



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**“IMPACTO DE LA URBANIZACIÓN EN EL
RÉGIMEN TÉRMICO Y PLUVIOMÉTRICO EN EL
VALLE DE MÉXICO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A:

GABRIEL ALEXIS ARAIZA OLIVARES

ASESORA: MTRA. MARÍA DE LA PAZ MEDINA BARRIOS



UNAM, 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

En primer lugar agradecer a la UNAM, de la que formo parte desde hace varios años, y donde he adquirido conocimiento y muchas experiencias.

A la Maestra María de la Paz Medina Barrios por aceptar auxiliarme en la realización de ésta tesis y brindarme la orientación y un amplio bagaje de conocimientos para lograr llegar hasta esta instancia.

A los integrantes del sínodo por revisar y darme sus sugerencias y observaciones respecto a ésta tesis, con el propósito de elevar su calidad.

A todos los profesores con los que tuve la oportunidad de cursar las distintas asignaturas a lo largo de estos años, ya que de cada uno de ellos obtuve gran cantidad de conocimiento y apasionamiento por ésta noble carrera.

Agradezco a cada integrante de mi familia, así mismo les dedico a todos ellos ésta tesis a manera de homenaje por el esfuerzo y la dedicación que ha implicado impulsarme para llegar y concluir ésta fase de la vida y así mismo iniciar una nueva etapa.

También le doy las gracias a todos mis amigos, tanto los que pertenecen a la carrera geográfica, como a quienes no, pero todos y cada uno de ellos ya que he tenido la dicha de encontrarme con tan distinguidas personas

Por supuesto le dedico éste trabajo, así como mi total gratitud a la mujer que me ha acompañado, impulsado y apoyado en buena parte de éste camino, en el cual hemos tenido brillo y sombra, misterio y magia, y claro, amor, Diana.

ÍNDICE GENERAL

Introducción. -----	1
Capítulo 1: Crecimiento Urbano de la Ciudad de México. -----	4
1.1 Época Prehispánica. -----	4
1.2 Época Colonial. -----	15
1.3 México Moderno. -----	20
Capítulo 2: Materiales y Métodos. -----	30
2.1 Materiales. Bases de Datos. Clicom y ERIC III, Catálogos, periodo de funcionamiento, estaciones utilizadas y distribución. -----	30
2.2 Metodología. Análisis Espacial y Métodos de Interpolación. Kriging, IDW y Spline. -----	43
Capítulo 3: Climatología de la Ciudad de México. -----	55
3.1 Condiciones Generales. -----	58
4.2 Análisis del Régimen Térmico y Pluviométrico por década (1951-2010).-----	64
Conclusiones.-----	96
Bibliografía y Páginas Electrónicas.-----	102

Introducción.

El desarrollo propio de las ciudades modifica fuertemente el entorno en el que se emplazan y la Ciudad de México no ha sido la excepción, su acelerado crecimiento en algunas décadas ha transformado intensamente el medio.

Los estudios de la climatología urbana encuentran uno de sus antecedentes con Franz Xavier Epp, quien describía “la terrible bruma y olor producidos por la ciudad de Munich” (Jáuregui, 1974).

Otros estudios consecuentes alrededor del mundo como el realizado en 1862 por H. Renou observó las diferencias térmicas en la ciudad de Paris y el suburbio de Choise-le Roi, como resultado obtuvo que la ciudad de Paris presentaba temperaturas mínimas más elevadas y una oscilación térmica diurna menor.

Éste fenómeno es conocido como “Isla de Calor” lo que significa que mientras más cercano se encuentre del centro de la ciudad, la temperatura será mayor. Cuyos precursores son los edificios, las calles y viviendas ya que por los materiales de los que se constituyen absorben más calor que poco a poco liberan, la disminución de la cubierta vegetal, así como fuentes de calor artificial, como lo son los automóviles, aparatos electrodomésticos, aires acondicionados, calentadores de agua etc.

La lluvia es otro de los elementos que se ven influenciados por las zonas urbanas, en la Ciudad de México se presentan tres tipos de lluvia: convectiva, orográfica y frontal.

Existe un fenómeno similar al de isla de calor, pero en cuestión de lluvia, llamado “Isla de Lluvia” dicho fenómeno consiste en el que la lluvia de una zona urbana es mayor al de las zonas aledañas.

La presencia de un entramado urbano favorece la modificación de la lluvia, Espinosa (1994) cita a Jáuregui (1975) y éste a su vez a Kratzer (1956) y Landsberg (1956) señala la existencia de cuatro factores que modifican las lluvias en las ciudades.

1. Mayor número de núcleos de condensación en la ciudad, los cuales se asocian a la contaminación atmosférica.
2. Convección térmica producto de las altas temperaturas
3. Mayor turbulencia del viento a causa de las diferencias de la superficie urbana
4. Ascenso orográfico del aire húmedo.

La presente tesis tiene como objeto conocer la relación que guarda el crecimiento de la mancha urbana de la Ciudad de México durante las últimas décadas y la variación del régimen térmico y pluviométrico en el Valle de México

Para lograrlo, se optó por trabajar el periodo comprendido entre 1951-2010, a su vez dividido en seis décadas (1951-1960), (1961-1970), (1971-1980), (1981-1990), (1991-2000) y (2001-2010), así mismo se utilizaron los datos de temperatura media y lluvia total provenientes de 64 estaciones distribuidas en el territorio del Distrito Federal y Estado de México (32 por cada entidad). Se eligió dicho periodo debido a que a partir de éste momento se cuenta con una densidad suficiente de estaciones para realizar un mejor trabajo, además se determinó ésta cantidad de estaciones ya que cuentan con la cantidad de datos suficientes, sin embargo muchas de ellas no están presentes a lo largo de todo el periodo ya que su operación fue suspendida.

Al tener los datos obtenidos ya ordenados se procede a ingresarlos al SIG, donde se tienen las herramientas para realizar la interpolación de los mismos, con los cuales se realizaron un total de 12 mapas, dos por década, uno de isotermas y otro de isoyetas.

El primer capítulo presenta una semblanza histórica de lo que ha sido la ocupación humana en el Valle de México, desde los primeros habitantes, pasando por distintas etapas a lo largo del periodo Prehispánico, la Colonia y el México independiente hasta nuestros días.

El capítulo dos muestra los materiales como lo son las fuentes de información y una breve reseña de las mismas, posteriormente se realiza una explicación de los que es CLICOM, los elementos que contiene y su formato así como se les identifica. Además de CLICOM, se tiene el ERIC III del cual se presenta los datos que lo conforman y al

tratarse de un programa computacional se muestra también parte de su interface con el objeto de identificar las funciones de interés. Otra de las cuestiones que se muestra es el procesamiento de los datos en tablas, esto para seleccionar las estaciones.

Posteriormente se continúa con el procesamiento de las coordenadas de las estaciones para poder desplegarlos gráficamente y el orden jerárquico de los datos obtenidos. El siguiente paso es la interpolación, se muestran las características de cada método de interpolación presentado así como el porqué del método elegido.

El tercer capítulo expone en su primer subcapítulo expone las condiciones climatológicas generales que se presentan en el área del Valle de México. El segundo subcapítulo exhibe los doce mapas obtenidos así como una breve explicación de lo que cada uno de ellos representa. También se muestra un análisis de datos obtenidos de tres estaciones seleccionadas en base al periodo de funcionamiento, así como de su ubicación, es decir si se trata de una estación urbana, si en su inicio se encontraba en la periferia y otra cuya ubicación es fuera del área urbana.

Finalmente se presentan las conclusiones, en las cuales se realiza una interpretación de lo observado, además de ello se enuncian algunas sugerencias de acción para contrarrestar los efectos negativos de lo identificado.

Capítulo 1

Crecimiento Urbano de la Ciudad de México

1.1 Época Prehispánica

La ocupación humana en el espacio en el que se asienta la Ciudad de México, data de la etapa Lítica (30000-2000 A.C.) que a su vez se subdivide en cuatro periodos, el Arqueolítico (30000-9500 A.C.) el Cenolítico inferior (9500-7000 A.C.) Cenolítico Superior (7000-5500 A.C.) Protoneolítico (5500-2000 A.C.) (García-Bárcena, 2007).

En el periodo denominado Arqueolítico (30000-9500 A.C.) la población era de algunos pocos miles, por lo que existen muy pocos sitios que pueden ser atribuibles a este periodo, las investigaciones han revelado que los asentamientos humanos eran pequeños, probablemente con un carácter familiar, y estos dependían para su subsistencia de la recolección, y la cacería de animales pequeños, sin embargo ocasionalmente aprovechaban animales de gran tamaño como los mamuts, tal como lo corrobora un mamut descubierto en la Base Aérea No. 1 Santa Lucía, en el municipio de Tecámac, Estado de México, al cual se le asocian lascas de obsidiana y andesita. La mayor parte de la información de asentamientos humanos para esta época provienen de Tlapacoya, en el municipio de Ixtapaluca, Estado de México, se han localizado vestigios tales como grandes cantidades de huesos de animales, de los cuales muchos en la actualidad están extintos, así como de artefactos hechos de roca como andesita y obsidiana.

Al terminar el Arqueolítico, le sucedió un periodo de grandes cambios, el Cenolítico inferior (9500-7000 A.C.), se da durante la transición del Pleistoceno al Holoceno. La fauna de gran tamaño como los mamuts, caballos, camellos entre otros se extinguen, también las temperaturas se hacen mas templadas, debido al final de la glaciación. Los grupos humanos continuaron con una estructura de carácter familiar y su sostén se basaba principalmente en la caza y la recolección, sin embargo, las herramientas utilizadas se hicieron con mayor

especialización, de las que destacan las puntas de proyectil hechos principalmente de obsidiana y andesita.

Durante el periodo Cenolítico superior (7000-5500 A.C.) la caza mayor perdió relevancia debido a que los grandes animales ya estaban extintos, la sustentación se basó en la recolección, la caza de animales pequeños y explotación de los recursos de origen lacustre, las sociedades se basaron en grandes familias, las cuales durante la época de estiaje se separaban y durante la época de lluvias volvían a unirse, y es probable que siguieran un patrón seminómada. A esta época corresponde el hombre de Tepexpan, descubierto en 1947, aunque se le atribuía una antigüedad de hasta 11 mil años, estudios recientes a partir del método de series de uranio se le atribuyen en promedio 6 mil años (González, 2006)

La transición entre el final del Cenolítico superior y el inicio del Proteolítico (5500-2000 A.C.) es el comienzo del cultivo de algunas plantas, además es durante este periodo histórico que se tiene el registro del primer objeto hecho de barro, se trata de una figurilla antropomorfa, esta fue hallada en el sitio arqueológico de Tlapacoya y fechada mediante radiocarbono en 2300 ± 110 A.C, al poco tiempo se comenzó la fabricación de vasijas con barro, lo cual marcó la transición al siguiente periodo histórico.

El final de la etapa lítica fue marcado por la elaboración de herramientas muy variadas, mejor talladas y con mayor especialización y lo más importante la domesticación de diversas plantas, entre ellas el maíz, chile, calabaza, frijol, etc. Es decir se inició con la agricultura, de este modo se abre paso el denominado periodo u horizonte cultural Preclásico (2500 A.C.-200 D.C.) (García Moll y Pérez Campa, 2007) la población durante el inicio de este periodo pasa del semi-nomadismo al sedentarismo, estos primeros asentamientos eran pequeños, en aldeas, las primeras de ellas se asentaron en la zona de Tlapacoya en Ixtapaluca, Estado de México, debido a esto, la población existente aumento considerablemente en comparación a épocas anteriores. Ya se observan sociedades claramente estratificadas.

Ya entrado el Preclásico, producto de la evolución de los establecimientos humanos, la construcción de presas y canales con fines agrícolas que incrementaron la producción de alimentos, hizo que diversos puntos del Valle de México fueran habitados, estimándose una

población de 10 mil individuos (Serra Puche, 1988:40) Un ejemplo claro de un asentamiento importante de este momento histórico es Tlatilco, en el actual municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México, en su momento la región estaba sujeta a un clima mas cálido y húmedo que el actual (Lorenzo, 1956) el asentamiento se dió en tierras fértiles, en el abanico aluvial de los ríos Hondo, Cuartos y Totolica, que corren por la vertiente oriental de la sierra de las Cruces (García Moll, et al., 1991:9). Por ello la agricultura fue una parte importante en el sitio y los principales cultivos eran de maíz, frijol y calabaza mediante el sistema de tumba, roza y quema, y se complementaba con caza, pesca y recolección. Se presume que la población del sitio debió rebasar los mil individuos (Piña Chan, 1955:25).

Sin embargo el primer asentamiento que se puede considerar urbano como tal es Cuicuilco, al sur de la actual Ciudad de México en la delegación Tlalpan. Sanders et al., (1979:97) citado por Gutiérrez de McGregor et. al., (2005) señala que entre los años 650-300 A.C. Cuicuilco debió tener una población de entre 5 mil y 10 mil habitantes y durante su periodo de mayor apogeo entre los años 300-100 A.C. pudo llegar a albergar a un mínimo de 20 mil habitantes y una extensión de alrededor de 400 ha. (Ibid.:99) Citado por Gutiérrez de McGregor et. al., (2005). Sus límites se ubicaban al sur y al poniente por las estribaciones de la sierra del Ajusco en la zona donde ahora se ubica el bosque de Tlalpan al oriente por una cañada que recogía las aguas del cañón de Contreras por donde actualmente pasa el Anillo Periférico y también con las riberas del lago de Xochimilco. El trazo urbano iba del edificio circular que se ubica dentro de la zona arqueológica abierta al público al sur a lo que se conoce como Cuicuilco B que se ubica entre la Villa Olímpica y Peña Pobre. Sin embargo la ciudad fue destruida según Grove (2000:533), en el año 100 A.C. cuando una lengua de lava proveniente del volcán Xitle, la cubrió parcialmente, y para el año 400 D.C. queda cubierto por completo. Este evento desencadenó un desequilibrio poblacional y económico que pudo haber favorecido a otros asentamientos humanos como Teotihuacán. Tras la destrucción y abandono de Cuicuilco, surge Teotihuacán como el mayor centro urbano dentro del espacio de la Cuenca y Valle de México, también en éste momento se inicia el horizonte Clásico.

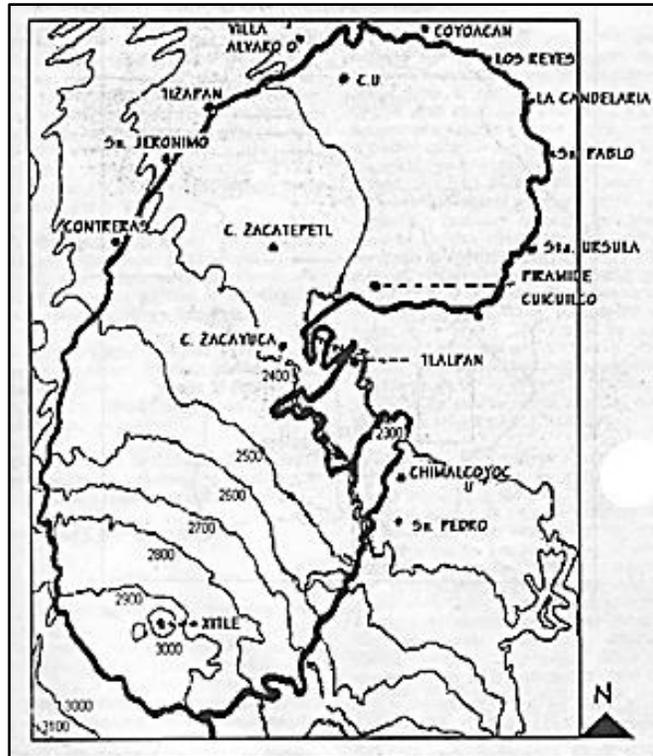


Ilustración 1.1.1 Área cubierta por lava producto de las erupciones del Xitle (Tomada del portal electrónico de la REPSA, 2007)

La ciudad antigua de Teotihuacán que si bien no se encuentra dentro del área estricta del Valle de México sienta un precedente en el establecimiento y desarrollo de ciudades contemporáneas y posteriores, tal como el precedente directo de la actual Ciudad de México, Tenochtitlan.

Teotihuacán había comenzado su desarrollo al menos desde el Siglo I A.C. desde fines del Preclásico, la ciudad ya tenía trazados sus ejes principales e inclusive sus distintivas pirámides, las del Sol y de la Luna. Según Manzanilla (2001:203) Teotihuacán se trata del primer fenómeno urbano a gran escala. Su ubicación obedeció a factores estratégicos, Manzanilla (Ibid.:207) cita Gutiérrez de McGregor et. al., (2005)

1. La cercanía a las minas de obsidiana de la sierra de Otumba y la sierra de Las Navajas.
2. La existencia de manantiales.

3. Posición privilegiada del valle en la ruta de acceso mas sencilla entre la costa del Golfo y la Cuenca de México.
4. Su cercanía al sistema lacustre de Texcoco.

En la zona existen también bancos de arcilla, útiles para la elaboración de la cerámica, así como también de materiales como tezontle, basalto y toba por lo que no es casualidad que la ciudad se haya iniciado en su sector noroeste a pesar de que esa zona resulta carente de agua.

En su primera etapa de desarrollo, la ciudad ya contaba con un complejo sistema de drenaje y de abastecimiento de agua que partía desde los manantiales ubicados al suroeste del valle de Teotihuacán e incluye además a los ríos San Juan el cual por ser una llanura aluvial presentaba condiciones propicias para la agricultura, y el río San Lorenzo.

Durante el Horizonte Clásico (150-600/650) según López (2007) empieza una diferenciación entre el campo y la ciudad, muchos de los habitantes de Teotihuacán dejan las actividades agrícolas para dedicarse a actividades tales como la artesanía, comercio, política y religiosa. La población vivía en edificios multifamiliares a manera de departamentos a diferencia de otros sitios donde las casas eran unifamiliares.

De acuerdo con Rene Millon, citado por López (2007) la ciudad habría alcanzado los 125 mil habitantes, por lo que con esa cifra se habría convertido en la sexta ciudad mas poblada del mundo en aquel tiempo, mientras que en toda la Cuenca de México había alrededor de 80 mil habitantes dispersos en diferentes asentamientos. Durante su desarrollo pudo dominar una buena parte del centro de México e incluso su influencia pudo sentirse hasta Guatemala.

Teotihuacán, mantuvo una hegemonía sobre las poblaciones de los alrededores, ya que permanecían como asentamientos rurales que fungían como proveedores de alimentos y demás materias primas.

Sin embargo a finales del Horizonte Clásico esta hegemonía comienza a decaer probablemente ante el movimiento intenso de población hacia otras regiones, la población sufre una caída muy fuerte, de los 125 mil habitantes durante su clímax de los Siglos V y

VI cayó hasta los 30 mil (Diehl, 1989). Hacia el año 575 D.C. la ciudad es saqueada y algunos de sus edificios incendiados y entre los años 650-750 los sitios teotihuacanos son finalmente abandonados (López Lujan, 2007), las razones de su caída siguen siendo tema de debate, entre ellas las propias emigraciones hacia distintos lugares como el norte de Morelos y sur de Querétaro y Guanajuato parecen haber sido causa de su declive, ya que con el tiempo la poca población que quedaba se encontraba muy dispersa y con ello se habría creado el espacio idóneo para que grupos en busca de lugares donde asentarse pudieran incursionar, además de un probable cambio climático y pugnas internas.

Con el fin de Teotihuacán se da la transición al Horizonte Posclásico (900-1519) (Parsons y Matos, 2007), la población durante los primeros años de este periodo presenta una disminución importante con respecto a épocas anteriores y una tendencia hacia lo rural. Este cambio en la demografía puede explicarse por tres factores geopolíticos de acuerdo con Jeffrey R. Parsons (Idem)

1. La herencia de fines del Clásico cuando alrededor de una docena de centros urbanos compitieron por el poder y prestigio teotihuacano
2. La relación entre Cholula (Puebla) y Tula (Hidalgo), las dos grandes capitales regionales que se desarrollaban fuera del área de la Cuenca de México. Situada entre ambas, la cuenca se convirtió en una frontera geopolítica. Por primera vez en varios siglos, los centros de poder del Altiplano Central, se ubicaban fuera de la Cuenca de México.
3. Al colapso de Tula como centro de poder hacia el año 1200, la cuenca dejó de tener esa posición de frontera.

Durante mediados del Horizonte Posclásico, la isla de Xaltocan dentro del sistema lacustre fue urbanizada y hasta 1945 estuvo aun rodeada por aguas someras, pantanosas y salitrosas hasta que en dicho año las fuentes de las que se alimentaban fueron desviadas mediante obras hidráulicas. Xaltocan en ese tiempo controlaba el acceso directo a los recursos lacustres pero sin tener acceso directo a recursos como cal o demás minerales que se encontraban bajo el dominio de la ciudad de Tula, por lo que ambas se complementaban entre sí.

También en esta época por primera vez se hicieron intentos con aparente éxito de drenar los pantanos y así fue como apareció en la zona de ciénagas de Chalco-Xochimilco la agricultura en chinampas de gran productividad sin embargo no fue hasta finales del Posclásico que dicha técnica se desarrolló por completo

Tras la caída de la ciudad de Tula hacia el siglo XII pudo también haber colapsado la estructura socioeconómica de toda la región aunado a que se trata de una zona árida, las poblaciones migraron para ir en busca de recursos en zonas más húmedas al sur de la cuenca de México. La población tuvo un aumento significativo y la urbanización creció en la parte centro y sur de la cuenca.

Hacia finales del Posclásico las riberas de los lagos se encontraban densamente pobladas, estas poblaciones habían sido fundadas por diversas tribus llamadas genéricamente chichimecas, las cuales migraron desde el norte, algunos de estos señoríos adquirieron un importante poderío, como Azcapotzalco, Culhuacán y Xochimilco. Sin embargo, la última de aquellas tribus en llegar al valle de México fueron los aztecas, provenientes de Aztlán “Lugar de las Garzas” iniciaron su peregrinación hacia el año 1111, de acuerdo a la leyenda su dios patrono Huitzilopochtli les guió en el largo camino en el que cuatro sacerdotes se turnaban para cargar su imagen y oían en sueños sus mandatos, el mas importante fue el prodigio de un águila parada sobre un nopal, cabe destacar que no hay referencia a que dicha águila debía devorar una serpiente, tal como se constata en el relato que Fray Diego Durán en “Historia de las Indias de Nueva España y islas de Tierra Firme” hace sobre dicho acontecimiento: “...Y andando de una parte en otra divisaron el tunal, y encima del el águila con las alas estendidas acia los rayos del Sol, tomando el calor del y el frescor de la mañana y en las uñas tenía un pájaro muy galano de plumas muy parecidas y resplandecientes...” Sin embargo el dato histórico dicta que en aquella época esa región del lago de Texcoco pertenecía al señorío o reino de los tepanecas de Azcapotzalco y era casi limítrofe con el señorío de Culhuacán por lo que para Azcapotzalco resultaba conveniente que los aztecas se establecieran en la zona, de acuerdo a Matos (1993) la primer razón sería para que le dieran tributo en productos del lago, y la segunda razón para que le sirvieran como fuerza militar en sus conquistas, es así como los aztecas o

mexicas no se establecieron en el lugar que ellos prefirieron si no que tuvieron que pedir autorización a Tezozómoc, entonces señor de Azcapotzalco, quien les dió autorización, por lo que quedaron como un pueblo tributario.

Se tiene la coincidencia de que Tenochtitlán fue fundada hacia el año 1325. Actualmente se sabe que ese año ocurrió un eclipse solar el día 13 de abril que debió haber comenzado a las 10:54 de la mañana con una duración de 4 minutos y 6 segundos conforme a los cálculos de la astronomía moderna por lo cual es presumible que los mexicas hayan adaptado esa fecha como la de fundación de la ciudad (Galindo, 1994).

Desde su inicio, Tenochtitlan tuvo un trazo determinado, en el centro se ubicaba el recinto ceremonial, de ahí partían las calzadas orientadas a los cuatro puntos cardinales y estos a su vez dividían a la ciudad en cuatro barrios. Alrededor del recinto ceremonial se encontraban los palacios de los señores principales.

En el año 1428 los mexicas emprendieron una guerra contra Azcapotzalco de la cual salieron victoriosos y con ello se liberaron del yugo al que estaban sometidos, con éste acontecimiento se abrió paso a la creación de un vasto imperio junto con las ciudades de Texcoco y Tacuba, que llegó a tener alrededor de 340 pueblos tributarios hacia la llegada de los españoles en 1519 (Matos Moctezuma, 1993). Al liberarse de Azcapotzalco, los mexicas inician una expansión sin precedente mediante el militarismo, con el fin de imponer tributo a los pueblos conquistados.

Primero la expansión se dio en la parte central del país para después incursionar en la costa del Golfo de México, Oaxaca, Guerrero y Chiapas.

Se tenían como objetivos principales de las conquistas por un lado establecerse en posiciones estratégicas que permitieran la incursión a lugares más distantes además de establecer guarniciones en las fronteras con pueblos hostiles. Otro objetivo era el obtener productos que no se producían en el centro de México como el algodón, cacao, pieles, ámbar, entre otros, y que se comerciaban en el mercado de Tlatelolco. En su momento de mayor auge se calcula que Tenochtitlan pudo llegar a albergar a cerca de 200 mil habitantes (Matos, 1993).

Para la manutención de la ciudad se utilizaron las chinampas para el cultivo de diversos productos, si bien varios siglos antes ya existían, fue durante esta época que alcanzaron su máximo. De acuerdo al arqueólogo Pedro Armillas (1981) el hombre transformó profundamente el sistema lacustre del sur del valle de México, en este periodo la extensión de la zona cultivable de chinampas sería de una 9 mil ha. Lo que según cálculos hechos por William T. Sanders (1976:135) servirían para sostener una población de entre 171 mil y 200 mil personas considerando un consumo per cápita anual de 160 kilos de maíz.

Dado que las aguas del lago de Texcoco eran saladas, el abastecimiento de agua se realizaba mediante acueductos que se surtían de los manantiales de Chapultepec, dicho acueducto corría a lo largo de la calzada de Tacuba.

El uso de suelo estaba muy bien delimitado, al centro la zona sagrada, en la zona inmediata se ubicaban plazas públicas destinadas al comercio y en los terrenos colindantes a la zona sagrada, los palacios, y a los alrededores los barrios populares.

La transformación del sistema lacustre además de la construcción de chinampas para el cultivo, se debió a las inundaciones, se han documentado dos durante el periodo prehispánico, la primera en el reinado de Motecuhzoma I quien reino de 1439 a 1468 (León Portilla, 1961:97) por lo que se ordenó la construcción de un gran dique, llamado albarradón de Nezahualcóyotl, al oriente de la ciudad, con la finalidad de controlar las crecidas del lago de Texcoco. La segunda tuvo lugar en 1499 debido a la combinación de la introducción de una nueva fuente de abastecimiento de agua a la ciudad y abundantes lluvias, de forma tal que para el control de las aguas además del a mencionado albarradón, las calzadas fungían como vías de comunicación y también como diques.

A la llegada de los conquistadores españoles en 1519, la zona del valle de México contaba con gran cantidad de asentamientos humanos. (Ilustración 1.1.2).

Las crónicas españolas dejan entrever la grandeza de la ciudad tal como lo describe Bernal Díaz del Castillo (1964:147) “ Y desde que vimos tantas ciudades y villas pobladas en el agua, y en tierra firme otras grandes pobazones, y aquella calzada tan

derecha y por nivel como iba a México, nos quedamos admirados y decíamos que parecía a las cosas de encantamiento que cuentan en el libro de Adamis, por las grandes torres y cués y edificios que tenían dentro en el agua y todos de cal y canto, y algunos de nuestros soldados decían que si aquello que veían era entre sueños, y no es de maravillar que yo escriba aquí de esta manera, porque hay mucho que ponderar en ello que no se como lo cuente: ver cosas nunca oídas, ni aún soñadas, como veíamos.”

Hernán Cortes, tras el levantamiento en armas de Tenochtitlan, se vió obligado a destruir la ciudad con la ayuda de sus aliados indígenas. La ciudad fue sitiada por 75 días, tiempo en el que se lucho calle por calle hasta que el 13 de agosto de 1521, el último emperador mexica, Cuauhtémoc, fue capturado, al final la ciudad había quedado totalmente en ruinas y mientras duró el periodo de reconstrucción, la capital fue trasladada a Coyoacán.

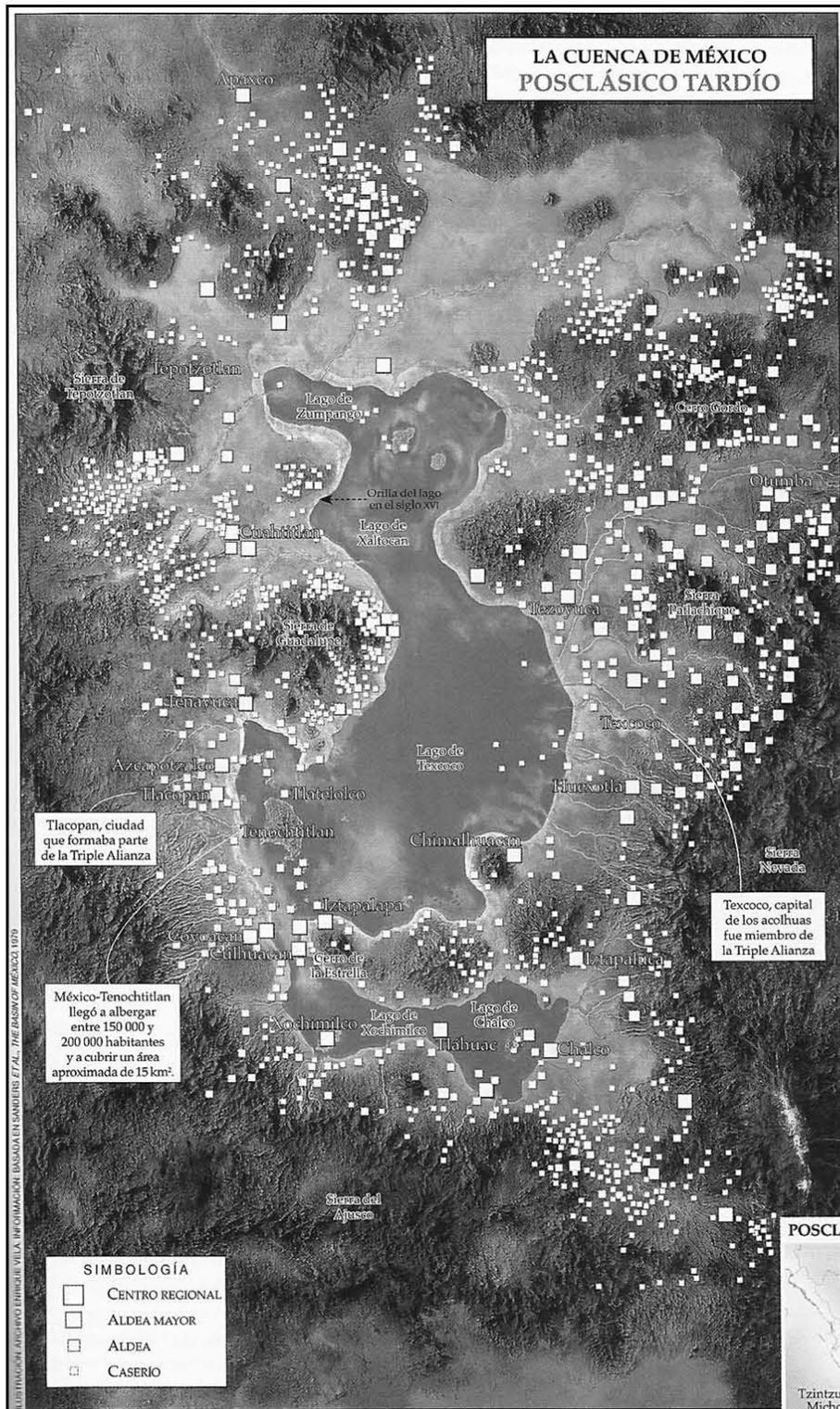


Ilustración 1.1.2. Asentamientos de la Cuenca y Valle de México poco antes de la conquista española (Tomada de la revista Arqueología Mexicana No.86 Julio-Agosto 2007, p.59).

1.2 Época Colonial.

Una vez terminada la conquista, la ciudad se reconstruyó sobre las ruinas de Tenochtitlan, las piedras de templos y palacios se utilizaron en la construcción de nuevos edificios. Mientras esto sucedía la sede de la capital se ubicó en Coyoacán.

Una vez concluida la limpieza de la nueva ciudad, la traza urbana se puede explicar según Maza (1985) por una parte la experiencia y el conocimiento urbano renacentista y por otra, la posibilidad de sacar provecho de la traza de la antigua ciudad. La distribución espacial de calzadas, calles, acequias y muchas de sus plazas se mantuvo.

En los inicios de la ciudad colonial predominaban los canales como medio de comunicación ya que esto favorecía al comercio, sin embargo con la eventual expansión urbana fue necesario ganar tierra firme al agua.

La población estaba claramente dividida entre los españoles y los indígenas. La vivienda española temprana se distinguía por tener un estilo arquitectónico de tipo fortaleza, esto para los españoles que habían participado en la guerra de conquista, mientras que para los españoles recién llegados, dedicados al comercio u otros oficios, eran de una arquitectura modesta por lo regular de dos niveles, el primero servía para la instalación de comercios o talleres, mientras que la segunda planta era la utilizada como habitación. La vivienda indígena mantenía sus características originales, construidas con materiales sencillos y poco duraderos y estaban dispuestas sin orden (Ayala, 1996, 44-46) citado por Gutiérrez de McGregor y González Sánchez (2002). Las residencias españolas se ubicaban en un polígono rectangular, éste se encontraba limitado por canales que en la actualidad corresponden a las calles de Eje Central Lázaro Cárdenas al poniente, al oriente con Roldan, República de Perú al norte y José María Izazaga al sur (Cervantes Sánchez, 1988). Fuera de ésta zona se ubicaban los barrios indígenas.

En el verano, los lagos del Valle de México reducían su área, sin embargo en la temporada de lluvias la ciudad resultaba seriamente afectada, por lo que las autoridades virreinales decidieron la construcción de obras hidráulicas con el fin de que la crecida de las aguas fueran controladas para evitar de ese modo que la ciudad se inundara, ejemplo de éstas

obras fue el llamada albarradón de San Lázaro, el cual se ubicaba al oriente de la ciudad de México, el cual sustituyó al prehispánico albarradón de Nezahualcóyotl (Ilustración 1.2.1)



Ilustración 1.2.1 Vista de la Ciudad de México con el albarradón de San Lázaro al fondo (Juan Gómez de Trasmonte, 1628)

Sin embargo, a pesar de la presencia del albarradón, las inundaciones en la Ciudad de México continuaron presentándose, por lo que continuaron construyéndose obras hidráulicas aunque en menor escala.

Fue en 1608 que se concluyó la primer gran obra hidráulica que transformó drásticamente el ambiente en el Valle de México, se trató de un túnel para desaguar al río Cuautitlán al noroeste de la Cuenca de México, sin embargo al poco tiempo dicho túnel colapsó por lo que hubo la necesidad de realizar trabajos para transformarlo en un tajo a cielo abierto, entonces se le conoció como Tajo de Nochistongo, con esta obra la Cuenca de México dejó de ser una cuenca cerrada por acción antrópica.

La conformación de la Ciudad de México en el siglo XVII seguía dominada por acequias, cuatro mayores y muchas más de menor calado. Según Maza (1985:17) citado por

Gutiérrez de McGregor y González Sánchez (2002) el dato respecto a la población de la época más confiable es el que brindan Fernando Cepeda y Fernando Carrillo la estiman en 20 mil familias de españoles por 60 mil indios. En esta época, el estilo arquitectónico de la ciudad va modificándose, los edificios tipo fortaleza van cediendo su espacio para nuevos estilos como el renacentista, el plateresco y mudéjar y en los templos se construyen cúpulas.

La distribución urbana estaba claramente delimitada, donde los barrios se definían por las actividades económicas que sus habitantes desarrollaban de acuerdo a lo dispuesto por las autoridades del Ayuntamiento y por corporaciones de artesanos, tenía como fin el tener un mejor control e identificar su especialidad. Lo usual era que se instalaban los talleres y comercios en la vivienda misma formando según Ayala (1996:53) cita Gutiérrez de McGregor y González Sánchez (2002).

Durante el siglo XVII, a pesar de obras hidráulicas realizadas hasta la fecha, la Ciudad de México continuó sufriendo los estragos de las inundaciones y es precisamente en ésta época (1629) que ocurre la mayor inundación de la que se tengan registros en la cual la ciudad permaneció anegada por un periodo de cinco años por lo que en 1637 se llegó a contemplar la posibilidad de mudar la ciudad a una parte mas alta, posteriormente se organizó una junta en la que a fin de cuentas la idea fue descartada. Durante esta época también se construyeron diversas obras hidráulicas con el fin de abastecer del vital líquido a la ciudad; el de Santa Fe y Chapultepec.

Durante la última década del siglo XVII, los temporales de lluvia afectaron gravemente la ciudad, al grado de provocar inundaciones que destruyeron varios edificios además que los cultivos de productos como maíz y trigo se perdieran lo que ocasiono escases y carestía como consecuencia hubo hambruna y motines.

Durante la primera mitad del siglo XVIII, en la ciudad no hubo cambios significativos puesto que las prioridades de las autoridades se centraban principalmente en implementar defensas para el territorio de Nueva España debido a su inmensidad, no es si no hasta la segunda mitad de dicho siglo que se da una transformación importante dentro de la ciudad y de esta época aun perdura mucho del legado en el hoy Centro Histórico de la Ciudad de

México, el auge económico que se dió debido a la actividad económica tan intensa entre las provincias españolas orientales, la Nueva España y España, permitió que la ciudad tuviera una mayor importancia, lo que se reflejó en la renovación y modernización de las instituciones, construcciones civiles y religiosas, por lo que Alejandro Von Humboldt llamó “La Ciudad de los Palacios”.

Se inició la construcción de un nuevo tipo de vivienda que estaban destinadas a las familias de menores recursos además se encontraba una vivienda principal, la cuál estaba destinada a las familias de clase media, se trata de las vecindades que aún hoy en día muchas de ellas persisten, estas contaban con letrinas que periódicamente debían ser vaciadas.

Durante el virreinato del Conde de Revillagigedo (1789-1794), cuyo nombre era Juan Vicente de Güemes Pacheco de Padilla y Horcasitas, la Ciudad de México experimentó un periodo de máximo esplendor, periodo durante el cual se realizaron obras tales como el empedramiento de las calles que anteriormente eran pasos terregosos que duran la época de secas producían tolvaneras con las consecuentes afectaciones a la salud de los habitantes, y que durante la época de lluvias se formaban lodazales. Se tenía alumbrado público que se constituía por 1079 faroles (Gutiérrez de McGregor y González Sánchez, 2002), se implementaron coches especiales para recoger la basura, se ordenó el comercio, al trasladar a los vendedores a mercados que en aquella época eran: el del Volador, Santa Catarina y el del Factor. Se colocaron tuberías para agua potable, se establecieron también carruajes para el transporte público, de acuerdo a cifras recogidas por Cervantes Sánchez (1988) la Ciudad de México contaba con 304 calles, 140 callejones, 12 puentes, 64 plazas, 19 mesones y 15 mil edificios y tenía cerca de 140 mil habitantes.



Ilustración 1.2.3 Plano iconográfico de la Ciudad de México (1794) (Tomado del Portal Crónicas Cartograficas: Historia Urbana y Cartografía, 2008).

1.3 México Moderno.

La primera mitad del siglo XIX se distinguió por el fin del dominio español pero también por conflictos político-militares que ocasionaron el deterioro de la Ciudad de México.

En 1824 mediante decreto se crea el Distrito Federal, que originalmente su área partía de la plaza mayor a un radio de 2 leguas equivalentes a 8.2 Km aproximadamente. Si bien la ciudad durante esta primera mitad presenta cambios en cuanto al trazado y un aumento en la población, en cuanto al área que cubría no tuvo cambios significativos.

Los fenómenos naturales como las inundaciones y los sismos los cuales si bien no eran nuevos, con el aumento de la población los daños fueron significativos esto se puso de manifiesto en mayo de 1820, abril de 1845 y junio de 1858 en el que se presentaron sismos de intensidad significativa.

En la segunda mitad del siglo XIX debido al efecto de las Leyes de Reforma, se desamortizaron los bienes eclesiásticos con lo que las propiedades pasaron a diversas manos, varios conventos fueron demolidos para construir nuevos edificios, abrir calles, otros fueron adaptados para diversos usos, por lo que Morales (1996:175) citado por McGregor y González (2002) refiere que se dio un cambio importante en la propiedad que pasó de la principal corporación de su antiguo régimen, la Iglesia a la propiedad privada en beneficio de una naciente burguesía. Esto constituyó el inicio del mercado inmobiliario que marcaría la pauta para el crecimiento urbano.

Hacia 1861 se crearon diversas colonias a través de una nueva zonificación que se basó en el nivel socioeconómico de quienes habrían de habitarla, la primera de ellas fue Santa María la Rivera, para la clase media-alta, San Rafael para clase media, Guerrero para clase obrera entre otras.

Durante la efímera existencia del Segundo Imperio Mexicano con Maximiliano de Habsburgo a la cabeza (1864-1867) se traza lo que hoy es uno de los corredores mas importantes de México, se trata del Paseo de la Reforma, entonces Paseo de la Emperatriz, cuya función estaba dirigida a unir el Castillo de Chapultepec con Palacio Nacional.

Uno de los factores que favoreció la expansión de la ciudad fue la instalación de los primeros ferrocarriles por lo que diversas localidades hasta entonces apartadas del centro de la ciudad pudieron ser unidas, en el área central de la ciudad se instalaron las primeras líneas telefónicas.

Durante el Porfiriato se instalaron nuevos medios de comunicación como los tranvías, se instalaron las primeras luminarias eléctricas; también se fortaleció el ferrocarril con la construcción de nuevas estaciones.

La distribución de agua pasó de acueductos a tuberías de plomo y en diversas colonias de reciente creación las calles se pavimentaron por lo que las familias adineradas que habitaban la ciudad se trasladaron a estas nuevas colonias así que muchas de las casas fueron transformadas en comercios, oficinas y bodegas.

El establecimiento de la industria en la periferia de la ciudad y asociada a la existencia de vías de ferrocarril, favoreció la migración del campo a la ciudad, estos migrantes la mayoría de bajos recursos se establecieron paulatinamente al oriente en zonas sin los servicios básicos.

La población para 1895, fecha en que se realiza el primer censo de población del Distrito Federal era de 474 860 habitantes. La situación del agua seguía siendo un problema, la presencia de los lagos, aunque ya muy reducidos, era visto como un problema para la salud, por lo que el desagüe era imperativo, de tal modo en el año 1900 se inaugura una nueva perforación a la cuenca en la Sierra de Tequisquiac, aun así las inundaciones siguieron siendo un problema recurrente por lo que se construyó una tercer salida muy cercana a la anterior la cual fue concluida hasta 1947 y la obra de desagüe mas reciente se trata del drenaje profundo el cual desemboca en el rio El Salto y fue inaugurado en 1975 (Ilustración 1.3.1). El desalojo de las aguas de los lagos representó a su vez la escasez del agua, por lo que para el abastecimiento de la ciudad se comenzaron a construir pozos para tal fin, lo cual a lo largo del tiempo ha traído problemas como el agotamiento del recurso y hundimientos en toda la ciudad (Ilustración 1.3.2)



Ilustración 1.3.1 Sistema de desagüe del Valle de México (GDF, 2006)

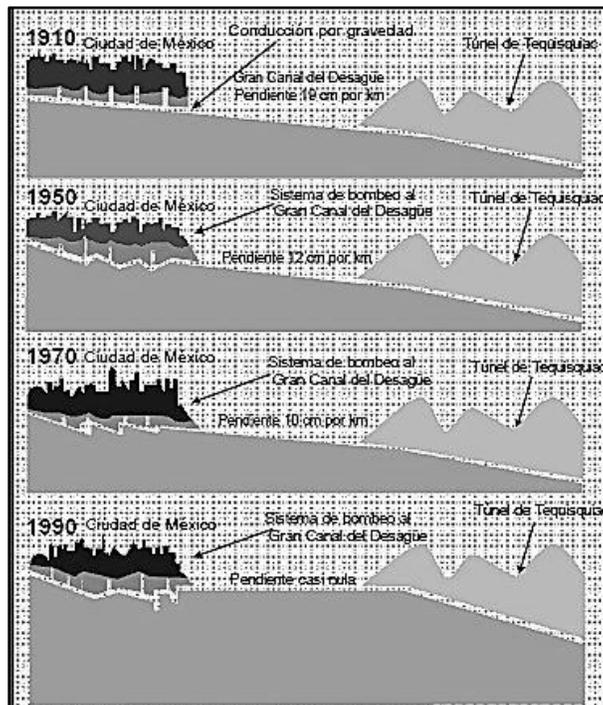


Ilustración 1.3.2 Hundimiento de la Ciudad de México (1910-1990) (GDF, 2006)

La población de la Ciudad de México experimentó durante el siglo XX un crecimiento acelerado. La reducción de la mortalidad, la centralización de poderes políticos, administrativos y vías de comunicación así como flujos migratorios alentados debido a que la mayoría de las industrias se ubican en la zona, hicieron que en pocos años la población de la Ciudad de México aumentara dramáticamente (Gráfica 1.3.1).



Gráfica 1.3.1 Evolución de la Población de la Ciudad de México

A partir de la década de 1930 el crecimiento de la población comenzó a tomar un ritmo sin precedente, de 1910 a 1930 la población creció de 720 mil habitantes a más de 1 millón 200 mil y en los 20 años siguientes la población creció a más del doble superando los 3.3 millones de habitantes, mientras que entre 1950 y 1970 el número de habitantes prácticamente se triplicó. Sin embargo en las décadas posteriores el ritmo de crecimiento disminuyó gracias en parte a los programas de control natal que comenzaron a implementarse a partir de la segunda mitad de los años 70, por lo que entre las cifras arrojadas por los censos de 1970 y 1990 el número de habitantes pasó de 9.1 millones a poco más de 15 millones y 20 años después los datos derivados del censo realizado en 2010

la cifra alcanzó poco más de 20.1 millones de habitantes en toda el área que cubre la mancha urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Al crecer la población, también lo hace la mancha urbana. Entre 1524 y 1900, la mancha urbana abarcaba únicamente lo que hoy se conoce como centro histórico de la Ciudad de México, el área aproximada de acuerdo a las cifras obtenidas mediante Sistema de Información Geográfica es cercana a los 2 Km² en 1524 mientras que en el año 1900 dicha área se incrementa a 16.5 Km² y a partir de ese momento la urbanización se fue llevando a cabo de forma muy rápida, en los 30 años siguientes es decir en 1930, la superficie urbanizada llegó a más de 68 Km² es decir casi se cuadruplico a costa de antiguas planicies lacustres en su parte noroeste y sureste mientras que al noreste sobre una superficie proluvial-lacustre y al suroeste alcanzó el pie de monte; 30 años más tarde, en 1960 la mancha urbana rebasó los 380 Km², la transformación en el medio fue muy intensa. Además de la casi total extinción de los cuerpos lacustres cuyos antiguos emplazamientos comenzaron a ser poblados (Ilustración 1.3.3), los ríos comenzaron a ser un problema para los nuevos habitantes puesto con la crecida de los caudales en temporada de lluvias resultaban afectados, por lo que a mediados de los años 30 y principios de los 40, se construyeron una serie de presas como la de Mixcoac, Tacubaya y San Joaquín, aun así los problemas con el agua continuaron por lo que se decidió entubar la mayoría de los ríos, entre 1944 y 1960 se entubo el río Consulado, el de la Piedad se entubo entre 1945 y 1960, al igual que el Churubusco entre los años 1950 y 1975. Al mismo tiempo se entubaron el Canal de Miramontes, el río San Ángel y el Barranca del Muerto (Ilustración 1.3.4)

Todos los antiguos cauces fueron aprovechados para la construcción de vías de comunicación y como límites de colonias, actualmente se considera al río Magdalena al sur poniente de la ciudad como el último río vivo, sin embargo en la zona baja se encuentra contaminado.

Además de lo anterior extensas zonas al oriente de la ciudad en la zona del Cerro de la Estrella comenzaron a urbanizarse, en la parte poniente de la ciudad el crecimiento de la mancha urbana se vio limitada por la Sierra de las Cruces y Monte Alto, al noreste a lo largo de la carretera México-Pachuca, en la parte noroeste con dirección a Querétaro y dos

extensiones al sur en dirección a Cuernavaca, dicha expansión se le ha denominado debido a su forma como tentacular (Gutiérrez de McGregor y González Sánchez, 2010).

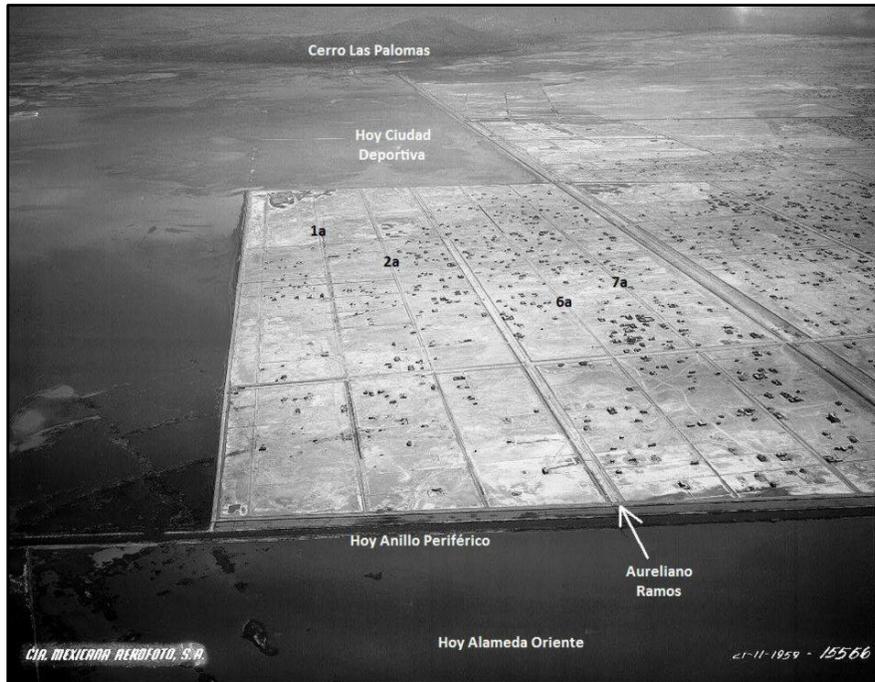


Ilustración 1.3.3 Vista en 1959 de parte de lo que hoy ocupa Cd. Nezahualcóyotl (ICA/Aerofoto, Tomada de La Ciudad de México en el Tiempo)



Ilustración 1.3.4 Vista en 1952 del Canal de Miramontes al centro donde hoy se emplazan las colonias Campestre Churubusco y Educación (ICA/Aerofoto, Tomada de La Ciudad de México en el Tiempo)



Ilustración 1.3.5. Vista de la Av. Miguel Ángel de Quevedo-Taxqueña en 1946 . (ICA/Aerofoto, Tomada de La Ciudad de México en el Tiempo)

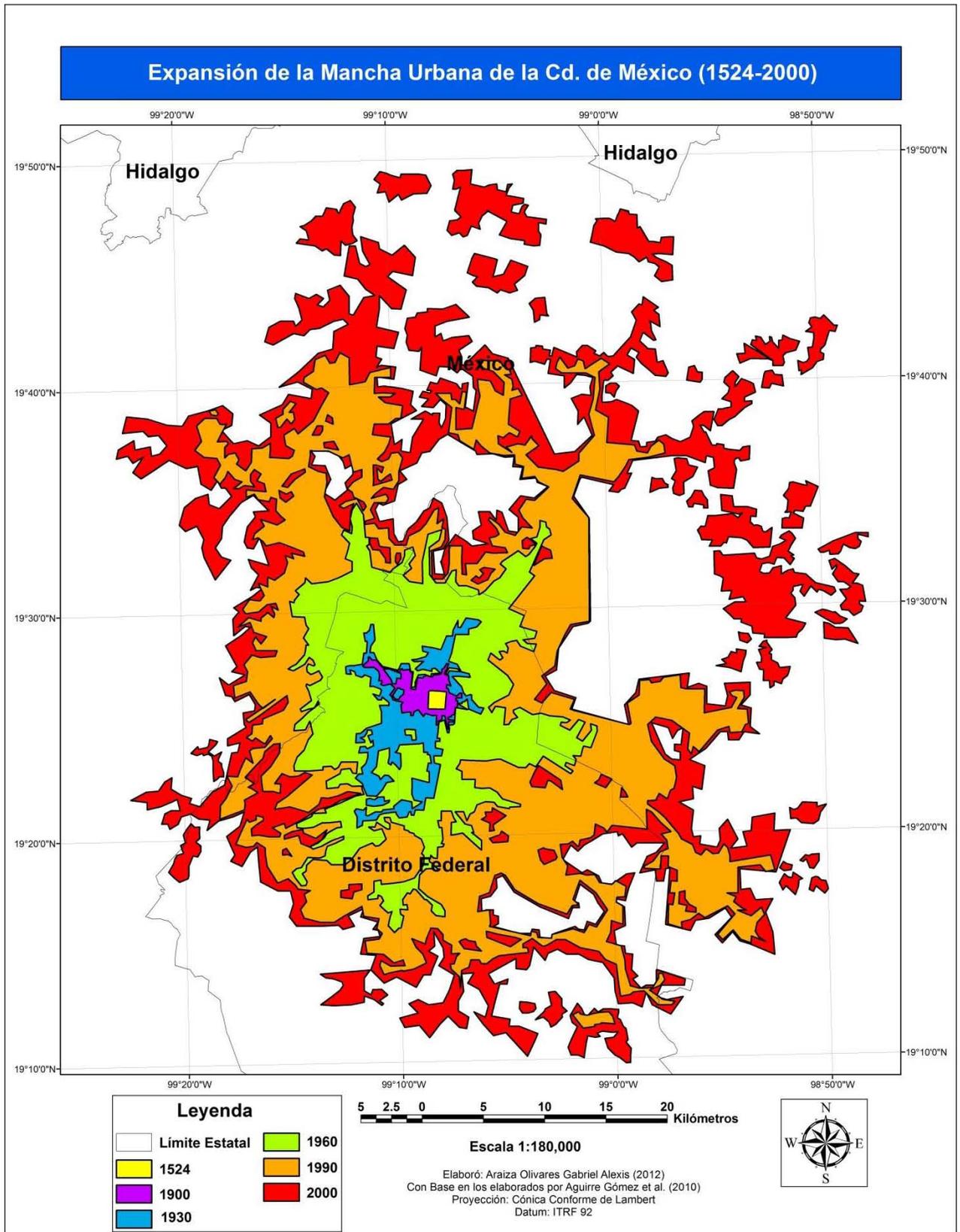


Ilustración 1.3.6 Vista desde el Cerro de Zacatepetl en los años 70, se aprecia al centro el espacio que hoy ocupa el centro comercial Perisur y al fondo a la derecha la Villa Olímpica (Col. David Guerrero. Tomada de La Ciudad de México en el Tiempo)

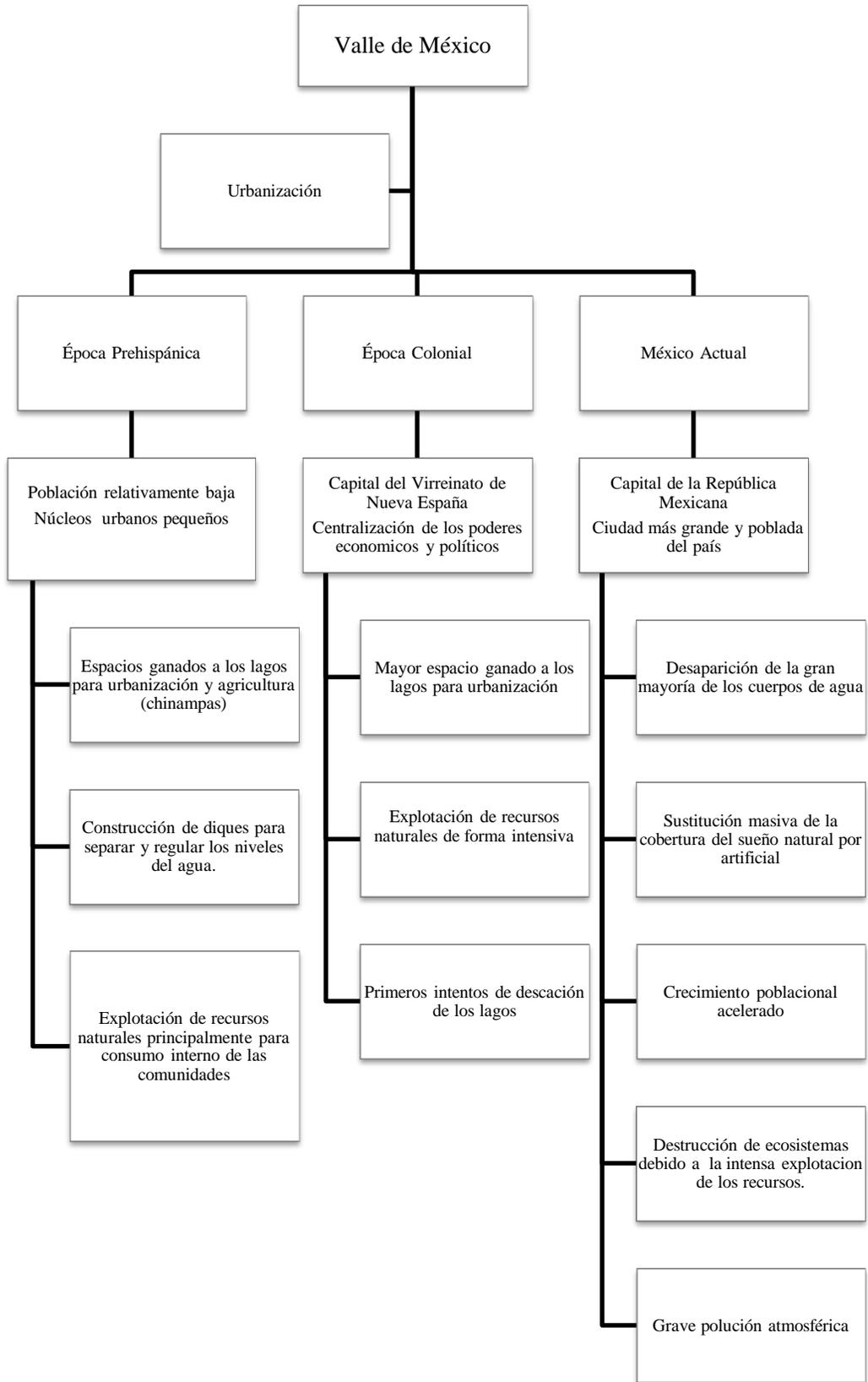
Para 1990 la mancha urbana alcanza una extensión de más de 1 100 Km², dicha expansión se dió en todas direcciones y se rebasó la mayoría de las barreras naturales que hasta entonces habían limitado el crecimiento de la mancha.

Ya en el año 2000 la Ciudad de México cubrió casi 1700 Km², con lo cual todas la barreras físicas que mantenían a raya la mancha urbana fueron superadas por completo con una expansión caótica y desordenada (Mapa 1.3.1).

Actualmente la Zona Metropolitana de la Ciudad de México está conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal, 59 Municipios del Estado de México y un municipio del Estado de Hidalgo (CONAPO, 2005).



Mapa 1.3.1 Expansión de la Ciudad de México



Capítulo 2

Materiales y Métodos

2.1 Materiales. Bases de Datos. Clicom y ERIC III, Catálogos, periodo de funcionamiento, estaciones utilizadas y distribución.

La base de datos climatológicos oficial para la Republica Mexicana es administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que depende de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y ésta a su vez forma parte de la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

El Servicio Meteorológico Nacional fue creado en 1877 por decreto presidencial bajo el nombre de Observatorio Meteorológico y Astronómico de México dependiente de la Comisión Geográfica Exploradora del Territorio Nacional, que en primera instancia se instaló en el Palacio Nacional.

A lo largo del tiempo el entonces Observatorio Meteorológico y Astronómico de México cambio su sede en diversas ocasiones; en 1878 se trasladó al Castillo de Chapultepec; en 1880 se independizó de la Comisión Geográfica Exploradora del Territorio Nacional, por ello se le asigno su propio presupuesto y personal. Fue en 1883 que se trasladó al Palacio del Ex Arzobispado en Tacubaya, se tenía contemplado edificar un edificio exprofeso para que albergara a dicho organismo, sin embargo esto no ocurrió.

En el año de 1901, se transforma en el Servicio Meteorológico Nacional, se contaba con 31 secciones meteorológicas estatales, 18 observatorios y estaciones independientes, las cuales transmitían información al Observatorio Meteorológico de Tacubaya por vía telegráfica (SMN, 2010).

Debido a la Revolución Mexicana en 1910, el Servicio Meteorológico Nacional se vió en diversas dificultades para su operación y no fue hasta 1913 que volvió a retomar sus funciones.

En años posteriores continuó transformándose y fue hasta 1989 que quedó integrado a la CONAGUA y desde 1999 depende directamente de la dirección general de CONAGUA.

Actualmente el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) concentra los datos climatológicos en el sistema Clima Computarizado (CLICOM), el cual surgió de un esfuerzo realizado entre 2004 y 2005 el SMN, en conjunto con las Gerencias Estatales de la Comisión Nacional del Agua, para realizar el rescate de información y digitalización de los datos climáticos.

La información de CLICOM muestra retrasos en cuanto a la actualización, que va desde algunos meses hasta varios años, básicamente debido a las dificultades de acceso a los datos en papel y con el proceso de digitalización de la información. Cabe destacar que esta situación no es exclusiva de CLICOM, si no que ésta se presenta de manera generalizada alrededor del mundo.

Para el caso de la base de datos de CLICOM mensual utilizada en éste trabajo, presenta datos actualizados hasta julio de 2011 y para la base de datos diaria, está actualizada a diciembre de 2011.

El catalogo de las estaciones de toda la Republica Mexicana presenta la siguiente información:

CLAVE	INICIO
CVE-OMM	FIN
NOMBRE	SITUACION
MUNICIPIO	LATG
ESTADO	LATM
ORG_CUENCA	LATS
CUENCA	LONG
SUBCUENCA	LONM
TIPO_EST	LONS
ORGANISMO	ALTURA

Donde la clave se refiere al número de estación con la que el SMN la tiene registrada; la CVE-OMM se refiere a la clave de registro ante la Organización Meteorológica Mundial; el nombre es el nombre de la estación, municipio se refiere al municipio en el cual se ubica

dicha estación. ESTADO hace referencia a la entidad federativa a la cual pertenece; el ORG_CUENCA se refiere al organismo de cuenca al que está adscrita la estación, el organismo de cuenca se considera como la unidad básica de gestión de los recursos hídricos (CONAGUA, 2011). En CUENCA se señala el nombre del rasgo morfológico en donde se ubica. SUBCUENCA se refiere de igual modo a un rasgo morfológico; TIPO_EST es el tipo de estación, de esta hay dos clases, climatológica y observatorio, ORGANISMO indica la institución que estableció y/o opera la estación, puede ser el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ó la Dirección General de Estudios (DGE); INICIO y FIN muestra la fecha en que inició operaciones la estación y la fecha del último registro respectivamente; para LATG, LATM, LATS, LONG, LONM, LONS señalan la referencia geográfica de latitud y longitud en grados minutos y segundos respectivamente y ALTURA se refiere a la posición de la estación con relación

La base de datos de CLICOM, está conformada por datos diarios y datos mensuales los cuales contienen distintos elementos. Para el caso de la base de datos diaria los elementos y sus claves son las siguientes:

Clave	Elemento
1	Temp. amb. 08 hs. °C
2	Temp. máx. °C
3	Temp. min. °C
5	Precip 24 hs. mm
18	Evap. 24 hs. mm
30	Días c/tormenta (0 no hay, 1 si hay)
31	Días c/granizo (0 no hay, 1 si hay)
32	Días c/niebla (0 no hay, 1 si hay)
43	Cobertura nubosa (0 despejado, 1 medio nublado, 2
91	Días c/helada (0 no hay, 1 si hay)

El CLICOM mensual presenta información un tanto distinta a la del CLICOM diario, los elementos y sus respectivas son las siguientes:

Clave	Elemento
201	TEMP MAXIMA PROM °C
202	TEMP MINIMA PROM °C
203	TEMP MEDIA MES °C
204	TEMP MAXIMA EXT. °C
205	FECHA T. EXT MAX
206	TEMP MINIMA EXT. °C
207	FECHA T. EXT MIN
208	LLUVIA TOTAL MES mm
209	NIEVE, TOTAL MES cm
210	LLUVIA MAX 24 H. mm
211	FECHA LLUV MAX 24 H.
214	EVAPORACION MES. mm
229	DIAS C/ LLUVIA
230	DIAS C/ TORMEN.
231	DIAS C/ GRANIZO
232	DIAS C/ NIEBLA
233	DIAS C/ POLVO
234	DIAS C/ HUMO
235	DIAS C/ NIEVE
240	DIAS C/ temp < -10°C
241	DIAS C/ temp < -5°C
242	DIAS C/ temp < 0°C
243	DIAS C/ temp > 30°C
244	DIAS C/ temp > 35°C
245	DIAS C/ temp > 40°C
246	DIAS C/ LLUVIA APREC
247	DIAS C/ precip > 5 mm
248	DIAS C/ precip > 10 mm
263	EVAP. MAX 24 H. mm
264	FECHA EVAP MAX 24 H.

Los formatos en que se presentan los datos en CLICOM diario y mensual son los siguientes respectivamente:

DATASET-ID	FLAG1-15
Station-ID	VALUE-16
ELEMENT-CODE	FLAG1-16
YEAR-MONTH	VALUE-17
VALUE-1	FLAG1-17
FLAG1-1	VALUE-18
VALUE-2	FLAG1-18
FLAG1-2	VALUE-19
VALUE-3	FLAG1-19
FLAG1-3	VALUE-20
VALUE-4	FLAG1-20
FLAG1-4	VALUE-21
VALUE-5	FLAG1-21
FLAG1-5	VALUE-22
VALUE-6	FLAG1-22
FLAG1-6	VALUE-23
VALUE-7	FLAG1-23
FLAG1-7	VALUE-24
VALUE-8	FLAG1-24
FLAG1-8	VALUE-25
VALUE-9	FLAG1-25
FLAG1-9	VALUE-26
VALUE-10	FLAG1-26
FLAG1-10	VALUE-27
VALUE-11	FLAG1-27
FLAG1-11	VALUE-28
VALUE-12	FLAG1-28
FLAG1-12	VALUE-29
VALUE-13	FLAG1-29
FLAG1-13	VALUE-30
VALUE-14	FLAG1-30
FLAG1-14	VALUE-31
VALUE-15	FLAG1-31

DATASET-ID	VALUE-6
Station-ID	FLAG1-6
ELEMENT-CODE	VALUE-7
YEAR	FLAG1-7
VALUE-1	VALUE-8
FLAG1-1	FLAG1-8
VALUE-2	VALUE-9
FLAG1-2	FLAG1-9
VALUE-3	VALUE-10
FLAG1-3	FLAG1-10
VALUE-4	VALUE-11
FLAG1-4	FLAG1-11
VALUE-5	VALUE-12
FLAG1-5	FLAG1-12

En ambos casos DATASET-ID corresponde a la clave de la entidad federativa correspondiente, Station-ID en los dos casos corresponde a la clave asignada para cada estación, ELEMENT-CODE es para las dos bases de datos la clave del elemento los cuales fueron descritos con anterioridad, YEAR-MONTH como se puede apreciar corresponde únicamente a la base diaria, el cual indica el año y el mes y para la base de datos mensual se presenta YEAR, es decir únicamente el año en que se registraron los datos, los valores propiamente dichos en ambas bases de datos se encuentran en los encabezados con la leyenda VALUE-#, en los datos diarios el número indica el día del mes y se enumeran del 1 al 31, mientras que para los datos mensuales el número representa el mes del año por lo que la numeración va del 1 al 12. Existen también en ambas bases de datos con la leyenda FLAG-#, cuya numeración es la misma que en los valores diarios (1-31) y en los mensuales (1-12) señalando el mismo dato de temporalidad. La información que representan es la siguiente:

FLAG	SIGNIFICADO
M	Missing, valor no existente; siempre irá acompañado de un valor -99999
D	Dudoso, no confirmado en registro en papel.
J	Dudoso, confirmado en registro en papel.
T	Lluvia inapreciable, siempre irá acompañado de un valor 0
E	Valor estimado.
C	Temperatura corregida ó intercambio entre temperatura mínima y máxima no revisado en expediente
H	Temperatura verificada en expediente
O	Intercambio entre temperatura ambiente y mínima no revisado en expediente
P	Intercambio entre temperatura ambiente y máxima no revisado en expediente
Q	Intercambio entre las tres temperaturas no revisado en expediente
R	Intercambio entre temperatura ambiente y mínima revisado en expediente
S	Intercambio entre temperatura ambiente y máxima revisado en expediente
V	Intercambio entre las tres temperaturas revisado en expediente
A	Precipitación revisada y corregida en expediente
B	Precipitación comparada con estaciones vecinas no revisado en expediente
G	Valor generado
I	Temperaturas corregidas mediante otros métodos diferentes a la revisión en expediente (diarios)
I	Resultado estimado a partir de un período incompleto (solo para mensuales)
*	Valor que se repite más de una vez (solo para mensuales)

Además del CLICOM, otra fuente de datos es el Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC) el cual en su última versión la III, posee datos hasta el año 2007. Consiste en un software que concentra las bases de datos históricas de las estaciones climatológicas de todo el país. Los datos de los que se disponen son: Temperatura Observada, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima, Precipitación, Evaporación, Tormenta Eléctrica, Granizo, Niebla y Nublados, toda esta información es de carácter oficial es decir la que maneja el Servicio Meteorológico Nacional. En este software, el usuario tiene la posibilidad de ubicar las estaciones tanto en un mapa, como en una lista ordenada según la clave de las estaciones (Ilustración 2.1.1). Una vez que el usuario seleccione la estación requerida, puede elegir el lapso de tiempo que quiera en función del periodo de funcionamiento de la estación, así como también el elemento que sea requerido (Ilustración 2.1.2)

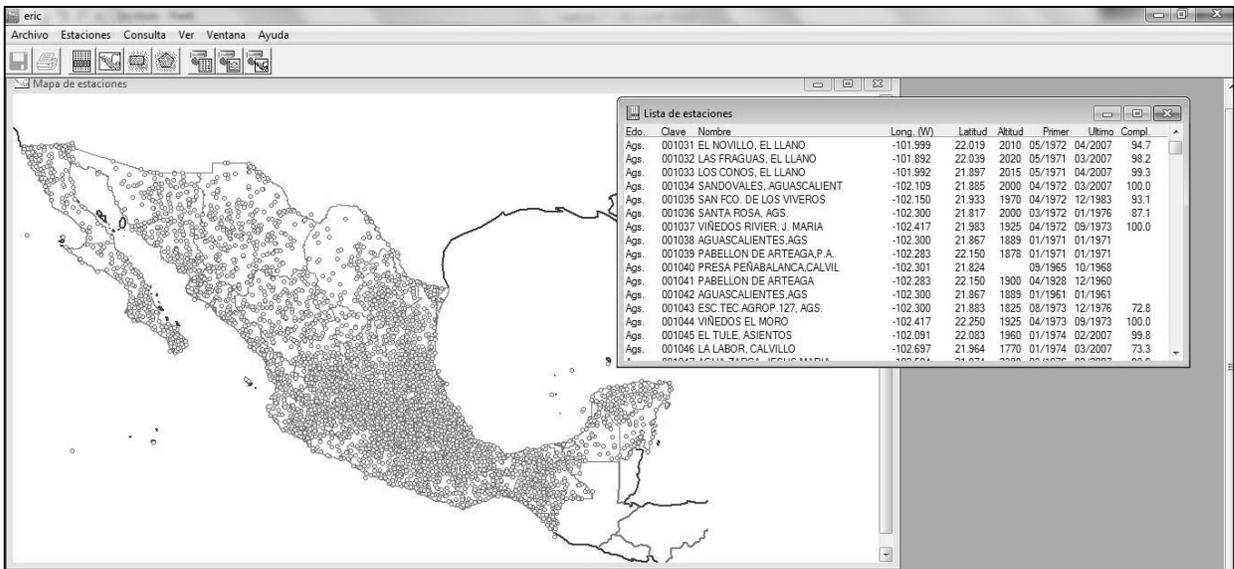


Ilustración 2.1.1 Mapa de estaciones y Lista de Estaciones de ERIC III

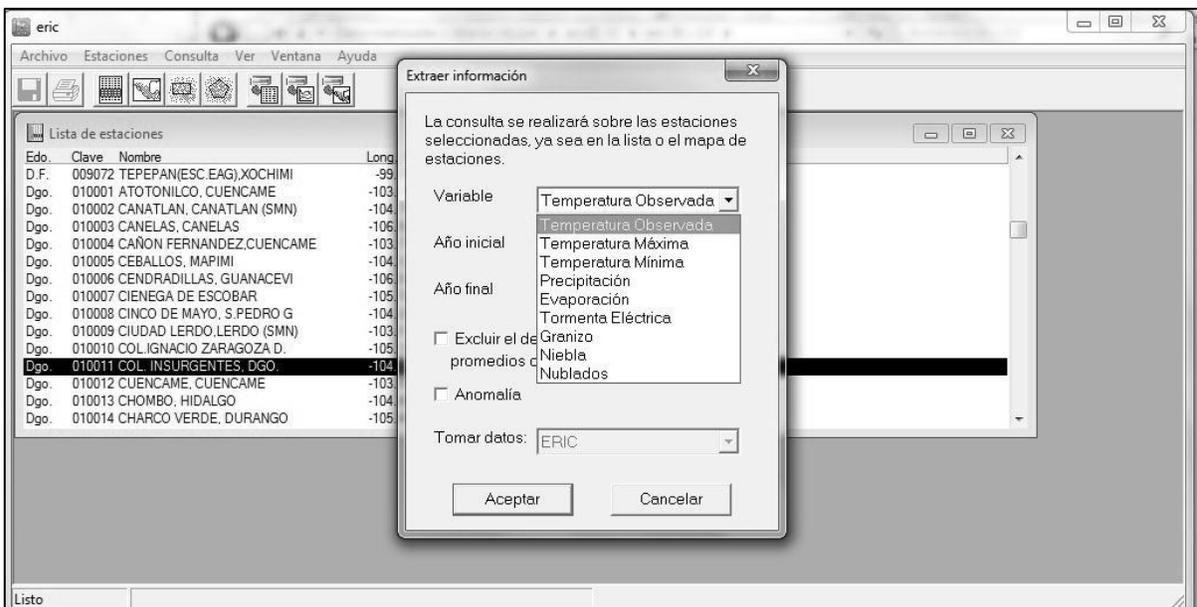


Ilustración 2.1.2 Selección de elementos en ERIC III

Las bases de datos climatológicos para la red de estaciones del DF, la comprenden un total de 71 estaciones climatológicas, así mismo el número de estaciones climatológicas ubicadas en los 28 municipios del Estado de México que forman parte de la mancha urbana de la Ciudad de México, suman un total de 52.

Para seleccionar las estaciones con las características idóneas para ser utilizadas en el análisis mediante dos filtros, el segundo filtro, se realizó la revisión del porcentaje de datos disponibles, por lo que se determinó que para datos de lluvia y temperatura como mínimo deberían tener un porcentaje de datos del 90%, el cual se realiza mediante la función de filtrado de Excel, dando como resultado que 48 estaciones del Distrito Federal por 38 de los municipios conurbados del Estado de México fueran seleccionadas en primera instancia.

El siguiente filtro, con las estaciones seleccionadas del primer filtro se tomó como criterio el periodo de funcionamiento, el cual se determinó que como mínimo tuvieran 20 años de funcionamiento para tener una temporalidad importante en los datos y que a su vez estos datos comprendieran el periodo que va del año 1951 hasta 2010. Para ello se realiza una grafica de periodo de funcionamiento, para su elaboración se utiliza el nombre de la estación, con el año final, el año inicial y nuevamente el año final, para posteriormente utilizar la función de grafica de cotizaciones con la cual es posible apreciar de manera sencilla el periodo de funcionamiento de las estaciones, para éste caso se elaboraron dos graficas, una para las estaciones correspondientes al Distrito Federal y otra al Estado de México (Ilustraciones 2.1.3 y 2.1.4).



Ilustración 2.1.3 Prueba de Periodo de Funcionamiento para estaciones del Distrito Federal.

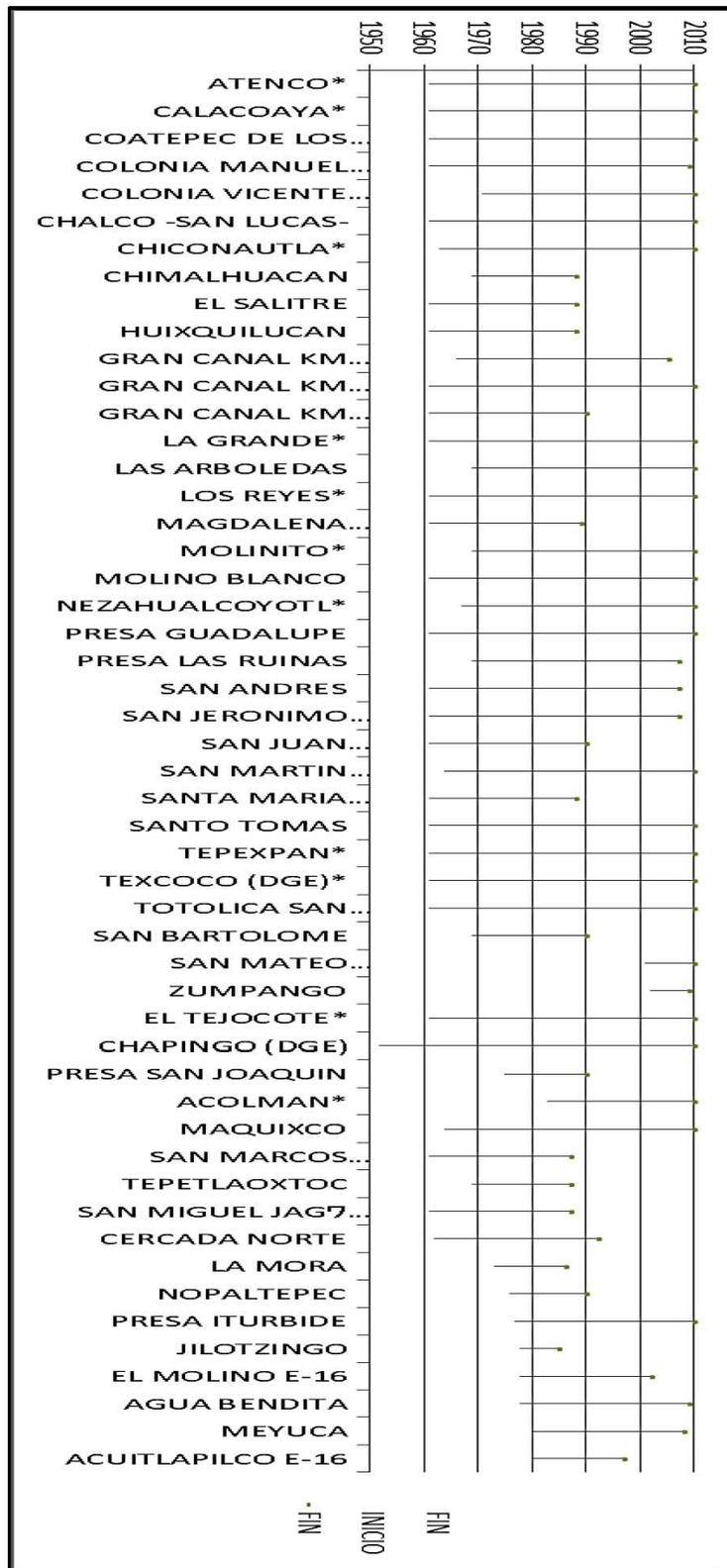


Ilustración 2.1.4 Prueba de Periodo de Funcionamiento para estaciones de municipios conurbados del Estado de México.

Tras el segundo filtro las estaciones restantes seleccionadas son las utilizadas para el análisis. Para el Distrito Federal son 31 estaciones y para los municipios conurbados del Estado de México un total de 31 estaciones. Dichas estaciones para el Distrito Federal son las siguientes:

CLAVE ESTACION	NOMBRE	MUNICIPIO
9002	AJUSCO	TLALPAN
9003	AQUILES SERDAN 46	AZCAPOTZALCO
9007	CINCEL 42	VENUSTIANO CARRANZA
9009	COLONIA AGRICOLA ORIENTAL	IZTACALCO
9012	COLONIA ESCANDON	MIGUEL HIDALGO
9013	COLONIA MOCTEZUMA	VENUSTIANO CARRANZA
9014	COLONIA SANTA URSULA COAPA	COYOACAN
9015	RODANO 14 (CFE)*	CUAUHTEMOC
9016	CUAJIMALPA	CUAJIMALPA DE MORELOS
9019	DESIERTO DE LOS LEONES	ALVARO OBREGON
9020	DESVIACION ALTA AL PEDREGAL	TLALPAN
9021	EGIPTO 7	AZCAPOTZALCO
9022	EL GUARDA	TLALPAN
9025	HACIENDA LA PATERA*	GUSTAVO A. MADERO
9026	MORELOS 77	IZTAPALAPA
9029	GRAN CANAL KM. 6+250	GUSTAVO A. MADERO
9030	LA VENTA CUAJIMALPA	CUAJIMALPA DE MORELOS
9032	MILPA ALTA**	MILPA ALTA
9034	MOYOGUARDA*	XOCHIMILCO
9037	PRESA ANSALDO	LA MAGDALENA CONTRERAS
9038	PRESA MIXCOAC	ALVARO OBREGON
9039	PRESA TACUBAYA	ALVARO OBREGON
9042	SAN GREGORIO ATLAPULCO	XOCHIMILCO
9041	SAN FRANCISCO TLALNEPANTLA**	XOCHIMILCO
9070	CAMPO EXP. COYOACAN**	COYOACAN
9047	COLONIA TACUBA	MIGUEL HIDALGO
9050	LOMAS DE CHAPULTEPEC	MIGUEL HIDALGO
9059	CASTAÑEDA	ALVARO OBREGON
9071	COLONIA EDUCACION**	COYOACAN
9043	SAN JUAN DE ARAGON	GUSTAVO A. MADERO
9051	TLAHUAC**	TLAHUAC

Para los Municipios conurbados del Estado de México, las estaciones seleccionadas son:

ESTACION	NOMBRE	MUNICIPIO
15008	ATENCO*	ATENCO
15013	CALACOAYA*	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
15017	COATEPEC DE LOS OLIVOS*	IXTAPALUCA
15018	COLONIA MANUEL A CA*	IXTAPALUCA
15019	COLONIA VICENTE GUE*	NICOLAS ROMERO
15020	CHALCO -SAN LUCAS-	CHALCO
15022	CHICONAUTLA*	TECAMAC
15027	EL SALITRE	NAUCALPAN DE JUAREZ
15033	HUIXQUILUCAN	HUIXQUILUCAN
15040	GRAN CANAL KM 02+12*	ECATEPEC DE MORELOS
15041	GRAN CANAL KM 27+25*	ECATEPEC DE MORELOS
15042	GRAN CANAL KM 46+93	ZUMPANGO
15044	LA GRANDE*	ATENCO
15047	LAS ARBOLEDAS	TLALNEPANTLA DE BAZ
15050	LOS REYES*	LA PAZ
15058	MOLINITO*	NAUCALPAN DE JUAREZ
15059	MOLINO BLANCO	NAUCALPAN DE JUAREZ
15073	PRESA GUADALUPE	TULTITLAN
15075	PRESA LAS RUINAS	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
15083	SAN ANDRES	TEXCOCO
15090	SAN JERONIMO XONOCA*	TECAMAC
15092	SAN JUAN IXHUATEPEC	TLALNEPANTLA DE BAZ
15098	SAN MARTIN OBISPO*	CUAUTITLAN
15115	SANTO TOMAS	TEOLOYUCAN
15124	TEPEXPAN*	ACOLMAN
15125	TEXCOCO (DGE)*	TEXCOCO
15127	TOTOLICA SAN BARTOL	NAUCALPAN DE JUAREZ
15147	SAN BARTOLOME	HUIXQUILUCAN
15167	EL TEJOCOTE*	TEXCOCO
15170	CHAPINGO (DGE)	TEXCOCO
15263	ACOLMAN*	ACOLMAN

Nota: *Datos extraídos del ERIC, **Datos de Prec. Y Temp. Media con cantidad de datos suficiente no así los datos totales.

2.2 Metodología. Análisis Espacial y Métodos de Interpolación. Kriging, IDW y Spline.

Una vez concluida la depuración, es necesario dar formato a los datos tanto de latitud como de longitud, puesto a que para la elaboración del mapa de distribución de las estaciones se deben manejar en coordenadas decimales. El catálogo de estaciones presenta ésta información como se muestra en el siguiente ejemplo:

Estación 9047 COLONIA TACUBA

Latitud, en grados, minutos y segundos respectivamente.

19	27	35
----	----	----

Longitud, en grados, minutos y segundos respectivamente.

99	11	22
----	----	----

Para transformarlas a grados decimales en Excel, es necesario aplicar la siguiente formula en el caso de la latitud:

$$=19 + (27/60) + (35/3600) \text{ dando como resultado } 19.45972222$$

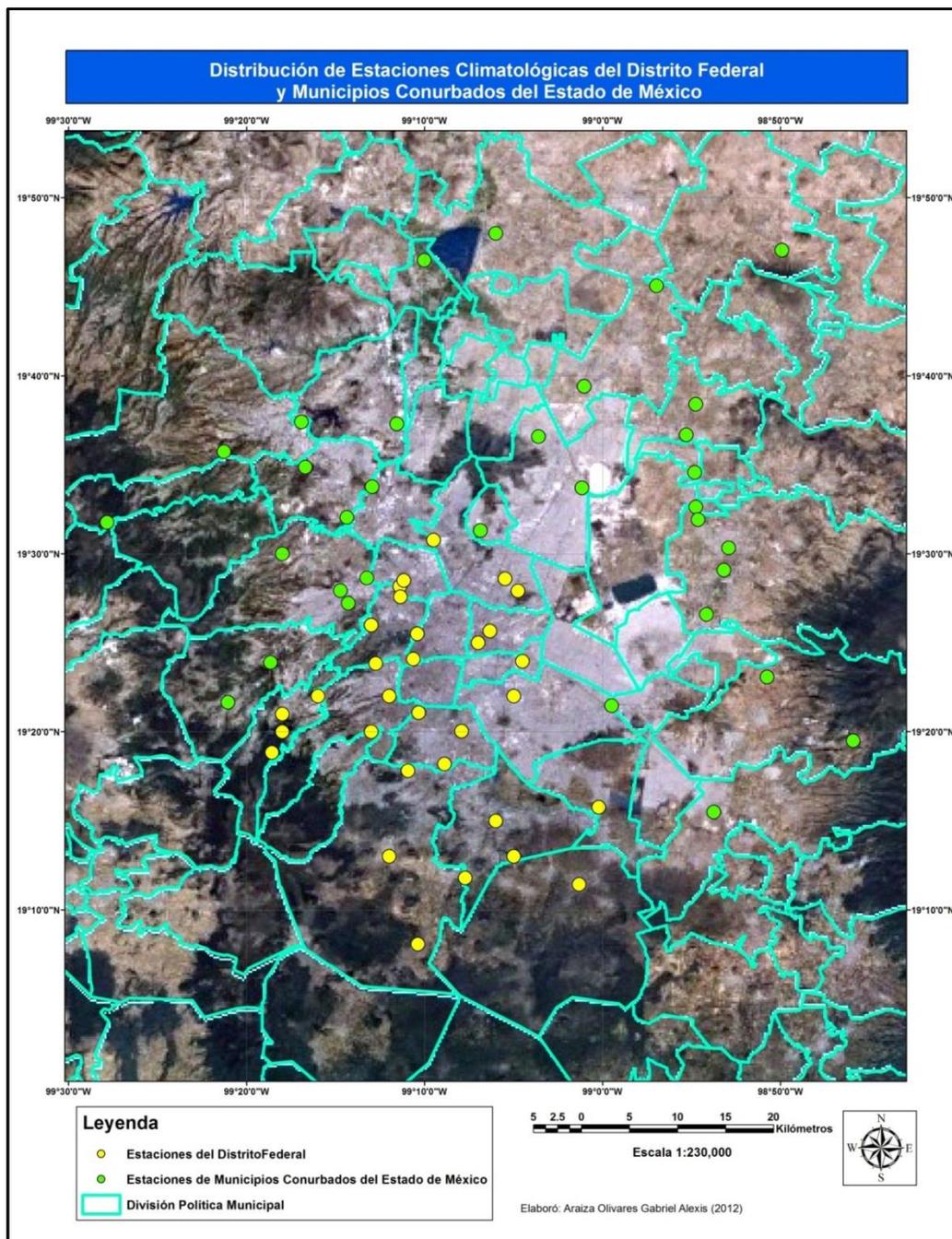
Para la transformación de las coordenadas de la longitud, la fórmula tiene variaciones con el objeto de que el resultado sea un número negativo, resulta imperativo poner atención en este último punto, ya que el signo negativo indica que la coordenada decimal corresponde al hemisferio norte, ya que de lo contrario el punto se ubicaría en el hemisferio sur lo que acarrearía un error, la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$= (99 + (11/60) + (22/3600)) * -1 \text{ dando como resultado } -99.18944444$$

La fórmula se aplica para todos los valores, previamente se han designado dos columnas para reunir los resultados de las transformaciones, una para la latitud y otra para la longitud, quedando finalmente de la siguiente forma:

Clave	Nombre	Latitud	Longitud
9047	COLONIA TACUBA	19.4597222222222	-99.1894444444444

Una vez concluido el procedimiento ya es posible la realización del mapa con la ubicación de las estaciones del área (Mapa 2.2.1).



Mapa 2.2.1 Distribución de Estaciones Climatológicas.

Para la realización de la cartografía se utiliza como herramienta un Sistema de Información Geográfica (SIG) que puede definirse de diversas formas, de acuerdo con Aronoff (1989) un SIG es un sistema conformado por una serie de herramientas para recopilar y manipular datos geográficamente referenciados; para el Centro Nacional de Información Geográfica y Análisis (NCGIA) por sus siglas en inglés (1991) un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos, diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelos y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos; una tercer definición de SIG es un poderoso juego de herramientas para coleccionar, almacenar y recuperar a voluntad, transformando y desplegando datos espaciales del mundo real (Burrough, 1988:6 tomado de Longley et. al., 1999).

En éste caso el software utilizado es el ArcGIS versión 9.3 módulo Arc Map, aunque cabe señalar que existe una gran diversidad de software.

Para introducir la información puntual en el sistema basta con tener elaborada una tabla que puede ser en formato de Excel, es decir con la extensión “xls”ó “xlsx” con las características antes señaladas en cuanto a las coordenadas y mediante la función Add XY Data, se introduce la tabla deseada y basta con elegir la columna correspondiente para el eje “x” así como para el eje “y” (Ilustración 2.2.1).

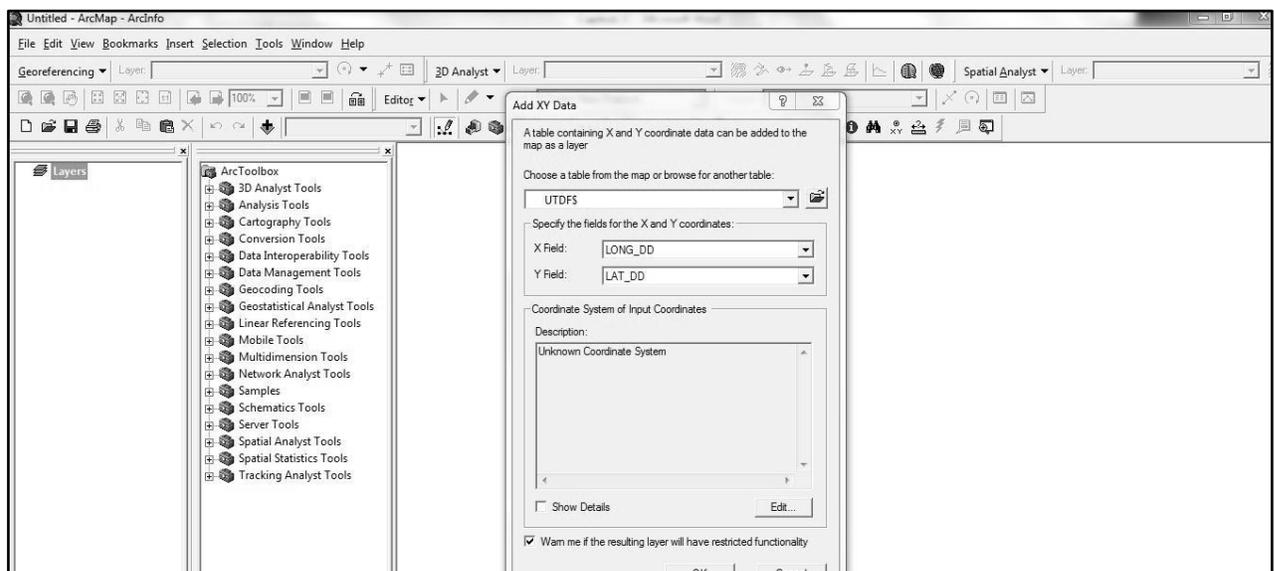


Ilustración 2.2.1 Inserción de la tabla con los datos puntuales de las estaciones.

Posteriormente los puntos se transforman a formato shapefile (shp) teniendo cuidado una vez hecho esto de revisar la tabla de atributos para tener la seguridad de que el procedimiento ha sido realizado con efectividad.

Para el caso concreto del mapa de distribución de estaciones seleccionadas, como fondo se tiene una imagen satelital geo referenciada con los limites municipales. Ya teniendo todas las capas desplegadas y acopladas ya es posible generar una vista de salida o layout, en la cual se da el formato en si al mapa, colocando los datos necesarios como lo son el titulo, la leyenda, la escala gráfica, escala numérica, gradícula, el norte, nombre del autor, etc. (Ilustración 2.1.2)

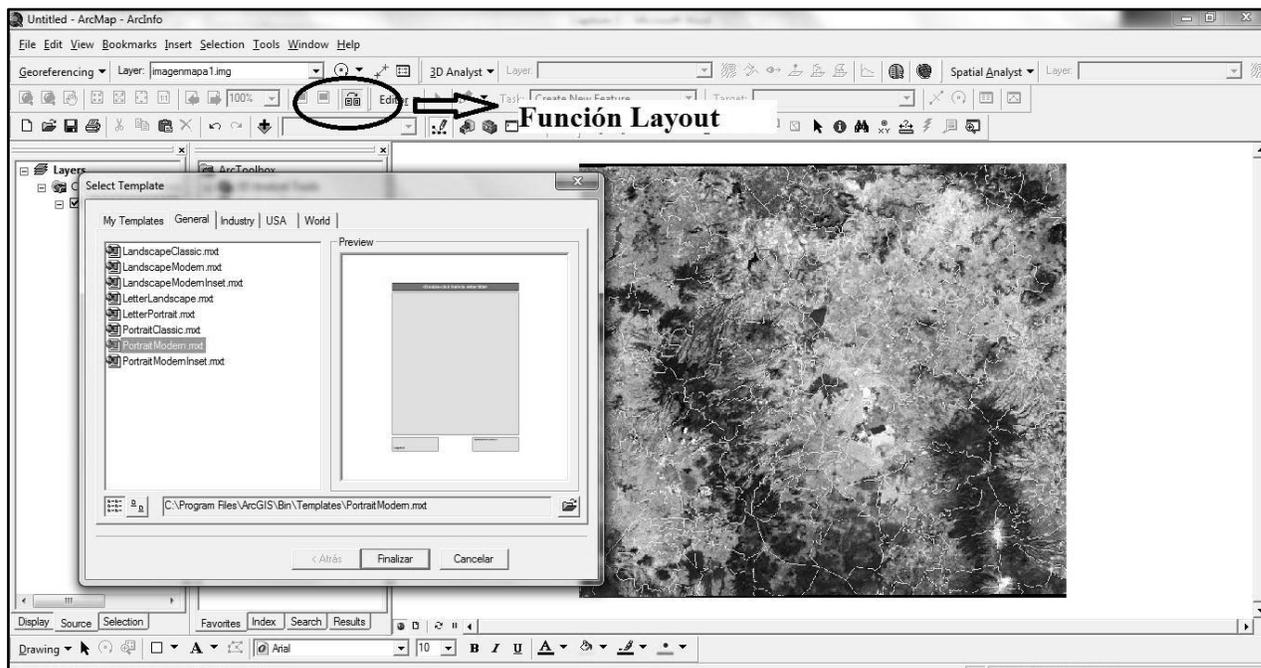


Ilustración 2.1.2 Ubicación de la función Layout.

Ya contando con las estaciones seleccionadas, se debe conformar la base de datos de lluvia y de temperatura media (elementos 208 y 203 respectivamente) para ello se extrae la información de CLICOM y de ERIC III, separando los datos por década de cada una de las estaciones, 1951-1960 (15 estaciones), 1961-1970 (50 estaciones), 1971-1980 (57 estaciones), 1981-1990 (57 estaciones), 1991-2000 (33 estaciones), 2001-2010 (34 estaciones). Cabe destacar que en el periodo de 1961 a 1990, concentra la mayor cantidad de estaciones con datos.

Al extraer y separar los datos por estación y por década, se procede en el caso concreto de la temperatura media a obtener el promedio por mes por año del periodo para a su vez promediar los valores resultantes, con ello se obtiene la temperatura media promedio de la década.

Para la lluvia, el procedimiento es similar con una variación, al igual que el proceso para obtener la temperatura media promedio por década, los valores del acumulado de la lluvia por mes de cada año que conforma la década en cuestión, se promedian y el total del promedio se suma, dando como resultado el acumulado de lluvia promedio de la década.

Como ejemplo se muestra el procedimiento realizado con los datos de una de las estaciones trabajadas.

Elemento	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Década
203	1971	12.0	12.1	14.0	14.0	16.3	14.2	13.3	13.2	13.5	13.1	11.8	10.7	
203	1972	11.2	11.6	13.3	16.3	15.9	14.3	13.1	13.2	13.2	13.1	13.3	10.4	
203	1973	12.0	13.2	16.8	15.7	16.0	14.4	13.1	13.2	13.8	12.2	12.1	9.5	
203	1974	11.4	N/D	13.9	14.2	16.3	13.1	12.0	12.9	12.3	11.3	10.5	11.1	
203	1975	9.9	11.7	15.1	16.7	14.6	14.7	13.7	12.8	11.8	12.0	11.3	9.5	
203	1976	9.8	10.0	14.1	14.0	14.6	14.1	12.6	12.0	13.1	12.7	6.9	N/D	
203	1977	N/D	10.8	15.8	13.0	15.4	14.2	13.2	14.0	14.0	13.0	11.5	10.5	
203	1978	11.4	10.4	12.5	16.4	16.3	13.6	13.4	13.2	12.9	11.8	12.3	11.6	
203	1979	11.6	12.0	14.2	15.7	16.1	13.9	14.4	13.0	12.1	12.1	11.2	10.7	
203	1980	11.0	12.3	15.7	14.6	16.3	14.9	N/D	13.5	12.9	13.0	N/D	N/D	
		11.1	11.6	14.5	15.1	15.8	14.1	13.2	13.1	13.0	12.4	11.2	10.5	13.0

Elemento	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Década
208	1971	0	0	27	19	28	187	313	280	294	136	20	8	
208	1972	0	3	14	33	126	256	211	190	216	68	13	6	
208	1973	1	8	0	19	134	161	334	272	256	67	20	0	
208	1974	3	N/D	12	54	55	255	239	151	162	52	10	0	
208	1975	36	1	1	13	105	337	222	314	137	61	0	0	
208	1976	1	2	24	55	56	140	239	325	347	265	5	38	
208	1977	3	13	0	20	90	206	197	157	216	68	39	1	
208	1978	0	0	0	3	39	337	258	242	241	261	12	2	
208	1979	0	17	0	41	103	118	184	371	275	3	1	20	
208	1980	54	2	9	52	81	69	N/D	261	210	42	0	0	
		10	5	9	31	82	207	244	256	235	102	12	8	1199

Cuando se ha terminado el procesamiento de los datos estación por estación y década por década, la información debe agruparse por cada una de las décadas. La información básica propuesta para integrar la base de datos por década es la siguiente:

ESTACION	NOMBRE	MUNICIPIO	LAT_DD	LONG_DD	ALTITUD	T.(1951-1960)	P.(1951-1960)
----------	--------	-----------	--------	---------	---------	---------------	---------------

A continuación ingresar los datos al Sistema de Información Geográfica para realizar el procedimiento estadístico de interpolación, para estos casos los más usuales que se utilizan son: Kriging, IDW y Spline. Para saber cual de los métodos de interpolación utilizar es necesario primero conocer de qué se trata cada uno.

La interpolación es un procedimiento matemático que se utiliza para predecir el valor de un atributo en una ubicación precisa a partir de valores del atributo obtenidos de puntos vecinos ubicados al interior de la misma región (ArcGIS y FAO, 2003). La interpolación de datos tiene la ventaja de poder elaborar mapas o superficies continuas a partir de datos discretos.

El método Kriging fue creado por el ingeniero sudafricano D.G. Krige. Se trata de un procedimiento geoestadístico, que genera una superficie estimada a partir de puntos dispersos con valores “Z”. Presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie (Ilustración 2.2.3). El método Kriging se basa en la siguiente fórmula:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

Dónde:

Z (si) = el valor medido en la ubicación *i*.

λ_i = una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación *i*.

S₀ = la ubicación de la predicción.

N = la cantidad de valores medidos.

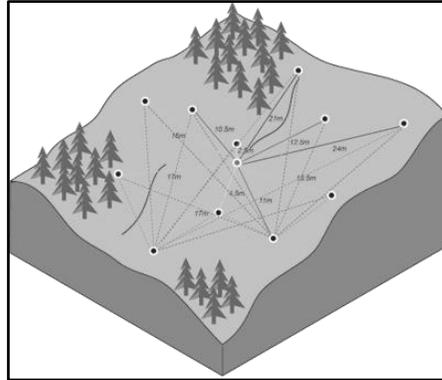


Ilustración 2.2.3 Esquema del interpolador Kriging.

El IDW, por sus siglas en inglés, significa en primer lugar Ponderación de Distancias Inversas. Este método determina los valores de celda mediante la determinación del peso que cada punto ejerce sobre la misma y disminuye en función de la distancia. Se obtiene resolviendo la siguiente ecuación:

$$\lambda_i = \frac{[d(s_i, s_o)]^{-p}}{\sum_{i=1}^n [d(s_i, s_o)]^{-p}}$$

Donde p es el parámetro del exponente que controla que tan rápido los pesos de los puntos tienden a cero (al aumentar su valor) conforme aumenta la distancia del sitio de interpolación. Entre mayor sea p , mayor peso es dado a los puntos más cercanos y por consiguiente se obtiene superficies más continuas o suaves (Schloeder et al., 2001).

El Spline permite la representación matemática de superficies partiendo de la información que ofrecen los puntos. Este método de interpolación minimiza la curvatura general de la superficie por lo que se obtiene como resultado una superficie suave que debe pasar por los puntos con los cuales se trabaja.

En el software ArcGIS versión 9.3 de la empresa ESRI, se ofrecen dos variantes de interpolación mediante Spline, la regularizada y la de tensión.

- La regularizada consiste en crear una superficie suave, de forma gradual cambiando la superficie con los valores que pueden estar fuera de la gama de datos de la muestra. La fórmula de Spline regularizado es:

$$T(x, y) = a_1 + a_2x + a_3y$$

Donde:

a_i son coeficientes determinados por la solución de un sistema de ecuaciones lineales.

Y,

$$R(r) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{r^2}{4} \left[\ln \left(\frac{r}{2\tau} \right) + c - 1 \right] + \tau^2 \left[K_0 \left(\frac{r}{\tau} \right) + c + \ln \left(\frac{r}{2\pi} \right) \right] \right\}$$

Donde:

r es la distancia entre el punto y la muestra.

τ^2 Es el parámetro de Peso.

K_0 es la función de Bessel modificada.

c es una constante igual a 0,577215.

- El método de Tensión modifica la rigidez de la superficie suavizándola según el carácter del fenómeno modelado. La superficie creada es lisa con valores obligados con la gama de datos con los que se trabaja.

Además de lo ya señalado ambas formas de Spline tienen como parámetro la cantidad de puntos que se utilizan para el cálculo de cada una de las celdas interpoladas. Mientras más puntos de entrada se especifiquen, mayor será la influencia de los puntos distantes con lo cual la superficie resultante es más suave.

Cabe señalar que ninguno de los métodos de interpolación puede definirse como perfecto, ya que cada uno presenta fortalezas pero también defectos en los resultados que arroja y la manera en como se expresan visualmente. El método IDW es más rápido en cuanto a realizar los cálculos sin embargo tiende a producir patrones poco reales conocidos como “puntos de concentración” (Murillo et. Al., 2012) alrededor de los puntos de la muestra, estos son especies de islas que difícilmente se presentan en la naturaleza (Ilustraciones 2.2.4 y 2.2.5). Lo anterior expresa el peso que se le puede dar a la variación particular del

valor de un punto de muestreo sobre los que están alrededor (Gotway, 1996). Sin embargo el Kriging proporciona un análisis de los datos más elaborado por lo que puede haber mayor congruencia con respecto al espacio en cuanto a la forma en que se representa en la cartografía (Ilustraciones 2.2.6 y 2.2.7), sin embargo puede presentarse que los puntos con un valor determinado queden insertados en una superficie a la que no corresponde, tal como se pudo constatar de manera empírica. Spline, tiene como ventaja sobre Kriging el hecho de que la superficie forzosamente cruza por cada uno de los puntos, y a su vez el método más fuerte se consideró para este específico caso al de “Tensión” debido a que la superficie tiene valores en concordancia a los valores de entrada (Ilustraciones 2.2.8 y 2.2.9).

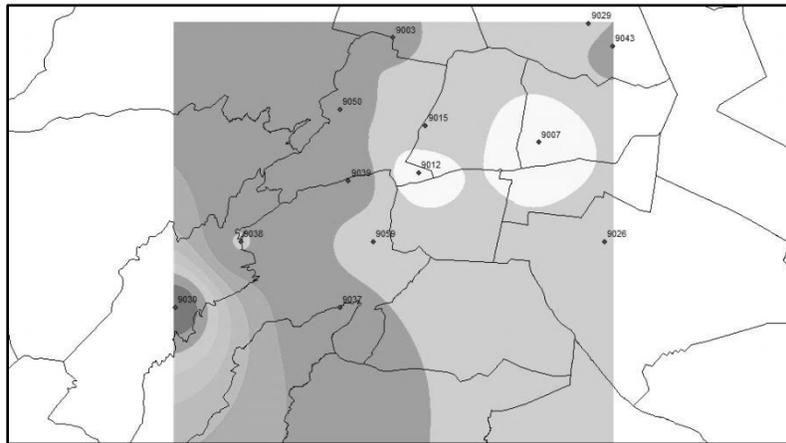


Ilustración 2.2.4 Temperatura Media Interpolada con IDW.

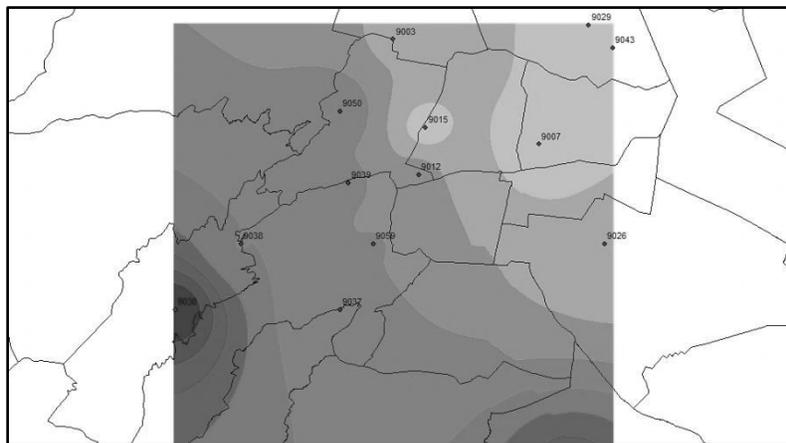


Ilustración 2.2.1 Lluvia Acumulada Interpolada con IDW.

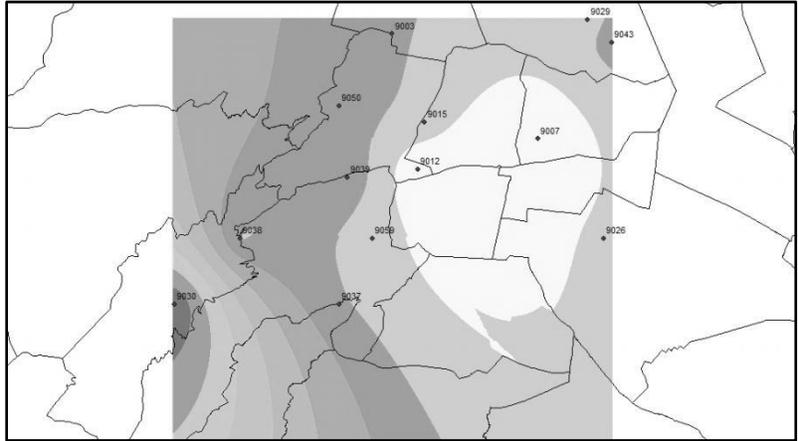


Ilustración 2.2.2 Temperatura Media Interpolada con Kriging.

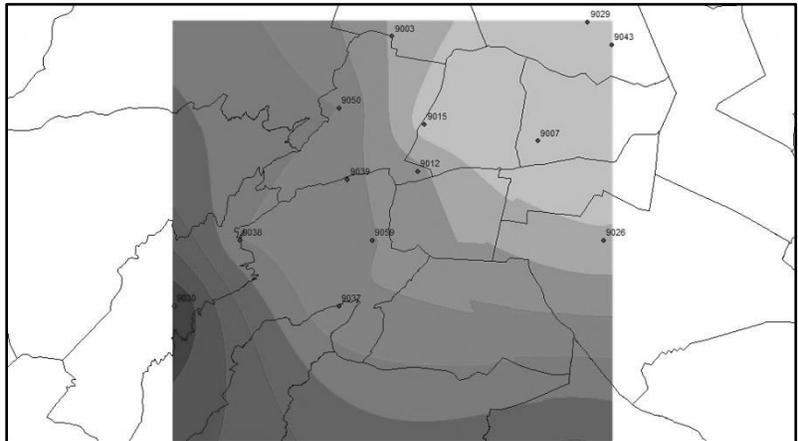


Ilustración 2.2.3 Lluvia Acumulada Interpolada con Kriging.

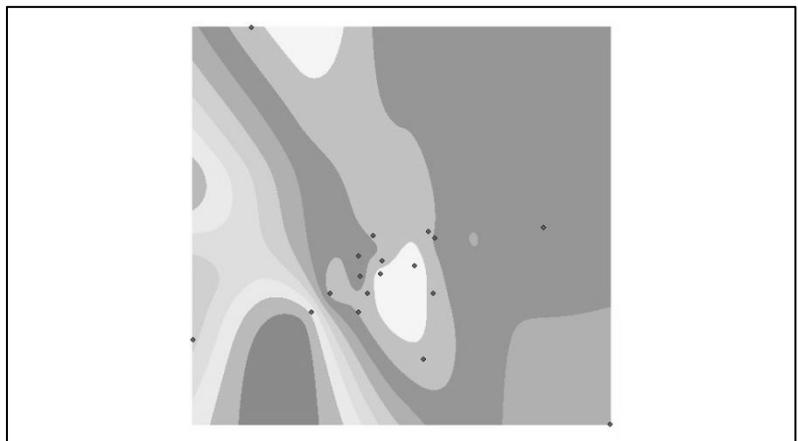


Ilustración 2.2.4 Temperatura Media Interpolada con Spline de Tensión.

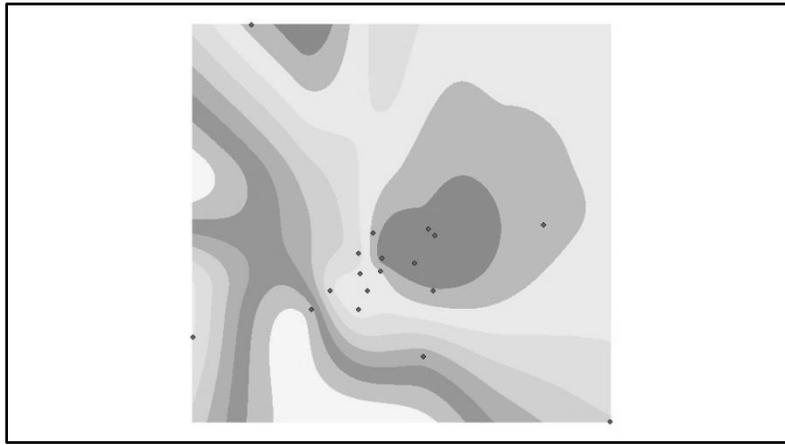


Ilustración 2.2.5 Precipitación Acumulada Interpolada con Spline de Tensión.

Para la generación de isolíneas, es decir líneas que unen puntos con el mismo valor (para el caso de temperatura se les denomina isotermas y para el caso de lluvia se les denomina isoyetas) se utiliza el raster generado a partir de la interpolación con la función “Contour” ubicada en la herramienta “Surface” de “Spatial Analyst Tools” dentro de la caja de herramientas de ArcGIS en su módulo ArcMap, ahí se ingresa el nombre del archivo raster y se asigna un intervalo para el trazo de la isolínea (Ilustración 2.2.10), el resultado del proceso se muestra en la Ilustración 2.2.11.

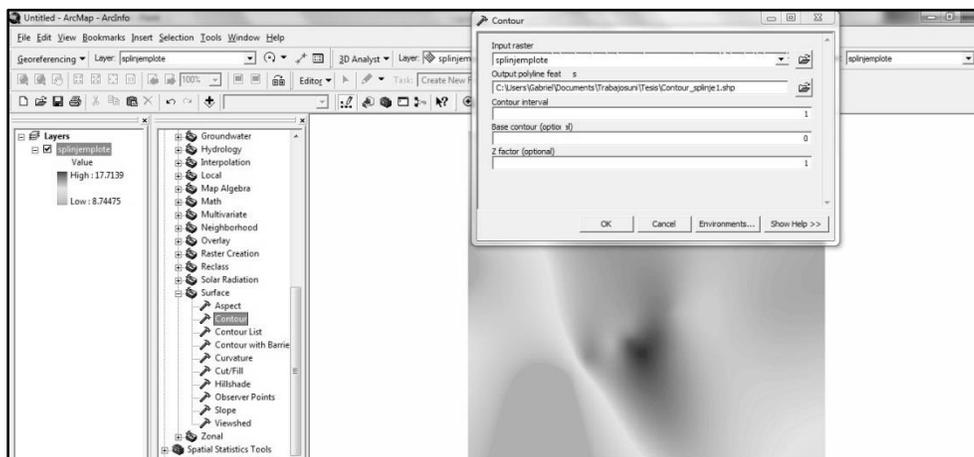


Ilustración 2.2.6 Proceso para la generación de isolíneas.

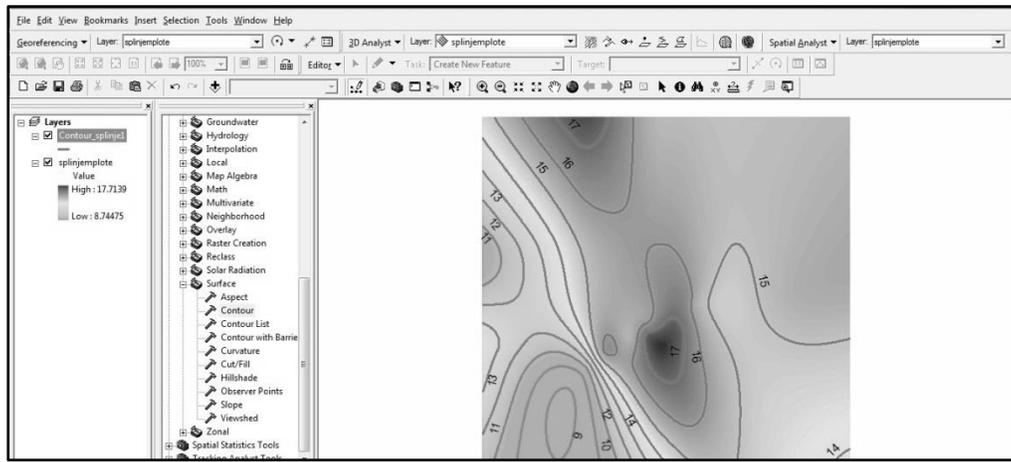


Ilustración 2.2.7 Isolíneas resultantes

Tras la realización tanto de la cartografía y su respectivo análisis, se trasladó el análisis a escala puntual. Se seleccionaron 3 estaciones dado que cumplen con las siguientes características:

- Tener la mayor cantidad de datos continuos posible.
- Estar dentro del área urbana durante todo el periodo de funcionamiento.
- Haber estado en sus inicios en la zona periférica pero al correr de los años fue absorbida por la ciudad.
- Encontrarse durante todo el periodo de funcionamiento fuera del ambiente urbano.

Al realizarse la revisión de las estaciones que conforman la base de datos se concluye que las que cumplieron de mejor forma las características requeridas y sus datos son:

- Estación 9012 Colonia Escandón (Urbana)

Decada	Temperatura	Lluvia
1951-1960	17.2	734.6
1961-1970	17.9	780.7
1971-1980	17.7	784.3
1981-1990	19.1	716.4

- Estación 9043 San Juan de Aragón (Periférica a urbana)

Decada	Temperatura	Lluvia
1951-1960	15.6	551.4
1961-1970	15.8	585.7
1971-1980	16.6	617.3
1981-1990	17.4	566.5
1991-2000	17.8	605.5
2001-2010	17.6	664.8

- 9022 El Guarda (No urbana)

Decada	Temperatura	Lluvia
1961-1970	10.4	1189.6
1971-1980	9.1	1211.8
1981-1990	10.1	1257.3
1991-2000	11.5	1214.4
2001-2010	9.0	1639.3

Capítulo 3

Climatología de la Ciudad de México

3.1 Condiciones Generales.

Las primeras descripciones de lo que es el clima en la Ciudad de México se remontan a inicios de la colonia hacia 1575, Francisco Hernández describe el clima como templado y húmedo, esto debido a la presencia de los antiguos lagos, el inicio de las lluvias en mayo hasta septiembre.

En 1775, Joaquín Velázquez de León refiere que el aire del valle es húmedo y su electricidad es baja. Así mismo se señala que el viento en buena parte del año sopla de la zona de Ecatepec rumbo al centro de la ciudad. Esta condición actualmente es apreciable, según Jáuregui (2000) se origina por las montañas de la serranía de Guadalupe que hacen estrecho el paso de la corriente de aire que, viniendo de norte a sur producen una aceleración considerable del viento. También señala que durante la primavera se presentan vientos desde el sur del valle, lo que impide la formación de nubosidad; además de esto indica que los truenos se presentan con mayor frecuencia durante mayo al inicio de la temporada lluviosa. Por parte de las temperaturas la máxima observada según Jáuregui (ibíd.) fue de 27.5°C y la mínima llegó a ser de -3°C.

García (1968) cita Ruiz Hernández (1994) afirma que el clima de la Ciudad de México está determinado por diversos factores: la situación geográfica, la altitud y el relieve.

La Ciudad de México por su ubicación en una meseta alta y rodeada por montañas da como resultado que el clima sea modificado ya que a pesar de que se encuentra en una zona intertropical su condición es templada con lluvias durante el verano y en algunas zonas al norte es semi seco.

La Ciudad de México recibe influencia por parte de los sistemas anticiclónicos de los océanos Pacífico norte y Atlántico norte, siendo los desplazamientos estacionales del

anticiclón del Atlántico norte determinan en gran medida el clima de la ciudad (Jáuregui, 1975) cita Ruiz Hernández (1994).

Durante la temporada de invierno prevalece una circulación atmosférica anticiclónica, durante el invierno la corriente de chorro del oeste se desplaza hacia el sur y sobre la ciudad soplan vientos intensos del oeste o suroeste, durante esta época las masas de aire polar descienden que en ocasiones provocan descenso de la temperatura en el Valle de México.

La subsidencia de los vientos debido a la alta presión asociada a los sistemas polares provoca que los cielos en la ciudad sean despejados. Los vientos fuertes durante esta época del año provocan tolvaneras en zonas del antiguo lecho lacustre.

La influencia de los frentes fríos húmedos, es decir las masas de aire polar que llegan al golfo de México y recogen humedad, llega a generar lluvias ligeras pero persistentes en la ciudad, éstas pueden llegar a persistir hasta unos días. Sin embargo Jáuregui (1975) dice que dichas masas son frecuentemente secas y produzcan tiempo frío, ventoso y escasa nubosidad. Según Hill (1969) cita Jáuregui (ibíd.) la disminución promedio de la temperatura es de 3°C durante el paso de un frente frío por la ciudad.

Durante el mes de abril se observa el cambio de la circulación invernal, durante el cual se observa un calentamiento en el continente por lo que se debilita el gradiente de presión meridional en los niveles medios de la troposfera por ello los vientos del oeste pierden intensidad en el Valle de México (Jáuregui, 1975)

La temporada de lluvias se inicia regularmente durante el mes de mayo, dicha temporada se extiende hasta octubre, sin embargo la influencia de ciclones tropicales provoca que ésta se extienda hasta noviembre.

La temporada de lluvias se da debido al desplazamiento de las zonas de alta presión al norte por lo que los vientos recogen humedad a su paso por los océanos. Sumado a lo anterior, la Zona Intertropical de Convergencia se desplaza en México hasta el paralelo 20° (García, 1986) lo que favorece el incremento de la humedad y con ello de las lluvias, a finales del verano se aprecia una disminución en las lluvias aunque no su ausencia, a este fenómeno se le conoce como sequía intraestival (García y Mosiño, 1986) cita Ruiz Hernández (1994).

Jáuregui (1975) realizó 5 distintas zonificaciones para la Ciudad de México (Ilustración 4.1.1) bajo los siguientes tópicos:

- I. Por precipitación. Ésta se divide en tres zonas distintas.
 - Poniente-Sur. Se caracteriza por tener un relieve accidentado, en esta zona se concentra lluvia abundante durante la temporada húmeda del año que puede ir de 700 a 1100 milímetros.
 - Norte-Centro. Se considera una zona de transición entre la poniente-sur (mas húmeda) y la oriente (mas seca) la cantidad de lluvia oscila entre los 600 y 700 milímetros.
 - Nororiente. Es la zona que recibe menos lluvia, la cifra varia entre los 400 y 600 milímetros, sin embargo también es muy variable por lo que puede haber años con lluvia por encima de la media y otros años por debajo de la misma.
- II. Por temperatura. La temperatura se ve influenciada por tres factores
 - Materiales de construcción. La capacidad de absorción de los materiales con los que están contruidos los edificios y calles, la cual es mayor en la zona centro que en la periferia.
 - Nube de contaminantes, tienen su principal efecto en las noches ya que las temperaturas mínimas se ven afectadas al alza ya que irradia el calor absorbido previamente.
 - Fuentes de calor del área urbana, tales como fábricas y vehículos automotores.
- III. Por contaminación del aire. Las emisiones de contaminantes principalmente provienen de los vehículos automotores y en menor medida de las fábricas, el área de mayor concentración de éste tipo de contaminantes se ubica en la zona centro y noroeste de la ciudad. El polvo es otro de los elementos que contaminan al aire, su concentración mayor es al oriente de la ciudad principalmente en la época seca y sumado a los vientos fuertes se producen grandes nubes de polvo.
- IV. Por humedad del aire. Va de la mano con la densidad de áreas verdes. En el centro de la ciudad hay una densidad muy baja, mientras que fuera de ésta área se ubican parques y bosques urbanos tales como Chapultepec y San Juan de Aragón además

de la presencia de camellones arbolados y la presencia de casas con jardines. Sin embargo la humedad después de una lluvia entre el centro y la periferia no se registra una diferencia considerable sin embargo la evaporación en la zona urbana se produce mas rápidamente que en las periferias.

- V. Por ventilación. Las construcciones de la zona centro así como el relieve montañoso producen una reducción en cuanto a la intensidad del viento. Las diferencias térmicas entre zona urbana y rural originan movimientos de viento. La mayor temperatura de la ciudad causa que se de la presencia de una relativa baja presión por lo que se da un flujo de aire de la zona rural a la urbana, la cual se ve acentuada durante la época seca del año y se acrecienta con el paso de vaguadas de origen polar.

Jáuregui (1975), también realizó el trazado de 5 zonas climáticas para el área de la Ciudad de México, señalando que es difícil realizar una delimitación dado que las condiciones climáticas se modifican de manera gradual desde el centro hacia la zona periférica.

1. Zona Centro. Entre sus principales características es la de presentar los niveles de contaminación mas altos, dichos contaminantes como lo son dióxido de azufre, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno etc. Son producto de los vehículos automotores, así como la presencia de una importante densidad de edificios de dimensiones considerables que impiden la circulación normal del viento. La oscilación térmica es relativamente pequeña debido en combinación a los efectos de la isla de calor las temperaturas mínimas son mas altas lo que conlleva también a que en esta zona ya no se den heladas y por las partículas suspendidas en la atmosfera que atenúan ligeramente las temperaturas máximas. A si mismo en es mas baja que en otras zonas igualmente por el fenómeno de isla de calor.
2. Zona Perimetral de Transición. Sus condiciones son en general similares a las de la zona centro, sin embargo éstas se presentan con menor intensidad debido a la menor concentración de grandes edificios la ventilación tiene mejores condiciones y a si mismo la concentración de contaminantes es moderada. La isla de calor tiene efectos mas moderados en esta zona. La parte oriente al estar en interacción con la planicie lacustre es mas propensa a resentir efectos de tolvánas.

3. Zona Oriente. Esta zona corresponde a lecho del antiguo lago de Texcoco. En la zona centro norte se presenta una densidad considerable de fabricas mientras que el extremo oriente hay una gran cantidad de población, sin embargo en muchos casos se carece de servicios básicos como drenaje y calles pavimentadas, ésta zona si bien la presencia de contaminantes presentes en la zona centro es menor durante la época seca del año se ve con frecuencia afectada por intensas tolveneras. La ventilación se da de forma considerable. En ciertas áreas el clima es seco, la cantidad de lluvia es baja, y la oscilación térmica es amplia. En la temporada fría del año, la presencia de heladas se da con cierta frecuencia y la radiación solar es fuerte. Ésta zona es la menos favorable debido a sus condiciones climáticas y de suelo por ello es una zona habitada por grupos sociales vulnerables.
4. Zona Sur. Es una zona donde la densidad de construcciones es mas baja, los espacios destinados a área verde son mucho mayores que en el resto de las zonas, es también la zona donde se presenta la mejor calidad de aire y la mejor ventilación en la ciudad. Hay la presencia de grandes zonas de bosque que propician que la zona sea mas húmeda, es también la zona donde se registran las lluvias mas abundantes, aunque la oscilación térmica es amplia ésta se ve atenuada por la humedad.
5. Zona Poniente. En su parte norte se extiende un área mas o menos plana en donde hay presencia de fabricas y hacia Naucalpan se ha registrado un rápido crecimiento urbano. En contraste al sur se extiende una zona de lomeríos con amplias áreas verdes, sin embargo recibe una importante influencia de contaminantes provenientes de la zona norte lo que hace que los niveles de contaminación atmosférica sean relativamente altos. Es una zona donde las lluvias son importantes y en combinación con un mayor área verde hace que sea una zona húmeda. Aquí los gradientes térmicos que se presentan son muy fuertes debido a su situación ortográfica. Durante la estación seca se presentan las inversiones térmicas en el Valle de México, sin embargo en los limites urbanos ubicados en las zonas altas tanto del poniente como del sur permanecen libres de las impurezas que se concentran en las partes bajas, dando lugar a cielos limpios y despejados hasta

alrededor del medio día cuando termina la inversión térmica y se inicia la dispersión de los contaminantes.

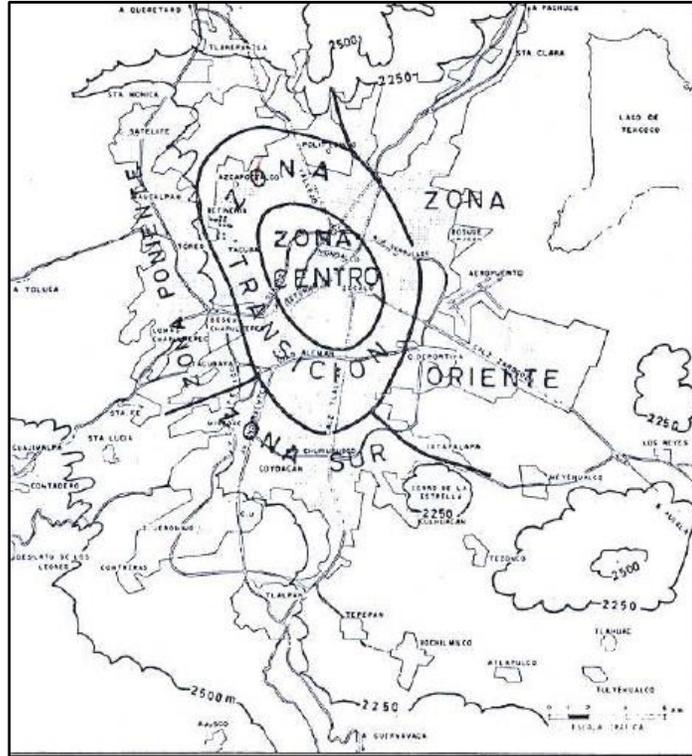


Ilustración 3.1.1 Zonas Climáticas de la Ciudad de México. (Jáuregui, 1975)

3.2 Análisis del Régimen Térmico y Pluviométrico por década (1951-2010).

El análisis de los datos aportados por las estaciones presenta ciertas dificultades a lo largo del periodo trabajado, principalmente por la disponibilidad de datos, ya que de una década a otra el número de estaciones varía por momentos de forma importante por ende la distribución de las mismas se modifica por lo que el área cubierta y la densidad se modifica y puede afectar los resultados.

De la mano con lo anterior otra de las dificultades es la falta de continuidad de las estaciones, debido a que la mayoría de ellas no están presentes durante todo el periodo de estudio; así como algunas de las estaciones que lograron pasar los filtros establecidos se tuvieron que descartar ya que si bien presentaban una cantidad de datos importante a lo largo de varios años de alguno de los dos elementos a considerar no existen los datos, por lo que resultaron a final de cuentas inútiles para realizar el estudio.

Es también necesario señalar que en los mapas que a continuación se presentan algunos de los puntos correspondientes a la ubicación de las estaciones puede que no sean visibles esto debido a que el estudio se centra principalmente en el área que abarca el área urbana por lo que la escala manejada puede dejar alguno de los puntos fuera de vista, a pesar de ello se considero para la realización de la cartografía debido a que su ubicación corresponde a la de un municipio y/o delegación que forma parte de la Zona Metropolitana del Valle de México. Únicamente para la década 1951-1960 se agregaron dos estaciones ubicadas en el estado de Morelos únicamente con el fin de lograr extender el área que cubre el raster así como de las isolíneas por lo que no tienen ninguna otra función a parte de la ya descrita.

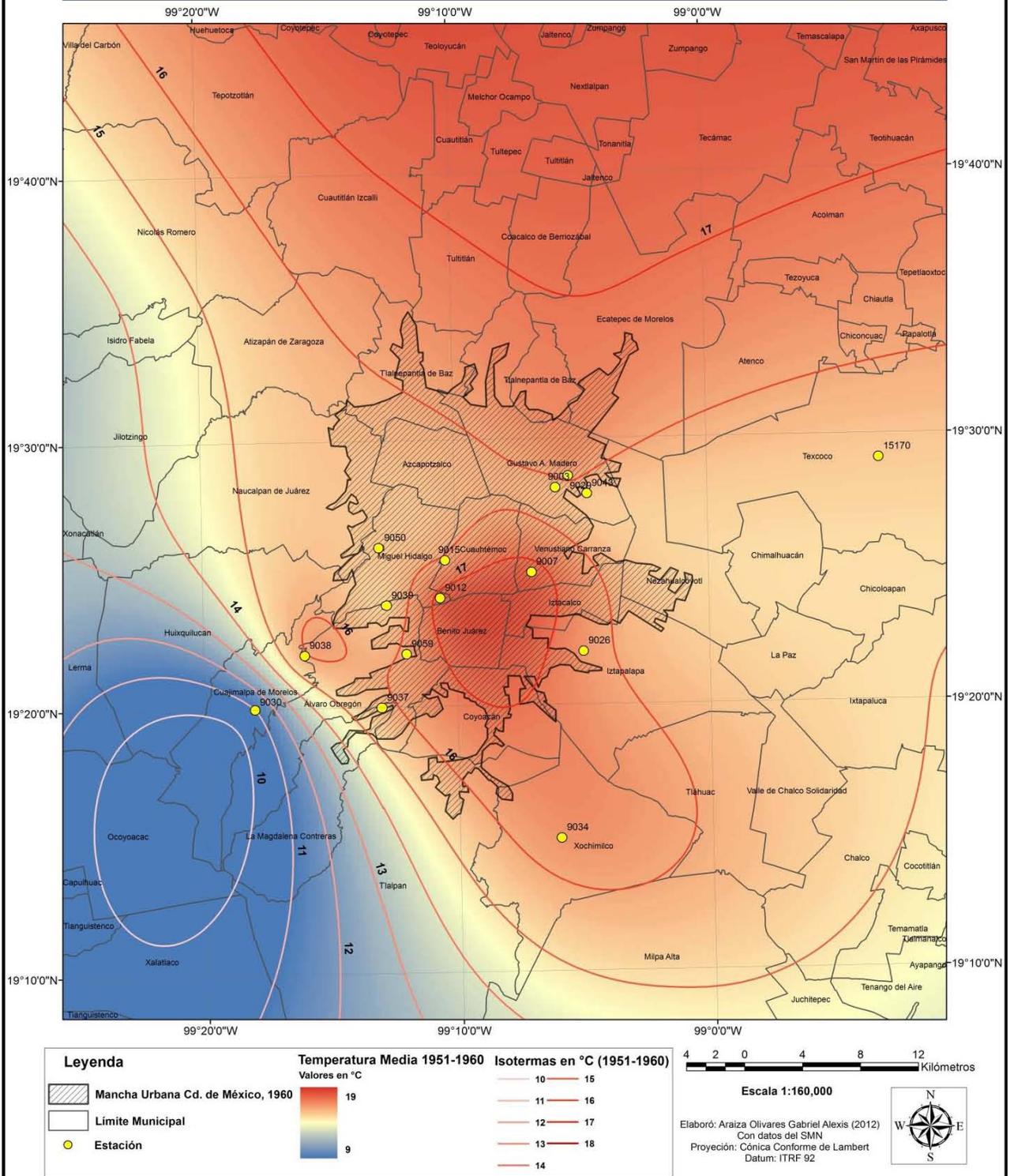
Análisis del Régimen Térmico 1951-1960 (Mapa 3.2.1).

Para esta década es posible apreciar claramente en la porción central de la Ciudad de México como la zona con la temperatura media más alta, la isoterma correspondiente a los 17°C engloba las delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza, es en esta zona donde se coincide con el Centro Histórico, y a parte de las delegaciones Benito Juárez, Iztacalco y Coyoacán. Ésta temperatura también se presenta mas al norte ya en el Estado de México desde Coacalco continuando al oriente por Ecatepec, Acolman y Teotihuacán mientras que al poniente abarca parte de Tultitlan, Cuautitlán Izcalli y Tepotzotlán.

La temperatura disminuye progresivamente mientras mas alejado se está del centro de la mancha urbana, por lo que en los periferia es más fresca con una variación de entre 1 y 2°C con respecto a la zona céntrica, es de notar que la zona poniente la cual se enmarca por la isoterma de 15° se ve influenciada por el relieve, ya que esta zona presenta pie de monte lo cual durante ese momento representó una limitante al crecimiento urbano.

La parte sur y sur-poniente se ve influenciada por el relieve ya que se distingue que las partes elevadas como lo son la sierra de Las Cruces, la sierra Ajusco-Chichinautzin con oscilaciones de entre 10°C hasta 14°C; mientras que la temperatura se eleva en la zona que corresponde a la planicie lacustre de Tláhuac-Chalco y Texcoco donde las temperaturas alcanzan los 15°C. Todas estas zonas durante este periodo se mantuvieron fuera de la mancha urbana.

Régimen Térmico del Valle de México (1951-1960)



Mapa 3.2.1

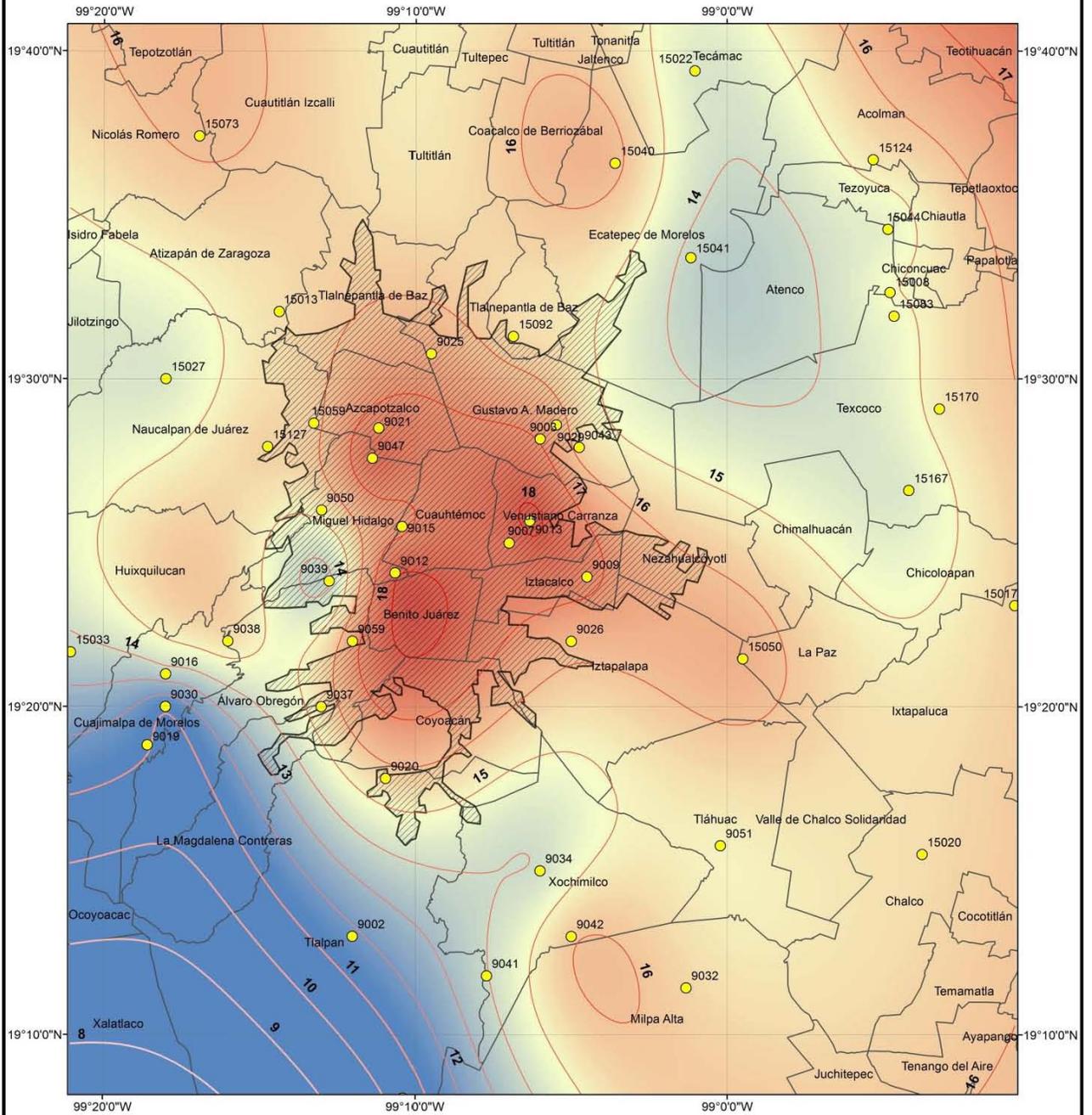
Análisis del Régimen Térmico 1961-1970 (Mapa 3.2.2).

En ésta década en comparación con la década (1951-1960), presenta cambios significativos una parte puede ser atribuible a la cantidad de datos disponible.

Entre los cambios mas significativos se puede mencionar que la isoterma con valor de 17°C se expande considerablemente en comparación a la década anterior, esta vez cubriendo las delegaciones del Distrito Federal Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez, Iztacalco y Coyoacán además del surgimiento de dos pequeñas isotermas ambas con valor de 18°C en las delegaciones Benito Juárez y Venustiano Carranza. Mientras que la isoterma de 16°C disminuye de tamaño la cual se observa cercana a la periferia de la mancha urbana así mismo surge una de dimensiones inferiores en la zona de Milpa Alta y una pequeña parte de Xochimilco

En contraste, el área de municipios como Texcoco, Atenco, Chimalhuacán y Tecámac muestran una disminución de temperatura entre 1 y 2°C. En cuanto a la zona de la planicie lacustre de Tláhuac-Chalco la temperatura permanece la isoterma de 15°C. Otro de los cambios significativos, es la variación de temperatura de -1°C en la isoterma con valor 14°C en parte de la delegación Miguel Hidalgo. La zona montañosa si bien en algunas zonas se aprecian variaciones a la baja, en general las condiciones permanecieron básicamente sin cambio significativo.

Régimen Térmico del Valle de México (1961-1970)



Legenda

- Mancha Urbana Cd. de México, 1960
- Límite Municipal
- Estación

Temperatura Media 1961-1970
Valores en °C

Isotermas 1961-1970

- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18

3 1.5 0 3 6 9 Kilómetros

Escala 1:140,000

Elaboró: Araiza Olivares Gabriel Alexis (2012)
Con datos del SMN
Proyección: Cónica Conforme de Lambert
Datum: ITRF 92

Mapa 3.2.2

Análisis del Régimen Térmico 1971-1980 (Mapa 3.2.3).

La isoterma máxima es decir la de 18°C registra un aumento significativo con respecto a la condición que mantenía la década anterior, además de tener un ligero desplazamiento, extendiéndose por las delegaciones Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza.

La isoterma de 17°C en la zona urbana disminuye en cuanto al área que cubre, sin embargo se presenta en sitios donde la década anterior no lo hacía por un lado en la zona de Tepotzotlán desde San Martín de las Pirámides, Teotihuacán, Otumba y Tepetlaoxtoc.

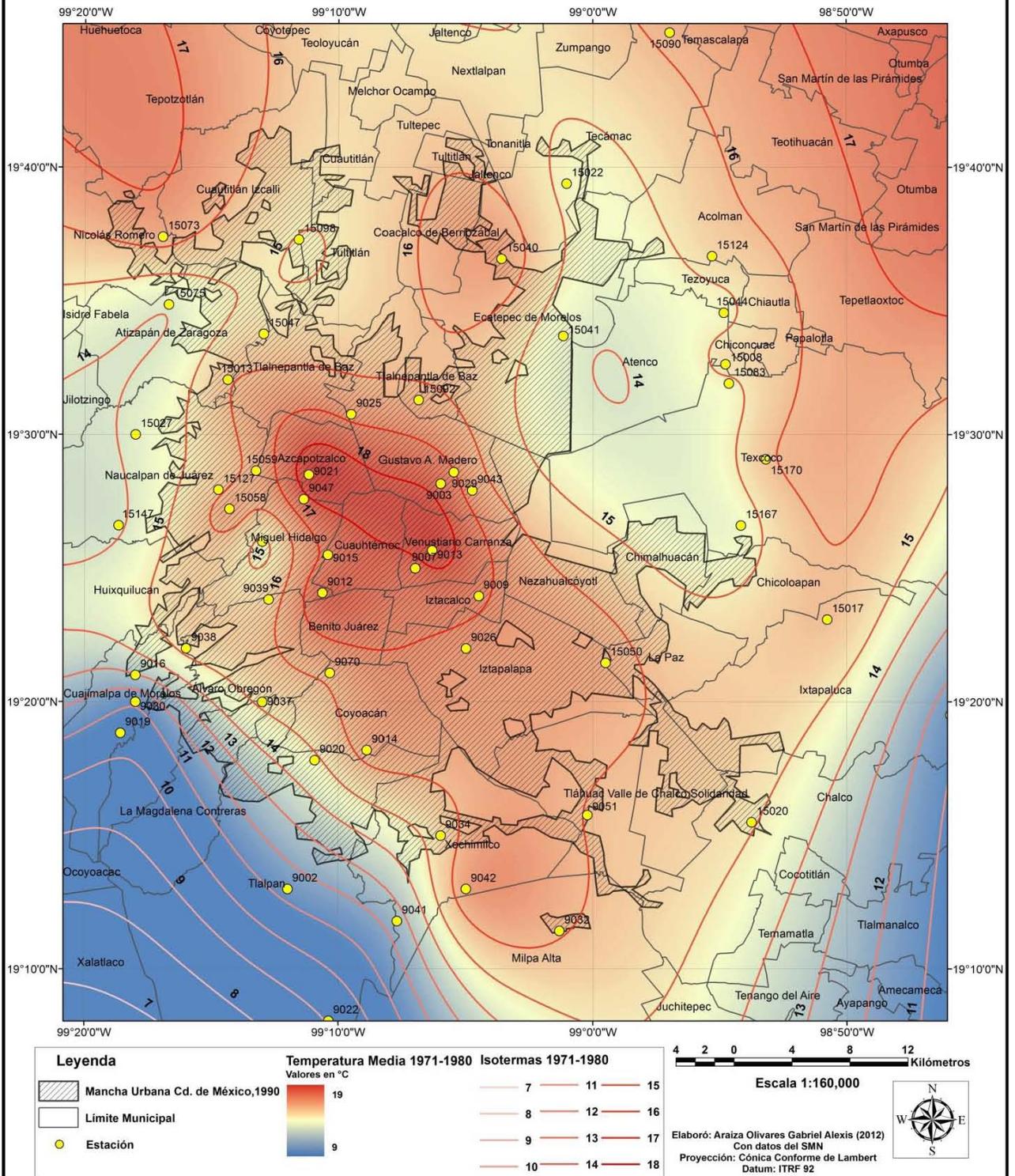
La isoterma de 16°C cubre un área que se extiende desde el municipio de Tlalnepantla y parte de Naucalpan hasta la delegación Milpa Alta en su extremo sur.

La zona serrana permanece con pocos cambios respecto a las décadas anteriores manteniéndose con la temperatura media anual con los valores más bajos, sin embargo la modificación más significativa se aprecia en la zona de Naucalpan, Jilotzingo y Atizapán donde la isoterma dominante pasa de 15°C a 14°C.

Otra de las variaciones importantes es el de las isotermas de 14°C y 15°C en las que se observa un importante retroceso en la zona correspondiente a la delegación Xochimilco siendo desplazadas debido al ya mencionado crecimiento de la isoterma de 16°C.

También es de destacar la baja de las temperaturas en parte de los municipios de Chalco, Ixtapaluca de alrededor de 1°C pasando a formar parte de la isoterma de 14°C.

Régimen Térmico del Valle de México 1971-1980



Mapa 3.2.3

Análisis del Régimen Térmico 1981-1990 (Mapa 3.2.4).

En ésta década la distribución de las isolíneas se presenta con algunas variaciones, sin embargo, la distribución en términos generales se muestra de manera muy similar a la encontrada en la década anterior.

A pesar de esto aparece una nueva isoterma con valor de 19°C sin embargo su tamaño es reducido ya que solo se presenta mayoritariamente en la delegación Cuauhtémoc y en mucha menor medida en las delegaciones Benito Juárez y Miguel Hidalgo.

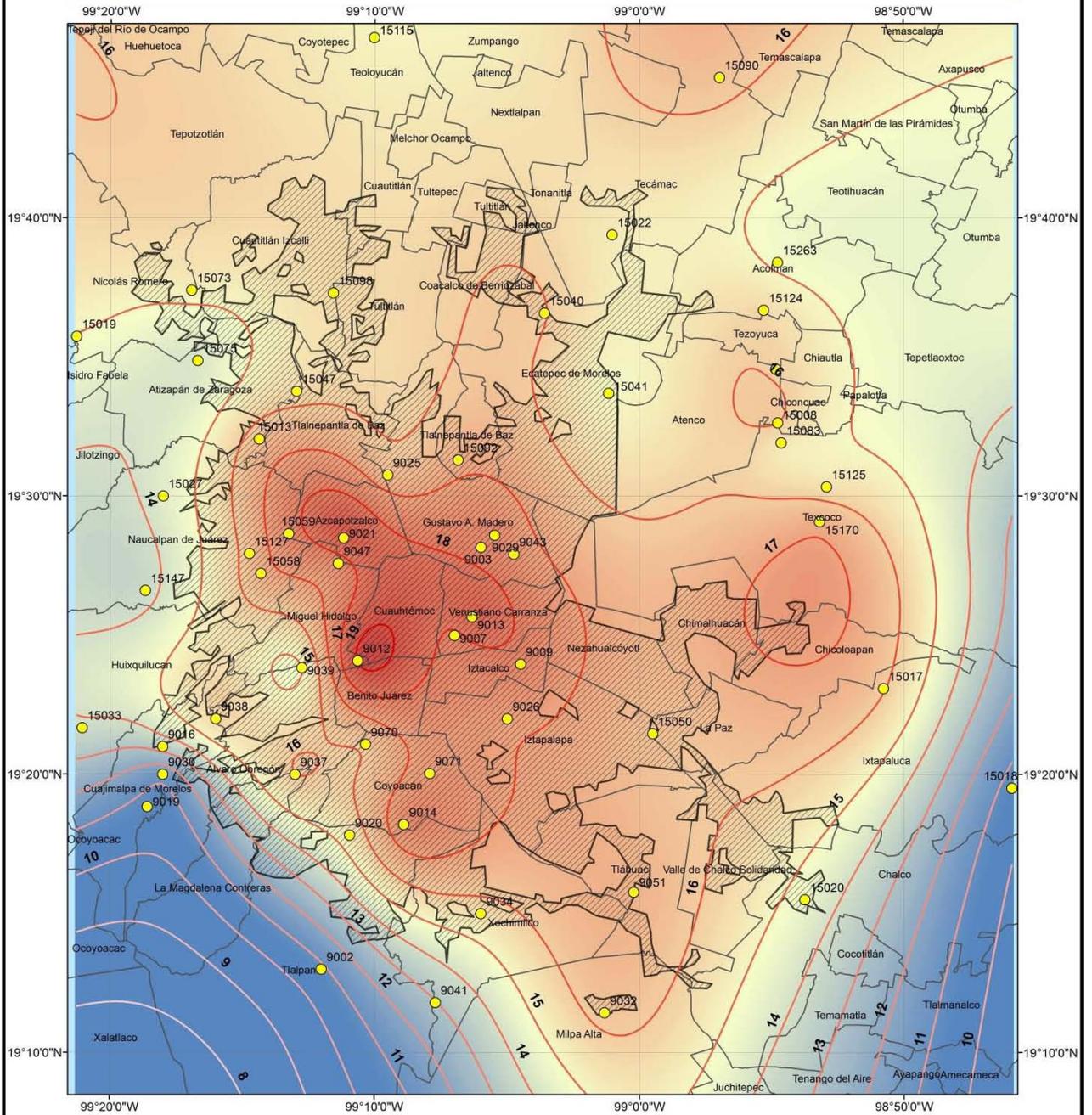
La isoterma de 18°C cubre un área un poco mayor a la de la década precedente extendiéndose por las delegaciones Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza y Benito Juárez.

Durante este periodo la isoterma con valor de 17°C se expande considerablemente principalmente con dirección al sur hasta cubrir parte de la delegación Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán además de incrementar el área que cubre en Iztapalapa, así mismo la aparición de una isla de calor con éste mismo valor en el extremo oriental de la ciudad en la zona de Chicoloapan, Chimalhuacán y Texcoco.

La máxima expansión se observa en la isoterma de los 16°C abarca gran parte del área de estudio, dicha expansión se dio hacia todos los puntos cardinales.

La zona de montañas se mantiene con cierta estabilidad en cuanto a la distribución de las isotermas excepto en la zona de Huixquilucan, Naucalpan y Jilotzingo donde la isoterma de 14° tiene una importante reducción, la mínima temperatura se presenta en la delegación Tlalpan y en el municipio de Xalatlaco en la isoterma de 8°C. La zona de los municipios de Chalco, Ixtapaluca al igual que la zona anterior no presenta cambios importantes.

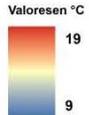
Régimen Térmico del Valle de México (1981-1990)



Legenda

- Mancha Urbana Cd. de México, 1990
- Límite Municipal
- Estación

Temperatura Media 1981-1990 Isothermas 1981-1990



- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19



Elaboró: Araiza Olivares Gabriel Alexis (2012)
 Con datos del SMN
 Proyección: Cónica Conforme de Lambert
 Datum: ITRF 92



Mapa 3.2.4

Análisis del Régimen Térmico 1991-2000 (Mapa 3.2.5).

Esta decena de años presenta un cambio importante en las temperaturas en toda el área de estudio. Las temperaturas medias máximas se desplazan en dirección al sur oriente de la ciudad, una zona donde la urbanización fue extendiéndose ampliamente, así, la isoterma de 19°C se observa en las delegaciones Tláhuac e Iztapalapa, por su parte la isoterma de 18°C es significativamente mas amplia que la existente en la década anterior desde Tláhuac en el extremo sur hasta la delegación Gustavo A. Madero en extremo norte abarcando también municipios del Estado de México como Valle de Chalco, La Paz, Nezahualcóyotl y Chimalhuacán.

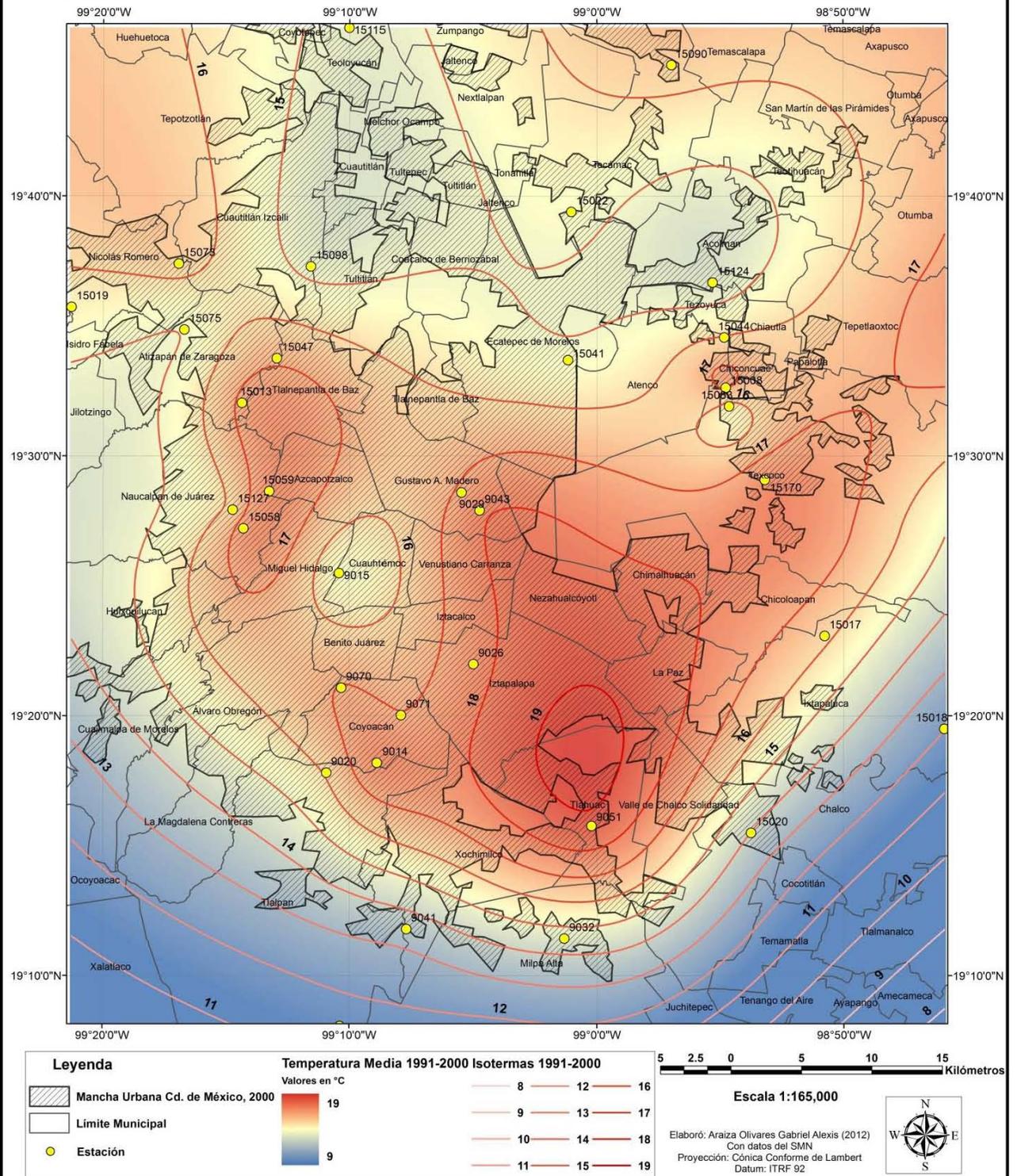
Las isotermas con valor 17° C sufren una modificación de forma importante, por una parte la correspondiente en la década anterior a las delegaciones Azcapotzalco, Venustiano Carranza, Benito Juárez etc. Se desplaza al norponiente de la ciudad ubicándose en las delegaciones Azcapotzalco y Miguel Hidalgo y los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla y Atizapán.

En el extremo norte de la mancha urbana correspondiente a municipios como Teoloyucan, Cuautitlán, Tultitlan, Coacalco, Ecatepec y Acolman se observa una disminución de la temperatura quedando dentro de la isoterma de 15°C.

La zona de montañas del sur y poniente se observa una variación de temperatura al alza, dicha variación oscila de 1°C hasta los 3°C quedando así la isoterma de 11°C como la de mínimo valor.

En la zona de Chalco e Ixtapaluca la temperatura sigue manteniéndose relativamente estable con respecto a los periodos anteriores oscilando de los 15°C en la parte urbana hasta los 11°C en el área mas alejada de ésta.

Régimen Térmico del Valle de México (1991-2000)



Mapa 3.2.5

Análisis del Régimen Térmico 2001-2010 (Mapa 3.2.6).

Durante este decenio la temperatura media más alta representada por la isoterma de 19°C se asienta sobre la delegación Iztapalapa.

Se observa un calentamiento general en toda la zona urbana el más importante es al norponiente hacia la parte de Cuautitlán Izcalli, Tlalnepantla, Naucalpan, Cuauhtémoc y Miguel Hidalgo.

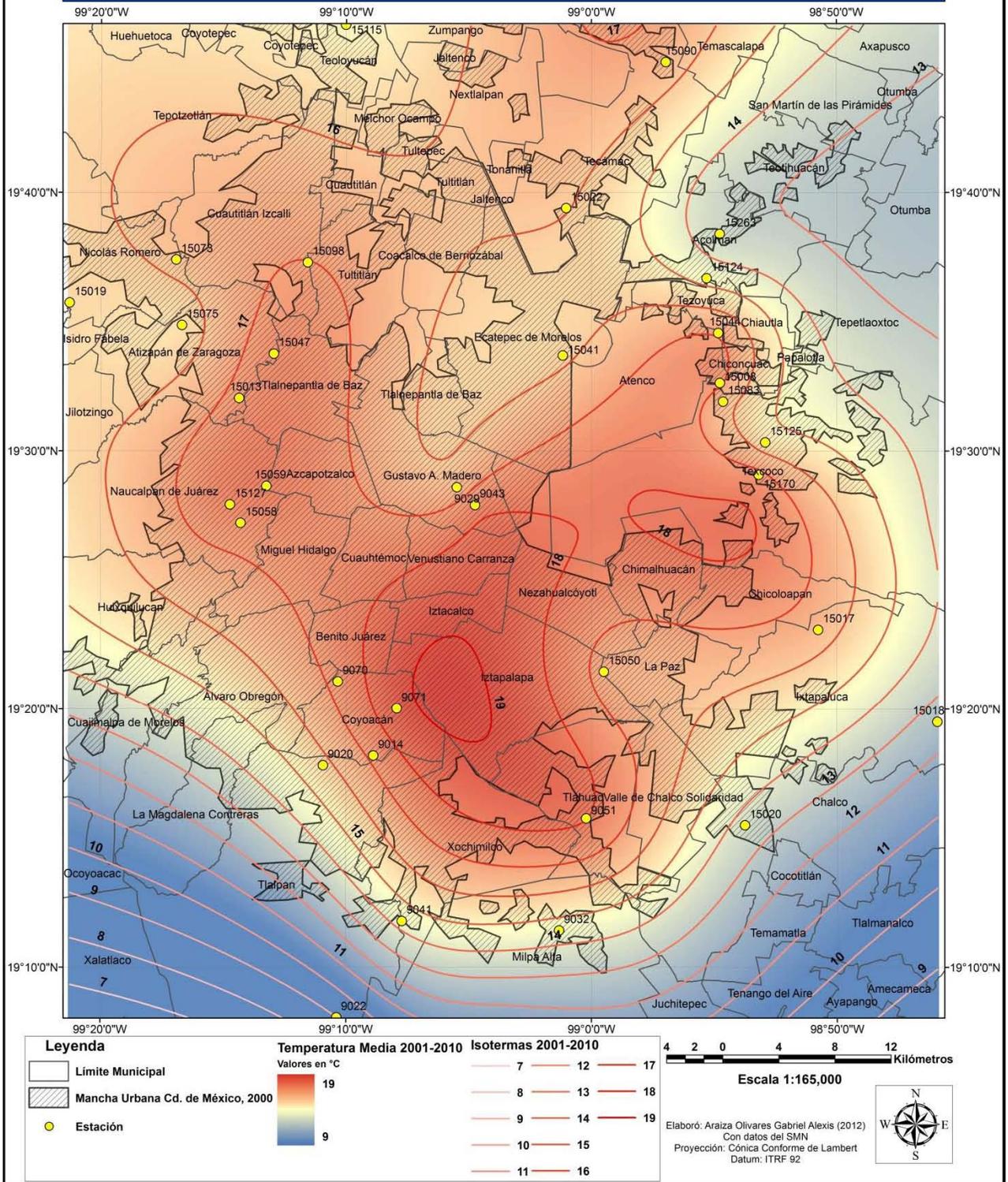
Algunas partes del poniente de la ciudad también se observa con aumento de temperatura como es el caso de Huixquilucan, Cuajimalpa y Álvaro Obregón y es en esta última que la variación con respecto a la década anterior es de hasta +2°C mientras que Huixquilucan y Cuajimalpa varían +1°C.

La parte de montañas muestra un enfriamiento en las partes alejadas de la ciudad, mientras que en la zona más cercana aumenta ligeramente.

La zona suroriente donde se sitúa el municipio de Chalco en general las condiciones se han mantenido estables.

Un cambio que es de notarse es en la zona de los municipios mexiquenses de Otumba, Acolman, San Martín de las Pirámides y Teotihuacán donde la temperatura muestra una variación a la baja que va de -1°C a -2°C esta parte corresponde a los límites de la mancha urbana.

Régimen Térmico del Valle de México (2001-2010)



Mapa 3.2.6

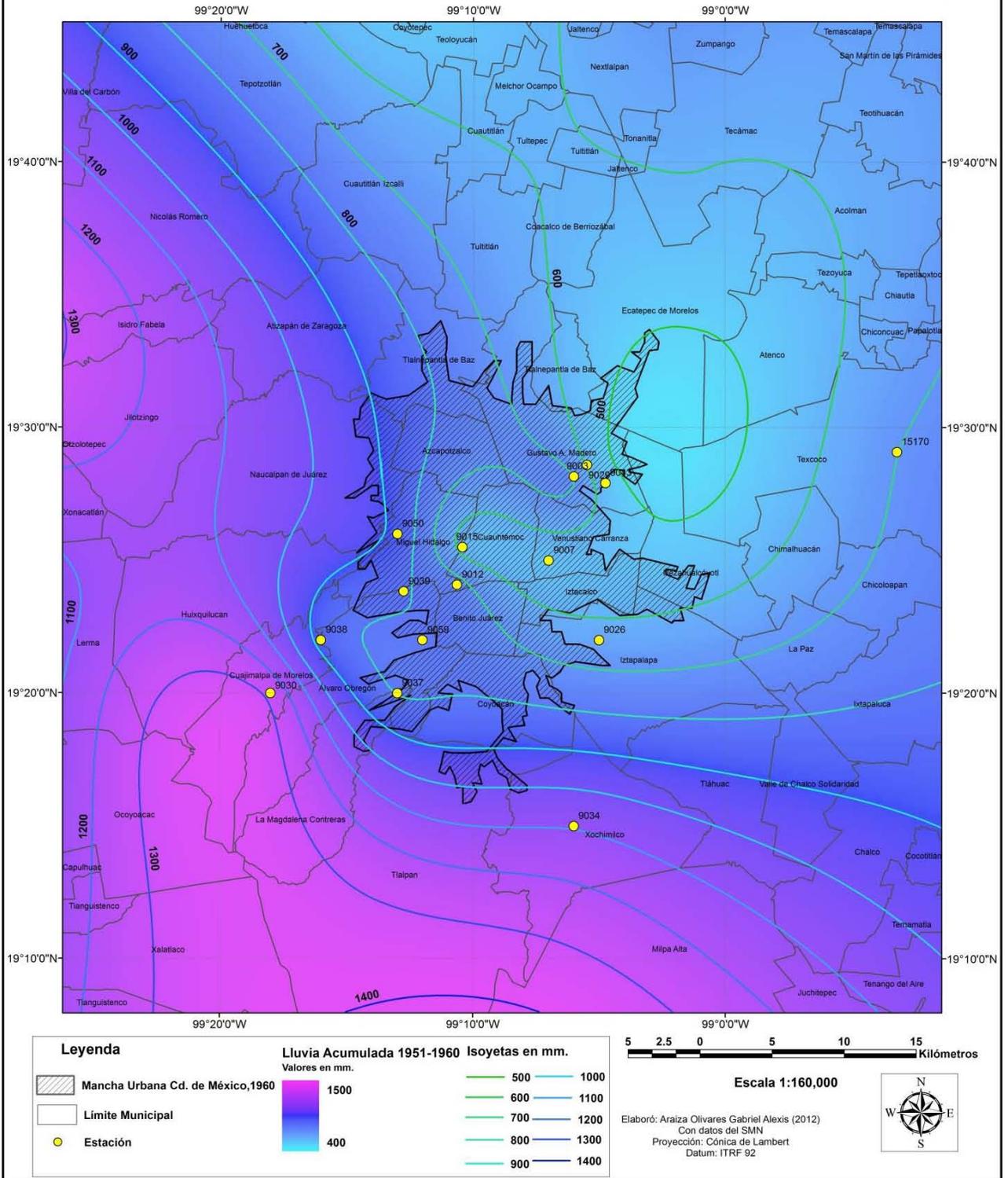
Análisis del Régimen Pluviométrico 1951-1960 (Mapa 3.2.7).

Durante ésta década la lluvia tuvo su registro mínimo en la isoyeta con valor de 500 mm. en la parte nororiente de la ciudad alcanzando la zona periférica de la misma en la delegación Gustavo A. Madero y en el Estado de México en el municipio de Ecatepec, así mismo dicha isoyeta abarca parte de los municipios de Atenco, Texcoco y Nezahualcóyotl y una pequeña parte de la delegación Venustiano Carranza. Mayoritariamente esta isoyeta cubre una zona sin cobertura urbana.

Progresivamente hacia el poniente la cantidad de lluvia se incrementa. El área de la mancha urbana es cubierta por las isoyetas de 600 hasta 900 milímetros.

En las zonas montañosas la lluvia presenta los valores más altos que oscilan de 900 a 1000 milímetros en la parte de pie de monte para llegar hasta los 1300 y 1400 en las zonas más altas, lo que indica que se trata de lluvias orográficas. Estos valores máximos abarcan parte de las delegaciones del Distrito Federal Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Milpa Alta y una pequeña porción de Xochimilco así como los municipios de Huixquilucan, Ocoyoacac y Xalatlaco en el Estado de México.

Régimen Pluviométrico del Valle de México (1951-1960)



Mapa 3.2.7

Análisis del Régimen Pluviométrico 1961-1970 (Mapa 3.2.8).

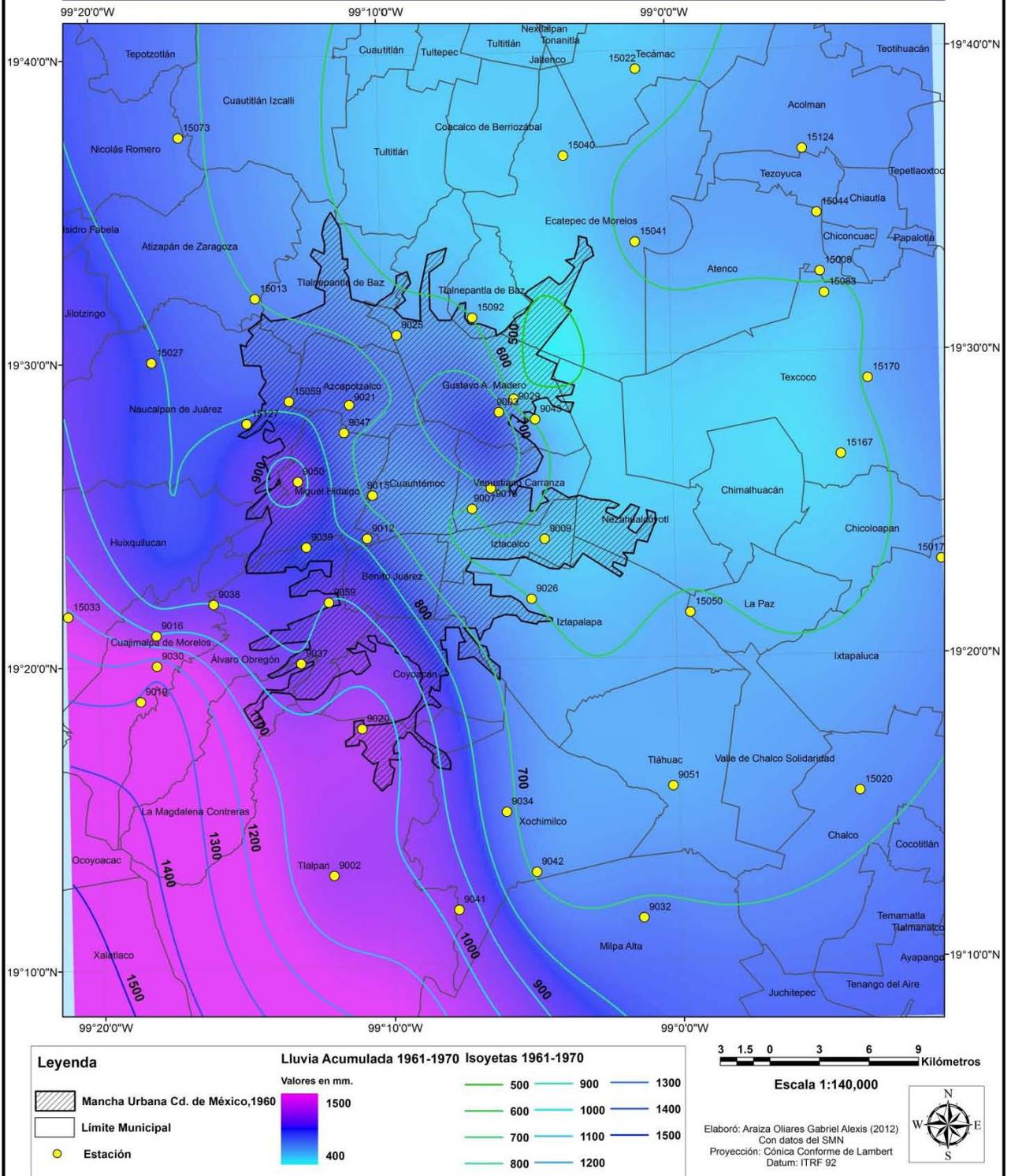
La zona con la menor cantidad de lluvia indicada por la isoyeta de 500 mm. se observa en la zona oriente de la ciudad en la confluencia de la delegación Gustavo A. Madero y los municipios de Nezahualcóyotl y Ecatepec.

Es de notar la presencia de una isla de lluvia entre las delegaciones Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Cuauhtémoc y una pequeña porción de Azcapotzalco con isoyeta que indica 700 milímetros. Otra isla de lluvia aunque de dimensiones mucho menores se encuentra en la delegación Miguel Hidalgo y una parte de Naucalpan en la zona periférica de la ciudad aunque la cifra que indica la isoyeta es de 900 mm.

La zona poniente y sur presentan los valores mas altos de lluvia, esto coincide a la presencia de relieve accidentado. El valor de lluvia máxima se observa en el municipio mexiquense de Xalatlaco con 1500 mm. lo que significa un aumento de 100 mm. de lluvia en comparación a la década inmediatamente anterior, seguido por la delegación Tlalpan, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón.

Durante esta década la mayor parte de la zona urbana es ocupada por precipitaciones que van de 600 mm. hasta los 900 mm. al igual que el periodo precedente.

Régimen Puviométrico del Valle de México (1961-1970)



Mapa 3.2.8

Análisis del Régimen Pluviométrico 1971-1980 (Mapa 3.2.9).

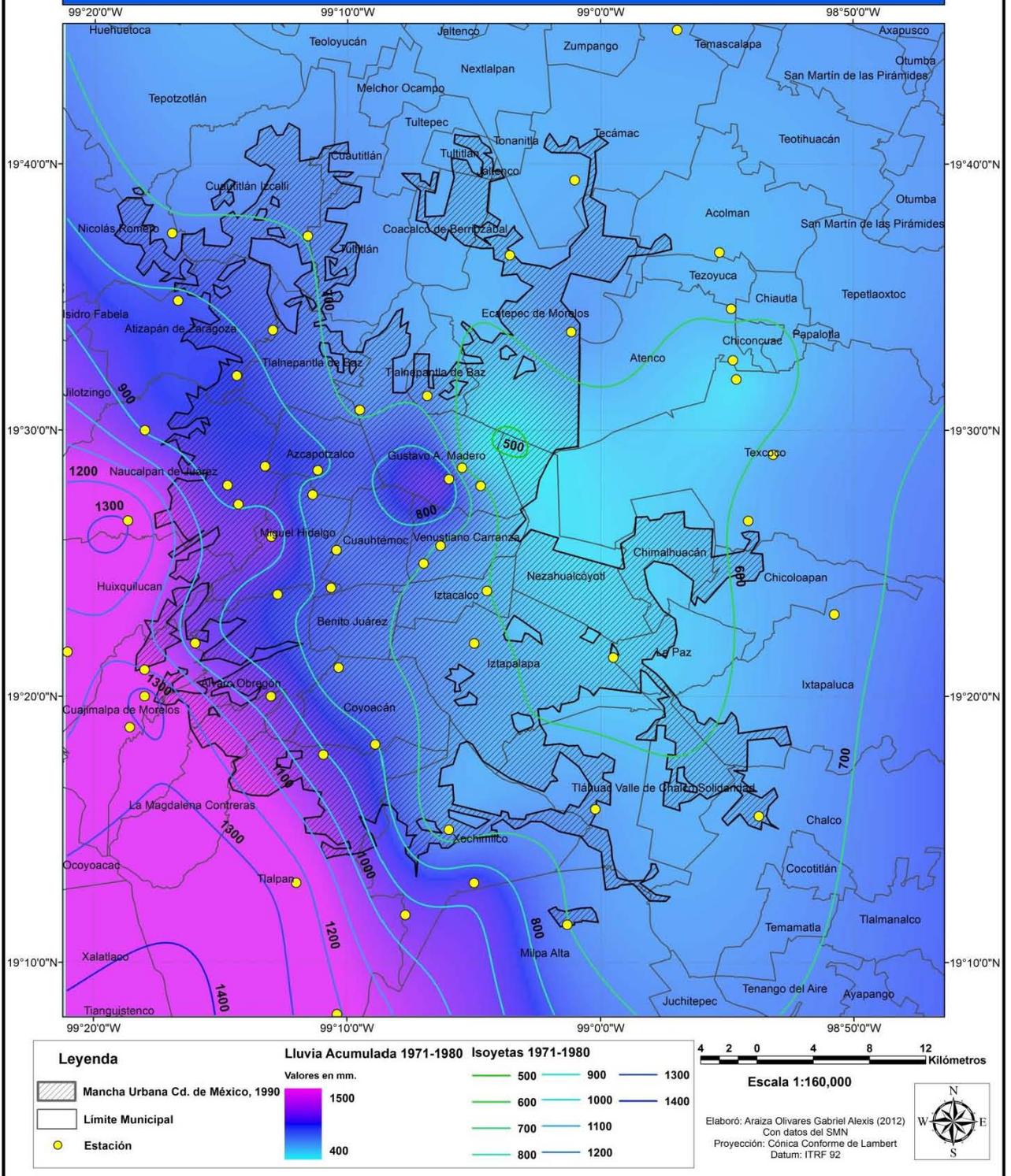
Durante ésta decena de años la isoyeta de mínimo valor, es decir la de 500, tiene una reducción en cuanto al área que cubre de manera muy importante, restringiéndose a únicamente a una fracción del municipio de Nezahualcóyotl y en menor medida en Ecatepec y la delegación Gustavo A. Madero.

Es de distinguir la presencia de una isoyeta con valor de 800 mm. es decir 100 mm. más con respecto a la década 1961-1970, dicha isoyeta abarca las delegaciones Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Gustavo A Madero y Azcapotzalco.

Las isoyetas que atraviesan el área urbana van desde los 500 al oriente como mínima hasta los 1100 y 1200 en la periferia poniente.

La mayor cantidad de lluvia se aprecia en la zona sur poniente correspondiente a la zona serrana en la isoyeta de 1400 mm. en la parte de Tlalpan y Xalatlaco lo cual representa una disminución de la lluvia en 100 mm. si se compara con la década anterior.

Régimen Pluviométrico del Valle de México (1971-1980)



Mapa 3.2.9

Análisis del Régimen Pluviométrico 1981-1990 (Mapa 3.2.10).

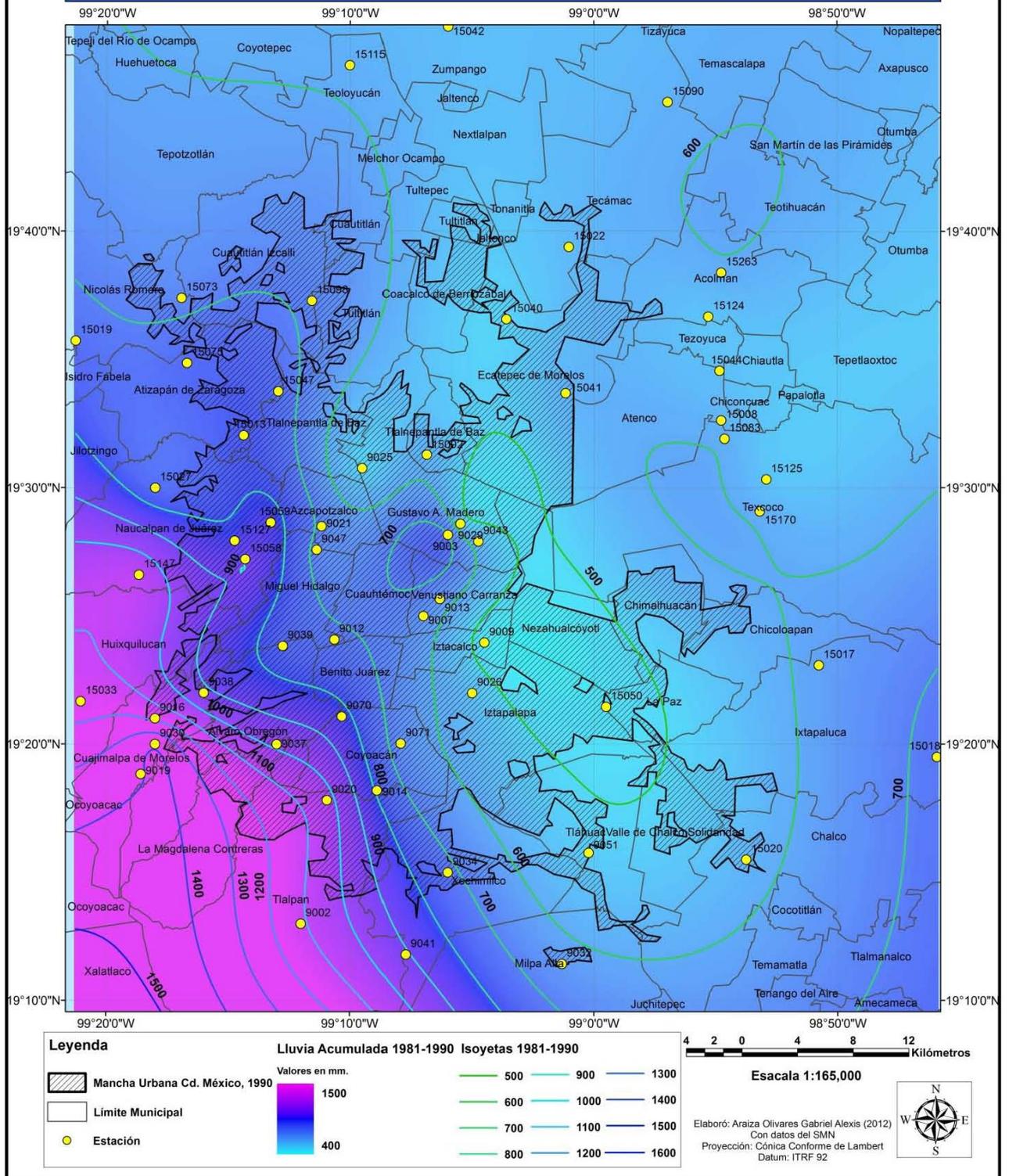
La lluvia mínima es observada nuevamente en la isoyeta de 500 mm. sin embargo presenta un avance considerable frente a la década inmediatamente anterior. Su ubicación se extiende a lo largo de la zona oriente de la ciudad sobre los municipios de Tlalnepantla, Nezahualcóyotl, La Paz, Valle de Chalco y las delegaciones Tláhuac, Iztapalapa, Iztacalco, Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero.

Se observa también una isla de lluvia con valor de 700 milímetros, es decir 100 menos que la observada en la década anterior y se ubica sobre las delegaciones Cuauhtémoc, Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero.

La ciudad es cruzada por las isoyetas que van desde 500y 600 mm. en la periferia oriente hasta las de 1200 y 1300 en la periferia poniente.

La zona de montañas se mantiene con los valores más altos de lluvia, sin embargo se observa un retroceso en la isoyeta de 1500 que en la década anterior cruzaba una zona de Tlalpan, mientras que para la presente se observa que ha abandonado por completo esta zona cediéndolo a la isoyeta de 1400 mm.

Régimen Pluviométrico del Valle de México (1981-1990)



Mapa 3.2.10

Análisis del Régimen Pluviométrico 1991-2000 (Mapa 3.2.11).

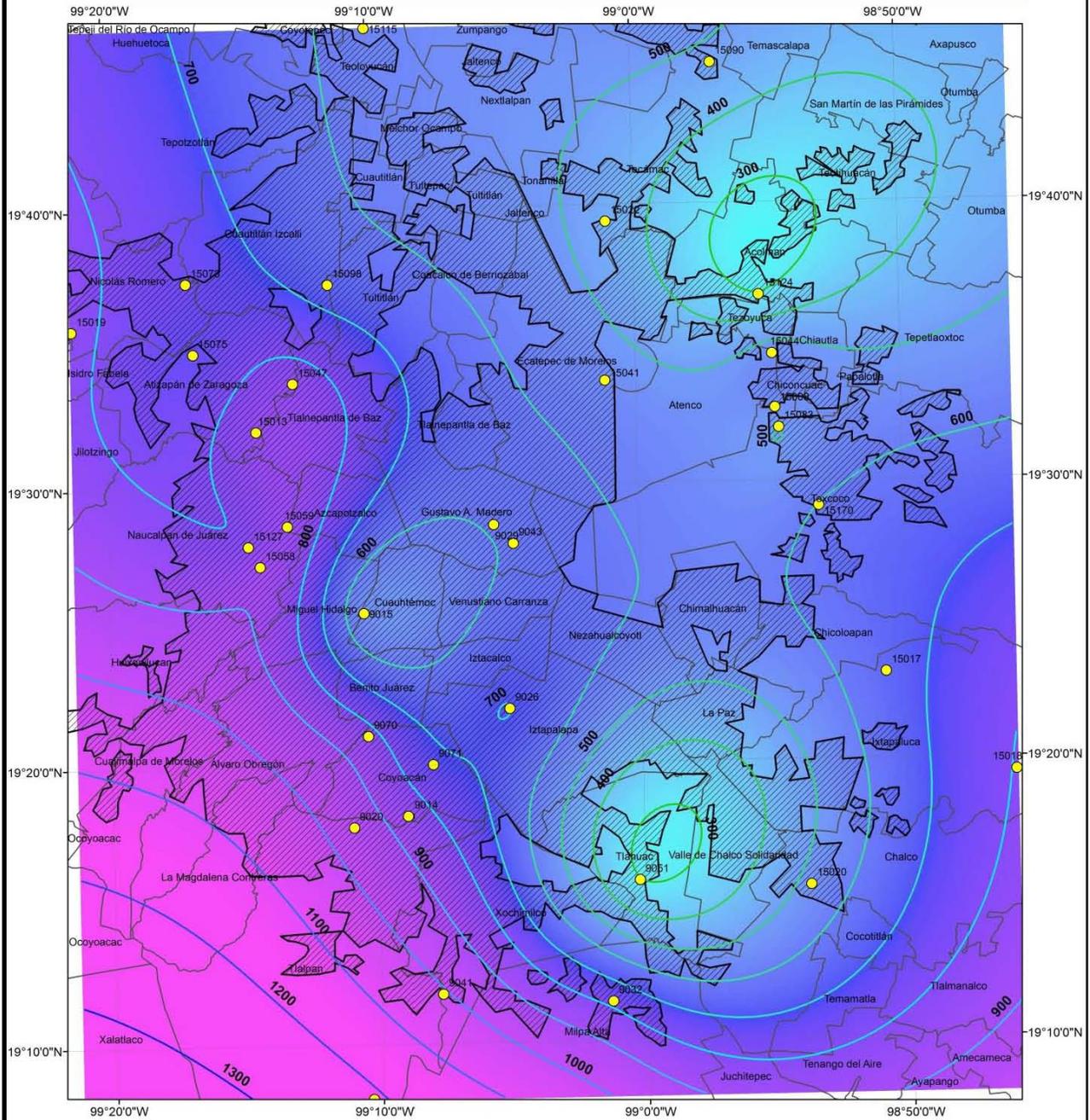
En este periodo se observa una importante disminución de la lluvia de manera generalizada. La isoyeta que indica la menor cantidad de lluvia cae hasta los 300 milímetros, es decir 200 milímetros menos que en décadas precedentes, y se le ubica en dos “islas” una de ellas sobre el municipio de Acolman y pequeñas partes de Teotihuacán y Tecámac. La otra se ubica mayormente sobre la delegación Tláhuac y otra pequeña parte sobre Valle de Chalco.

En el área donde se había observado una isla de lluvia durante décadas anteriores se aprecia una isoyeta de 600 lo que indica una disminución de 100 milímetros de lluvia con respecto a la década anterior. Sin embargo se puede apreciar una muy pequeña isla de lluvia en la delegación Iztapalapa con un valor de 700 mm.

La ciudad de México es atravesada por isoyetas cuyos valores van desde los 300 hasta los 1100 milímetros, esto ultimo en la periferia ubicada en delegaciones como Tlalpan, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa, esta cifra señala una disminución de la lluvia en 100 mm. ya que para la década anterior esta zona se encontraba cubierta por la isoyeta de 1200.

En la zona montañosa se observa de igual forma una disminución de las lluvias, ya que, a pesar de seguir siendo el área con la mayor cantidad de lluvia acumulada presenta una disminución en cuanto al valor máximo ya que se presenta una disminución de 100 mm. respecto al periodo anterior, ubicándose en 1400 mm.

Régimen Pluviométrico del Valle de México (1991-2000)



Leyenda

- Mancha Urbana Cd. de México, 2000
- Límite Municipal
- Estación

Lluvia Acumulada 1991-2000
Valores en mm.

Isoyetas 1991-2000

- 300
- 400
- 500
- 600
- 700
- 800
- 900
- 1000
- 1100
- 1200
- 1300

4 2 0 4 8 12 Kilómetros

Escala 1:165,000

Elaboró: Araiza Olivares Gabriel Alexis
Con datos del SMN
Proyección: Cónica Conforme de Lambert
Datum: ITRF 92

Mapa 3.2.11

Análisis del Régimen Pluviométrico 2001-2010 (Mapa 3.2.12).

Esta década en términos generales puede caracterizarse por el incremento en la cantidad de lluvia en todo el Valle de México.

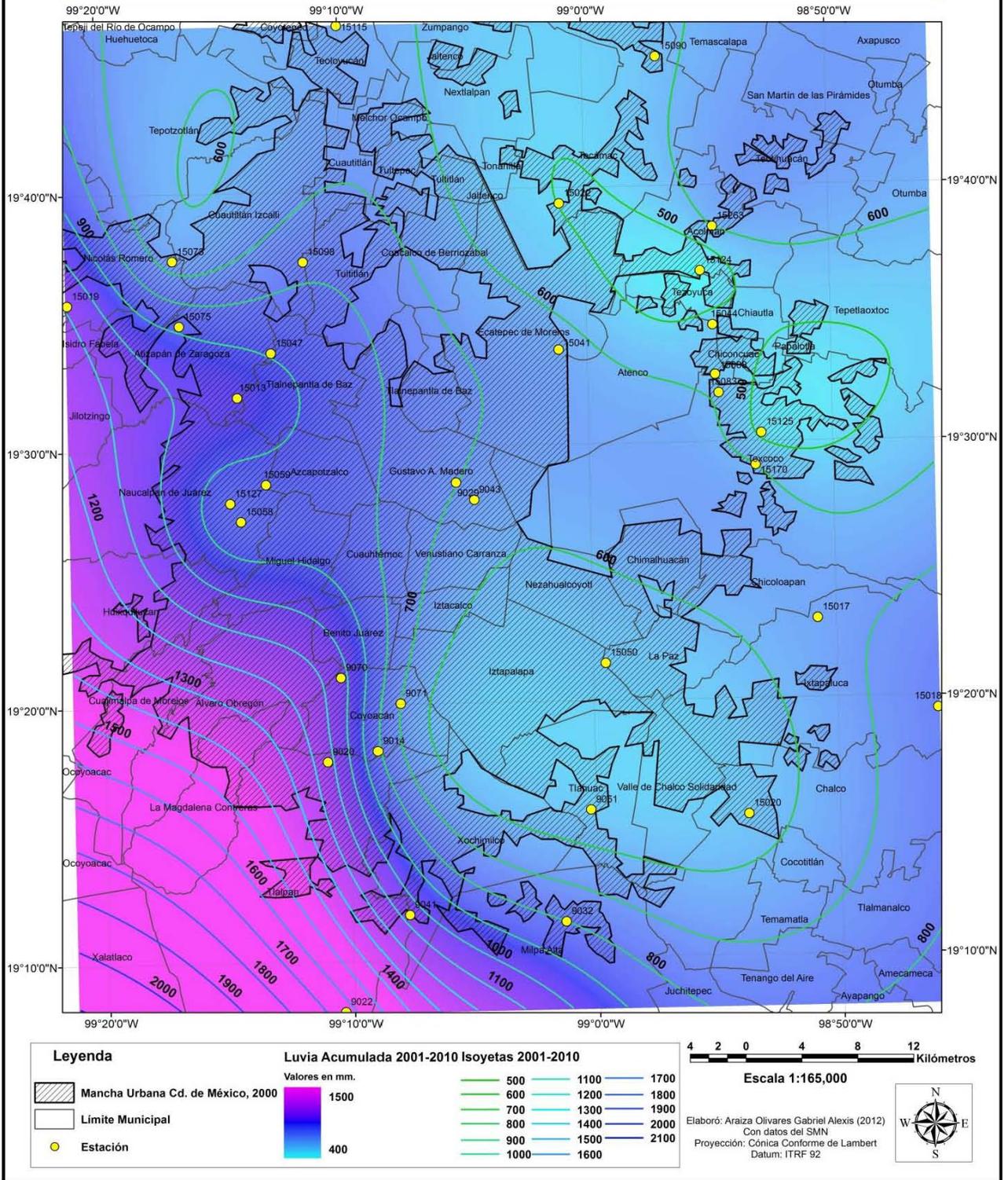
El registro mínimo de lluvia se localiza en dos zonas al oriente y nororiente de la Ciudad de México en las isoyetas de 500 mm. 200 más que el registro de la década anterior, dichas isoyetas se extienden por un lado sobre los municipios de Texcoco, Tepetlaoxtoc, Papalotla, Chiautla y Chinconcoac y por otro sobre Atenco, Tezoyuca, Acolman y Tecámac, en ambos casos se trata de la zona periférica de la ciudad.

A diferencia de otras décadas, en la presente no se observa la presencia de alguna isla de lluvia, sin embargo, en la zona donde se habían presentado en décadas anteriores es decir en las delegaciones Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc se encuentran las isoyetas de 700 y 800 milímetros lo cual significa un aumento de 100 y 200 milímetros respectivamente en comparación de lo registrado la década anterior.

En la periferia poniente y surponiente también se observa un incremento significativo en las lluvias, ya que por esas áreas atraviesan las isoyetas de 1500 y 1600 es decir hasta 500 milímetros más de lluvia si se compara al registro inmediatamente anterior. Estas isoyetas se les localizan sobre las delegaciones Tlalpan, Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Álvaro Obregón y el municipio de Huixquilucan.

La zona cubierta por montañas al igual que las décadas anteriores presenta los valores máximos de lluvia cuya cifra más alta se observa en el municipio de Xalatlaco con 2000 milímetros de lluvia lo que hace una diferencia de 700 mm. más con respecto a la máxima de la década que precede.

Régimen Pluviométrico del Valle de México (2001-2010)



Mapa 3.2.12

A continuación se presenta el análisis puntual para tres estaciones climatológicas.

Estación San Juan de Aragón (9043).

La estación se ubica en la delegación Gustavo A. Madero a una altitud de 2240 msnm. y a una distancia de 200 metros aproximadamente del bosque de Aragón (Ilustración 3.2.1). Esta estación al momento de ser instalada (1953) se ubicaba en las cercanías de la entonces periferia urbana pero fuera de ella, a mediados de los años 60 debido al avance de la urbanización, la estación quedó inmersa en la mancha urbana.

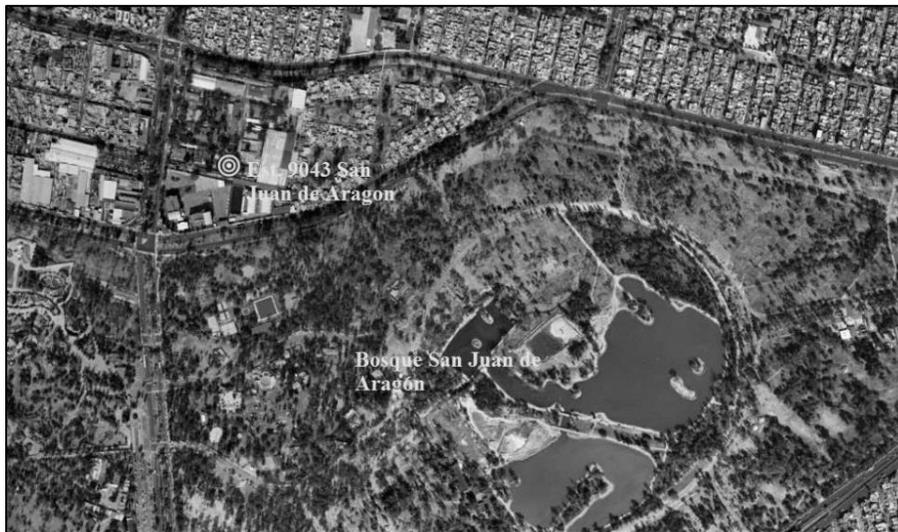
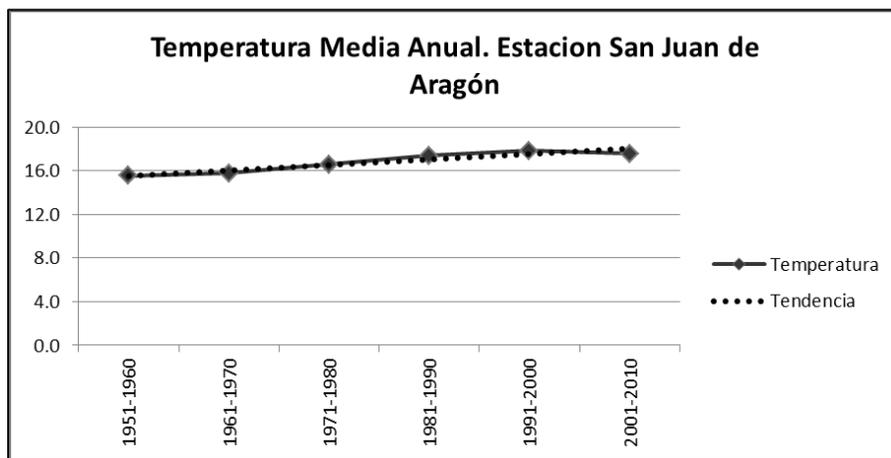


Ilustración 3.2.1 Contexto de la estación San Juan de Aragón

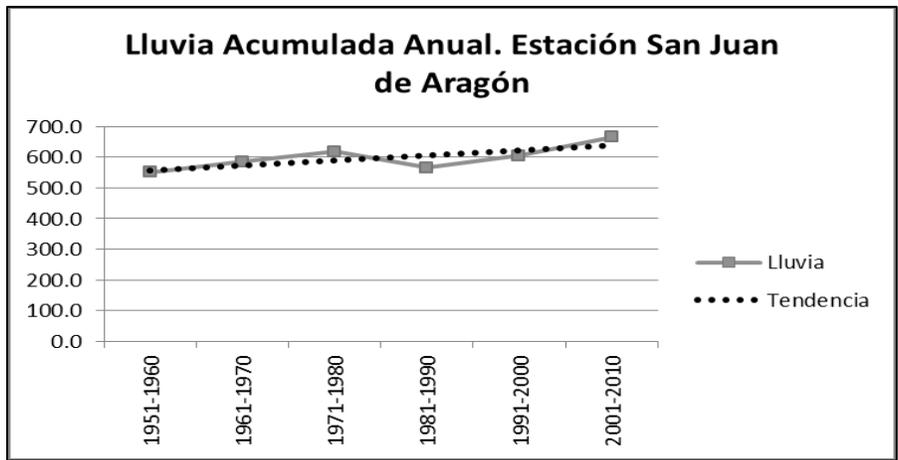
La evolución de la temperatura durante todo el periodo (gráfica 3.2.1) muestra una tendencia al alza. Al inicio del periodo (1951-1960) se observa una temperatura media anual de 15.6°C mientras que para la siguiente década (1961-1970) aumenta 0.2°C con respecto a la década anterior, es durante este periodo en el que la estación es absorbida por la mancha urbana, además se da la construcción del bosque de Aragón (1964). Para el periodo de 1971-1980 la temperatura experimentó un incremento de 0.8°C comparada con la década anterior marcando una temperatura media anual de 16.6°C, la siguiente década (1981-1990) el incremento de la temperatura sigue con una cifra similar a la anterior llegando a los 17.4°C. Entre 1991 y 2000 el incremento de la temperatura se modera con

una variación de 0.4°C para marcar 17.8°C y para 2001-2010 se observa una ligera disminución equivalente a 0.2°C con lo cual la temperatura media anual se sitúa en 17.6°C es decir 2°C mas que al inicio del periodo de estudio.

En cuanto a la lluvia corresponde la tendencia observada es en el mismo sentido que la temperatura, es decir al incremento (gráfica 4.2.2). En la década 1951-1960 se registró un acumulado promedio de 551.4 mm y a la década consecutiva (1961-1970) ésta cifra se situó en 585.7. Entre 1971 y 1980 la cantidad de lluvia acumulada. Para el periodo 1981-1990 se aprecia una caída en la cifra para colocarse en 566.5 mm sin embargo está cifra es un poco mayor a la registrada a la primera década del análisis. La década siguiente (1991-200) continúa con la tendencia al alza para ubicarse en 605.5 mm y en 2001-2010 se observa nuevamente un incremento para situarse finalmente en 664.8 mm lo cual representa que hubo un incremento en la precipitación de 113.4 mm con respecto a la cifra inicial.



Grafica 3.2.1 Temperatura Media Anual. Estación San Juan de Aragón



Gráfica 3.2.2 Lluvia Acumulada Anual. Estación San Juan de Aragón

Estación Colonia Escandón (9012).

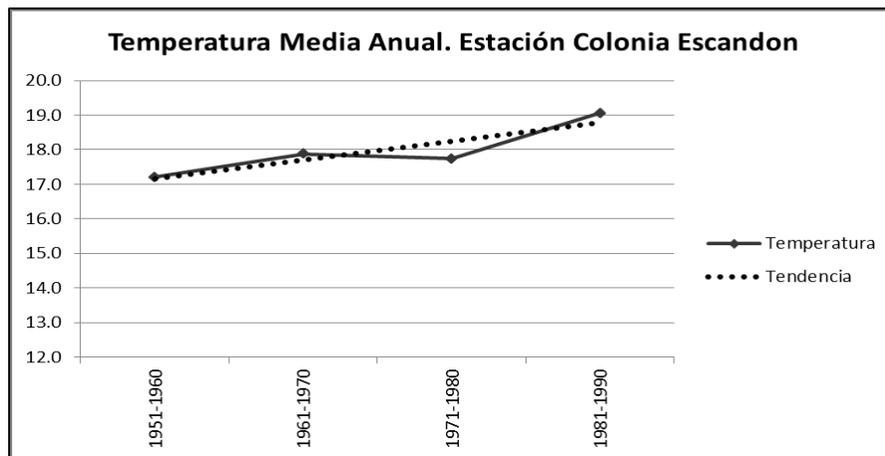
Esta estación desde su instalación (1951) y hasta su suspensión de registro (1990), se encontraba dentro de los límites de la Ciudad de México. Su ubicación se encontraba en la delegación Benito Juárez a 2245msnm. Y a 200 metros al norte de lo que hoy es el viaducto Miguel Alemán (Ilustración 3.2.2).



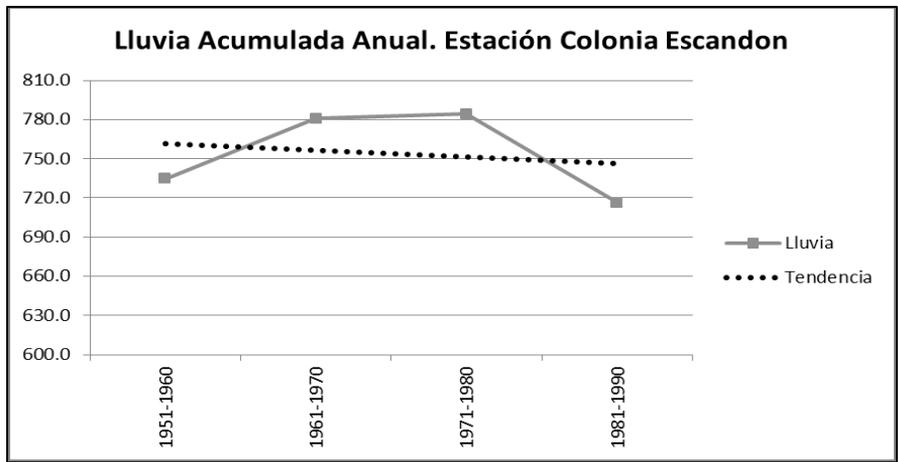
Ilustración 3.2.2 Contexto de la Estación Col. Escandón

La evolución de la temperatura media a lo largo del periodo 1951-1990 presente en términos generales se observa una tendencia a incrementarse (gráfica 3.2.3). En la década 1951-1960 la temperatura media registrada fue de 17.2°C. La década consecutiva (1961-1970) se aprecia un incremento hasta los 17.8°C. Ya en 1971-1980 se aprecia un ligero descenso en este valor ubicándose en 17.7°C. La última década con datos muestran en esta ocasión nuevamente un incremento en la temperatura media anual alcanzando 19°C. Desde el inicio hasta el final del periodo en el cual esta estación se encontró operando, da como resultado un incremento total en la temperatura media anual de 1.8°C.

En el caso de la lluvia durante la década 1951-1960 se registró una cantidad de 734 milímetros de lluvia acumulada anual mientras que la década siguiente 1961-1970 la cifra de lluvia acumulada se incrementa a 780 milímetros. Durante la década 1971-1980 dicha cifra registra un ligero incremento hasta llegar a 784 milímetros y en la última década en la cual se dispone de datos (1981-1990) se observa un descenso en la lluvia hasta 716 milímetros lo cual representa 18 milímetros menos que al inicio del periodo, sin embargo esto se dio después de dos décadas de incremento (gráfica 3.2.4).



Gráfica 3.2.3 Temperatura Media Anual. Estación Colonia Escandon



Gráfica 3.2.4 Lluvia Acumulada Anual. Estación Colonia Escandón

Estación El Guarda (9022).

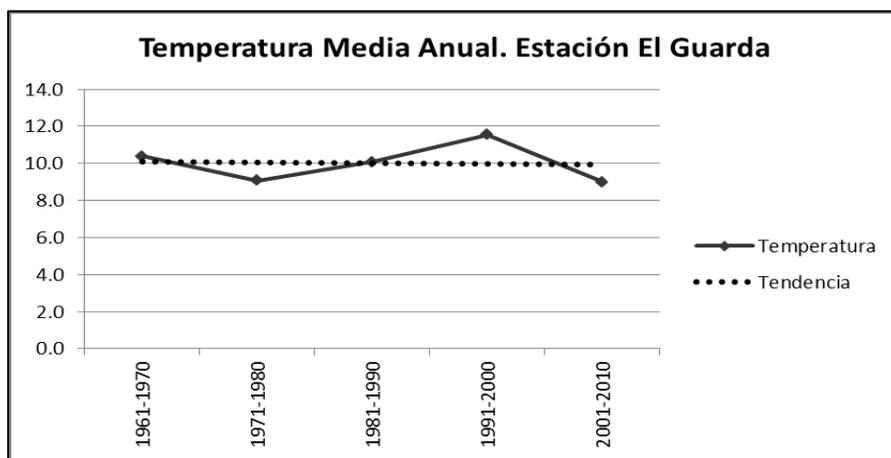
Ésta estación climatológica fue instalada en 1961 en el pueblo de Parres en la delegación Tlalpan a 2990 msnm. Y a 300 metros de la autopista México-Cuernavaca. La estación tiene como característica principal la de encontrarse en una zona rural (Ilustración 3.2.3).



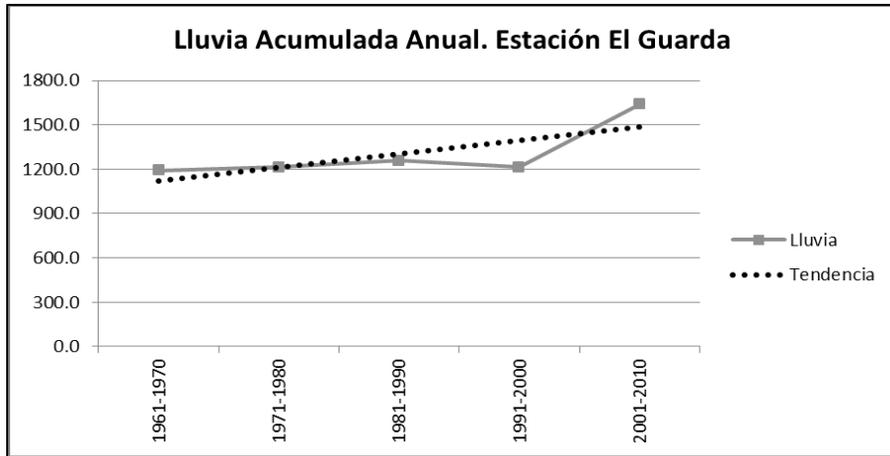
Ilustración 3.2.3 Contexto de la Estación El Guarda.

La temperatura media anual (gráfica 3.2.5) presenta diversas variaciones a lo largo del periodo de datos recabados. En la década 1961-1970 se presentó una temperatura media anual de 10.4°C mientras que la década consecutiva (1971-1980) se registraron 9.1°C lo que indica una disminución de 1.3°C. Entre 1981-1990 la temperatura media se incrementa hasta llegar a 10.1 °C es decir un aumento de 1°C con respecto a la cifra anterior pero menor a la registrada en el inicio del periodo. La década correspondiente a 1991-2000 se registró un nuevo incremento en el valor de la temperatura media ubicándose en 11.5°C. Durante el periodo 2001-2010 se observa un descenso en la temperatura alcanzando los 9°C lo que significa que se trata de la temperatura media mas baja registrada en todo periodo de disponibilidad de datos de la estación.

En cuanto a la lluvia acumulada se refiere (gráfica 3.2.6) el primer dato arrojado ubicado en la década 1961-1970 muestra 1189 milímetros, para la década siguiente (1971-1980) se observa un incremento en la cantidad de lluvia, donde el registro ubica 1211 milímetros entre 1981-1990 se observa un leve incremento de 46 milímetros alcanzando los 1257 milímetros y durante el decenio 1991-2000 se aprecia otro leve movimiento esta ocasión descendiende a 1214 milímetros para finalmente en la década 2001-2010 se registra un fuerte incremento alcanzando 1639 milímetros.



Gráfica 3.2.5 Temperatura Media Anual. Estación El Guarda



Gráfica 3.2.6 Lluvia Acumulada Anual. Estación El Guarda

Conclusiones

La investigación desarrollada en torno a la urbanización y sus efectos, en éste caso sobre la temperatura y la lluvia resulta de gran interés y a la vez de gran complejidad ya que intervienen factores naturales como el relieve y los sistemas atmosféricos que se presentan en las distintas épocas del año, lo que a su vez se combina con las actividades cotidianas de la sociedad que en su conjunto, han contribuido a la modificación de las condiciones naturales.

Habría resultado ideal para un trabajo de éste tipo, contar con datos de por lo menos inicios del S. XX, ya que el hecho de que se dispongan de datos suficientes de sólo seis décadas dificulta poder establecer comparaciones de las cuales obtener resultados más contundentes sobre la relación entre la urbanización y los impactos sobre el régimen térmico y pluviométrico. El caso concreto de la lluvia, con los datos disponibles y escala temporal utilizados, los resultados se ven matizados al ser promediados.

Por lo anterior, es necesario que las instituciones encargadas de medir, recopilar, sistematizar y procesar los datos climatológicos, en éste caso el Servicio Meteorológico Nacional, doten con los equipos necesarios, así como personal capacitado, en toda la red de estaciones climatológicas para poder realizar mediciones mucho más puntuales y precisas de en el caso de temperatura, de máxima y mínima, así como en determinadas horas del día; relacionado con la lluvia, mediciones de intensidad, ocurrencia de tormentas eléctricas y granizadas, entre otras. Ello permitiría estudios de mayor profundidad respecto a éste tema y otros con la finalidad de dar respuesta a las problemáticas que implica.

Lo que a continuación se expone refleja los distintos elementos encontrados durante la realización de ésta tesis, así como algunas recomendaciones encaminadas a dotar de utilidad al contenido de la misma.

Como se expuso en el primer capítulo, el área que abarca el Valle de México ha resultado desde hace miles de años, atractiva para el asentamiento de poblaciones. La abundancia de recursos naturales para la subsistencia como fueron los lagos y ríos, animales para la cacería y vegetación de la cual se realizaba la colecta de diversos frutos etc. en primera

instancia, y posteriormente ya con la agricultura, la disponibilidad de tierra apta para tal efecto. Así mismo se desarrollaron novedosas técnicas de cultivo como lo fueron en su momento las chinampas.

Sin duda el ambiente del Valle de México resultó “benigno” para el establecimiento de los antiguos pobladores que se establecieron en las inmediaciones, ya que no se presentaban extremos ni muy cálidos ni tampoco muy fríos, cosa que al cabo del tiempo se ha ido transformando.

Las sociedades más estructuradas dotaron al Valle de México de gran importancia económica y política, sin embargo su extensión durante siglos se mantuvo más o menos constante. La disposición de mayor y mejor infraestructura atrajo a migrantes quienes buscaban una mejor calidad de vida con lo que la población fue aumentando y junto con ella la mancha urbana, sobre todo durante el siglo XX.

Para expresar espacialmente los datos climatológicos y buscar relacionarlos con la evolución de la mancha urbana, como se describe en el apartado 2.2, se recurrió a la paquetería ArcGIS 9.3 de ESRI. El uso no sólo de ésta herramienta si no de los SIG en general, se debe al manejo sencillo de grandes volúmenes de datos, así como la optimización de diversos procesos, por ejemplo en éste caso la realización de las interpolaciones de los datos y su representación gráfica, dichos procedimientos de forma manual habría tomado un tiempo de varias semanas y que gracias al SIG, el tiempo de realización se redujo a unos pocos días.

Se determinó que el método óptimo para realizar la interpolación de los datos mediante Spline de tensión, que a diferencia de otros métodos de interpolación tales como Kriging e IDW, considera la cantidad de puntos que se manejan, con lo cual las superficies resultan suavizadas, y con ello no se crean puntos de concentración, que en muchas ocasiones distan de la realidad, ni tampoco una serie de vértices, así mismo, la gama de valores creados por éste método siempre está en correspondencia estricta con los datos. Spline en éste caso presenta una cierta correspondencia al relieve, sin embargo no lo es por completo, debido a que el SIG toma la superficie sobre la que se trabaja como plana, por lo que las diferencias altitudinales no son tomadas en cuenta.

Con el crecimiento de la mancha urbana, provocado por el acelerado crecimiento poblacional especialmente desde mediados del siglo XX y la progresiva sustitución de la cobertura de suelo natural por calles de asfalto, construcciones de concreto y otros materiales, se ha observado un incremento en la temperatura media generalizado en la parte urbana tal y como se puede observar en los diferentes mapas de isotermas a lo largo de las seis décadas, mientras que en la década 1951-1960 la temperatura media más alta se ubicaba en la isoterma de 17°C, en la zona centro, en la década de 2001-2010, la temperatura media más alta fue marcada por la isoterma de 19°C, sin embargo ésta muestra un desplazamiento al suroriente de la ciudad, atraída probablemente por el cambio de uso de suelo de dicha zona; por otra parte la zona rural se ha mantenido con temperaturas más o menos estables, lo anterior se corrobora en el análisis puntual ya que la estación San Juan de Aragón se encontraba en un principio en la periferia pero absorbida por la mancha urbana así como la estación Colonia Escandón, urbana desde su instalación, han mantenido una tendencia de incremento de la temperatura, mientras que El Guarda, no tiene una influencia tan grande de construcciones por encontrarse en un ambiente rural, presenta oscilaciones tanto de incremento como de decremento en la temperatura pero sin ninguna tendencia definida por lo que es presumible que se trate de una variabilidad natural.

Hay que señalar que en la cartografía también se refleja la influencia de fenómenos naturales, así como en los tres casos puntuales de análisis, ya que la temperatura media más alta de todo el periodo de trabajo y la menor cantidad de lluvia acumulada, se presentó durante la década de 1991-2000, década en la cual se produjo el fenómeno de “El Niño” de 1997, el cual es considerado uno de los más fuertes de la historia, su presencia trajo serias consecuencias en México sequías severas y una de las temporadas de incendios forestales más activas de las que se tenga registro.

El incremento de la temperatura en la Ciudad de México trae como consecuencia la merma en el confort térmico en los habitantes de la ciudad aumentando la posibilidad de padecer deshidratación, así mismo puede favorecer la aparición de enfermedades tales como angina de pecho, aumento en la presión arterial, además de enfermedades gastrointestinales (IDIEM, 2012) y (Jáuregui, 2006); una de las amenazas más notables debido al incremento de la temperatura, aunque no atribuible únicamente al calentamiento urbano, es el

establecimiento del dengue y por tanto del mosquito transmisor de dicha enfermedad, sin embargo, el mosquito aún no se ha adaptado (del Ángel, 2010). Adicionalmente las afectaciones económicas originadas debido a las adaptaciones al interior de los inmuebles con sistemas de enfriamiento que además representan un consumo energético considerable.

A nivel medio ambiental, el incremento de temperatura puede generar la destrucción de los ecosistemas, afectando los umbrales térmicos de diversas especies vegetales, así mismo la ocurrencia cada vez mayor de tormentas y tormentas eléctricas, así como corrientes de viento locales que ocasionan tolvaneras.

La mitigación de éste fenómeno debe darse mediante la aplicación de políticas públicas a través de programas y planes de desarrollo urbano y ordenamiento territorial tanto a nivel federal como estatal, que incluyan diversas acciones tales como:

- La sustitución de materiales de construcción que absorban en menor medida la radiación solar por ejemplo la sustitución de asfalto por materiales más claros como concreto hidráulico, pintar superficies en áreas expuestas de colores que permitan una mayor reflectancia de la radiación solar.
- La instalación de jardines en azoteas de edificios, las llamadas azoteas verdes, esto para incrementar el área per cápita de áreas verdes que según la Organización Mundial de la Salud, la cantidad óptima es de 15 m²/hab., mientras la Ciudad de México tiene 5.4 m²/hab de acuerdo a las estimaciones de la Secretaría de Medio Ambiente del DF.
- Reforestaciones urbanas en calles y camellones para regular progresivamente la temperatura.
- Limitar el crecimiento de la ciudad mediante el fomento del el redesarrollo de diversas zonas de la ciudad y con ello detener el cambio de uso de suelo.
- Protección integral de las áreas verdes urbanas y rurales del Valle de México.
- Rescate de cuerpos de agua, ya que la humedad que aportan favorecen una condición atmosférica más fresca.
- Racionalizar el uso de agentes emisores de calor tales como vehículos automotores, calentadores de agua, aires acondicionados, entre otros.

- Ahorro de energía, con ello se obtendrían beneficios tanto económicos como ambientales, ya que reducir el consumo energético se traduce en pagos menores y a su vez en disminuir la contaminación generada por la producción de la misma en regiones incluso fuera del Valle de México.

En cuanto a la lluvia se refiere, las zona oriente y nororiente del Valle de México a lo largo de las seis décadas de estudio son las que registran la menor cantidad de lluvia, oscilando entre los 500 y 600 milímetros.

Al sur y poniente del Valle de México, es decir en la zona donde se encuentran las sierras Ajusco-Chichinautzin y la de Las Cruces, respectivamente, son las áreas donde se presenta la mayor cantidad de lluvia durante las seis décadas que abarca el trabajo con isoyetas máximas de entre 1400 y 1500 excepto por las décadas 1991-2000 y 2001-2010 en las cuales se observan variaciones muy marcadas entre una y otra.

De manera puntual las estaciones seleccionadas presentan un comportamiento distinto, la estación El Guarda y San Juan de Aragón, muestran una tendencia a incrementar la lluvia acumulada, El Guarda, es la estación donde se presenta la línea de tendencia más pronunciada. Por su parte, la estación Colonia Escandón presenta una línea de tendencia a la baja, sin embargo, dada la falta de continuidad de datos es difícil decir si dicha tendencia se ha mantenido durante los últimos años.

La Ciudad de México, por su tamaño y población tiene como uno de sus principales problemas la disponibilidad de agua. El mapeo de las lluvias tiene una enorme importancia ya que conociendo su distribución espacial es posible determinar tanto zonas de oportunidad como zonas de riesgo, tanto como por su presencia así como por su ausencia.

Ejemplos de lo anterior aplicados a la cartografía obtenida son:

- Identificación de zonas donde se ubique población vulnerable a inundaciones o movimientos de ladera. Cuya mitigación en el primer caso es la construcción y mantenimiento de infraestructura que permita el desalojo del agua, mientras que en el en el segundo caso la estabilización de taludes, protección a la vegetación

ya que evita los deslizamiento de terreno y en su caso la reubicación de la población.

- Dada la escasez del agua para las actividades humanas, incentivar a que la población, mediante la instalación de sistemas de captación, concentre y almacene el agua de lluvia.
- Construcción de pozos de absorción de agua en las zonas rurales y boscosas donde la lluvia es abundante con el fin de alimentar los mantos freáticos, que a su vez reducen el hundimiento de la Ciudad de México.
- Utilización de materiales permeables en distintas calles de la ciudad para permitir la infiltración del agua de lluvia al subsuelo.
- En el ámbito rural, para conocer en qué zonas se presentan las mejores condiciones de disponibilidad de agua destinada a la agricultura de temporal.

Bibliografía y Páginas Electrónicas

- 3er Simposio Internacional. El hombre temprano en América. 2006. Fechamiento por Series de Uranio Arroja Nueva Antigüedad para el Hombre de Tepexpan, México.
- Aguirre Gómez, Raúl (Coordinador). 2009. Conceptos de Geomántica y estudios de caso en México, Colección Geografía para el Siglo XXI, serie Libros de Investigación, núm. 5, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Aguirre Gómez, Raúl (Coordinador). 2010. Estudios sobre los remanentes de Cuerpos de Agua en la Cuenca de México. , Colección Geografía para el Siglo XXI, serie Libros de Investigación, núm. 7, Instituto de Geografía UNAM, México.
- Arqueología Mexicana. Julio-Agosto, 2007. No.86. La Cuenca de México, Editorial Raíces, México.
- Arqueología Mexicana. Octubre-Noviembre, 1993. No. 4. Tenochtitlan, Editorial Raíces, México.
- C. Mann, Charles. 2006. 1491 Una Nueva Historia de las Américas antes de Colón. Editorial Taurus, México.
- Cervantes Sánchez, Enrique. 1988. Revista de la Coordinación de Estudios de Posgrado. La Ciudad de México, Año 4 No. 11. Desarrollo de la Ciudad de México. UNAM, México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2011. Estadísticas del Agua en México, México.
- Corona Cuapio, Reina, Luque González, José Rodolfo. 1992. Estudios demográficos y urbanos. Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano, v.7. Cambios recientes en los patrones migratorios a la zona metropolitana de la ciudad de México, ZMCM. Colegio de México, México.
- Del Ángel, Rosa María. 18/01/2010. Dengue si puede llegar a DF: especialista. Portal de El Universal (en línea). Consultado: 3/06/2013. Disponible en Internet: <http://www.eluniversal.com.mx/notas/654935.html>
- Espinosa Cárdenas, Moisés. 1994. Bioclimatología Urbana de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura en Geografía. FFyL, UNAM.

- Flores Soto, Blanca Evelia. Una propuesta de Tecnología en la Enseñanza del tema: Interpolación por Splines pp. 53-59. Departamento de Matemáticas, Universidad de Sonora, México.
- Galeana Pizaña, José Mauricio. 2011. Apuntes de Sistemas de Información Geográfica,
- García de Miranda, Enriqueta. 1986. Apuntes de Climatología. UNAM, México D.F.
- Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente, Sistema de Aguas de la Ciudad de México. 2006. El Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México. Desarrollo y Perspectivas, México.
- Gutiérrez de McGregor, María Teresa, González Sánchez, Jorge, Zamorano Orozco, José Juan. 2005. La Cuenca de México y sus Cambios Demográfico-Espaciales I.8.1, Temas Selectos de Geografía, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Gutiérrez de McGregor, María Teresa, González Sánchez, Jorge. 2002. Geohistoria de la Ciudad de México I.4.2 (Siglos XIV a XIX), Temas Selectos de Geografía, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. Diccionario de Datos Climáticos Escalas 1:250 000 y 1:1 000 000 (Vectorial), México.
- Jáuregui Ostos, Ernesto. 1974. Las Investigaciones sobre Clima Urbano y Contaminación del Aire en la República Federal de Alemania. Boletín del Instituto de Geografía Vol. 5. UNAM, México.
- Jáuregui Ostos, Ernesto. 1975. Las Zonas Climáticas de la Ciudad de México. Boletín del Instituto de Geografía Vol. VI pp.47-58, UNAM, México.
- Jáuregui Ostos, Ernesto. 2000. El Clima de la Ciudad de México I.4.1. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía UNAM. Editorial Plaza y Valdés, México.
- M. Brumfiel, Elizabeth. Sept./dic. 2009. Cuicuilco vol.16 no.47. El estudio de la clase común: el asentamiento de Xaltocan durante el Posclásico en la cuenca de México. México
- Márquez Ayala, David. 2010. Vector Económico, Reporte Económico, Censo de Población y Vivienda, México.
- Medina Barrios, María de la Paz. 2011. Apuntes de Clase Seminario de Climatología de México.
- Medina Barrios, María de la Paz. 2012. Apuntes de Clase Bioclimatología.

Murillo, Diego, Ortega Irene, Carrillo, Juan David, Pardo, Andrés, Rendón, Jeiser. 2012. Comparación de Métodos de Interpolación para la generación de Mapas de Ruido en entornos Urbanos pp. 62-68. Universidad de Buenaventura, Medellín, Colombia.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Mayo, 2003. Manual Curso Análisis Espacial ArcView 8.2. Proyecto Regional “Ordenamiento Territorial Rural Sostenible” Santiago, Chile.

Portal de ArcGIS Resource Center (en línea). Fecha de Actualización: 2012 Fecha de Consulta 30/09/2012. Disponible en Internet: [http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z00000078000000/](http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z00000078000000/0000/)

Portal de Crónicas Cartográficas: Historia Urbana y Cartografía (en línea)., 500 años de México en Documentos, Fecha de Actualización: 28/10/2008 Consulta: 27/10/2012. Disponible en Internet: <http://cronicascartograficas.wordpress.com/category/cartografia-mexico/>

Portal de la Ciudad de México en el Tiempo (en línea). Fecha de Actualización: 2012 Consulta: 3/11/2012. Disponible en Internet: <https://www.facebook.com/laciudaddemexicoeneltiempo>.

Portal de la Reserva Ecológica Pedregal de San Ángel (en línea). Fecha de actualización: 31/01/2007 Consulta: 10/09/2012. Disponible en Internet: http://www.cic-ctic.unam.mx:31101/reserva_ecologica

Portal de Por la Reserva (en línea) Fecha de actualización: 2013 Consulta: 2/04/2013. Disponible en Internet: <http://www.porlareserva.org.ar/EspacioVerdeHabitante.htm>

Portal de Transparencia Ciudadana-Medio Ambiente (en línea) Fecha de actualización: 2013. Fecha de Consulta: 6/05/2013. Disponible en Internet: http://www.transparenciamedioambiente.df.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=134%3Aicuales-son-los-principales-problemas-sobre-espacio-publico-y-areas-verdes-en-la-ciudad-de-mexico&catid=53%3Ahabitabilidad&Itemid=431

Portal del Boletín Catálogo Verde del Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales (IDIEM), Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile (en línea). Fecha de Actualización: 2012 Consulta: 5/04/2013 y 21/05/2013. Disponible en Internet: http://www.catalogoverde.cl/2012_envio6_catalogoverde/efecto-isla-calor.html

Portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (en línea). Quinto Censo General de Población 1930, Fecha de Actualización: 2012 Consulta: 29/10/2012. Disponible

- en Internet:
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1930/default.aspx>
- Portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (en línea). Tercer Censo de Población de los Estados Unidos Mexicanos 1910, Fecha de Actualización: 2012 Consulta: 29/10/2012. Disponible en Internet: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1910/default.aspx>
- Portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (en línea). Censo de Población de los Estados Unidos Mexicanos 1895, Fecha de Actualización: 2012 Consulta: 29/10/2012. Disponible en Internet: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1895/default.aspx>
- Portal del Servicio Meteorológico Nacional (en línea). Fecha de Actualización: 2010 Consulta: 20/09/2012. Disponible en Internet : http://smn.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=22
- Ruiz Hernández, José Antonio. 1994. Cambios Climáticos en la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura en Geografía. FFyL, UNAM.
- Secretaría de Desarrollo Social, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2007. Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2005. México.
- Tiessen Kentzler, Enrique (Compilador) (S/A). Análisis de la Situación Demográfica del Distrito Federal y el Envejecimiento en México. Fundación de Estudios Urbanos y Metropolitanos Adolfo Christlieb Ibarrola. México.
- Tumini Irina (S/A) Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbano. Estudio aplicado al caso de Madrid. Ponencias Sustainable Building Conference. Madrid, España
- Vázquez-Aguirre, Jorge Luis. 2006. Datos Climáticos de la Republica Mexicana: Panorama actual y requerimientos inmediatos. 1er Foro del Medio Ambiente Atmosférico en el Estado de Veracruz Xalapa, Veracruz, 9 y 10 de febrero de 2006.
- Villatoro, Mario, Henríquez, Carlos, Sancho, Freddy. 2008. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la Variación Espacial de PH, CA, CICE y P del Suelo. Agronomía costarricense pp. 95-105, Costa Rica.