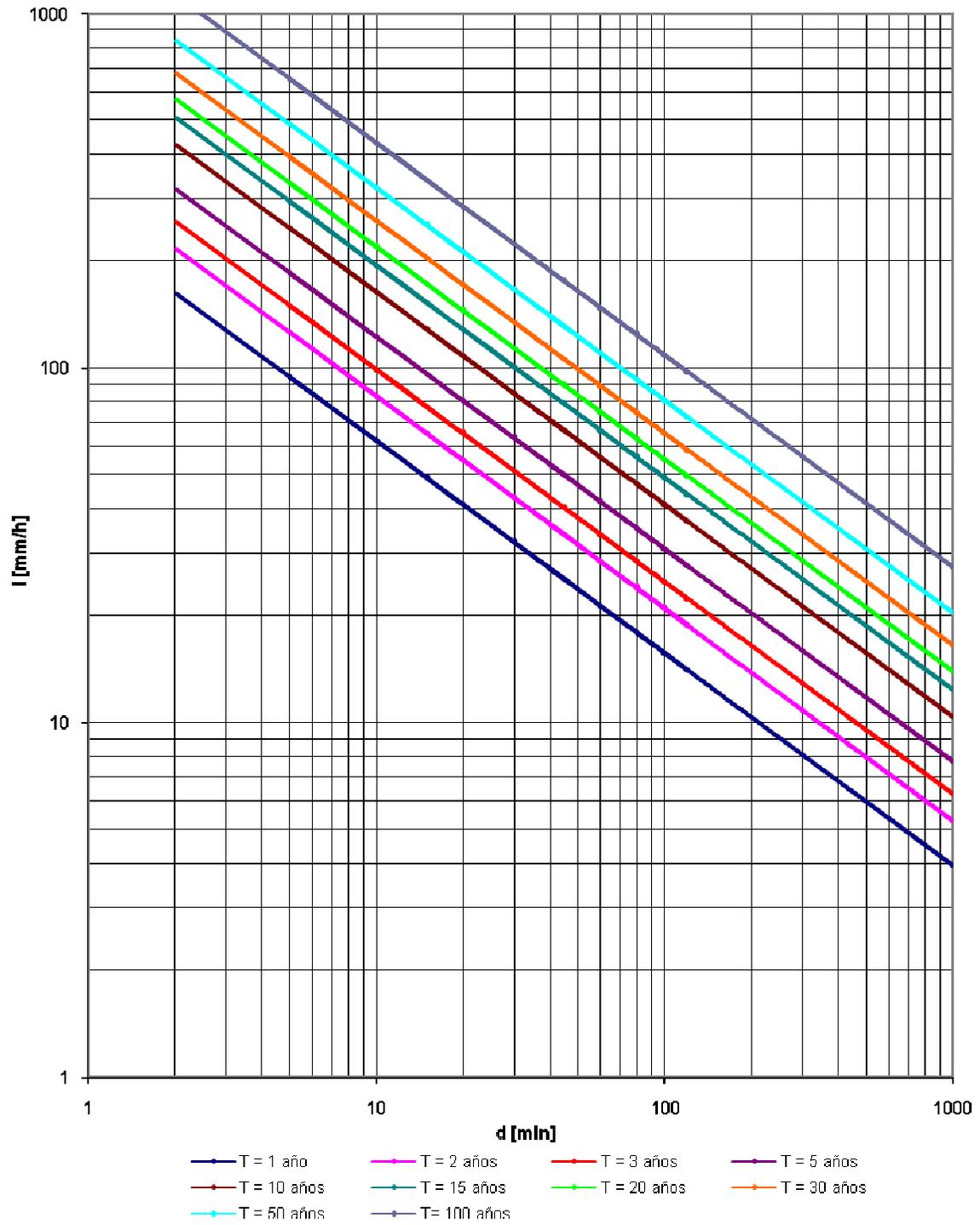
**Curvas i-d-T
Estación San Pedro Nexapa**



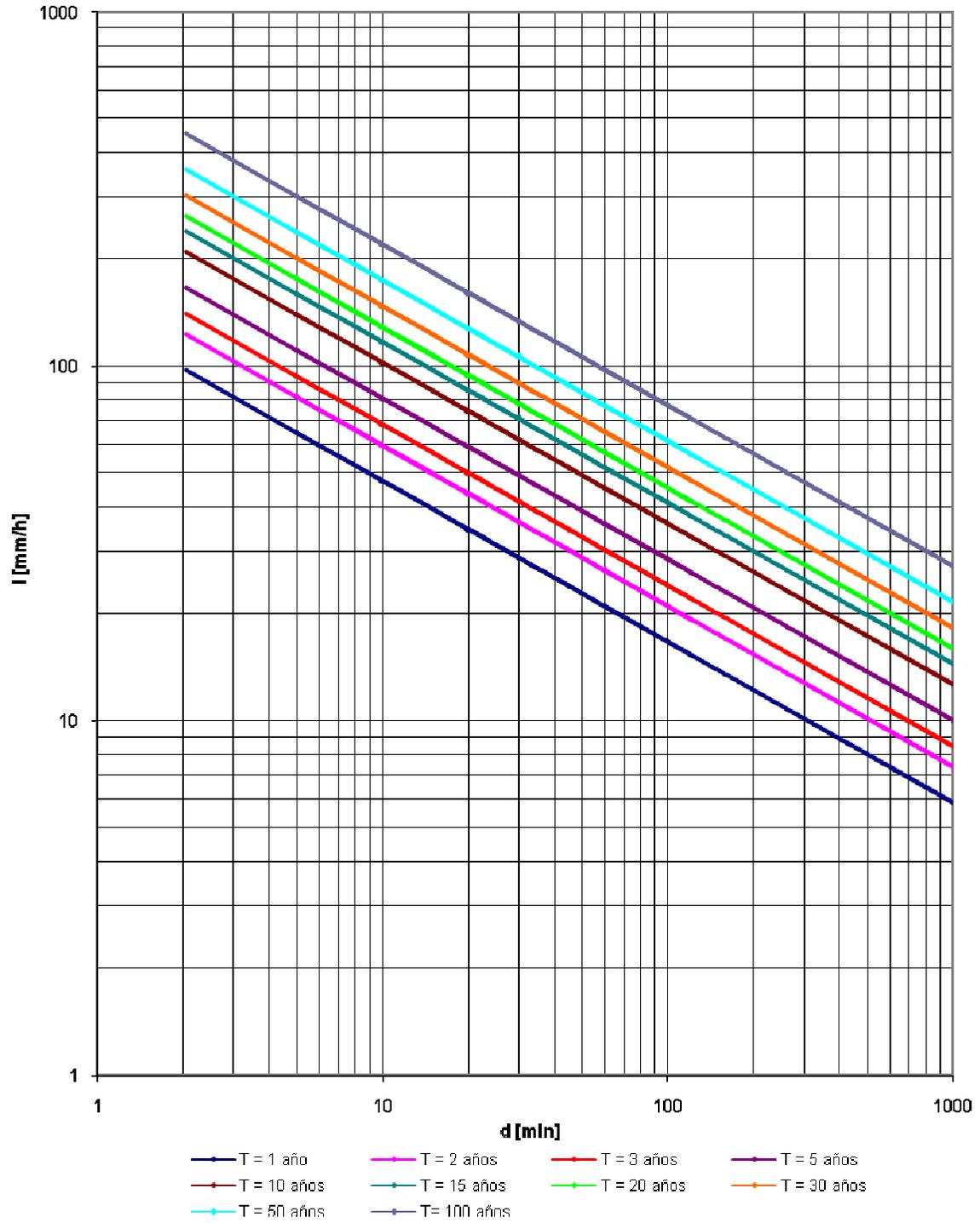
Curvas i-d-T Estación San Pedro Tláhuac



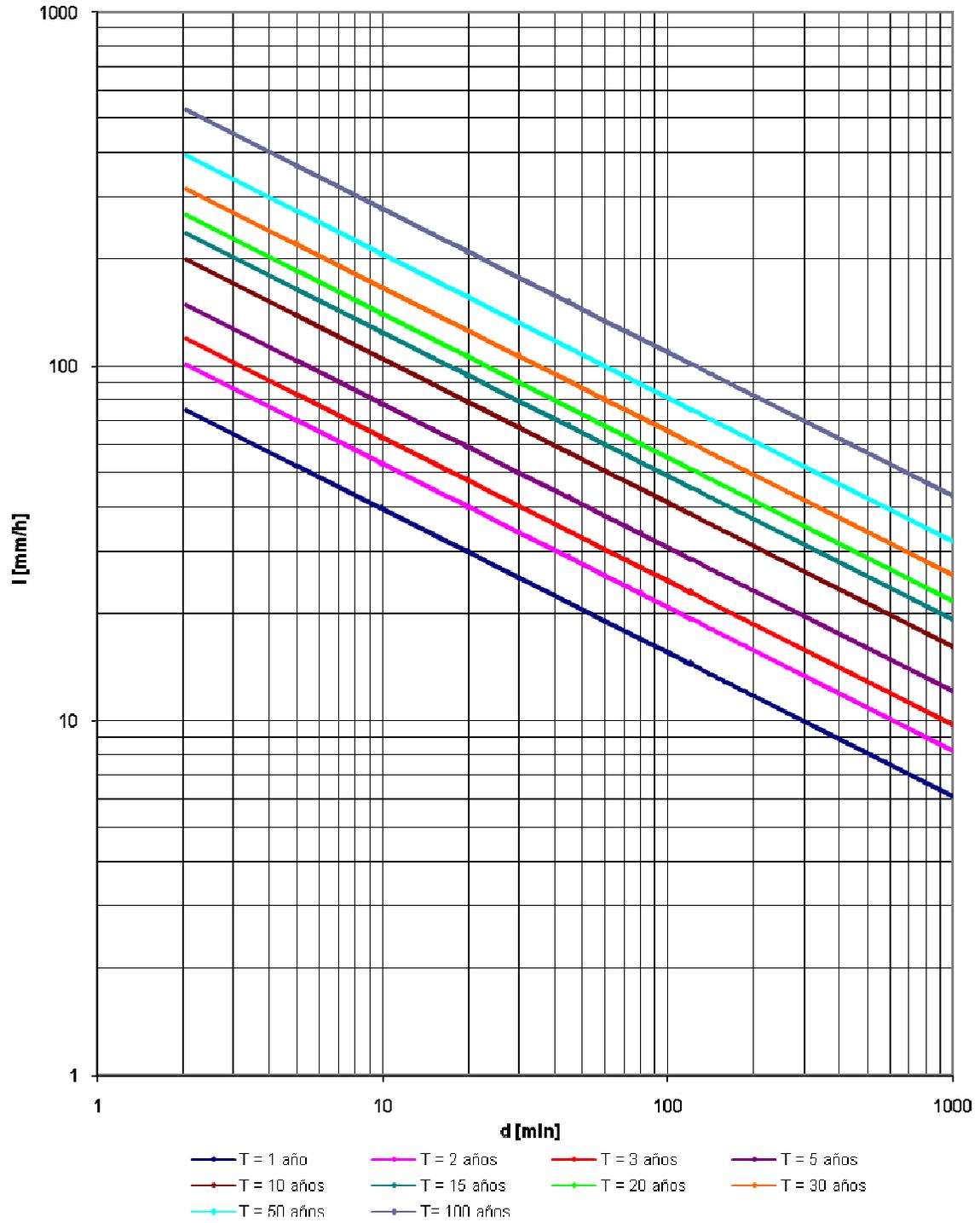
Curvas i-d-T Estación San Rafael



Curvas i-d-T
Estación Tanque San Pedro Mártir

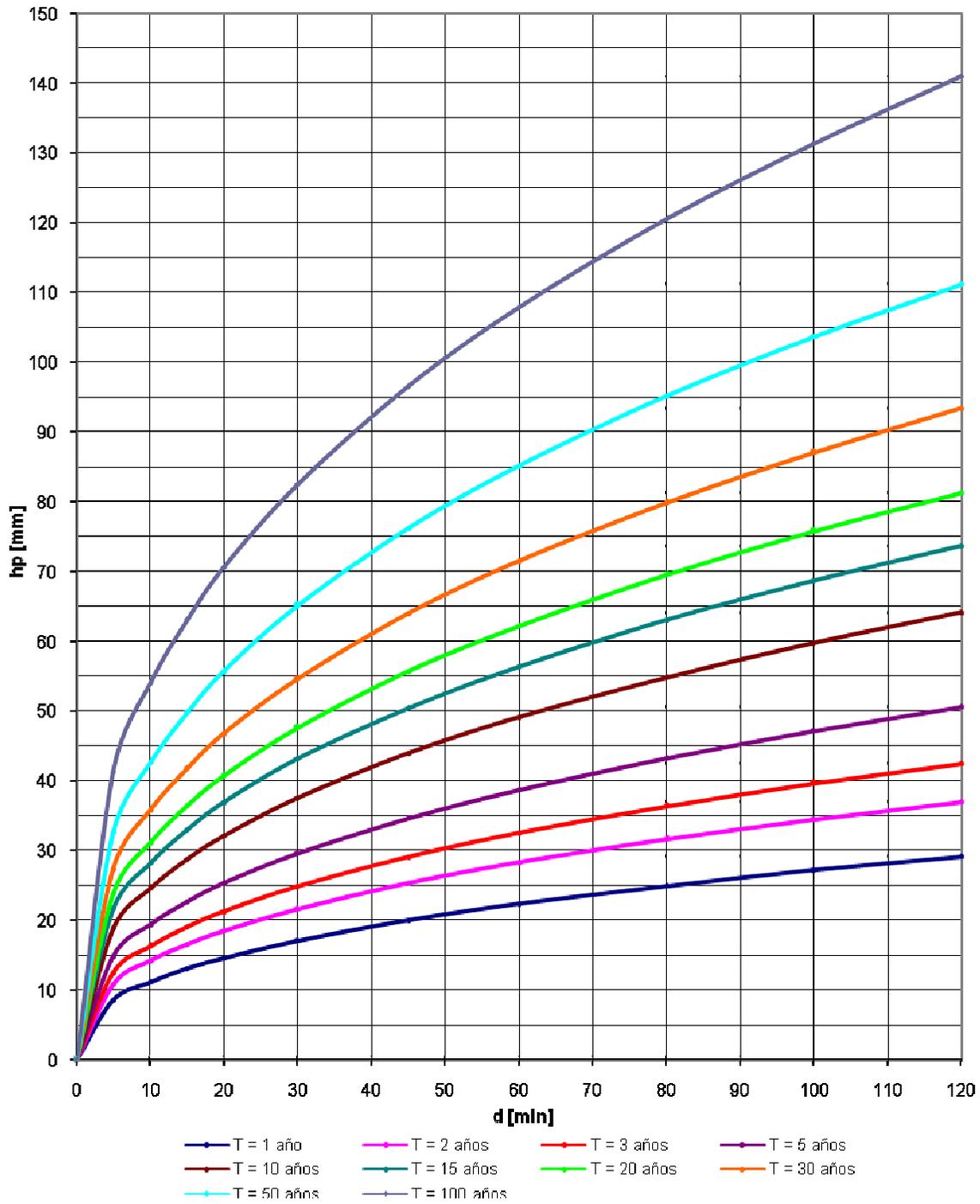


Curvas i-d-T Estación Topilejo

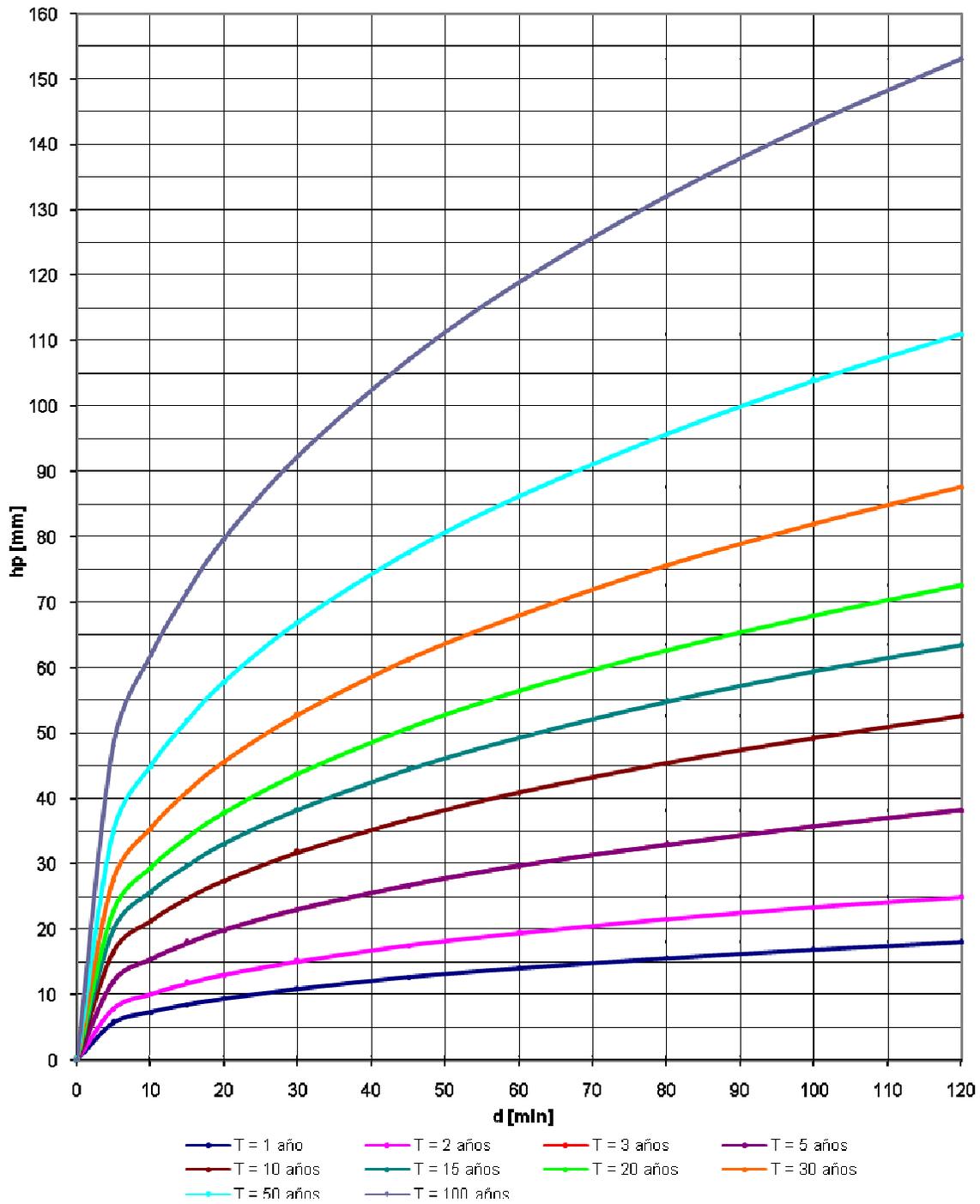


ANEXO 3: CURVAS MASA ACUMULADA

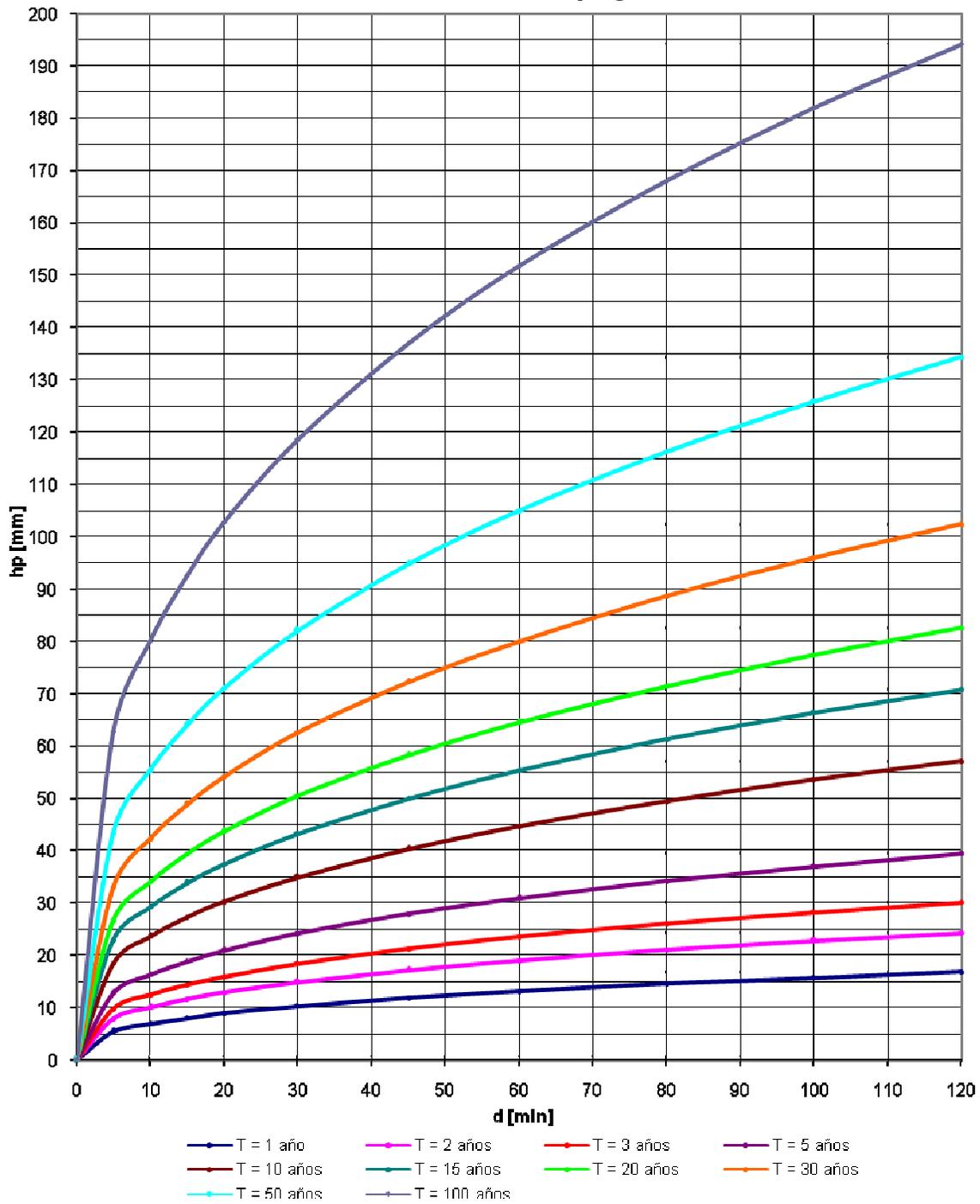
Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación Amecameca



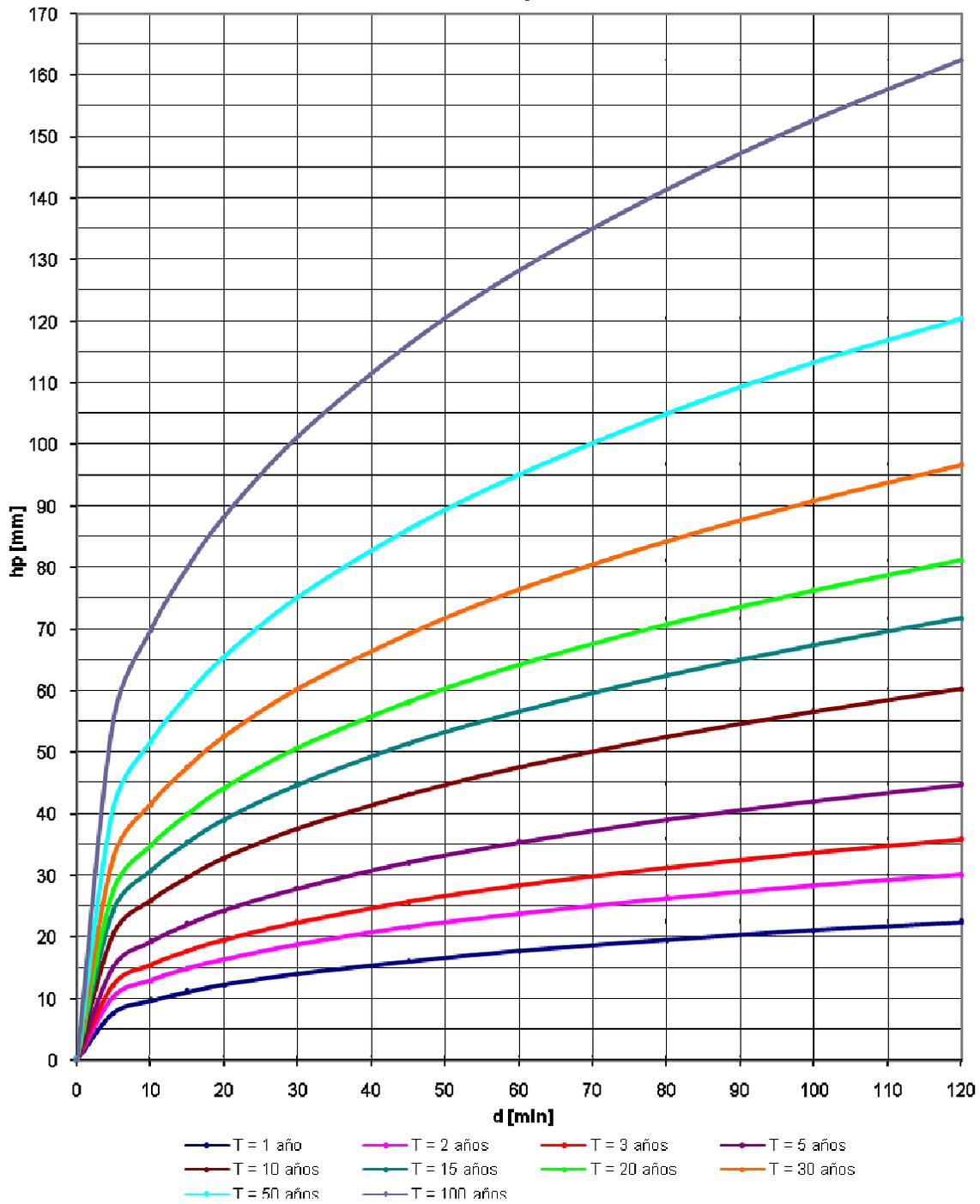
Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno Estación Chalco



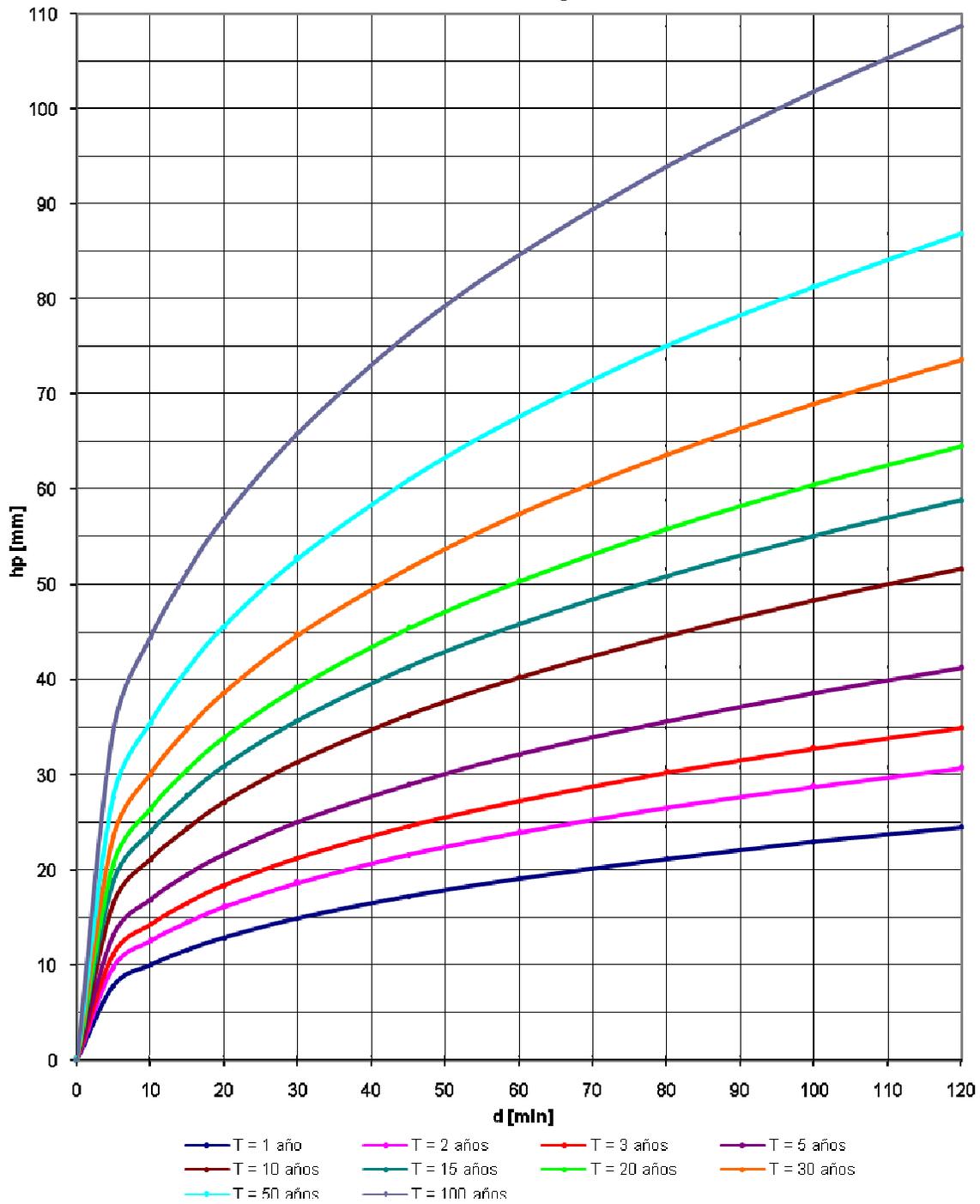
Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno Estación Chapingo



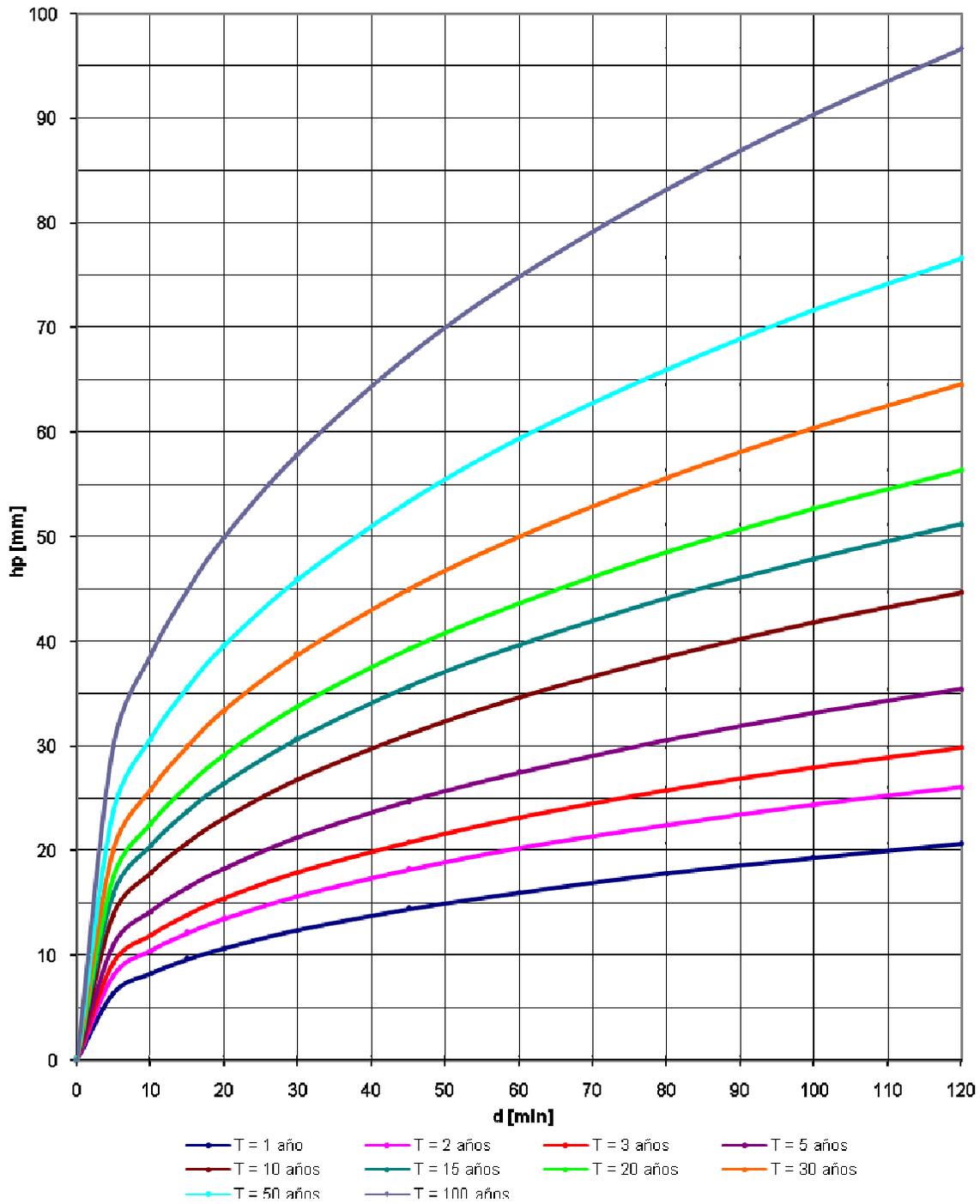
**Lluvia acumulada a dos horas. para diferentes periodos de retorno
Estación Coatepec de los Olivos**



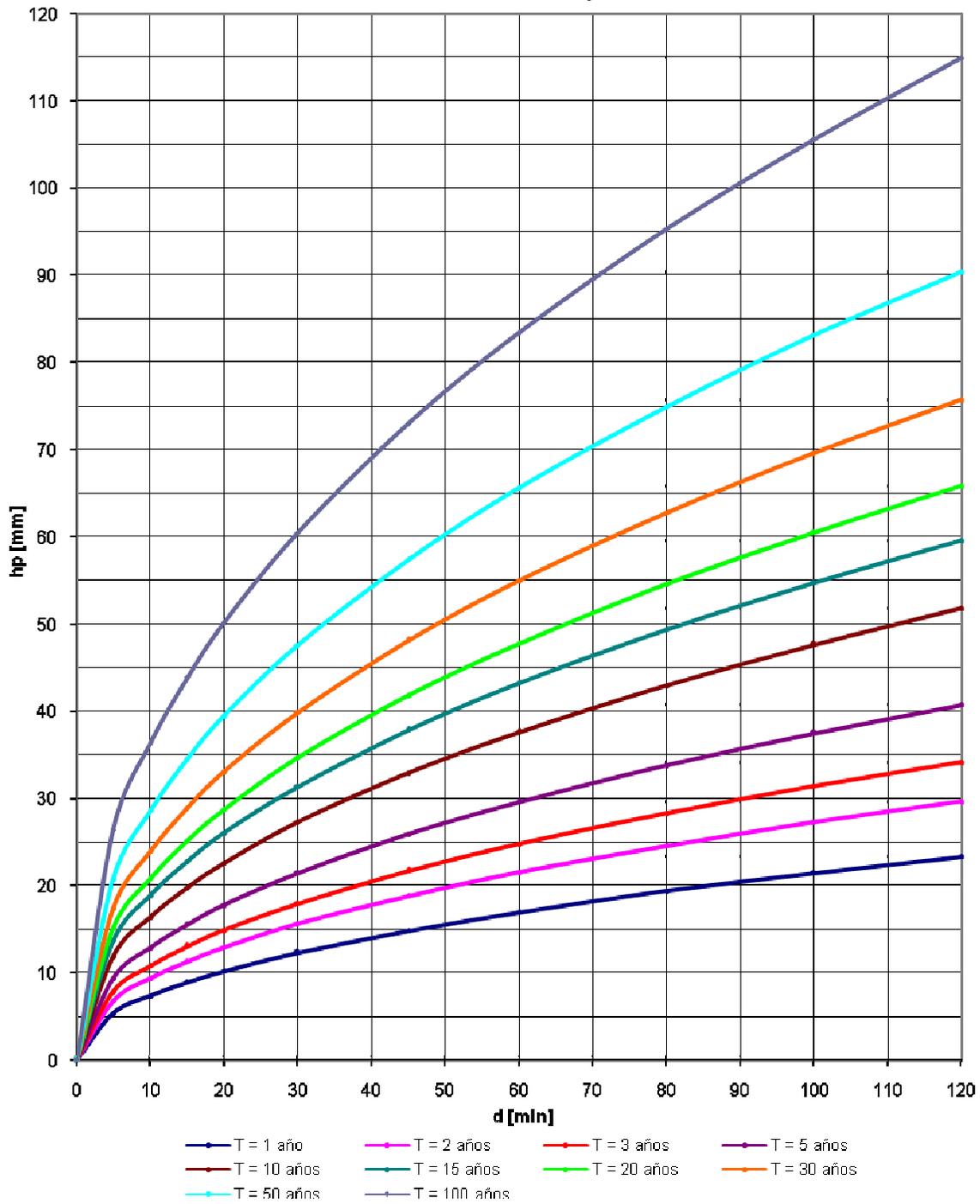
**Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación Colonia Agrícola Oriental**



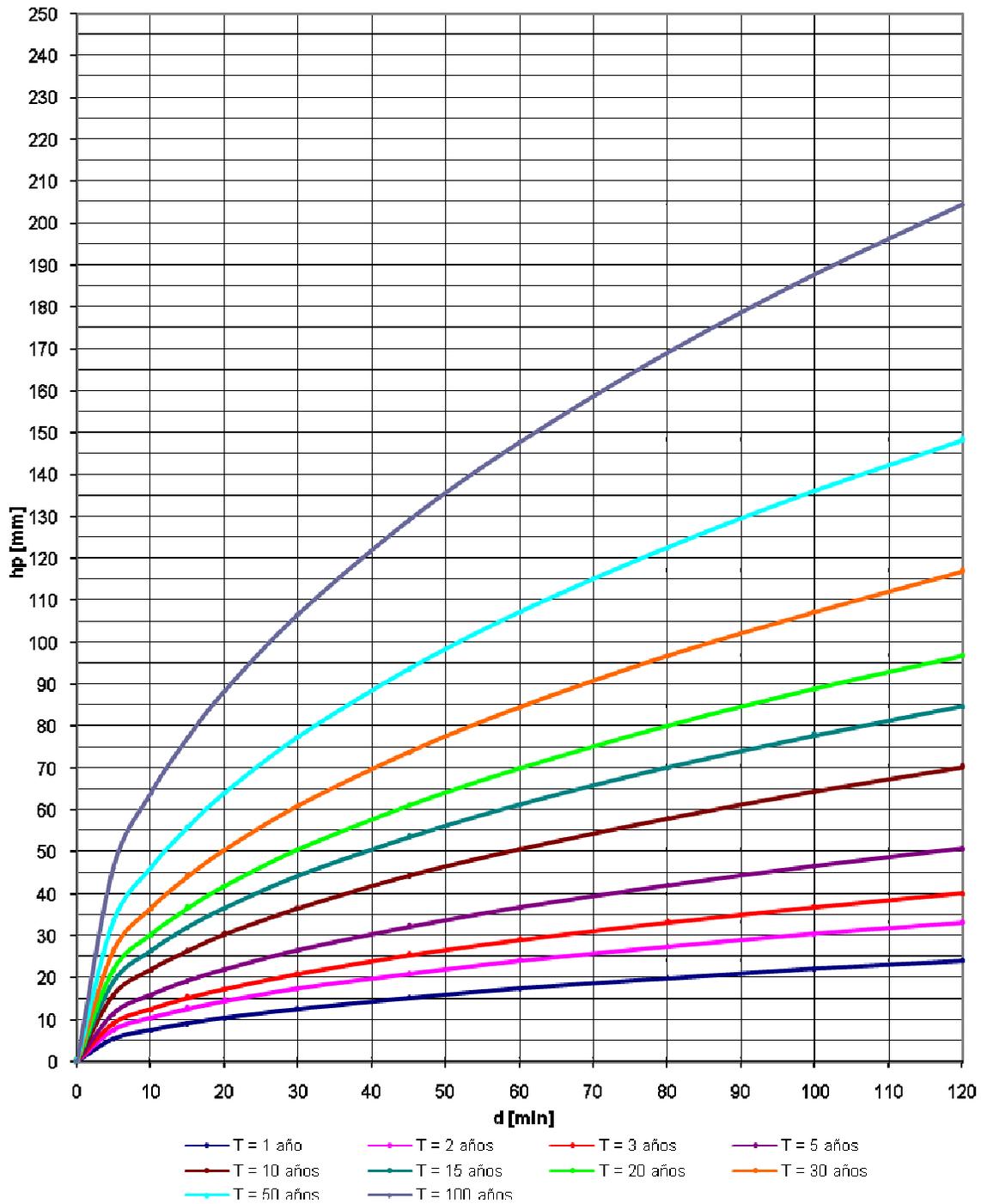
**Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación Colonia Manuel Ávila Camacho**



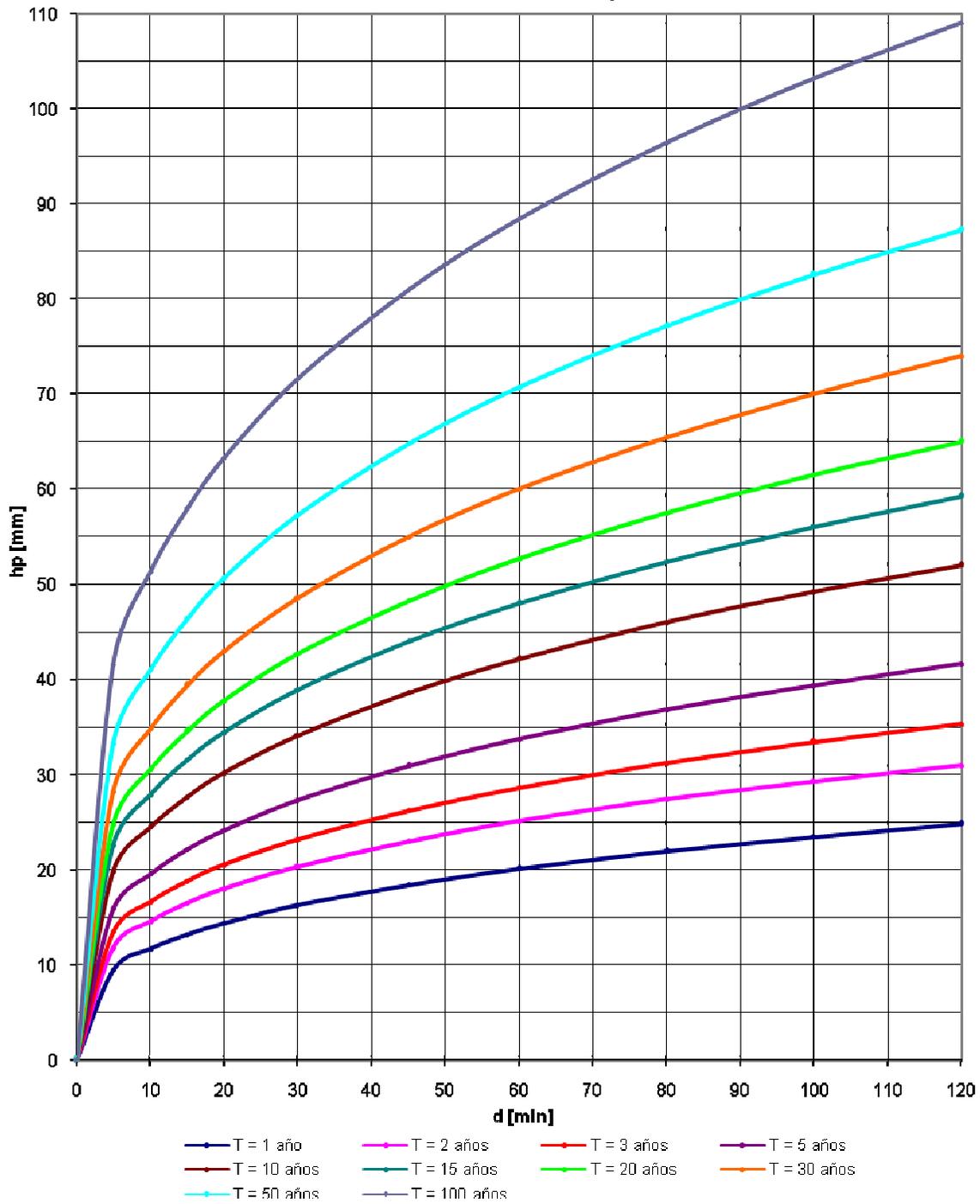
**Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación Coyal**



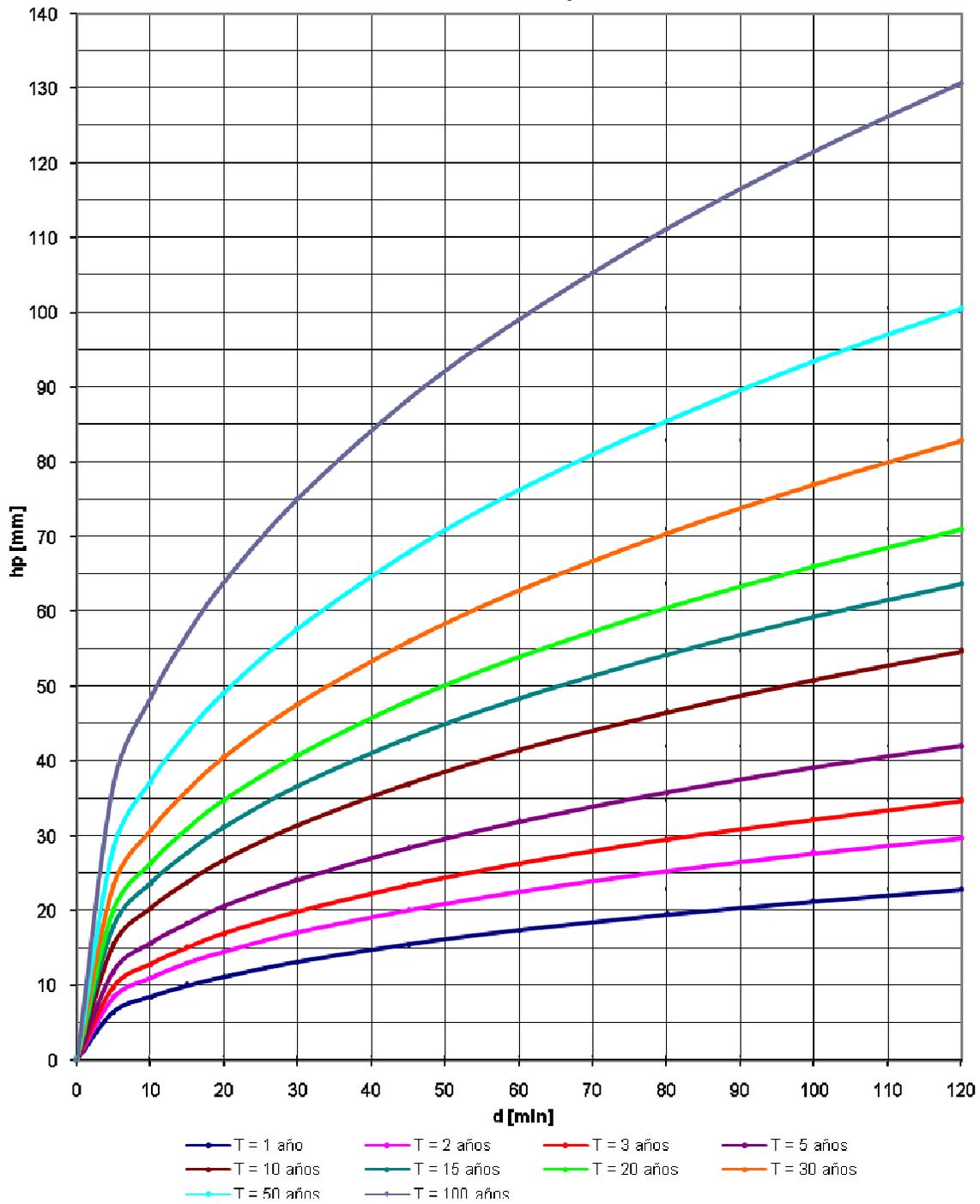
Lluvia acumulada a dos horas. para diferentes periodos de retorno Estación G. D. F.



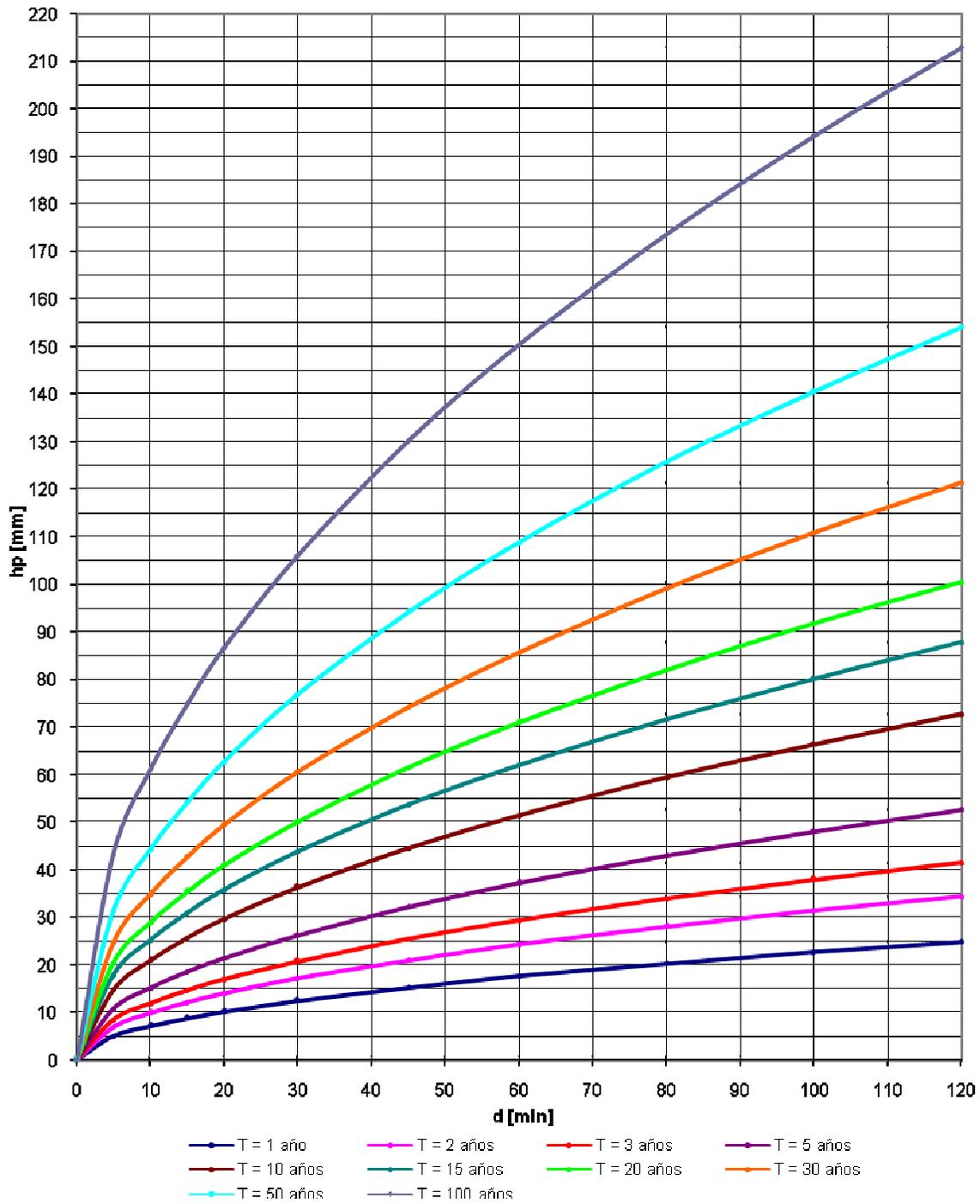
Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno Estación Juchitepec



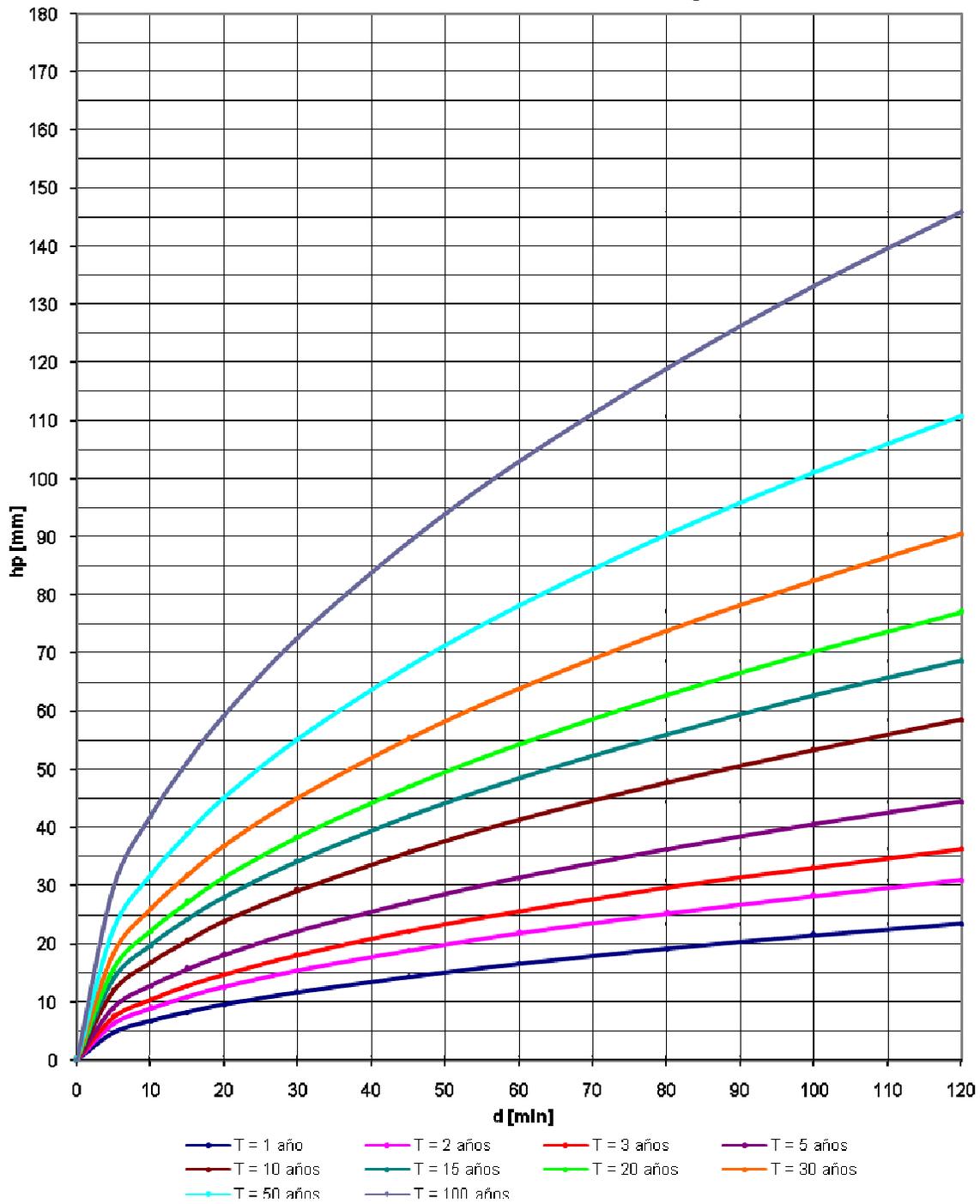
Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno Estación Milpa Alta



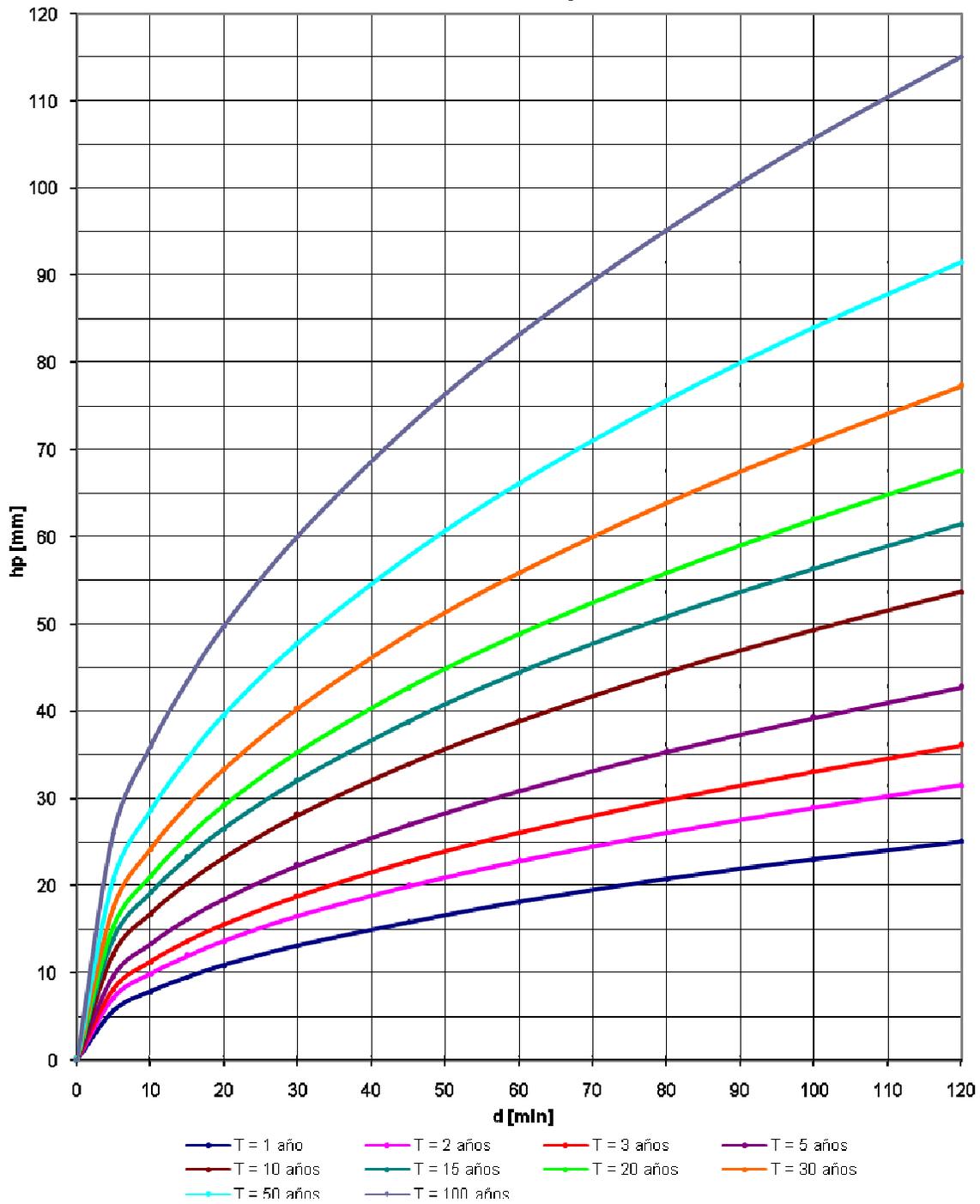
**Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación P. B. Aculco**



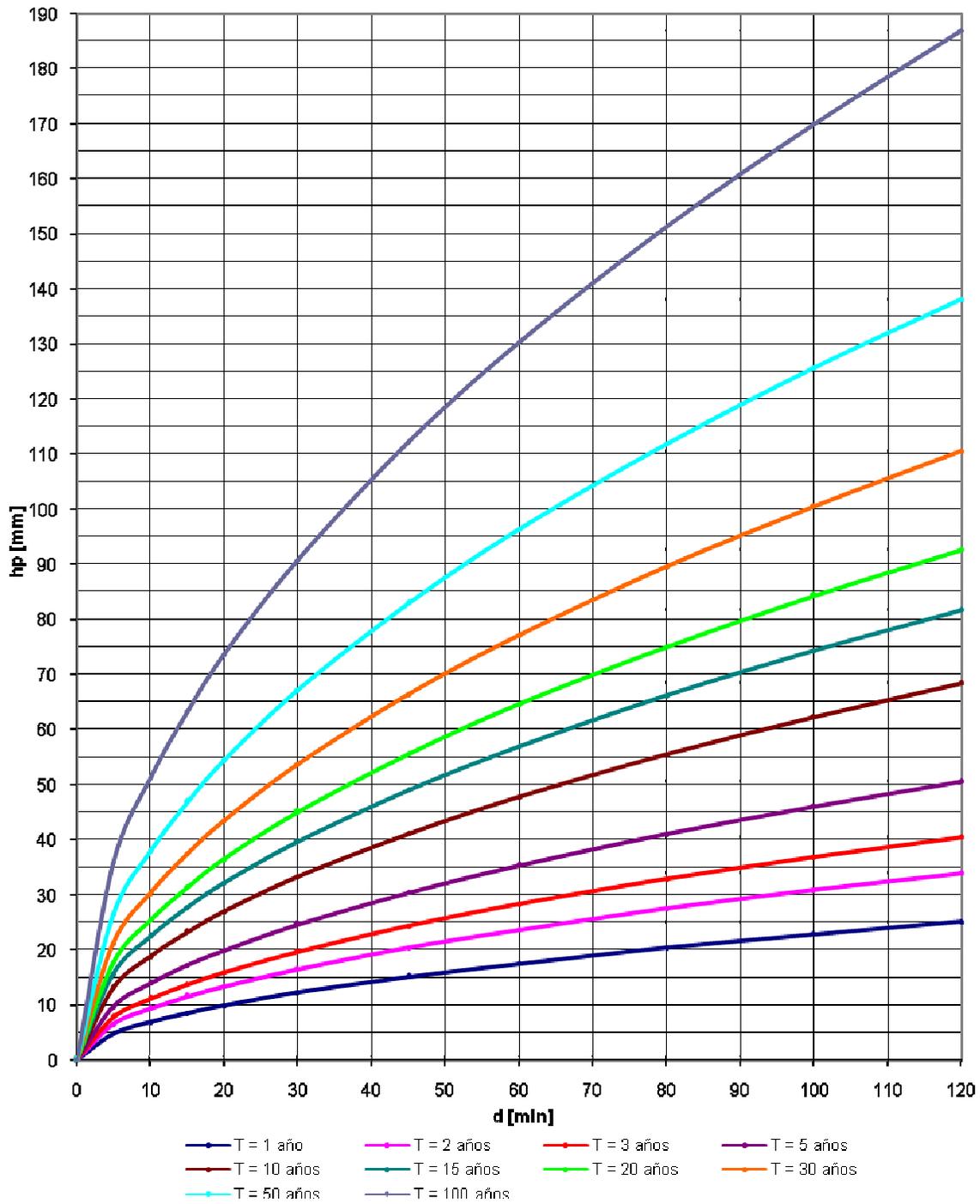
**Lluvia acumulada a dos horas. para diferentes periodos de retorno
Estación P. B. Churubusco Lago**



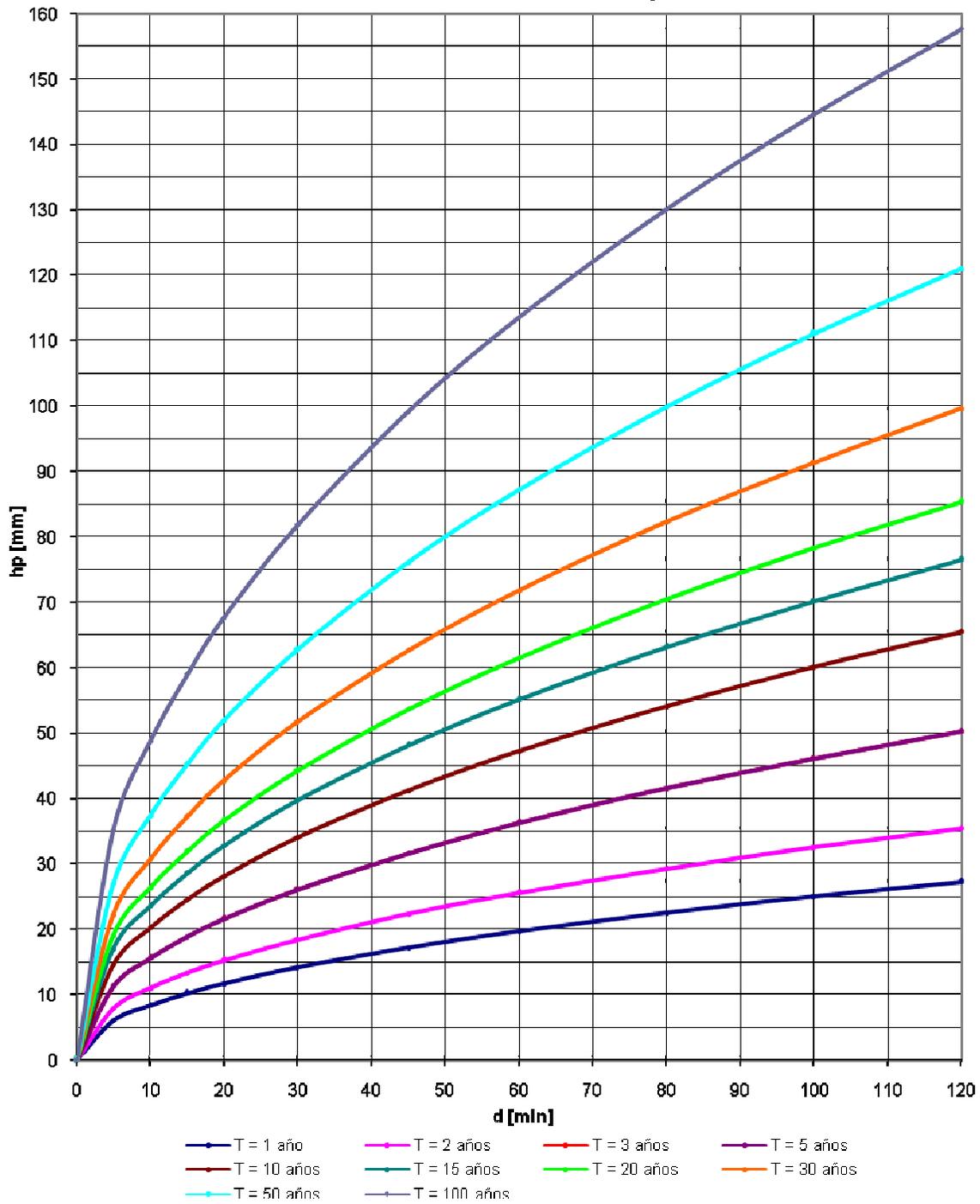
**Lluvia acumulada a dos horas. para diferentes periodos de retorno
Estación P. B. López Mateos**



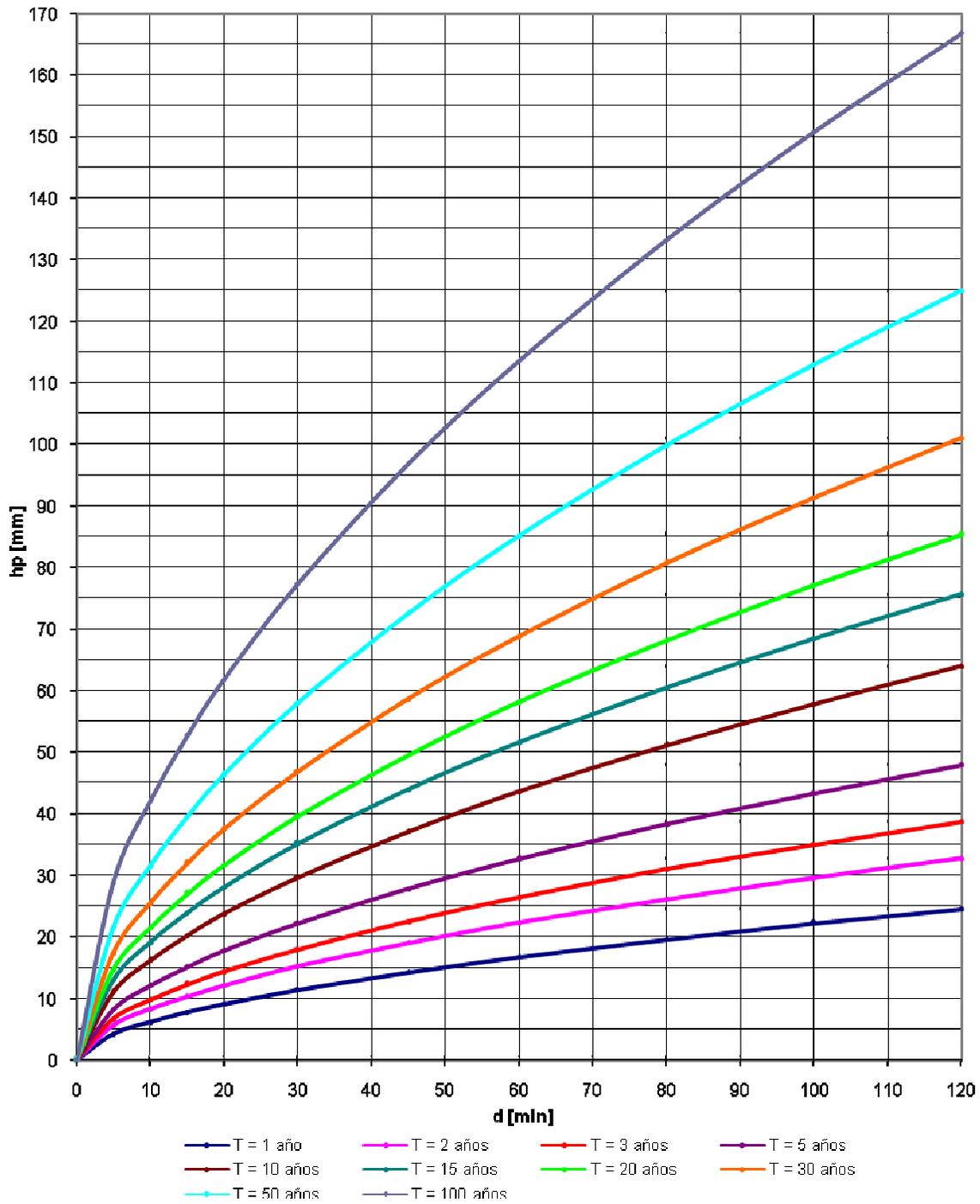
**Lluvia acumulada a dos horas. para diferentes periodos de retorno
Estación P. B. Nueva Santa María**



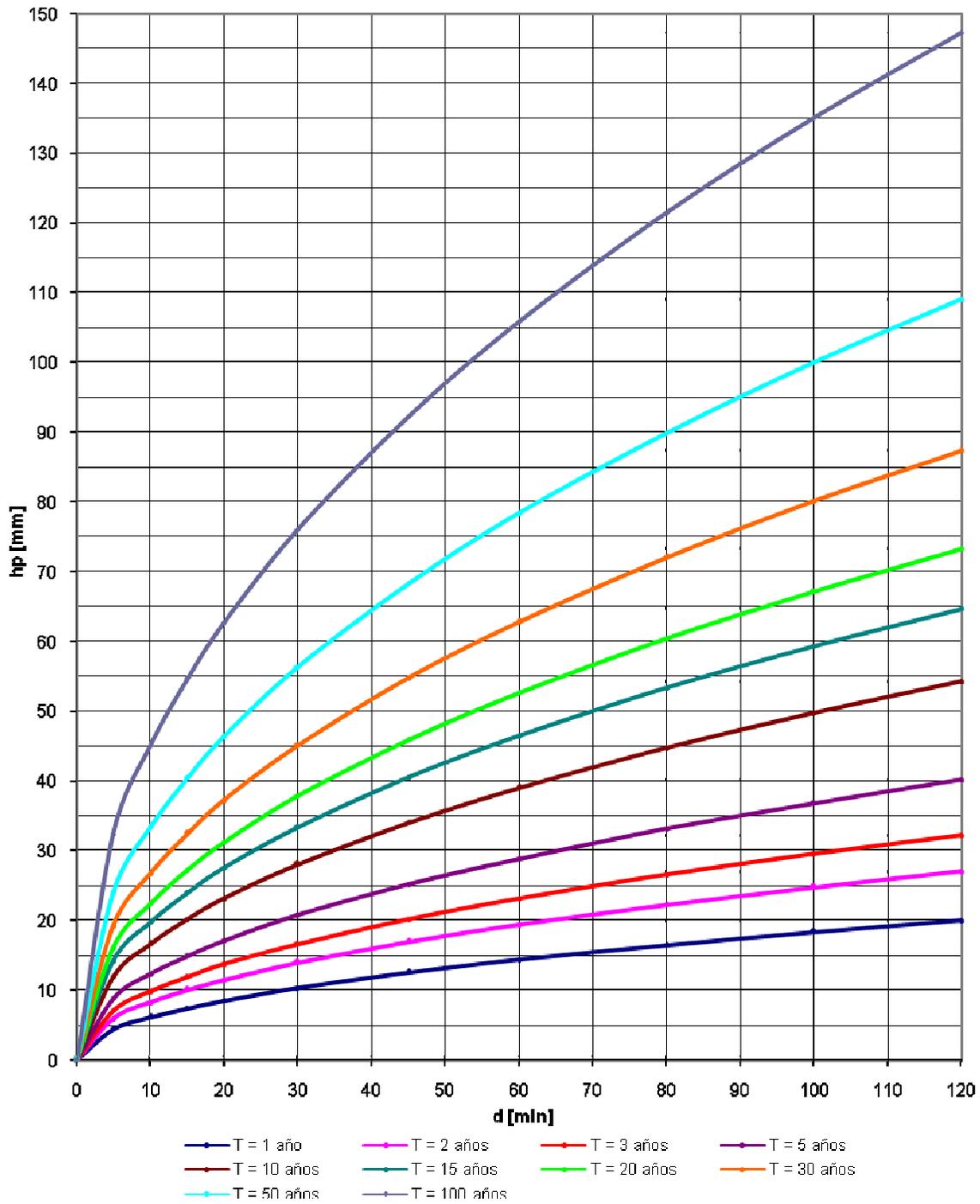
**Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación P. B. Villa Coapa**



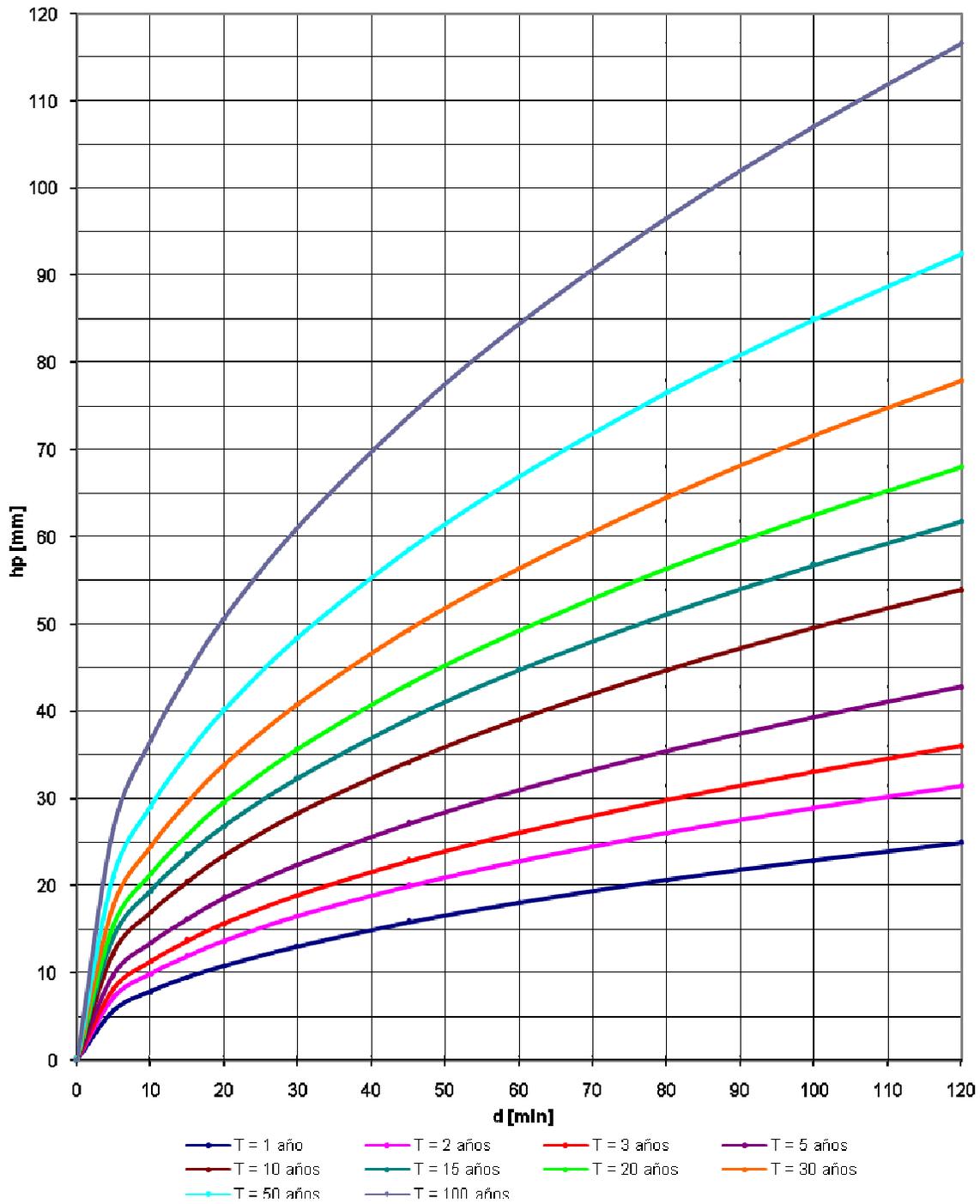
**Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación P. T. La Estrella**



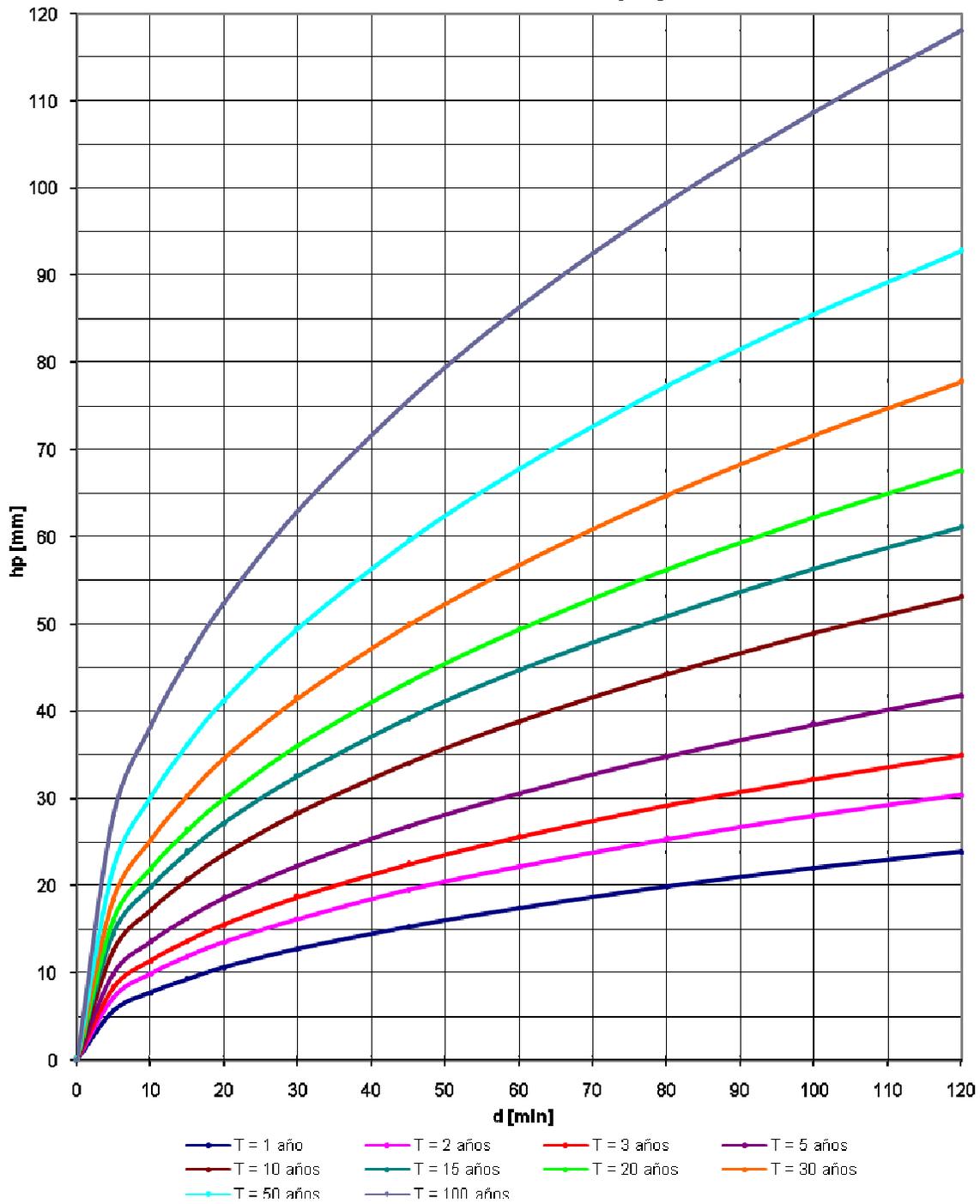
**Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación P. T. Santa Catarina**



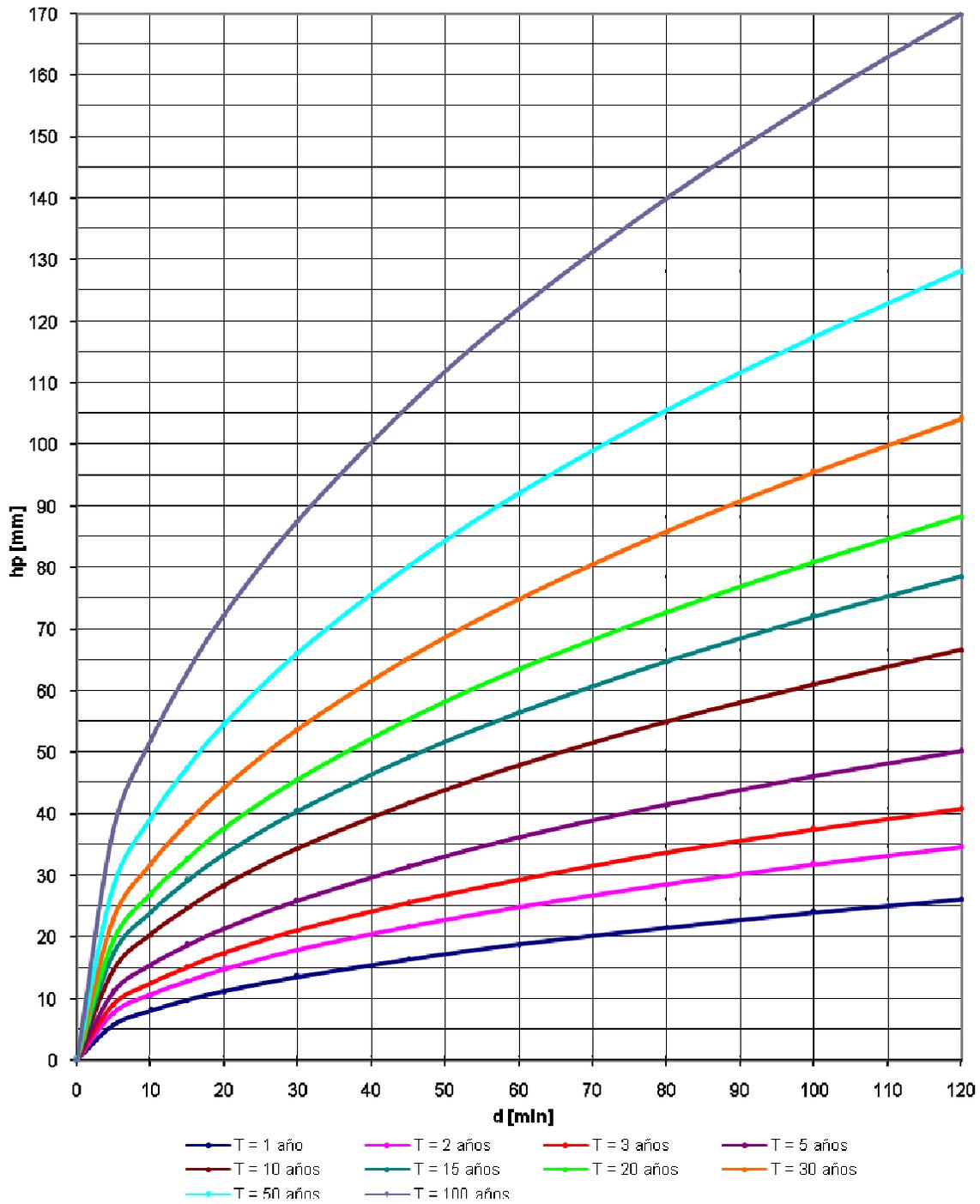
**Lluvia acumulada a dos horas. para diferentes periodos de retorno
Estación Planta Generadora 101**



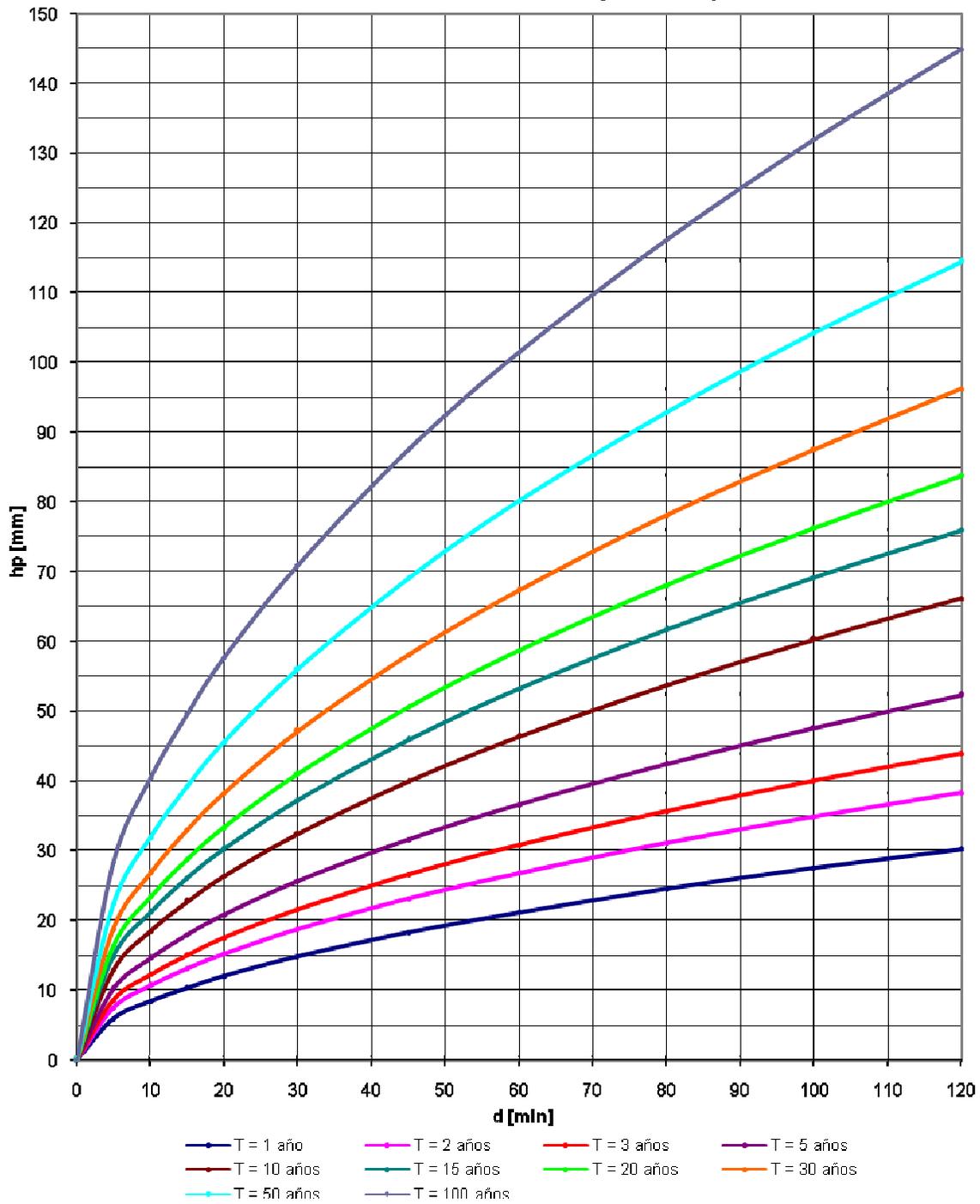
**Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación Planta Xotepingo**



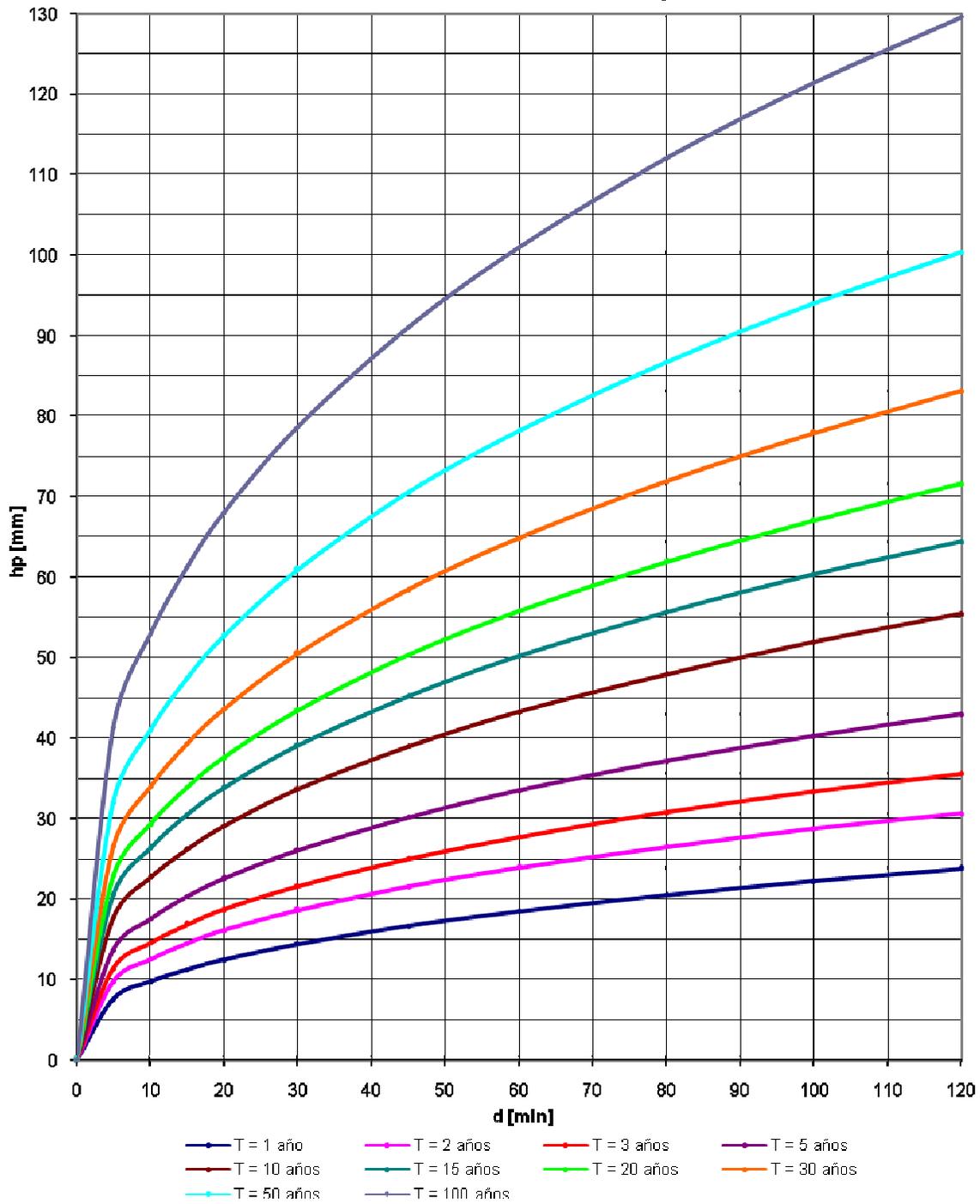
Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno Estación Radiocomunicación



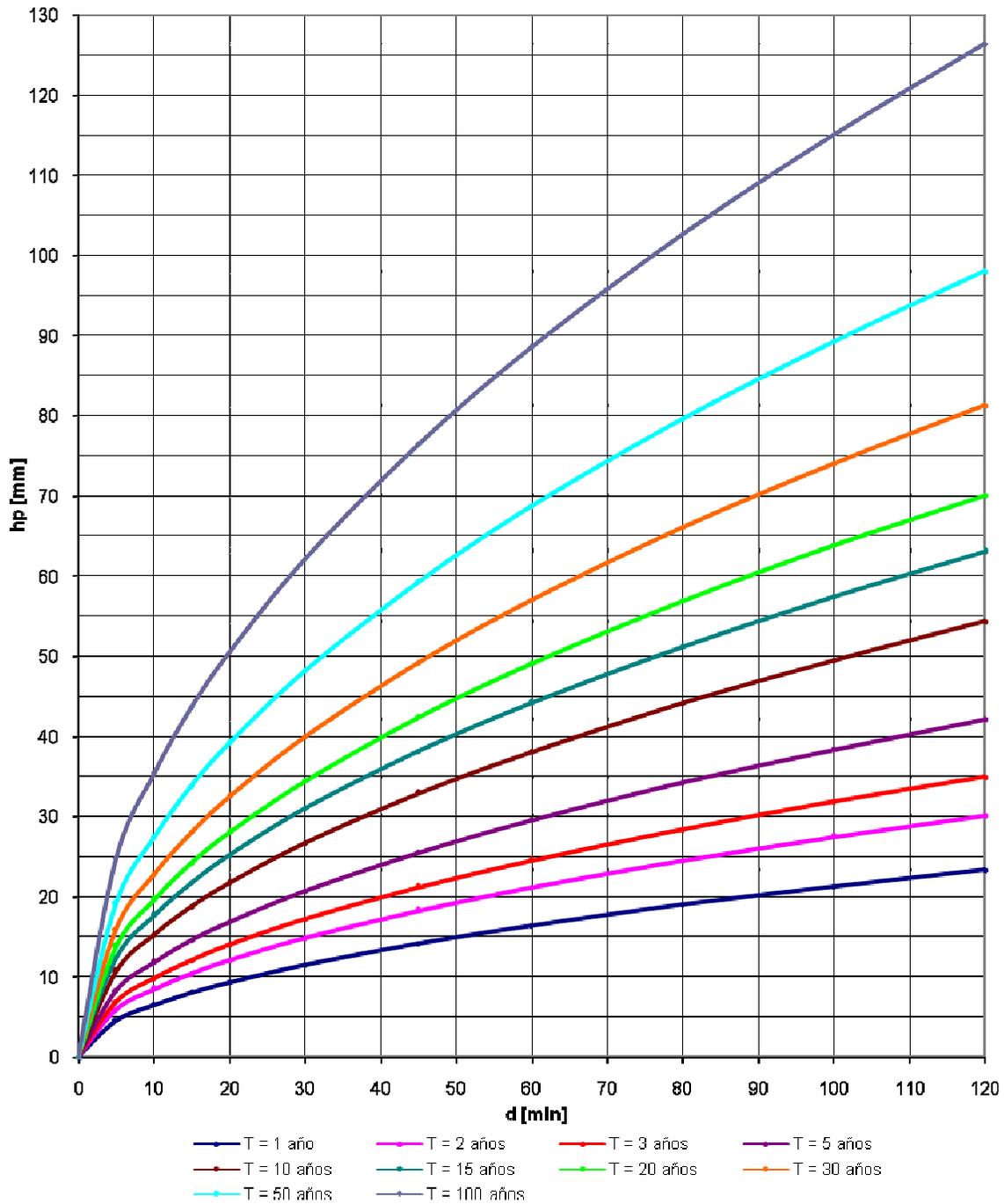
**Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación Rebombeco Bosque de Tlalpan**



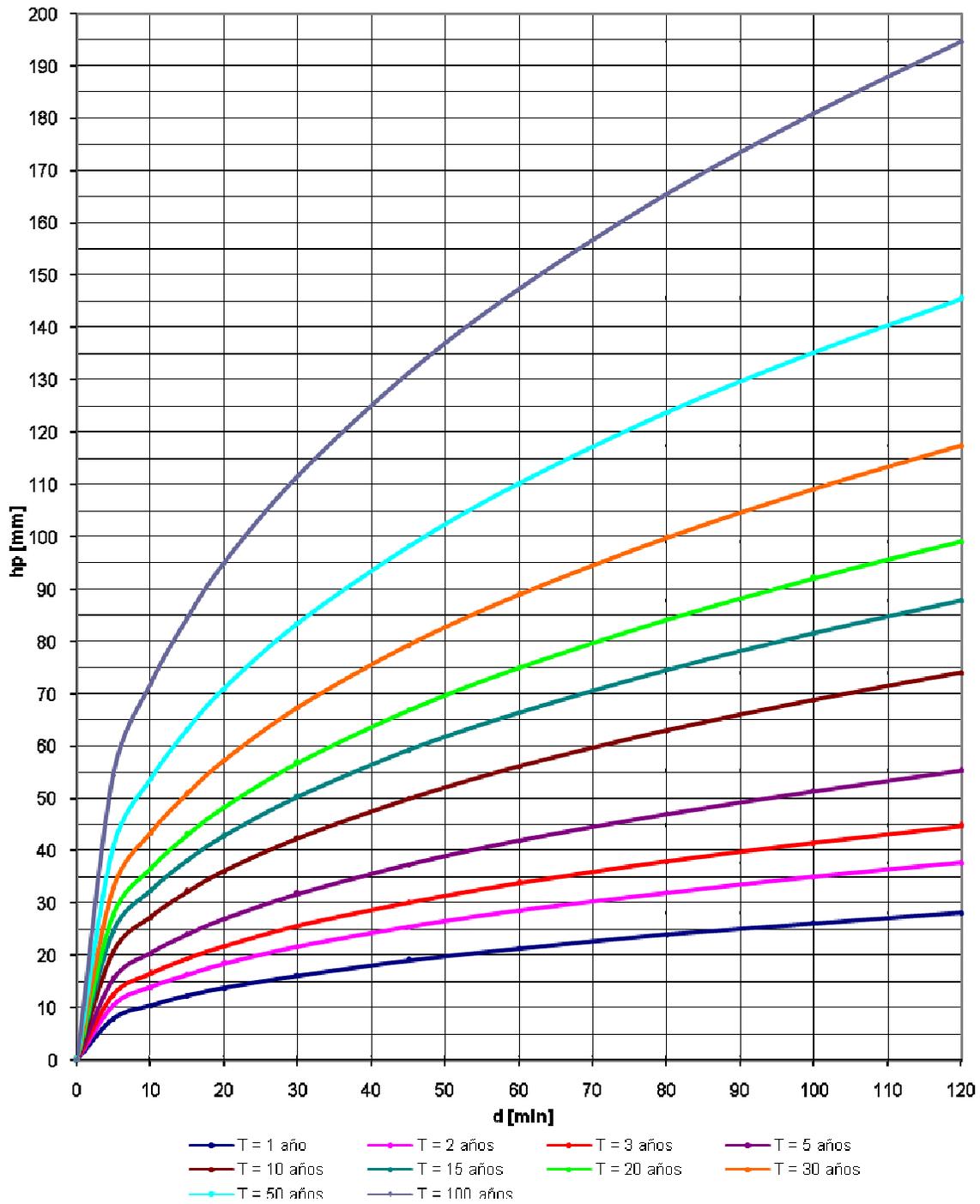
**Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno
Estación San Pedro Nexapa**



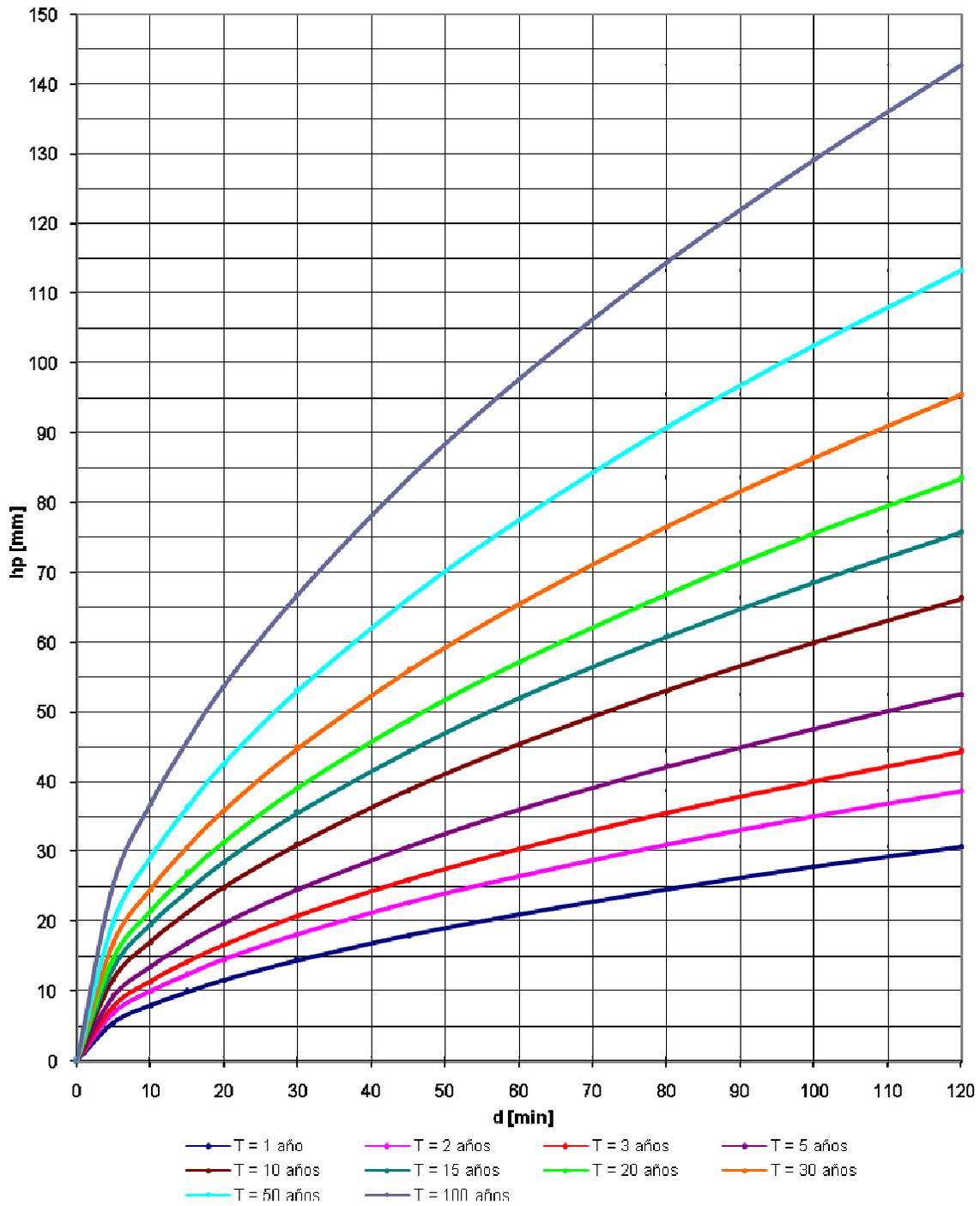
Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno Estación San Pedro Tláhuac



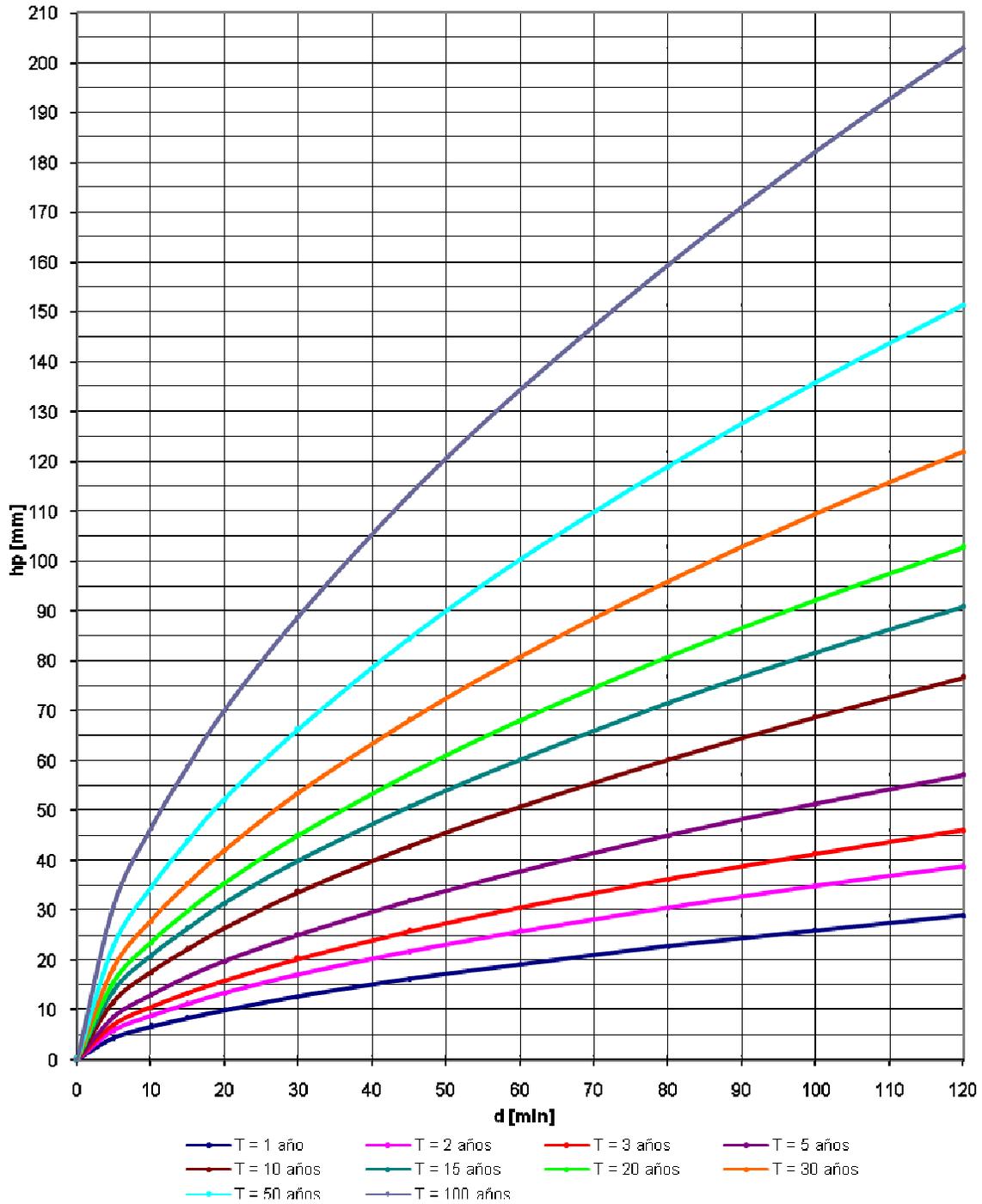
Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno Estación San Rafael



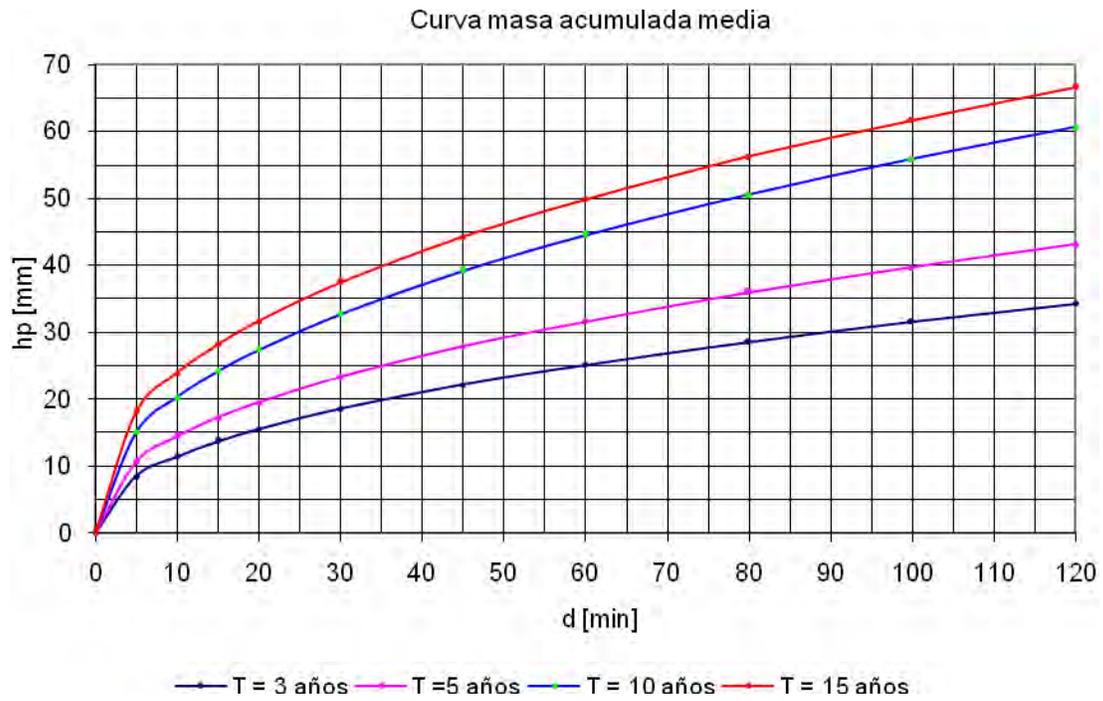
Lluvia acumulada a dos horas, para diferentes periodos de retorno Estación Tanque San Pedro Mártir



Lluvia acumulada a dos horas. para diferentes periodos de retorno Estación Topilejo



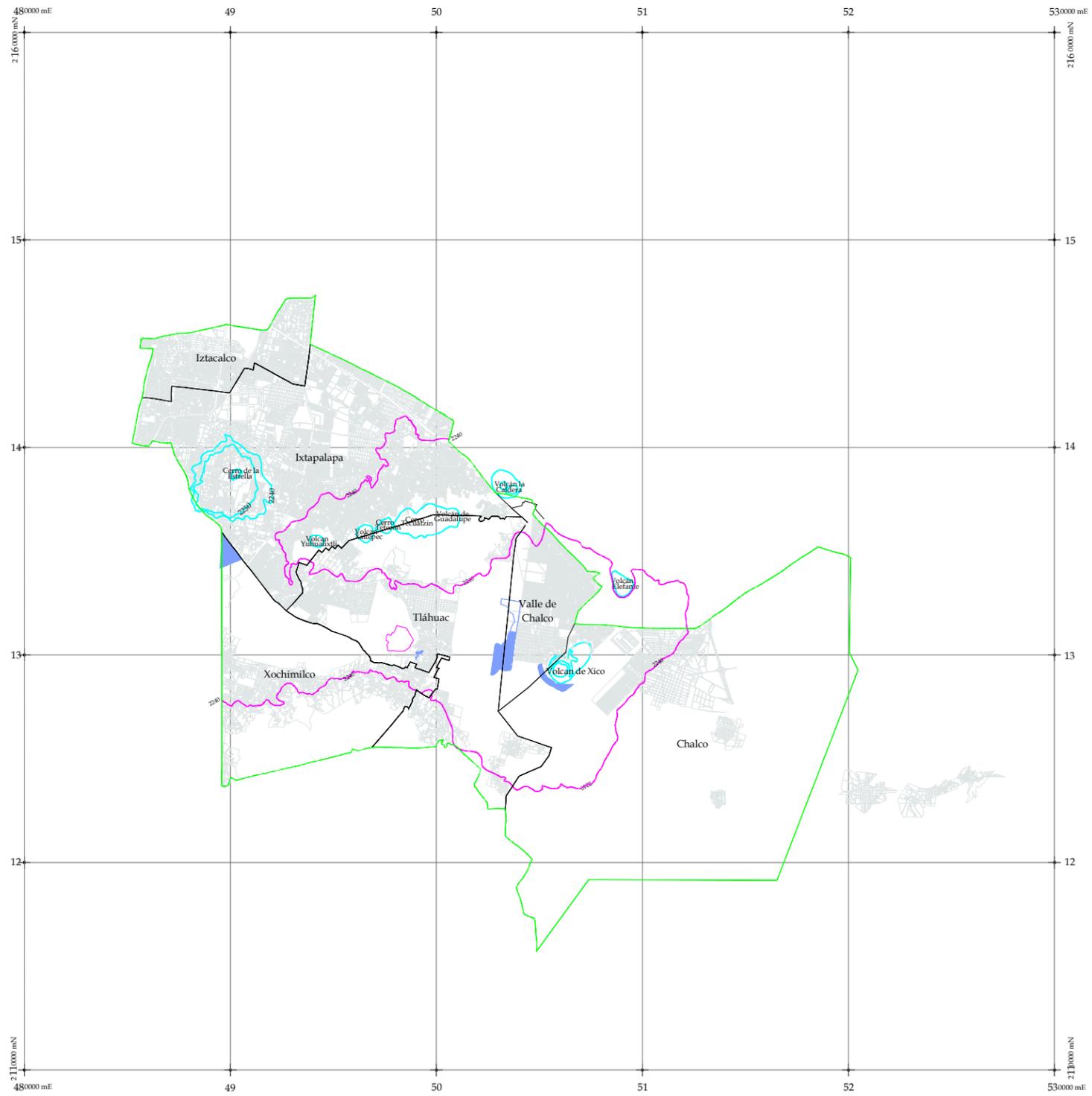
ANEXO 4: CURVA MASA ACUMULADA MEDIA



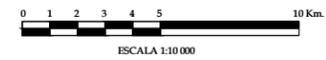
ANEXO 5: VALORES DE LOS PARÁMETROS k, m, n DE LAS CURVAS i-d-T

Nombre de la Estación	Parámetros		
	k	m	n
Amecameca	275.72	0.43	0.61
Chalco	189.28	0.46	0.64
Chapingo	183.55	0.53	0.64
Coatepec de los Olivos	262.50	0.43	0.66
Col. Agrícola Oriental	261.75	0.32	0.64
Col. Manuel Ávila Camacho	212.15	0.33	0.63
Coyol	152.41	0.35	0.54
G. D. F.	153.07	0.46	0.53
Juchitepec	347.75	0.32	0.70
Milpa Alta	202.14	0.38	0.60
P. B. Nueva Santa María	124.52	0.44	0.48
P. B. Villa Coapa	169.89	0.38	0.53
P. B. Aculco	134.78	0.47	0.50
P. B. Churubusco Lago	129.69	0.40	0.50
P. B. López Mateos	159.59	0.33	0.53
P. T. La Estrella	103.76	0.42	0.45
P. T. Santa Catarina	122.35	0.43	0.52
Planta Generadora 101	160.44	0.33	0.53
Planta Xotepingo	163.44	0.35	0.55
Radiocomunicación	159.37	0.41	0.52
Rebombeo Bosque de Tlalpan	154.46	0.34	0.49
San Pedro Nexapa	253.91	0.37	0.64
San Pedro Tláhuac	120.71	0.37	0.49
San Rafael	247.64	0.42	0.60
Tanque San Pedro Mártir	134.75	0.33	0.45
Topilejo	100.67	0.42	0.41

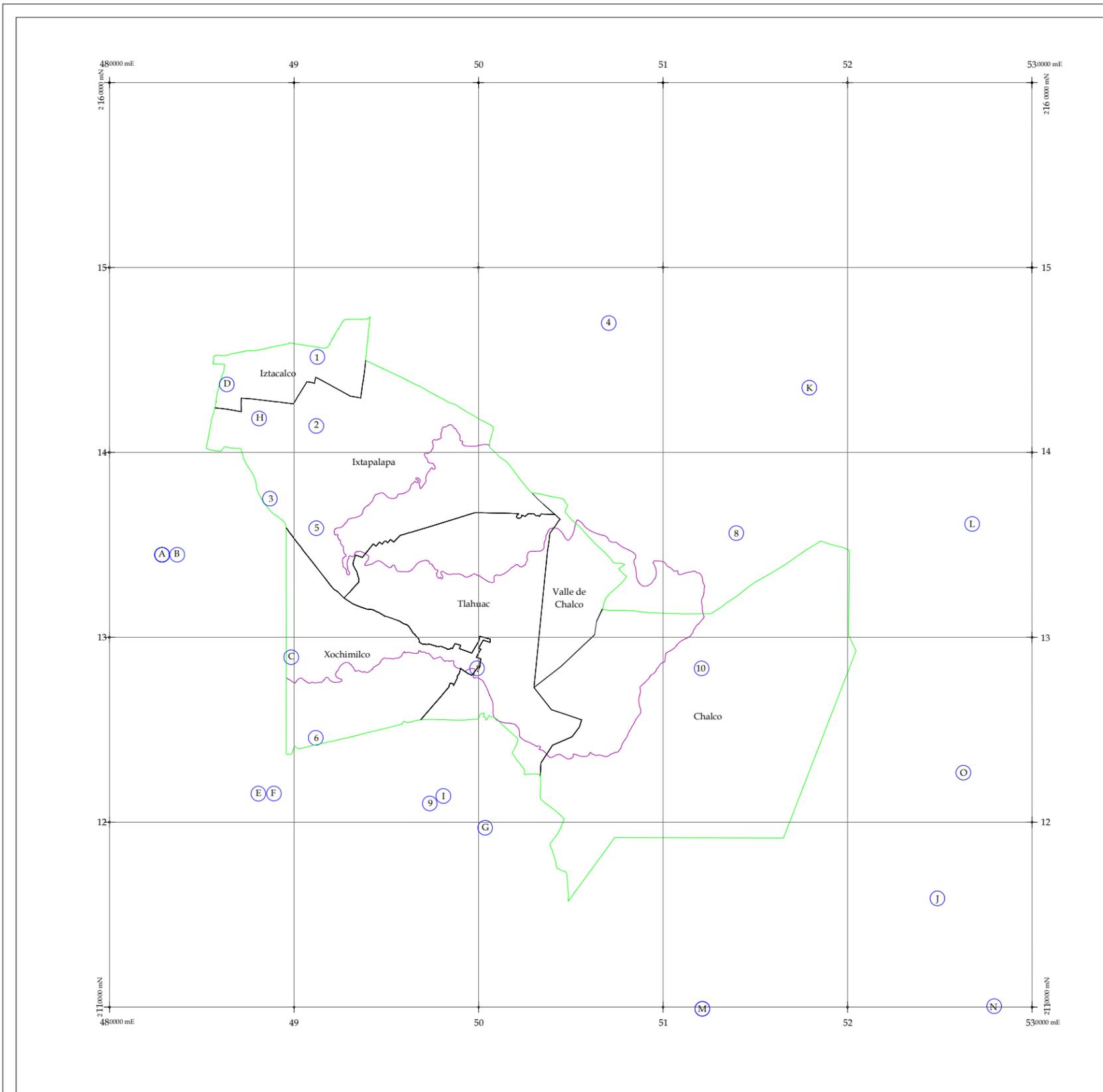
**CARTAS TOPOGRÁFICAS, DE
UBICACIÓN DE ESTACIONES, ISOYETAS,
SUBSIDENCIA Y PERFILES.**



- Nomenclatura
- Límite del área estudiada
 - límites delegacionales y municipales
 - curva de nivel 2240 msnm
 - mancha urbana



	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO	
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO		
CARTA 1.1	URBANIZACIÓN DEL ÁREA ESTUDIADA	
TESISTA	MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS	
DIRECTOR DE TESIS	HECTOR LUIS MACIAS GONZÁLEZ	
CD. UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2009		



Nomenclatura

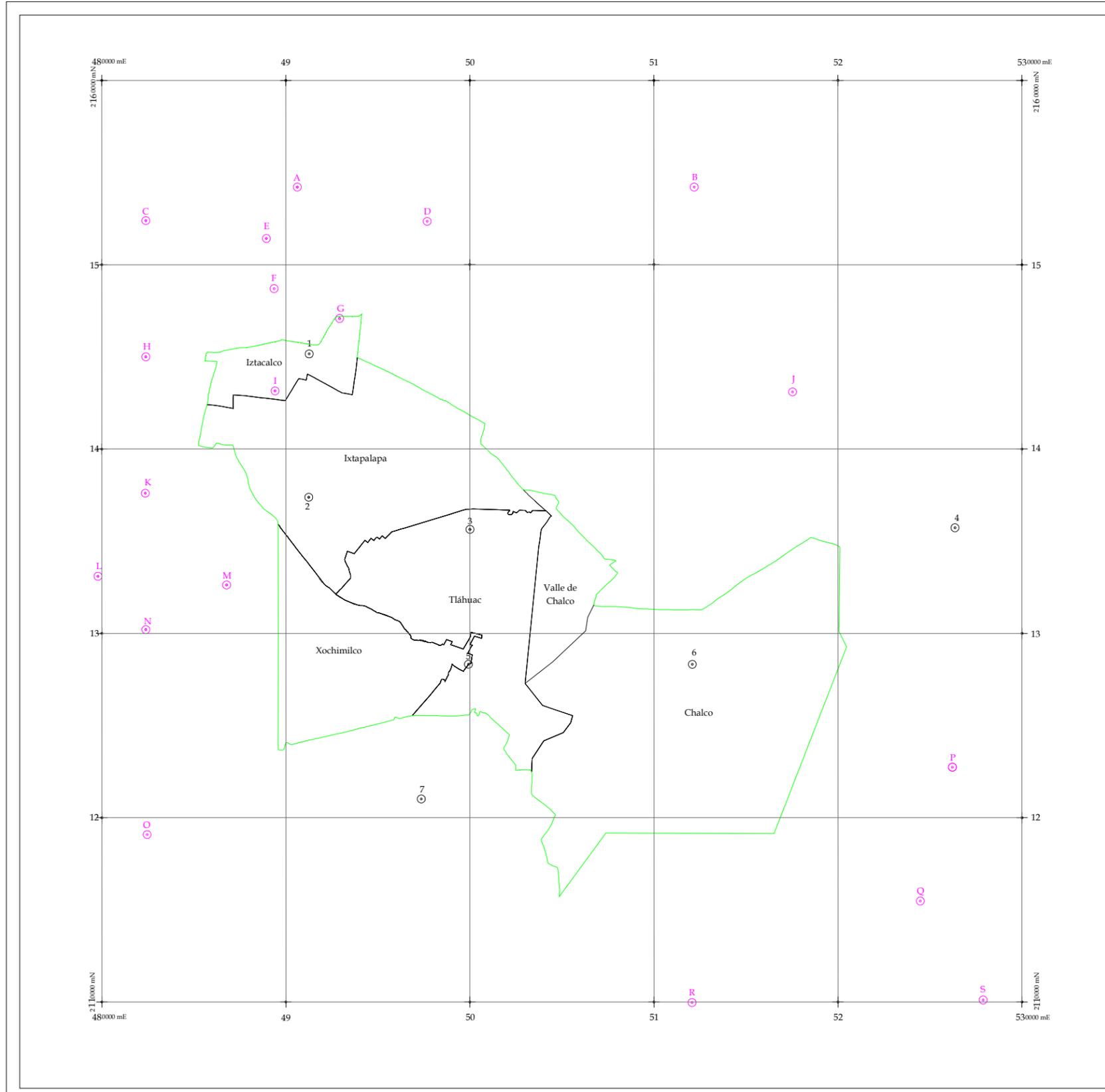
- Límite del área estudiada
- Límite de polígonos de Thiessen
- límites delegacionales y municipales
- ④ Estación climatológica

No.	Nombre de la estación	Coordenadas	
		mE	mN
1.-	Col. Agrícola Oriental	491,305	2,145,158
2.-	Morelos 77 Ixtapalapa	491,248	2,141,427
3.-	Col. Educación Coyoacán	488,732	2,137,495
4.-	Chimalhuacan	507,102	2,146,993
5.-	Col. Santa Úrsula Coapa	491,250	2,135,898
6.-	San Gregorio Xochimilco	491,216	2,124,554
7.-	Tlahuac Xochimilco	499,962	2,128,318
8.-	CODAGEM-Metepec	514,012	2,135,630
9.-	Milpa Alta Milpa Alta	497,399	2,121,011
10.-	Chalco	512,127	2,128,315

No.	Nombre de la estación	Coordenadas	
		mE	mN
A	Calvario 61 Tlalpan	482,489	2,134,057
B	Hda. Peña Pobre Tlalpan	482,489	2,134,059
C	Moyoguarda Xochimilco	489,490	2,128,519
D	Col. Marte Col. Marte	485,998	2,143,275
E	San Francisco Tlalne Xoch	487,733	2,121,143
F	San Lorenzo Milpa Alta	487,733	2,121,139
G	Santa Ana Milpa Alta	500,000	2,119,295
H	Unidad Modelo Ixtapalapa	487,747	2,141,429
I	Vertedor Milpa Alta	497,399	2,121,011
J	Amecameca de Juárez	524,515	2,115,475
K	Coatepec de los Olivos	517,573	2,143,096
L	Col. Manuel Ávila Camacho	526,400	2,135,724
M	Juchitepec, Juchitepec	512,109	2,109,964
N	San Pedro Nexapa	527,930	2,110,104
O	San Rafael, Tlalmanalco	526,261	2,122,735



	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO		
CARTA 3.1 UBICACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS		
TESISTA		MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS
DIRECTOR DE TESIS		HECTOR LUIS MACIAS GONZÁLEZ
CD. UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2009		



Nomenclatura

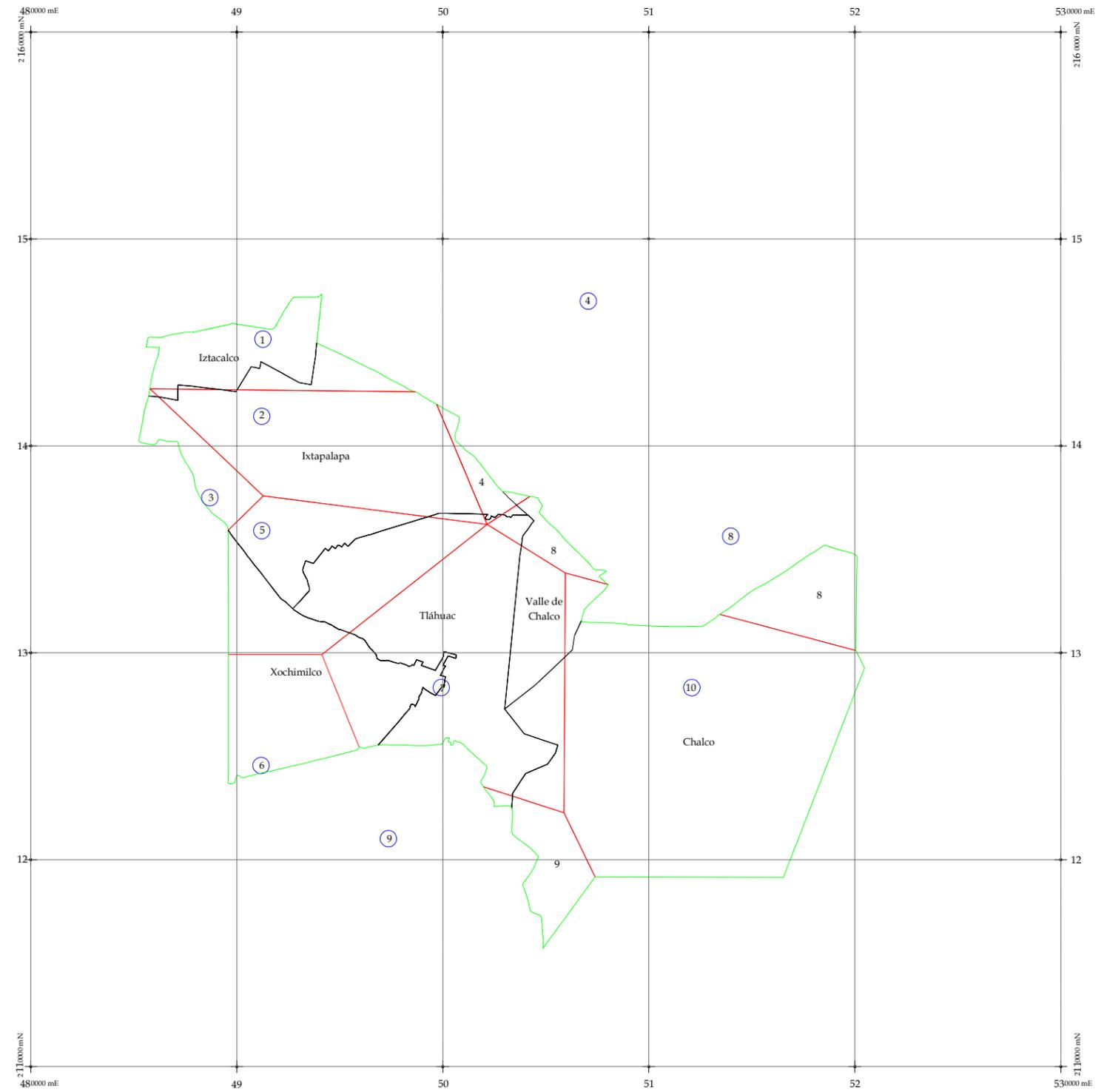
- Límite del área estudiada
- Límite de polígonos de Thiessen
- límites delegacionales y municipales
- Estación pluviográfica

No.	Estación	Coordenadas	
		mE	mN
1	Col. Agrícola Oriental	491,305	2,145,158
2	P. T. La Estrella	488,732	2,137,495
3	P. T. Santa Catarina	491,296	2,140,210
4	Col. Manuel Ávila Camacho	526,400	2,145,158
5	San Pedro Tláhuac	499,962	2,128,318
6	Chalco	512,127	2,128,315
7	Milpa Alta	497,399	2,121,011

Cl	Estación Auxiliar	Coordenadas	
		mE	mN
A	Coyol	490,660	2,154,210
B	Chapingo	512,230	2,154,210
C	P. B. Nueva Santa María	482,430	2,152,390
D	P. B. Churubusco Lago	497,720	2,152,350
E	P. Generadora 101	488,480	2,151,420
F	G. D. F.	489,400	2,148,700
G	P. B. López Mateos	492,960	2,149,080
H	Radio Comunicación	482,430	2,145,000
I	P. B. Aculco	489,450	2,143,150
J	Coatepec de los Olivos	517,573	2,143,096
K	P. Xotepingo	482,400	2,137,600
L	Rebombeo Bosque Tlalpan	479,830	2,133,090
M	P. B. Villa Coapa	486,820	2,132,620
N	Tanque San Pedro Mártir	482,430	2,130,200
O	Topilejo	482,500	2,119,080
P	San Rafael	526,261	2,122,735
Q	Amecameca	524,515	2,115,475
R	Juchitepec	512,109	2,109,964
S	San Pedro Nexapa	527,930	2,110,104



	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO	
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO		
CARTA 3.2 UBICACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS		
TESISTA		MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS
DIRECTOR DE TESIS		HECTOR LUIS MACIAS GONZÁLEZ
CD. UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2009		



- Nomenclatura
- Límite del área estudiada
 - límites delegacionales y municipales
 - Límite de polígonos de Thiessen
 - ④ Estación climatológica

Tabla de valores

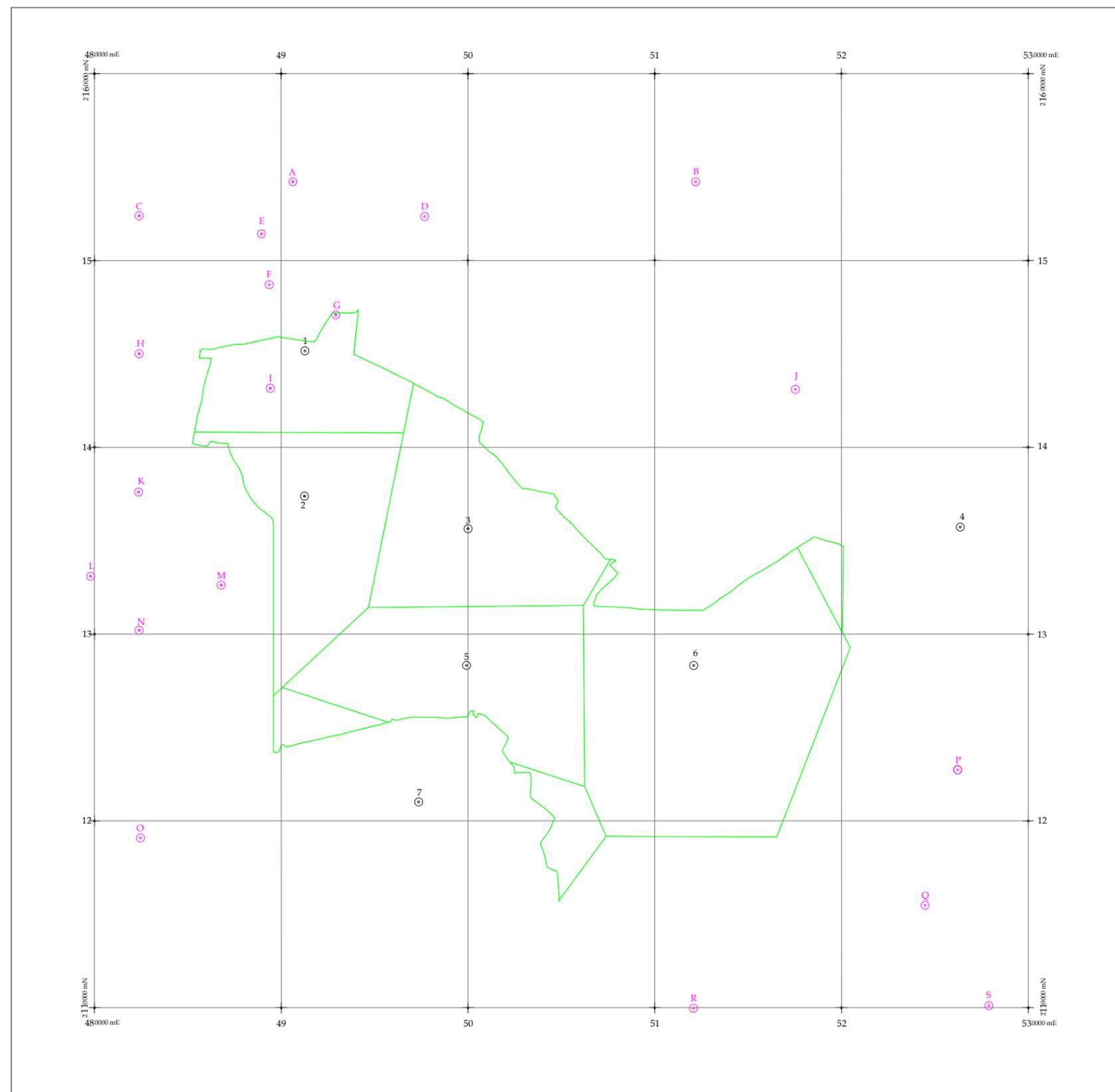
No.	Nombre de la estación	Área de influencia m ²	hp m	Volumen m ³
1.-	Col. Agrícola Oriental	31,350,715	0.572	17,932,609
2.-	Morelos 77, Ixtapalapa	67,565,792	0.602	40,640,824
3.-	Col. Educación Coyoacán	12,682,230	0.670	8,497,094
4.-	Chimalhuacán	5,279,144	0.731	3,859,054
5.-	Col. Santa Úrsula Coapa	62,321,280	0.813	50,667,201
6.-	San Gregorio Xochimilco	30,073,355	0.763	22,945,970
7.-	Tláhuac Xochimilco	102,891,891	0.587	60,397,540
8.-	CODAGEM-Metepec	27,422,588	0.816	22,376,832
9.-	Milpa Alta Milpa Alta	15,863,009	0.786	12,468,325
10.-	Chalco	155,576,613	0.596	92,723,671
		511,026,621		332,914,507

LLUVIA MEDIA ANUAL:

$$hp_{\text{MEDIA ANUAL}} = \frac{332,914,507}{511,026,621} = 0.651 \text{ m} = 651 \text{ mm}$$



	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO		
CARTA 3.3 POLÍGONOS DE THIESSEN Y CÁLCULO DE LA LLUVIA MEDIA ANUAL		
TESISTA		MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS
DIRECTOR DE TESIS		HECTOR LUIS MACIAS GONZÁLEZ
CD. UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2009		



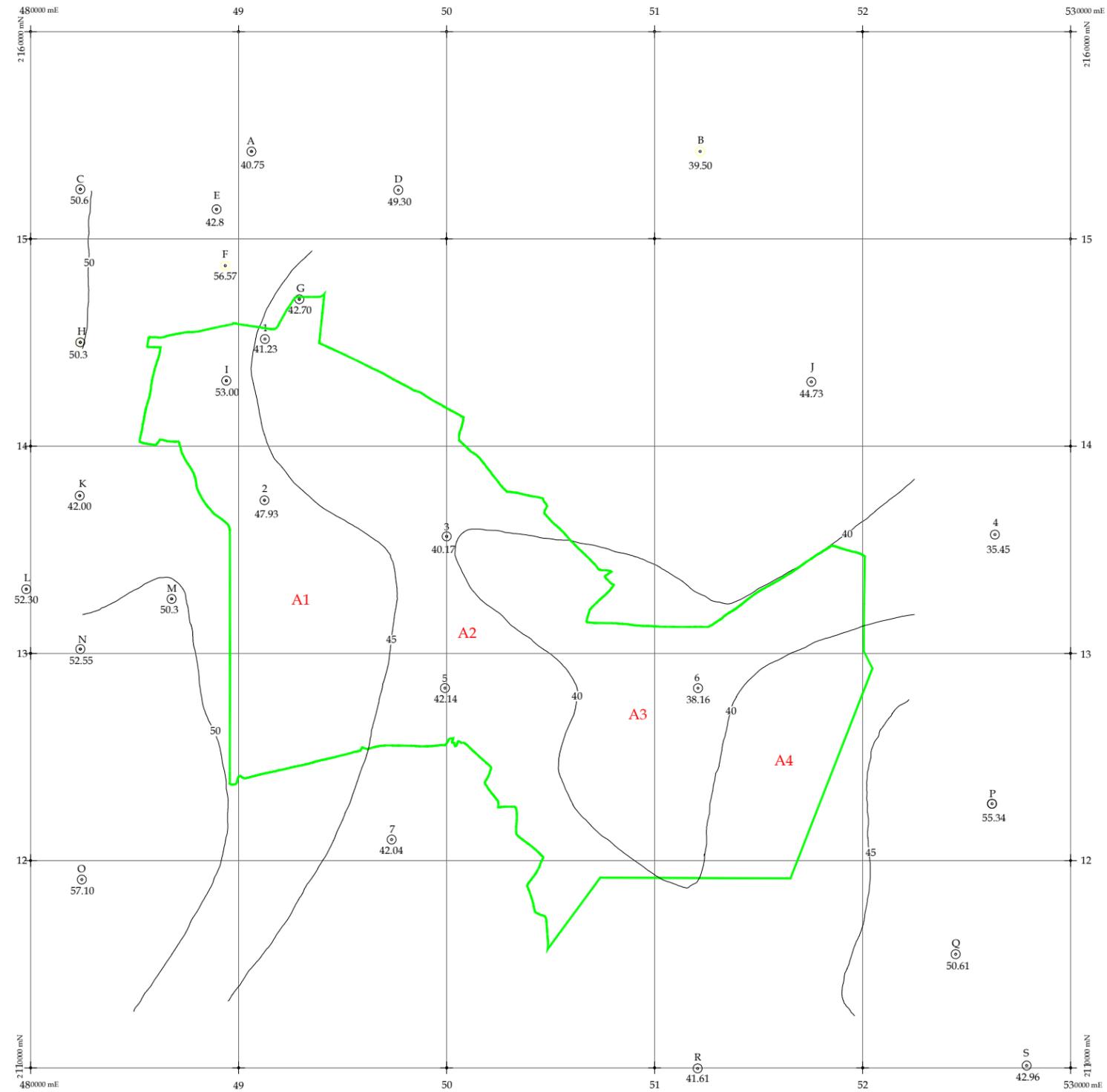
Nomenclatura

- Límite del área estudiada
- Límite de polígonos de Thiessen
- Estación pluviográfica

No.	Estación	Área de influencia m ²	Cl	Estación Auxiliar
1	Col. Agrícola Oriental	52,143,329	A	Coyol
2	P. T. La Estrella	77,328,979	B	Chapingo
3	P. T. Santa Catarina	91,122,581	C	P. B. Nueva Santa María
4	Col. Manuel Ávila Camacho	6,369,661	D	Churubusco Lago
5	San Pedro Tláhuac	95,010,925	E	P. Generadora 101
6	Chalco	163,486,639	F	G. D. F.
7	Milpa Alta	25,564,505	G	P. B. López Mateos
			H	Radio Comunicación
		511,026,621	I	P. B. Aculco
			J	Coatepec de los Olivos
			K	P. Xotepingo
			L	Rebombero Bosque Tlalpan
			M	P. B. Villa Coapa
			N	Tanque San Pedro Mártir
			O	Topilejo
			P	San Rafael
			Q	Amecameca
			R	Juchitepec
			S	San Pedro Nexapa

0 1 2 3 4 5 10 Km.
ESCALA 1:10 000

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO		
CARTA 3.4 POLÍGONOS DE THIESSSEN, ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS		
TESISTA		MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS
DIRECTOR DE TESIS		HECTOR LUIS MACIAS GONZÁLEZ
CD. UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2009		



— Limite de Area Estudiada
 Isoyeta de lluvia acumulada
 Estación pluviográfica con lluvia acumulada
A1 Área entre isoyetas

No.	Estación dentro de la zona estudiada
1	Col. Agrícola Oriental
2	P. T. La Estrella
3	P. T. Santa Catarina
4	Col. Manuel Ávila Camacho
5	San Pedro Tláhuac
6	Chalco
7	Milpa Alta

Cl	Estación Auxiliar
A	Coyol
B	Chapingo
C	P. B. Nueva Santa María
D	Churubusco Lago
E	P. Generadora 101
F	G. D. F.
G	P. B. López Mateos
H	Radio Comunicación
I	P. B. Aculco
J	Coatepec de los Olivos
K	P. Xotepingo
L	Rebombero Bosque Talpan
M	P. B. Villa Coapa
N	Tanque San Pedro Mártir
O	Topilejo
P	San Rafael
Q	Amecameca
R	Juchitepec
S	San Pedro Nexapa

Ai	Área m ²	Iso sup m	Iso inf m	hp m	Volumen m ³
A1	133,493,851	0.04	0.04	0.0475	6,340,957
A2	181,654,952	0.04	0.04	0.0425	7,719,694
A3	135,771,789	0.04	0.045	0.04	5,430,871
A4	60,121,106	0.035	0.04	0.0425	2,555,147

511,026,621 22,046,671

Lluvia media acumulada para una tormenta de 2 horas y T = 5 años:

$$hp_{\text{MEDIA}} = \frac{22,046,671}{511,026,621} = 0.043 \text{ m}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

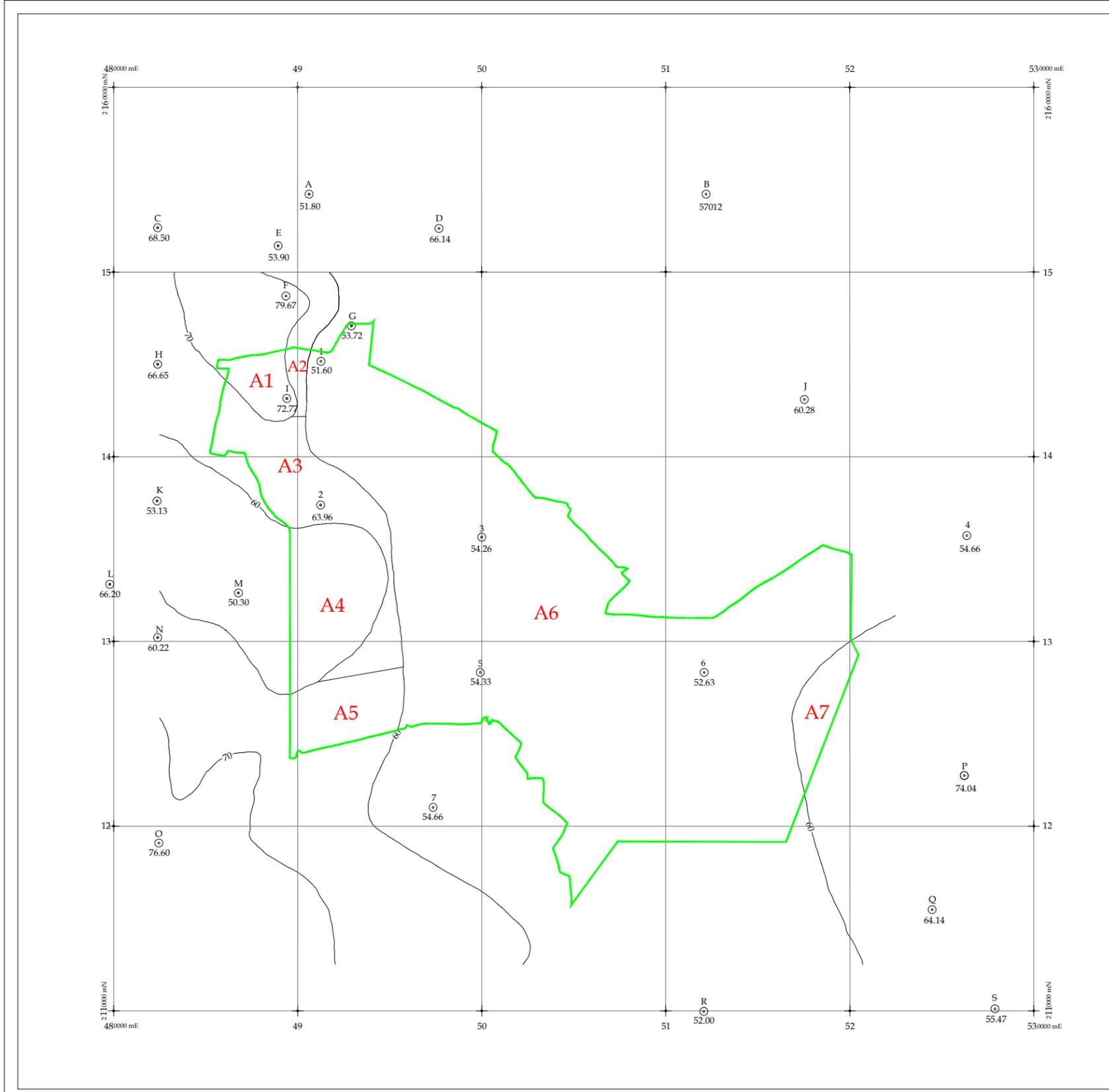
ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO

CARTA 3.6 CONFIGURACIÓN DE ISOYETAS PARA UNA TORMENTA DE 2 HORAS DE DURACIÓN Y UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS

TESISTA MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS

DIRECTOR DE TESIS HECTÓR LUIS MACIAS GONZÁLEZ

CD. UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2009



— Limite de Area Estudiada
 Isoyeta de lluvia acumulada
 Estación pluviográfica con lluvia acumulada
A1 Área entre isoyetas

No.	Estación dentro de la zona estudiada
1	Col. Agrícola Oriental
2	P. T. La Estrella
3	P. T. Santa Catarina
4	Col. Manuel Ávila Camacho
5	San Pedro Tláhuac
6	Chalco
7	Milpa Alta

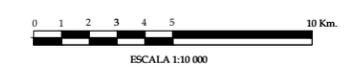
CI	Estación Auxiliar
A	Coyol
B	Chapingo
C	P. B. Nueva Santa María
D	Churubusco Lago
E	P. Generadora 101
F	G. D. F.
G	P. B. López Mateos
H	Radio Comunicación
I	P. B. Aculco
J	Coatepec de los Olivos
K	P. Xotepingo
L	Rebombeo Bosque Tlalpan
M	P. B. Villa Coapa
N	Tanque San Pedro Mártir
O	Topilejo
P	San Rafael
Q	Amecameca
R	Juchitepec
S	San Pedro Nexapa

Ai	Área m ²	Iso sup m	Iso inf m	hp m	Volumen m ³
A1	10,539,574	0.07	0.07	0.07	737,770
A2	3,352,893	0.06	0.07	0.065	217,938
A3	28,298,231	0.06	0.06	0.06	1,839,385
A4	37,111,328	0.06	0.06	0.06	2,226,679
A5	21,482,572	0.035	0.04	0.06	1,288,954
A6	397,469,290	0.03	0.03	0.065	23,847,252
A7	12,787,808	0.035	0.04	0.0375	831,207

511,026,621
30,991,187

Lluvia media acumulada para una tormenta de 2 horas y T = 10 años:

$$hp_{\text{MEDIA}} = \frac{30,991,187}{511,026,621} = 0.0606 \text{ m}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

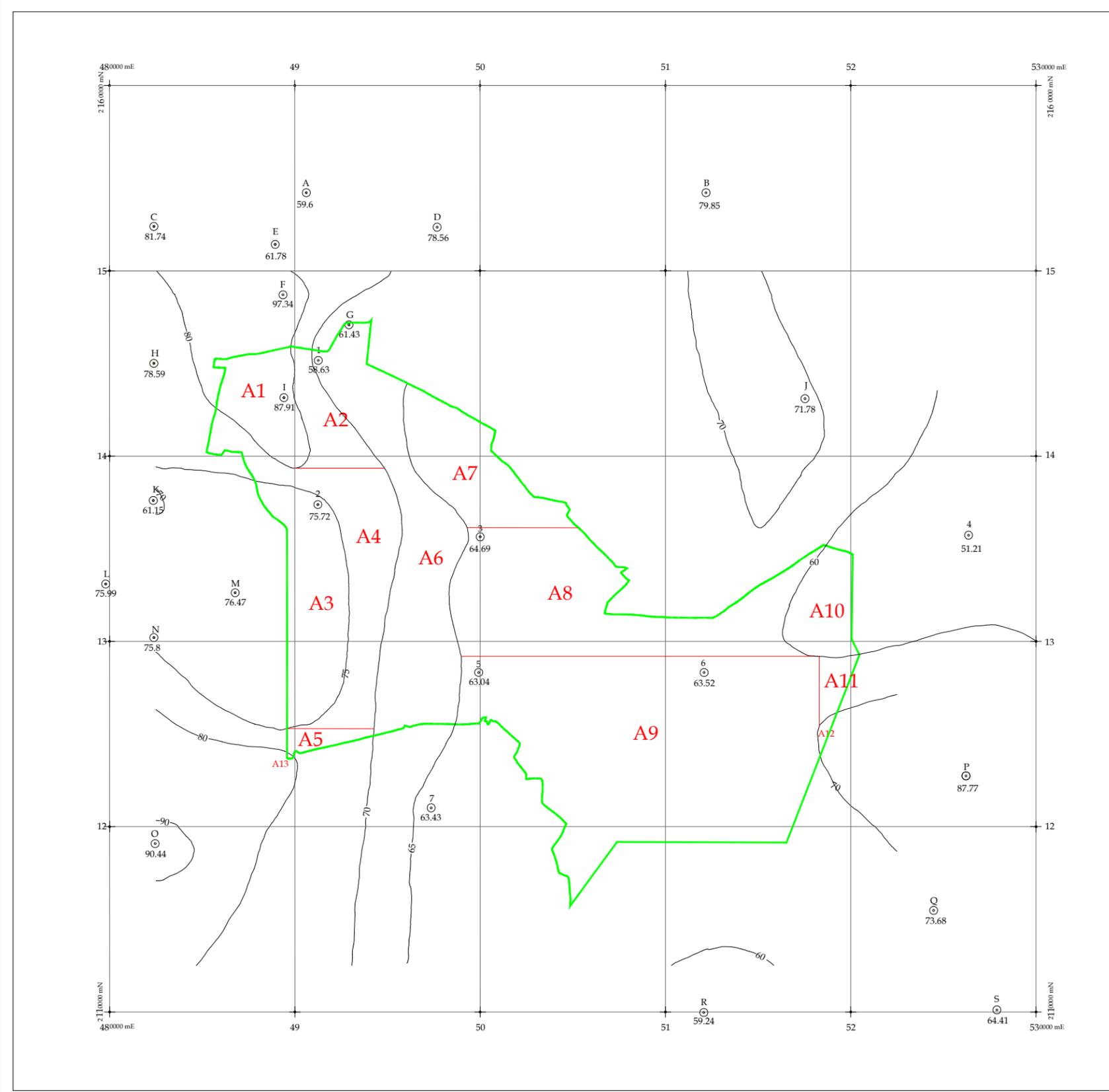
ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO

CARTA 3.7 CONFIGURACIÓN DE ISOYETAS PARA UNA TORMENTA DE 2 HORAS DE DURACIÓN Y UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS

TESISTA: MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS

DIRECTOR DE TESIS: HECTÓR LUIS MACIAS GONZÁLEZ

CD. UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2009



— Limite de Area Estudiada
 [Hatched Box] Isoyeta de lluvia acumulada
 [Circle with 6] Estación pluviográfica con lluvia acumulada
 30.16
 A8 Área entre isoyetas

No.	Estación dentro de la zona estudiada
1	Col. Agrícola Oriental
2	P. T. La Estrella
3	P. T. Santa Catarina
4	Col. Manuel Ávila Camacho
5	San Pedro Tláhuac
6	Chalco
7	Milpa Alta

Cl	Estación Auxiliar
A	Coyol
B	Chapingo
C	P. B. Nueva Santa María
D	Churubusco Lago
E	P. Generadora 101
F	G. D. F.
G	P. B. López Mateos
H	Radio Comunicación
I	P. B. Aculco
J	Coatepec de los Olivos
K	P. Xotepingo
L	Rebombero Bosque Tlalpan
M	P. B. Villa Coapa
N	Tanque San Pedro Mártir
O	Topilejo
P	San Rafael
Q	Amecameca
R	Juchitepec
S	San Pedro Nexapa

Tabla de cálculos

Ai	Área m ²	Iso sup m	Iso inf m	hp m	Volumen m ³
A1	21,330,068	0.08	0.08	0.08	1,706,405
A2	14,725,005	0.07	0.08	0.075	1,104,375
A3	39,823,536	0.075	0.075	0.075	2,986,765
A4	46,933,473	0.07	0.075	0.0725	3,402,676
A5	3,777,676	0.07	0.08	0.075	283,325
A6	71,432,085	0.065	0.07	0.0675	4,821,665
A7	34,293,694	0.065	0.07	0.0675	2,314,824
A8	84,990,632	0.06	0.065	0.0625	5,311,914
A9	201,439,032	0.065	0.07	0.0675	13,597,134
A10	17,472,180	0.06	0.06	0.06	1,048,330
A11	8,081,748	0.06	0.07	0.065	525,313
A12	959,054	0.07	0.07	0.07	67,133
A13	77,207	0.08	0.08	0.08	6,176

511,026,621 37,176,042

Lluvia media acumulada para una tormenta de 2 horas y T = 15 años:

$$hp_{\text{MEDIA}} = \frac{37,176,042}{511,026,621} = 0.068\text{m}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

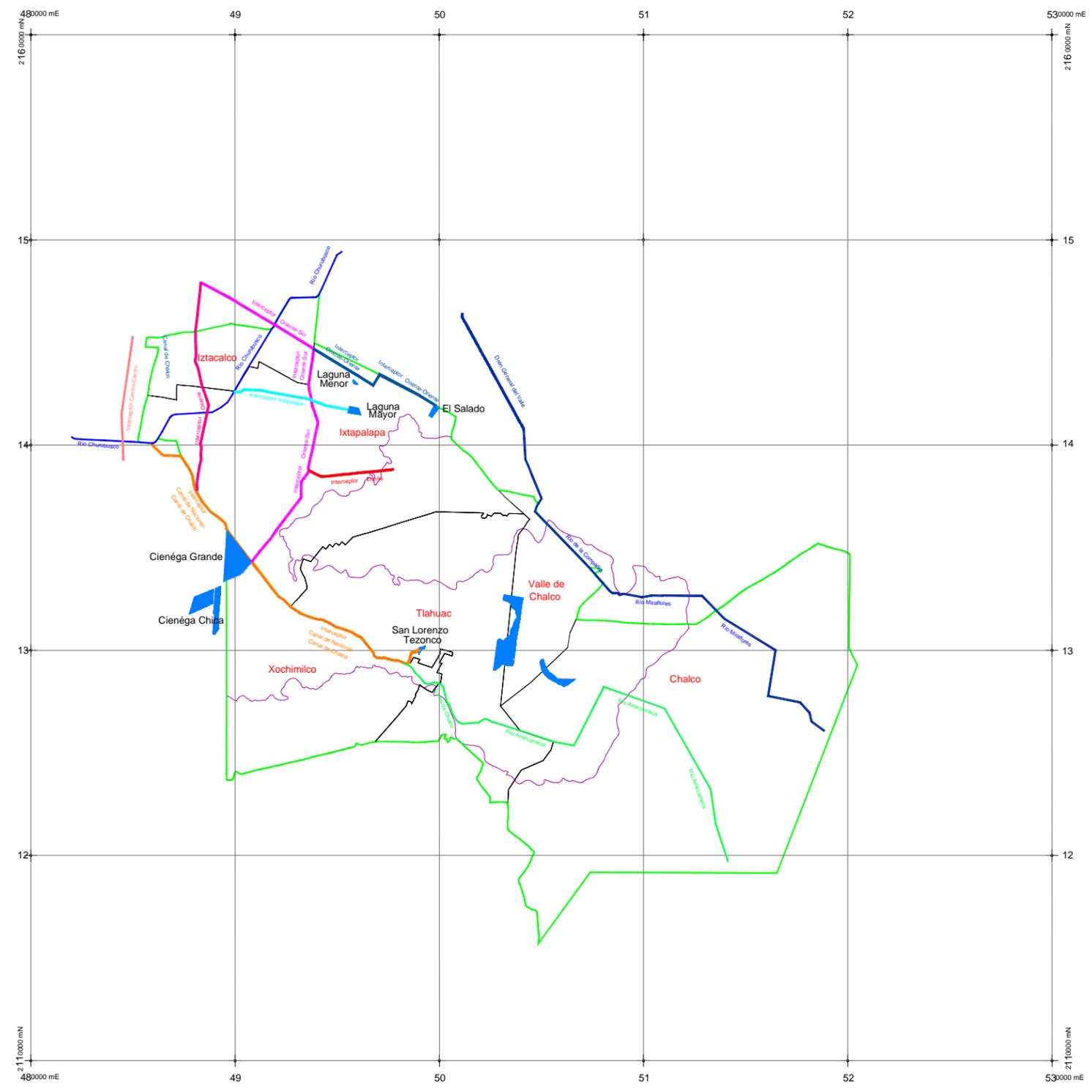
ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO

CARTA 3.8 CONFIGURACIÓN DE ISOYETAS PARA UNA TORMENTA DE 2 HORAS DE DURACIÓN Y UN PERÍODO DE RETORNO DE 15 AÑOS

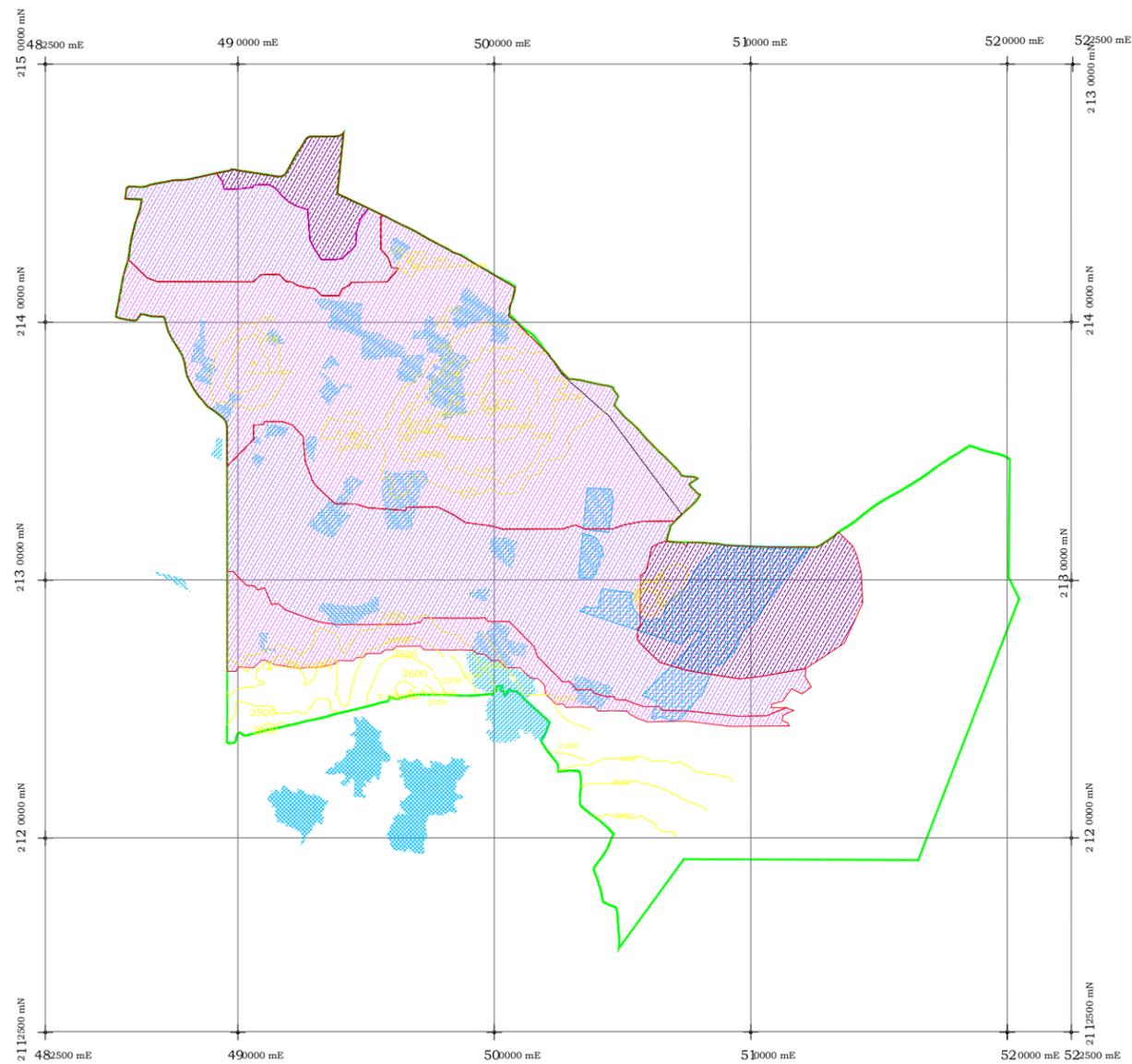
TESISTA: MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS

DIRECTOR DE TESIS: HECTOR LUIS MACIAS GONZÁLEZ

CD. UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2009



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO	
CARTÁ 3.9	INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA
TESISTA	MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS
DIRECTOR DE TESIS	HECTOR LUIS MACIAS GONZÁLEZ
CD. UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2009	



NOMENCLATURA

- LIMITE DE AREA DE ESTUDIO
- ZONAS INUNDABLES
- ZONAS DE HUNDIMIENTOS
- 10 CM AL AÑO
- SUPERFICIE: 161125114.4632
- 20 CM AL AÑO
- SUPERFICIE: 118374861.301
- 30 CM AL AÑO
- SUPERFICIE: 18468263.7419



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

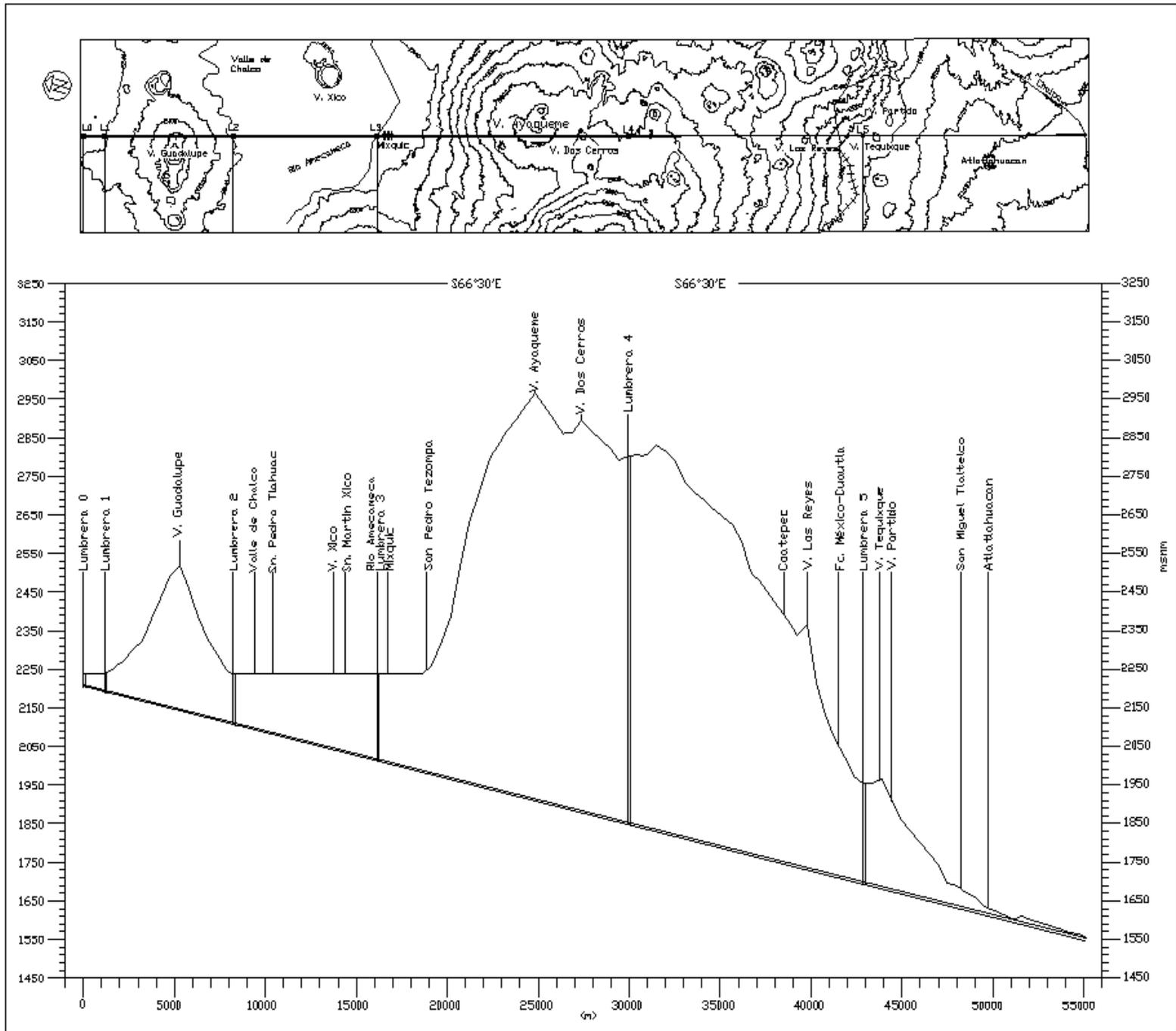
ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR LOS PROBLEMAS DE INUNDACIONES
EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO

CARTA 4.1 AREAS DE IGUAL HUNDIMIENTO

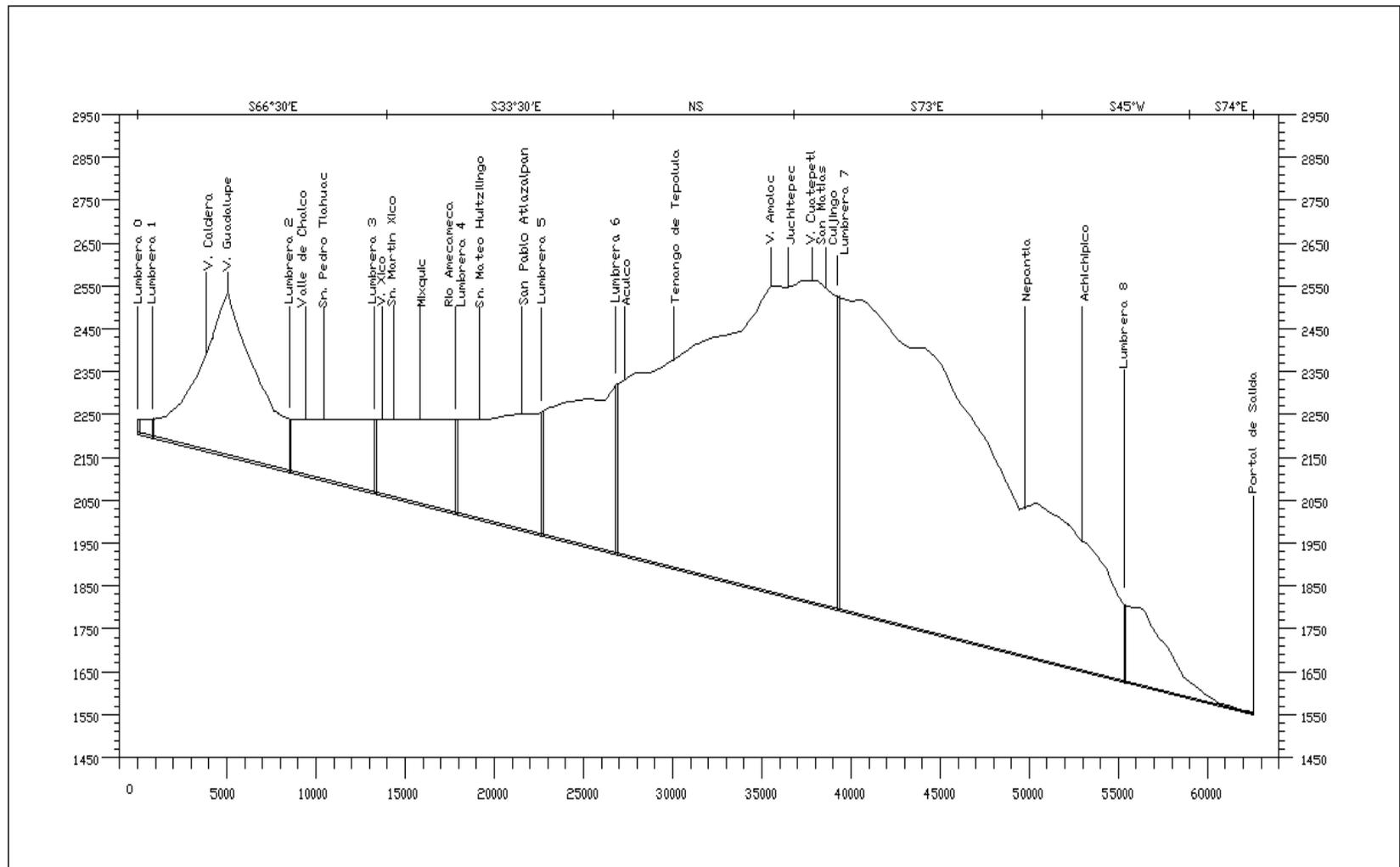
TESISTA MARCOS ARTURO CRUZ TERRÉS

DIRECTOR DE TESIS HECTÓR LUIS MACIAS GONZÁLEZ

CD. UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2009



Alternativa 1: Túnel Salado - Poniente.



Alternativa 2: Túnel Salado – Xico - Achichipico.

GLOSARIO

Cuenca. Se entiende por cuenca hidrográfica el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico.

Curva i-d-T. Gráfica con la duración d en el eje horizontal, la intensidad i en el eje vertical, y la frecuencia o período de retorno T como parámetro de la curva. Estas curvas representan la probabilidad de que una cierta intensidad de lluvia promedio sea superada dada una duración. Una ecuación que defina las curvas i-d-T es necesaria para el desarrollo, planeación y diseño de proyectos hidráulicos.

Drenaje. En geología, drenaje es cualquier medio por el que el agua contenida en una zona fluye a través de la superficie o de infiltraciones en el terreno. En ingeniería y urbanismo, drenaje es el sistema de tuberías, sumideros o trampas, con sus conexiones, que permite el desalajo de líquidos, generalmente pluviales, de una población. Se llama drenaje del baño sanitario al que transporta los desechos líquidos de casas, comercios y fábricas no contaminantes. En algunas ciudades son dirigidos a plantas depuradoras para su tratamiento y posterior vertido a un cauce que permita al agua continuar el ciclo hidrológico.

Hidrología. (del griego $\Upsilon\delta\omega\pi$ (hidro): agua, y $\Lambda\omicron\gamma\omicron\varsigma$ (logos): estudio) a la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía o escurrimiento, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares. Por otra parte, el estudio de las aguas subterráneas corresponde a la hidrogeología.

Intensidad. La intensidad es la cantidad de lluvia hp que se obtiene en un tiempo t . Puede entenderse como la variación de la precipitación en el tiempo.

Inundación. Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos, por subida de las mareas por encima del nivel habitual o por oleaje causado por tsunamis.

Isoyeta. La **isoyeta** es una curva que une los puntos, en un plano cartográfico, que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada.

Lluvia. (del lat. *pluvia*) Es un fenómeno atmosférico de tipo acuático que se inicia con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes. Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua de diámetro mayor de 0.5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas. Si no alcanza la superficie terrestre, no sería lluvia sino virga y si el diámetro es menor sería llovizna. La lluvia se mide en milímetro al año, menos de 200 son insuficientes, entre 200 y 500 son escasas, entre 500 y 1000 son suficientes, entre 1000 y 2000 son abundantes y más de 2000 son excesivas. La lluvia depende de tres factores: la presión, la temperatura y, especialmente, la radiación solar.

Parteaguas. Línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa dos cuencas adyacentes.

Período de retorno. El **período de retorno** es uno de los parámetros más significativos a ser tomado en cuenta en el momento de dimensionar una obra hidráulica destinada a soportar avenidas, como por ejemplo: el vertedero de una presa, los diques para control de inundaciones, una obra que requiera cruzar un río o arroyo con seguridad, como por ejemplo un puente, u obras hidráulicas para la canalización de aguas de lluvia en ciudades. El período de retorno, generalmente expresado en años, puede ser entendido como el número de años en que se espera que mediamente se repita un cierto caudal, o un caudal mayor. El período de retorno para lo cual se debe dimensionar una obra varía en función de la importancia de la obra (interés económico, socio-económico, estratégico, turístico), de la existencia de otras vías alternativas capaces de remplazarla y de los daños que implicaría su ruptura: pérdida de vidas humanas, costo y duración de la reconstrucción, costo del no funcionamiento de la obra, etc. Por ejemplo, los períodos de retorno utilizados para el diseño de obras hidráulicas para

canalización de aguas de lluvia en ciudades de mediano porte o grandes varía de 20 a 50 años.

Pluviógrafo. El pluviógrafo es el aparato registrador de la precipitación. Proporciona información acerca del inicio, duración e intensidad de la lluvia. Existen distintos tipos de pluviógrafo, siendo el más corriente el de sifón. En el de sifón el agua recogida pasa a un depósito con una boya. El movimiento ascendente de la boya al llenarse es transmitido a una plumilla que va dejando el registro en una banda. La pendiente de la gráfica en su subida nos indicará la intensidad de la lluvia. El pluviógrafo es un equipo sumamente interesante pues aparte de decirnos el total de precipitación nos indica su intensidad.

Pluviómetro. El pluviómetro es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación. La cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura. El diseño básico de un pluviómetro consiste en un recipiente de entrada, llamado balancín, por donde el agua ingresa a través de un embudo hacia un colector donde el agua se recoge y puede medirse visualmente con una regla graduada o mediante el peso del agua depositada. Asimismo, el balancín oscila a volumen constante de agua caída, permitiendo el registro mecánico o eléctrico de la intensidad de lluvia caída. El pluviómetro ha sido diseñado para también estar soportado sobre la superficie de la tierra. Normalmente la lectura se realiza cada 24 horas. Un litro caído en un metro cuadrado alcanzaría una altura de un milímetro.

Polígono de Thiessen. Los Polígonos de Thiessen (también Polígonos de Voronoi o Teselación de Dirichlet) son una construcción geométrica que permite construir una partición del plano euclídeo. Deben su nombre al Alfred H. Thiessen y también fueron estudiados por Georgy Voronoi y Gustav Lejeune Dirichlet.

Los polígonos de Thiessen son uno de los métodos de interpolación más simples, basado en la distancia euclidiana, siendo especialmente apropiada cuando los datos son cualitativos. Se crean al unir los puntos entre sí, trazando las

mediatrices de los segmento de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor de un conjunto de puntos de control, de manera que el perímetro de los polígonos generados sea equidistante a los puntos vecinos y designando su área de influencia.

Río. Un río es una corriente de agua que fluye por un cauce desde las tierras altas a las tierras bajas y vierte en el mar o en una región endorreica (río colector) o a otro río (afluente).

Subsidencia. La subsidencia describe el movimiento de una superficie (usualmente, la superficie de la Tierra) hacia abajo respecto al nivel del mar. Este fenómeno también es conocido como hundimiento del terreno.

BIBLIOGRAFÍA

Academia Mexicana de Ciencias. Acuíferos del Mezquital alternativa de agua para la Ciudad de México. Boletín AMC/44/08, México, D.F., jueves 24 de abril de 2008.

Alaniz-Alvarez, S.A, Nieto-Samaniego, Á.F., Morán-Zenteno, D. y Alba-Aldave, L. Rhyolitic volcanism in extensión zone associated with strike-slip tectonics in the Taxco region, southern Mexico: Journal of Volcanology and Geothermal Research, México, 2002.

Aparicio, Mijares J.M. Fundamentos de hidrología de superficie, Limusa, México, 2001.

Buenrostro César H, 2007. Breve descripción del hundimiento de la ciudad de México, Conferencia en el marco del Simposio El agua en la Ingeniería, de la Academia de Ingeniería, México, 2007.

Chow, V.T., Hidráulica de Canales Abiertos, McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia, 1994.

Comisión Nacional del Agua, Aplicación de un modelo hidrogeoquímico en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México, 2000.

Comisión Nacional del Agua, Boletines Hidrológicos 37 al 57, años 1984-2004, México.

Comisión Nacional del Agua, Boletines Hidrológicos Resúmenes 4-7, años 1981-2000, México.

Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional, datos climatológicos del D. F. y Estado de México. Años 1960-2004.

Breña Puyol, A., Hidrología urbana, Universidad Autónoma Metropolitana, México, 2003.

Demant, A. Interpretación geodinámica del volcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano. Instituto de Geología, UNAM. México, 1982.

Departamento del Distrito Federal. Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del distrito federal, tomos i, ii, iii y iv., México, 1975.

Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Operación y Construcción Hidráulica. El Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México, Cuarta edición, México, 1988.

- El Colegio de México, A.C., Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México.
- Escalante, C., y L., Reyes. Técnicas estadísticas en hidrología. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 2002.
- Ferrari, L. Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. Boletín de la Sociedad Geológica. Mexicana, México, 2000.
- Gobierno de la Ciudad de México. Programa general de desarrollo urbano del Distrito Federal, Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, México, 2005.
- Gobierno del Estado de México. Plan municipal de desarrollo urbano del municipio de Chalco, Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2005.
- Gómez- Tuena, A., Orozco-Esquivel M. T. y Ferrari L. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. Boletín de la Sociedad Geológica. Mexicana, México, 2005.
- Gutiérrez, M. La cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales. Investigaciones Geográficas. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 2005.
- INRA, S. A. de C. V. Estudio Geohidrológico de la zona Cuautla –Yautepec, Morelos. México, 1999.
- Instituto de Ingeniería, UNAM. Criterios para asignar en forma racional las avenidas de diseño para obras de almacenamiento, control y protección. Elaborado para CNA, 2001.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. Censo de Población 2005.
- Jiménez B, Chávez A, Cruickshank C, Pérez R, Jiménez R. Estudio de la factibilidad del empleo del agua del acuífero del valle del Mezquital para suministro del Valle de México. Instituto de Ingeniería de la UNAM, México. 1999.
- Krochin Sviatoslav. Diseño Hidráulico. Ed. MIR, Moscú, 1978.
- Legorreta et. al. Los pozos y sus efectos: El hundimiento de la Ciudad.
- Lesser y Asociados, S. A. de C. V. Piezometría y balance de agua subterránea en la zona metropolitana de la ciudad de México. México, 2000.
- Lesser et. al. El hundimiento del terreno en la Ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje.

Marshal, R. J. y Sainz Ortiz, I. Breve descripción del hundimiento de la Ciudad de México. Sociedad Geológica Mexicana. México, 1956.

Miller, W.E, y Carranza-Castañeda, O. Late Cenozoic mammals from central México. Jour. Vertebr. Paleont. México, 1984.

Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J.y Centeno-García, E. Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic: Geology. México, 1995.

Ortiz, A. La influencia del tamaño de la muestra. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.

Pardo, M. y Suárez, G. Shape of subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico-sismic and tectonic implications. Journal of geophysical research, 1995.

Pérez, et. al. ¿El agua del Valle del Mezquital, fuente de abastecimiento para el Valle de México?, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Rojas, T. Nuevas noticias sobre las obras hidráulicas prehispánicas y coloniales en el Valle de México. Instituto Nacional de Antropología. México. 1974.

Santoyo, E. Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México. TGC. México, 2005.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Boletines Hidrológicos 30 al 36, años 1977 -1983. México.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de Chalco, Gobierno del Estado de México, México, 2005.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio del Valle De Chalco, Gobierno del Estado de México, México, 2005.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Programa General de Desarrollo Urbano Del Distrito Federal, Gobierno de la Ciudad de México, México, 2005.

Séjourné, L. Arqueología e historia del Valle de México. Siglo XXI Editores. México, 1991.

Siebe, C., Rodríguez, L. V., SCAF, P. y Abrams, M. Radiocarbon ages of Holocene Pelado, Guespalapa and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City: implications for archacology and future hazards. Bulletin of Volcanology, 2004.

Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México. 1980.

Sotelo Ávila G. Hidráulica de canales. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 2002.

White, Frank M. Mecánica de Fluidos, McGraw-Hill. Limusa. México, 1988.

Referencias de Internet.

<http://www.agua.org.mx>
<http://www.cna.gob.mx>
<http://www.cuicuilahuac.org>
<http://www.df.gob.mx>
<http://www.edomexico.gob.mx>
<http://www.eluniversal.com.mx>
<http://www.gabrielortiz.com/>
<http://www.hidalgo.gob.mx/>
<http://www.imagenesaereasdemexico.com>
<http://www.invdes.com.mx>
<http://www.fundacion-christlieb.org.mx>
<http://www.jornada.unam.mx>
<http://impreso.milenio.com/>
<http://www.amc.unam.mx>