

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS**

**RIESGO Y VULNERABILIDAD DE  
CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR  
HIDROCARBUROS EN EL DISTRITO FEDERAL**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el título de  
**LICENCIADO EN GEOGRAFÍA**

PRESENTA

**SERGIO ENRIQUE MACÍAS MEDRANO**

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Enrique Pérez Campuzano

Ciudad Universitaria. México, DF. Enero 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*Dedico mi tesis...*

*de manera póstuma, con cariño y afecto al Dr. Jorge Caire Lomelí por haber confiado en mí como su adjunto y enseñarme el arte de la Cartografía de manera muy especial;*

*a mis papás y hermanas por su compañía, apoyo y enseñanzas en el curso de toda mi vida;*

*a Melissa por su presencia y afecto que me llena de felicidad, amor y motivación para andar en la vida;*

*a mis amigos por los tiempos de ocio que me llenan de energía para trabajar;*

*a Grisel, Mónica y Marcos por ser parte en algún momento de mis reflexiones de vida;*

*a los ingenieros Alberto, Macías, Javi y Toño, así como también a mis compañeros del Grupo de Hidrogeología, por los momentos gratos dentro y fuera del cubículo;*

*y a Enrique por su comprensión e interés durante la asesoría de mi tesis.*

*Por otra parte, agradezco a CONACyT por la beca económica proporcionada que me sirvió de apoyo para la realización del presente trabajo académico.*

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS GENERALES	3
OBJETIVOS PARTICULARES	4
JUSTIFICACIÓN	4

### Capítulo I MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

1.1.	Evolución de los conceptos	5
1.2.	Aporte desde los estudios latinoamericanos	10
1.3.	Construcción social del riesgo	12
1.4.	Otros paradigmas de las ciencias sociales	19
1.5.	La pobreza y el proceso de desastre	24

### Capítulo II TRANSFORMACIÓN DEL ESPACIO COMO FACTOR DE RIESGO

2.1.	Proceso de urbanización	27
2.2.	Situación del Agua en el Distrito Federal	35
2.3.	Estaciones de servicio como amenazas técnicas	42

### Capítulo III METODOLOGÍA

3.1.	Sistemas de Información Geográfica como herramienta	49
3.2.	Metodología cartográfica	52
3.2.1	Elección de la escala y proyección cartográfica	52
3.2.2.	Representación gráfica de los hechos y fenómenos	53
3.3.	Vulnerabilidad acuífera	56
3.3.1.	Sector del acuífero a evaluar	56
3.3.2.	DRASTIC	57
3.3.3.	Tabla resumen	63
3.3.4.1.	Profundidad del agua subterránea (D)	64

3.3.4.2.	Recarga (R)	66
3.3.4.3.	Medio acuífero (A)	67
3.3.4.4.	Suelo (S)	69
3.3.4.5	Topografía (T)	70
3.3.4.6	Impacto a la zona vadosa (I)	73
3.3.4.7.	Conductividad (C)	74
3.4.	Metodología del Índice de Marginación Urbana	76
3.4.1.	Consideraciones iniciales	76
3.4.2.	Conceptos básicos	77
3.4.3.	Dimensiones	80
3.4.4.	Cálculo de dimensiones	82
3.4.5.	Índice de marginación	87
3.5.	Construcción de gráfica de correlación	93
<b>Capítulo IV</b>	<b>RESULTADOS</b>	
4.1.1.	Dr	95
4.1.2.	Rr	97
4.1.3.	Ar	99
4.1.4.	Sr	101
4.1.5.	Tr	103
4.1.6.	Ir	105
4.1.7.	Cr	107
4.1.8.	Índice DRASTIC y zonas de vulnerabilidad	109
4.2.	IMU y grado de marginación	111
4.3.	Correlación de variables	113
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>117</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>119</b>

## INTRODUCCIÓN

Los desastres han sido recurrentes en la historia de la humanidad. Inundaciones, sismos, desplazamiento de masas de tierra o deterioro de los recursos naturales como el agua acuífera, impactan desfavorablemente en la vida cotidiana, así como también en las actividades económicas del ser humano. Estos sucesos se repiten sin que haya una aparente prevención, que sea lo suficientemente efectiva para reducir el impacto negativo, aunado a que no se estudia el proceso de manera efectiva, confundiendo su origen y poniendo énfasis en los eventos externos a la sociedad.

Es por eso que a partir de la revisión bibliográfica y su discusión, en el presente trabajo servirá de pauta para definir la línea del trabajo académico y generar una crítica constructiva hacia la visión tradicional de los riesgos y desastres. De esta manera, se dará cuenta de que por lo regular, los sucesos son producidos por la construcción de espacios que no consideran aspectos de índole social como la dotación del recurso hídrico de calidad. Lo anterior interviene directamente en la susceptibilidad de la población, lo que contribuye a producir y reproducir los riesgos que eventualmente llegan a ser desastrosos al completarse el proceso donde interviene también la vulnerabilidad (Calderón, 2001).

Considerando lo anterior como parte del proceso de desastre, es preciso acotar las circunstancias en las que está emplazada la Ciudad de México, ya que los pobladores a lo largo de la historia han modificado su entorno recurriendo a obras con gran repercusión y aunque algunas benefician a los habitantes, también han tenido impactos tanto para la población como para el ambiente. Este es el caso de los trabajos de desecación de los lagos con el canal de Huehuetoca y el tajo de Nochistongo (Galindo y Villa, 1925).

En el siglo XX con el proceso de industrialización y la percepción de que la ciudad tenía que ser una *gran capital digna del país*, para los negocios y proyectos que se iban a realizar (Hernández, 2004), se sustituyeron los lagos por caminos y asentamientos humanos que al paso del tiempo se han convertido en

una urbe más compleja caracterizada por grandes extensiones de asfalto y casas. El resultado ha sido la expansión de la ciudad, que ahora ha alcanzado las partes altas del valle donde se lleva a cabo la recarga de los acuíferos (Izazola, 2001), y que condiciona el abasto de recursos básicos para los habitantes por las dificultades del terreno (DIR, 1996).

Asimismo, el territorio es una categoría que influye de manera directa en las decisiones empresariales en determinado tipo de actividades económicas, como el establecimiento de estaciones de servicio. Éste interviene en la eficiencia, rentabilidad y organización. Sin embargo, una vez implantadas estas actividades ejercen una fuerte influencia sobre la organización territorial y el impacto de los recursos naturales que lo constituyen (Méndez, 1997), tales como las aguas subterráneas, al posicionarse como fuentes potenciales de contaminación (Celis, 2008). Es así como los cambios de uso de suelo, la extracción del agua de los acuíferos, los asentamientos urbanos en zonas de recarga, la reducción de áreas verdes y la presencia de fuentes potenciales de contaminación como los hidrocarburos construyen parte de los espacios que ponen en riesgo la calidad del agua del acuífero.

Ante esta situación, el riesgo puede existir si es que se presentan las condiciones de la amenaza y la vulnerabilidad en el mismo espacio y tiempo

Las amenazas pueden llegar a representar diferentes niveles de afectación, ya que su distribución y exposición histórica incrementa el posible daño a la sociedad al repercutir directamente en la calidad del agua. Mientras que la vulnerabilidad de la población está definida por la relación de sus propiedades (educación, salud, vivienda y bienes) y su propensión a partir de estos factores a ser dañada por algún contaminante. Sin embargo estas propiedades llegan a ser modificadas por las amenazas con lo cual el riesgo es considerado como una construcción social.

En esta tesis se toma un caso poco analizado en los estudios sobre el riesgo: las gasolineras. Éstas representan una fuente de riesgo de contaminación de aguas

subterráneas (Celis, 2008). Sin embargo, poco se conoce de las posibles repercusiones en materia de contaminación al acuífero y cómo esto, a su vez, representa un riesgo en las fuentes de suministro de agua para uso doméstico (Ibídem, 2008).

Para ello se recurre al marco analítico de riesgos. Esta vertiente de pensamiento ha sido muy activa en las dos últimas décadas en América Latina (La RED, 1993). De hecho, se ha constituido como uno de los puntos de referencia para hablar de riesgos y desastres. Sin embargo, una crítica puede hacerse a los estudios desde esta vertiente: éstos suelen concentrarse en análisis de riesgos y desastres ligados a fenómenos de carácter “natural” (por ejemplo, sismos) y poco se ha analizado a los fenómenos antrópicos. El lector debe tener en cuenta que esta es una primera aproximación a esta temática; en otras palabras, es un estudio exploratorio que debe tomarse como tal.

Para el presente trabajo se tomaron dos bases de datos y se intentó ligarlas a través, como se ha mencionado, del marco analítico de los riesgos. La metodología DRASTIC (acrónimo que hace referencia a las siete variables que caracterizan al acuífero) es una base de datos que tiene como objetivo caracterizar las propiedades de un acuífero y representar las zonas más susceptibles a ser contaminadas; mientras que el Índice de Marginación Urbana mide qué tan excluidas se encuentran algunas zonas de las ciudades en México. Como se verá a lo largo de la tesis, el marco analítico pone especial énfasis en la construcción social del riesgo y donde la vulnerabilidad (entendida como falta de capacidades) es central.

## **OBJETIVO GENERAL**

En el presente trabajo se desarrollarán las metodologías DRASTIC e Índice de Marginación Urbana, tomando en cuenta como área de estudio el Distrito Federal, con el fin de proponer una aplicación que tome en cuenta los mapas de índice de cada una de las metodologías para atender la problemática de la contaminación del agua y su impacto en la sociedad.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

Para tal caso, será necesario desarrollar diversas tareas que nos conduzcan al resultado deseado, por lo que la discusión y análisis de conceptos tales como *vulnerabilidad, riesgo, amenaza y desastre*, propuestos por autores de diversas corrientes y disciplinas, será la base de la construcción del enfoque propuesto por el trabajo académico que actualmente se expone desde la geografía.

Así mismo, caracterizar el área de estudio será una tarea central. En este aspecto, además de definir los límites de estudio, será primordial hacer un seguimiento histórico del crecimiento de la estructura espacial de la población a manera de exponer un proceso que ha repercutido directamente en los factores de riesgo.

Como un punto decisivo en el presente trabajo académico, se desarrollarán las metodologías DRASTIC e Índice de Marginación Urbana con el fin de cruzar información a partir de una gráfica de correlación y un análisis espacial de la información.

Finalmente, obtener los resultados de las metodologías desarrolladas y su análisis y explicación, definirán las ideas finales para llevar a cabo las conclusiones del trabajo.

## **JUSTIFICACIÓN**

Como un elemento relevante en el desarrollo de la población se contempla el acceso a los recursos naturales vitales como es el agua, sin embargo, la desigual distribución y baja calidad del recurso, impacta de manera desfavorable a la población y contribuye al detrimento en la calidad de vida humana. Por tal razón, es justificable el empleo de metodologías y su eventual aplicación para proponer alternativas con énfasis en el análisis espacial de los resultados derivados del DRASTIC y el Índice de Marginación Humana.

## **CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL**

### **1.1. Evolución de los conceptos**

A lo largo de la historia los términos referidos al riesgo y la vulnerabilidad han ido cambiando (Cardona, 1993) de acuerdo a la perspectiva con que se miran, lo cual significa que son estudiados de manera multidisciplinaria, y si bien, es necesario verlos desde diversas ramas de estudio, y dar por válidos tanto el método cualitativo como el cuantitativo (Cardona, sin fecha), también es necesario superar el antagonismo de las dos partes con el fin de llegar a una definición válida y no incurrir en un concepto ambiguo.

La razón de hablar al respecto de que los conceptos de riesgo y vulnerabilidad se abordan desde estudios multidisciplinarios se sustenta en la experiencia adquirida tras la realización de la revisión bibliográfica, conociendo y definiendo distintos paradigmas principalmente en torno a los conceptos riesgo y vulnerabilidad, con el fin de construir, detallar y definir la línea teórica del presente trabajo académico. De esta manera, fue posible apreciar el contraste de ideas entre disciplinas a pesar de referirse a un mismo concepto.

La importancia de la terminología del riesgo comenzó con la consideración del vínculo existente entre el humano y el medio ambiente a lo largo del tiempo, en donde la vida diaria era difícil por el escaso conocimiento y preparación de las poblaciones, como consecuencia de lo anterior el desempeño de los grupos sociales se había visto mermado. Lo anterior provocó que la evolución en el marco conceptual de la vulnerabilidad fuera creciendo, considerando que en un principio se contemplaba junto al riesgo como un mismo hecho, es decir, el fenómeno.

La razón por la cual desde un principio la vulnerabilidad se relacionó con la falta de capacidad para adaptarse al medio por parte de los grupos sociales es porque la fragilidad dependía del nivel de desarrollo.

Fue así como cobraron importancia autores tales como el geógrafo Kenneth Hewitt quien en 1983 hizo una publicación denominada *Interpretations of Calamity* en

donde propuso por primera vez la variable socioeconómica y asignó un mayor peso al riesgo. Es preciso señalar que trabajos como éste, fueron la pauta para los estudios analíticos *alternativos* en Latinoamérica en la década de 1990.

Sobre dicho libro, Lavell comenta en su artículo *Desastres durante una Década: Lecciones y avances conceptuales y prácticos en América Latina (1990-1999)* publicado en el 2000, que Kenneth Hewitt hizo una recopilación de artículos en los que plasmó su idea con respecto al término *desastre* a partir de la perspectiva de la Economía Política sustentada en teorías críticas relacionadas con la “marginalidad”. Sin embargo, a pesar de ser un aporte que abría la posibilidad de mirar al fenómeno desde otra perspectiva, quedó soslayado dentro de las discusiones dominantes en los temas relacionados con los desastres a lo largo de la década de 1980. Esto era de esperarse ante la idea de que los desastres eran inmanejables e imprevistos.

El estudio de los desastres ha tenido en varios momentos *enfoques alternativos*, es el caso del modelo propuesto por Hewitt en el que se consideró la variable socioeconómica de los grupos en el desastre, mientras que identificó que la amenaza natural o antropogénica no representan las únicas componentes del desastre, por lo que da el “peso analítico” correspondiente al riesgo. De esta manera, se puede decir que es la sociedad la que a través de los procesos sociales genera las condiciones de un desastre, enfocándose en la producción de vulnerabilidades (Ley García, J., & Calderón Aragón, 2008).

El aporte valioso de Hewitt para la visión de las ciencias sociales radica en hacer un análisis integral de las repercusiones de amenazas con los elementos que se relacionan con el riesgo, entre los que destaca la vulnerabilidad. Toma como eje de análisis a la vulnerabilidad social y contempla al desastre no como un evento, sino como un proceso que interviene a lo largo del tiempo y como consecuencia genera hechos desastrosos para las poblaciones. Cabe señalar que este proceso es propiciado por una determinada magnitud de vulnerabilidades sociales asociadas con la presencia de amenazas (García, V, 2005).

Hewitt refuerza la idea de que en los desastres interviene la construcción social al manifestar en un artículo publicado en 1995 que los desastres dependen de las condiciones y controles sociales cuestionándose el cómo, cuándo y quién en el origen de dicho concepto (Hewitt, 1995).

Como ejemplo de lo que se observa en los párrafos anteriores en el caso concreto de Kenneth Hewitt, Calderón (2001) señala que desde 1983, los estudios sociales comenzaron a dar nuevas explicaciones a los desastres; y aunque se sigue hablando de desastres naturales, muchos autores lo ponen entre comillas o lo hacen bajo la aclaración de “los mal llamados”.

De esta manera, fijando una posición en el presente trabajo, se considera al desastre como el fin del proceso, siendo en ocasiones largo. Su construcción yace sobre condiciones de riesgo de la sociedad. Ocurre en el momento en que un evento muestra las condiciones de vulnerabilidad que existen y el riesgo latente se convierte en un producto. En este sentido, Oliver-Smith (2002) destaca que a pesar de que los desastres son socialmente construidos, también son diferencialmente experimentados por los individuos quienes crean diversas interpretaciones ya sea del evento o del proceso.

La presencia de un desastre indica insostenibilidad en los procesos de gestión del desarrollo y gestión ambiental. Por lo que para reducirlo es necesario modificar las condiciones que generan el riesgo.

A pesar de los novedosos enfoques desde diversas perspectivas que se tiene con respecto a los desastres, tal y como se ha descrito hasta ahora, no es la primera vez que se señala el origen del desastre en los procesos sociales. Hace más de dos siglos, Rousseau manifestó en una carta dirigida a Voltaire su idea acerca del origen y magnitud del proceso. En ella le pidió que recordara un terremoto ocurrido en Lisboa en 1755, mismo que fue considerado como el primer desastre de la época moderna. Argumentó que si en ese lugar no hubiera habido 20 mil casas de 6 a 7 pisos, o si bien, estuvieran más dispersas, el daño hubiera sido menor o nulo. La idea esencial de esta carta fue demostrar que los desastres son producto

de una construcción social del riesgo de acuerdo a la visión actual (Dynes, 1999). En el artículo publicado por Dynes, se abunda sobre el diálogo que entablaron Rousseau y Voltaire que tuvo como eje central la discusión sobre el temblor y posterior tsunami como consecuencia de Lisboa, Portugal, en 1755. El diálogo fue por medio de cartas dentro de las que destacan la *Carta sobre la Providencia* de Rousseau y *Cándido* de Voltaire.

Hasta aquí se habla un poco de lo que representa el desastre, concepto considerado como el fin de un proceso en donde intervienen las vulnerabilidades, amenazas y riesgos.

Sin embargo, quedan pendientes los factores que lo definen, su evolución y relación entre ellos. Por tal razón, el siguiente apartado se enfocará a definir las componentes del proceso desde la perspectiva de la creación social del riesgo. Para ello se expondrán algunas ideas de autores latinoamericanos en su mayoría para sustentar las bases de las que se parte en el estudio de caso.

Lo anterior sin antes mostrar un cuadro esquemático de conceptos de diferentes autores contemplados en la discusión elaborada en el presente capítulo, que servirá de guía.

AUTOR	DICIPLINA	CONCEPTOS CENTRALES			
		Vulnerabilidad	Riesgo	Amenaza	Desastre
Kenneth Hewitt	Geógrafo	Producción de vulnerabilidades sociales	Acuña el concepto de "visión alternativa" al enfoque de la producción del riesgo	Natural o antropogénica no son las únicas componentes del desastre	No son naturales, son producto de procesos sociales
Georgina Calderón	Geógrafa	La condición de vulnerabilidad es determinada por los espacios construidos. Lugares frágiles	Producción de espacios riesgosos. Relación social que moldea los espacios que se crean		Proceso en donde interviene el riesgo y la vulnerabilidad
Omar Cardona	Ingeniero civil	Grado de pérdida de un elemento producto de la posible ocurrencia de un evento	$Rie = f(A_i, V_e)$	Probabilidad de ocurrencia de un evento natural o provocado	Las condiciones de riesgo y vulnerabilidad en conjunto son el mecanismo que genera una situación de desastre
Virginia García	Antropóloga e historiadora	Incrementa la magnitud del desastre a partir de varias dimensiones	Redirecciona la discusión hacia el ámbito de la construcción social del riesgo. Acumulación histórica de los riesgos		Se relacionaban anteriormente con hechos naturales cuando en realidad son producto de la degradación ambiental, el crecimiento demográfico y los procesos de urbanización
Allan Lavell	Geógrafo			De tipo natural la denomina como Socionatural, ya que manifiesta a través de la naturaleza, pero es ocasionada por acciones humanas	El elemento que predomina en el proceso es la vulnerabilidad, aunque las amenazas constituyen un papel activo
Gustavo Wilches-Chaux	Abogado	Vulnerabilidad Global. Condiciones que limitan la adaptación de una comunidad al cambio del medio ambiente	Fenómeno de origen natural o humano que representa un cambio en el medio ambiente donde se encuentra una comunidad	Probabilidad de que ocurra un evento	Teoría de los sistemas. Desastre = Riesgo x Vulnerabilidad
La RED	Organización latinoamericana	Creada por un grupo multidisciplinario de investigadores que se dedicaron a analizar el Desastre definiendo las bases de la gestión del riesgo. Así mismo, la RED indica que el desastre es provocado por el crecimiento poblacional, proceso de urbanización y tendencias de ocupación del territorio			

*Figura 1.1. Cuadro esquemático a manera de resumen de conceptos principales con definiciones de algunos autores tomadas del presente capítulo*

## **1.2. Aporte desde los estudios latinoamericanos**

El aporte que surgió de parte de las ciencias sociales con respecto al riesgo, vulnerabilidad, amenaza y desastre fue revelador, puesto que se brindó con ello ideas de los conceptos desde una óptica distinta a la que hasta entonces era dominada por ingenieros en su mayoría. Este fenómeno respondió al deterioro que han sufrido algunos sectores sociales en sus condiciones materiales debido a las diferencias económicas y sociales, las cuales han provocado un creciente número de desastres (Calderón, 2001).

La innovadora discusión tiene como eje principal el papel que juega en realidad la naturaleza en torno al proceso del riesgo y el desastre por una parte, a la vez que se asigna más responsabilidad a las acciones emprendidas por el humano. Sin embargo, con la misma jerarquía y como consecuencia de estas discusiones, se proponen nuevas definiciones sobre el riesgo, vulnerabilidad, amenaza y desastre.

Con ello se abre un abanico de ideas que de por sí ya era vasto, ahora también tiene cabida para visiones desde la geografía, la sociología o la antropología por mencionar algunas disciplinas.

Una constante durante la discusión del riesgo y los factores que implica, es la gran variedad de disciplinas que lo retoman, por lo que un concepto puede llegar a tener una multiplicidad de enfoques que van desde el ámbito de las ciencias sociales hasta las ingenierías. En este sentido, diversos autores latinoamericanos han formado parte del debate tal y como lo muestra La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La Red) y su contribución desde las ciencias sociales puede llegar a considerarse como la pauta en este trabajo para entender de fondo lo que ocurre en los eventos desfavorables para el humano sin que se deje a un lado su responsabilidad. La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La RED), fue creada en 1992 en Puerto Limón, Costa Rica, por un grupo multidisciplinario de investigadores que se dedicaron a analizar el Desastre definiendo las bases de la gestión del riesgo.

En cuanto al análisis y conceptualización de los temas de la evaluación del riesgo y la prevención de desastres lo iniciaron los especialistas de las ciencias naturales con estudios a cerca de fenómenos geodinámicos, hidrometeorológicos y tecnológicos que incluían terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos, huracanes, inundaciones, accidentes industriales, etcétera. Como resultado, el énfasis de los estudios se dirigió hacia el conocimiento de las amenazas, por lo que si se pretende estimar el riesgo, estaría quedando a un lado el estudio y análisis de la vulnerabilidad. Como consecuencia, varios especialistas comenzaron a estudiar la vulnerabilidad física que consistía en el grado de exposición y la fragilidad o capacidad de los elementos expuestos a la acción de los fenómenos. Este aspecto permitió ampliar el grupo de disciplinas que se interesaron en el tema involucrando a ingenieros, arquitectos, economistas y planificadores; aunque consideraron la amenaza y la vulnerabilidad como variables para las normas de construcción de vivienda e infraestructura, por lo que aún el enfoque estaba dirigido hacia la amenaza, considerada como el detonante del desastre, y no las condiciones que favorecen la problemática, donde de acuerdo a algunos autores que se mencionarán posteriormente, se encuentra la vulnerabilidad social.

La importancia de referir en este capítulo a los autores latinoamericanos, es por su aporte sobre el tema desde las ciencias sociales. De esta manera y con el objeto de estudio definido como los espacios socialmente construidos en el Distrito Federal, es posible entender y analizar a este objeto como un elemento que condiciona a la vulnerabilidad social.

No obstante, dentro de la discusión de los cuatro conceptos centrales desde la visión latinoamericana, es posible encontrar algunas diferencias entre autores que cabe mencionar y contrastar, así como también aportes que vale la pena retomar con el fin de definir la postura del presente trabajo.

### **1.3. Construcción social del riesgo**

Por su parte, García (2005) hace una recopilación bibliográfica de autores que redireccionan la discusión hacia el ámbito de la construcción social del riesgo, con lo que permite esclarecer desde otra óptica las verdaderas causas de los problemas, es por esto que es de gran importancia tomar en cuenta su estudio.

Con dicho trabajo, García (2005) explica el mecanismo de los desastres a partir de estudios de caso, con lo que resalta que los desastres que se relacionaban anteriormente con hechos naturales en realidad son producto de la degradación ambiental, el crecimiento demográfico y los procesos de urbanización. Con ello, se evidencia el hecho de que existan probabilidades de exposición a la ocurrencia de desastres de grupos sociales por la elevada vulnerabilidad, que incrementa la magnitud del desastre a partir de varias dimensiones de dicho factor.

De esta manera, la visión de Lavell (2000) juega un papel importante, ya que plantea que las amenazas, en ocasiones se desarrollan en forma natural, tales como sismos o inundaciones entre otros, esto significa que se construyen en componentes de la naturaleza y que se manifiestan a través de ella. No obstante, en muchas ocasiones, se ha observado que el comienzo de las amenazas se encuentra en las acciones que desarrolla el humano. Por esta razón, aunque el componente que predomina dentro del proceso del desastre es la vulnerabilidad, las amenazas juegan un papel activo comprendiendo una gran variedad de ellas debido a la intervención del humano. A partir de esta reflexión, Lavell propone que en lugar de ser las amenazas naturales, se denominen socionaturales.

Es por eso que la reproducción de riesgos con el tiempo ha provocado el incremento tanto de la intensidad como de la incidencia, lo que da lugar a su acumulación histórica y por ende a eventos dañinos.

Un punto importante del riesgo a discutir es su mecanismo, es decir, su origen y factores que intervienen. Como ya se comentó anteriormente, el riesgo ha sido abordado desde diferentes visiones, lo que obliga a adoptar una visión de acuerdo a las necesidades del estudio. Si bien en términos generales, existen definiciones

*oficiales* o *institucionales* de lo que es el riesgo, la vulnerabilidad, la amenaza o el desastre; es fundamental tener claro cuál es nuestro objetivo y desde qué disciplina estamos parados. A manera de ejemplo, existen algunos casos en donde los autores latinoamericanos se valen de las definiciones propuestas por la UNDRO, misma que propone fórmulas que sintetizan el proceso del riesgo, sin embargo, la formación e inclinación social de dichos autores permite direccionar el eje de discusión hacia una interpretación social, es el caso de Wilches-Chaux y Cardona. Por lo anterior es obligado leer su aportación para discutirlo. La Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el socorro en casos de desastres, UNDRO por sus siglas en inglés, fue un organismo creado por la ONU en 1971 en Ginebra, Suiza. Lo anterior con el fin de auxiliar en emergencias graves y complejas en cuanto a los desastres naturales. Dicha organización fue la antecesora de la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios fundada en 1998 que hasta la actualidad cumple con las funciones de la extinta UNDRO (Información obtenida del portal de Internet de la OCHA). Para 1979 dicha organización llevó a cabo una reunión en conjunto con la UNESCO realizada por los expertos en la materia que dio paso al reporte nombrado *Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad*. En él se incluyeron definiciones planteadas en la reunión de conceptos como amenaza, vulnerabilidad y riesgo específico.

La dinámica de la población tiene como característica esencial crear espacios donde se llevan a cabo acciones que definen a la propia sociedad. Dichas acciones pueden impactar tanto de manera positiva como negativa a los habitantes creándoles una predisposición o fortaleza contra amenazas que puedan presentarse en el territorio habitado. Es así como las acciones del humano sobre la superficie terrestre le dan origen a los espacios producidos.

Por lo anterior, cuando se habla de la relación hombre – naturaleza dentro de la discusión del proceso del desastre, es necesario considerarla como desigual, ya que la naturaleza no tiene una dinámica propia, a diferencia del humano quien le ha impuesto la dinámica social. Por lo tanto se tiene que hacer énfasis en el análisis económico, social, político y cultural; ya que estas acciones sociales que

han modificado a lo largo del tiempo el espacio (entiéndase como un proceso histórico), son las mismas que originan condiciones específicas de vulnerabilidad que hacen que cuando se presente un fenómeno natural en él, se manifieste el desastre que la sociedad ha ido elaborando al paso que construye los espacios que habita.

Es entonces en éste momento en donde el riesgo comienza a cobrar relevancia, ya que es definido como la posibilidad de que un elemento sufra un daño a consecuencia de otras manifestaciones de esta acción y construya así una condición latente y en momentos predecible. Así mismo, el riesgo se vincula con la producción del espacio, ya que las acciones emprendidas por el humano son las que van delimitando los espacios en riesgo y vulnerables. Por consiguiente, la predictibilidad está en función de la presencia de amenazas y la exposición de ellas en espacios definidos y relacionada con determinadas situaciones de la vulnerabilidad. Es un punto importante ya que hace referencia a espacios concretos en un momento preciso que de acuerdo a varios autores se consideran como una producción social, por lo que son acompañados por una serie de amenazas de cualquier tipo.

En el caso de Latinoamérica, de acuerdo con La Red (La Red, 1993), los desastres han sido provocados por el crecimiento poblacional y los procesos de urbanización o por las tendencias de ocupación del territorio, que a su vez causan un incremento en la vulnerabilidad de la población. Tomando en cuenta esta idea, la dinámica de la población y en particular los procesos de urbanización implican la construcción de nuevos espacios o la modificación de los existentes, con lo que se pueden presentar un conjunto de medidas que pueden llegar a repercutir negativamente a la comunidad determinando su vulnerabilidad. Sobre el mismo sentido, la intervención de los desastres en la construcción social depende directamente de las condiciones y controles sociales, es por eso que para investigar su génesis de la mejor forma es importante indagar el cómo, cuándo y quién en el origen de dicho concepto (Hewitt en García, 2005).

Un punto de referencia obligado en cuanto a los riesgos vistos desde los estudios sociales es el trabajo desarrollado por Georgina Calderón, quien desde la geografía considera la “producción de espacios riesgosos” y señala este proceso como la relación social de producción que moldea los espacios que se crean por la misma sociedad (García, 2005). Así mismo, entiende al desastre como un proceso conformado por los siguientes factores: el riesgo y la vulnerabilidad. Es así como la construcción material de los riesgos se da a partir de la relación entre el riesgo, la vulnerabilidad y la desigualdad, con la vulnerabilidad acumulada y diferencial. Esta visión permite argumentar que desde la construcción de los espacios se determinan las condiciones de vulnerabilidad de una sociedad que a su vez define al riesgo.

La explicación a lo anterior se resume en que al construir lugares frágiles por parte de la sociedad surge una asociación con el incremento de la vulnerabilidad, lo cual provoca que no exista una adaptación con el medio físico, y como consecuencia que el medio se convierta en amenaza y de acuerdo a lo mencionado anteriormente, representaría un factor del riesgo.

Como se ha visto, el riesgo es producto de las acciones llevadas a cabo por la sociedad y que por tal razón los desastres no pueden ser considerados como naturales. Así mismo, al ser considerada la construcción social del riesgo como un enfoque alternativo y que sirve como una herramienta para estudiar los desastres refiriéndose a la raíz del problema y a su proceso, permitirá encaminar la presente investigación hacia un resultado en el que se identifique el mecanismo del riesgo que se estudiará.

Por otra parte, al analizar el trabajo de García y Calderón (2008), coincide con Virginia García (2005) y con Hewitt (1983), en que al hablar del riesgo a partir de su producción tiene un enfoque alterno, ya que es considerada la sociedad y los asentamientos humanos como los responsables.

Así, apoyándose en las ideas de Hewitt quien menciona que la naturaleza no crea los desastres, sino que son producidos por la sociedad, García y Calderón

proponen que el estudio del riesgo se debe centrar en el análisis de los procesos sociales generadores de las condiciones que con el tiempo produzcan vulnerabilidades que lleven a eventos desastrosos.

La construcción social del riesgo a partir de la creación de espacios por parte del humano deja clara la relación que existe entre el espacio y el riesgo al ser éste último una consecuencia de las acciones emprendidas por la propia sociedad que marca la conformación de la estructura de la población al implementar políticas públicas por parte de las autoridades, o comportamientos de los habitantes como la migración, el asentamiento de construcciones irregulares, entre otros, manifestándose en el espacio, sin embargo, siempre motivados por un interés implícito o como consecuencia indirecta de otras medidas.

De acuerdo con Georgina Calderón, el desastre es un proceso que se entiende como una realidad histórica creada por relaciones sociales de producción y sujetos sociales. De esta manera, las relaciones sociales son capas de crear espacios y por consiguiente, definen dos componentes primordiales para que se produzca un desastre: el riesgo y la vulnerabilidad.

Con base a lo anterior se desprende que las poblaciones se encuentran en riesgo porque ha habido una producción de espacios que de acuerdo con las características socioeconómicas de la población que los crea, se convierten en riesgosos. Así mismo, los aspectos económicos, políticos y sociales, son los que hacen que sectores de una sociedad presenten condiciones de vulnerabilidad y creen espacios que por sus mismas características son riesgosos; de esta manera las condiciones de riesgo y vulnerabilidad en conjunto son el mecanismo que genera una situación de desastre (Calderón, 2001).

En el caso de los fenómenos naturales, cuando se presentan provocan que se ponga en evidencia la condición de vulnerabilidad de cierto sector de la población que debido a la cotidianidad se encuentra oculta; dicha debilidad de la población responde al proceso social que la ha ido conformando.

En la producción del espacio el desarrollo es desigual manifestándose en la misma producción del espacio. Como resultado de lo anterior, el acceso diferencial a los recursos propios de la misma sociedad es una característica del espacio que ha sido construido, por lo que crea la condición vulnerable de los miembros de la sociedad.

Del mismo modo, es por la condición de vulnerabilidad de una sociedad que se crean los espacios riesgosos y no al revés. Con ello queda claro que los desastres no son producto de los fenómenos naturales, sino por un proceso social en el cual se evidencia la condición desigual de la sociedad.

La explicación a lo anterior se resume en que al construir lugares frágiles (entiéndase por espacios en donde los servicios básicos son escasos) por parte de la sociedad surge una asociación con el incremento de las condiciones desfavorables de la población definida como vulnerabilidad, lo cual provoca que no exista una adaptación con el medio físico, y como consecuencia el medio se convierta en amenaza representando así un factor del riesgo.

Apoyándose en lo anterior y coincidiendo con lo planteado por Hewitt, en este trabajo se plantea que el riesgo es producto de las acciones llevadas a cabo por la sociedad y por tal razón los desastres no pueden ser considerados como naturales. En consecuencia, es necesario considerar que el estudio del riesgo se debe centrar en el análisis de los procesos sociales generadores de las condiciones que con el tiempo y plasmados en el espacio geográfico produzcan vulnerabilidades que lleven a eventos desastrosos.

Así mismo, al ser considerada la construcción social del riesgo como un *enfoque alternativo* que sirve como una herramienta para estudiar los desastres refiriéndose a la raíz del problema y a su proceso, es posible encaminar la presente investigación hacia un resultado en el que se identifique el mecanismo del riesgo que se estudiará. Lo anterior en contraste con la *visión dominante* (término acuñado por Kenneth Hewitt en el artículo *La idea de calamidad en la era*

*tecnocrática* publicado en 1983) que concibe al desastre como causado por factores externos a la sociedad.

Así mismo, la *visión dominante* pertenece a una cultura histórica que pretende hacer interpretaciones a partir de los fenómenos naturales prediciéndolos y controlándolos.

De esta manera, es posible encausar el eje de discusión en los estudios de las ciencias sociales contraponiéndose a la *visión dominante* en torno a los conceptos principales que se han abordado hasta ahora en el presente capítulo con la idea fundamental de aportar nuevos conocimientos que ayuden a entender el proceso de los desastres.

Retomando lo anterior, la *visión dominante* a pesar de que considera importante a la sociedad, aprecia como punto de inicio del desastre a los fenómenos naturales extremos. Es decir, el desastre es atribuido a la naturaleza cuando en realidad existen indicios que muestran que el papel de la sociedad en el medio tiene una gran responsabilidad; ya que, es posible percatarse de que la actividad humana ordinaria permite que el fenómeno natural se presente de forma diferencial en la sociedad, con el entendido de que dicha actividad logra construir fortalezas o debilidades sobre la sociedad, lo que ocasiona enfrentar al mismo fenómeno con resultados diferentes según la preparación de la población frente al fenómeno, de ahí que se mencione al riesgo como diferencialmente percibido.

En contraparte, desde la *visión alternativa* se puede argumentar que los desastres naturales y los fenómenos naturales que a menudo son considerados como sinónimos, tienen dos orígenes distintos. Mientras que los fenómenos naturales como terremotos, inundaciones y ciclones pueden ser peligrosos, no siempre causan desastre; en contraste, los fenómenos naturales pueden causar desastre cuando afecta directamente o indirectamente al humano en un lugar y tiempo determinado, bajo el entendido de que los desastres no son impredecibles y que no ocurren repentinamente, por el contrario, parten de un proceso en el que la creación de espacios con escasa preparación ante un evento puede resultar

adverso para la población. Es preciso mencionar que ocurre la misma confusión entre los riesgos naturales y los fenómenos naturales, sin embargo, la cuestión es que hasta donde se ha explicado, los espacios se han vuelto riesgosos por parte de la sociedad, mas no existe el riesgo por la naturaleza.

De tal manera que un desastre puede llegar a ser riesgoso cuando uno o más peligros se manifiestan en un contexto vulnerable.

El riesgo se constituye de acuerdo con la forma de apropiación diferencial de la naturaleza, según las condiciones socioeconómicas de quien se apropia de ella, no sólo de las características físicas de la misma. Más bien las preguntas asociadas al tema serían por qué, desde cuándo, quién y cómo la sociedad construyó un espacio que lo volvió riesgoso.

De acuerdo a Maskrey, contrario a lo que muchos autores manejan, la vulnerabilidad no es determinada por los fenómenos peligrosos, ya que está compuesta por procesos sociales, económicos y políticos. Mientras que los desastres son situaciones extremas que se encuentran implícitas dentro del proceso.

#### **1.4. Otros paradigmas de las ciencias sociales**

Como se mencionó anteriormente, algunos científicos sociales han retomado definiciones propuestas desde organismos gubernamentales tal y como lo menciona Cardona (1991) quien hace un estudio histórico de cómo se definieron los elementos del riesgo y al riesgo mismo en una reunión promovida por la UNDRO en conjunto con la UNESCO en el año de 1979, y que se organizó con el fin de unificar estas ideas.

Con base en lo mencionado anteriormente, el grupo de expertos reunidos en 1979 se inclinaron a expresar en una ecuación al *riesgo*, que incluyó las variables: *exposición de los elementos bajo riesgo*, *riesgo específico*, *amenaza* o *peligro* y por último la *vulnerabilidad* (los conceptos del siguiente párrafo que se encuentran en cursivas pertenecen a las variables de la ecuación propuesta por la UNDRO y

posteriormente modificadas por el IISS de Skopje, Yugoslavia, misma que se rescató de Cardona (1991)).

Sin embargo, para 1985 en el Instituto de Ingeniería Sísmica y Sismología (IISS) de Skopje, Yugoslavia, se eliminó la variable *exposición* asociada con los *elementos bajo riesgo* por estar implícita en la *vulnerabilidad*, sin que esto modificara la concepción original. De esta manera, el *riesgo Rie* se entendió como la probabilidad de que ocurra una pérdida sobre un *elemento e* que es contenido en la *vulnerabilidad*, como consecuencia de que ocurra un evento con una *intensidad* mayor o igual a *i* determinada como la *amenaza* o *peligro*. En resumen, el riesgo estaría en función de la *amenaza Ai* y la *vulnerabilidad Ve*. De tal forma que:

$$Rie = f (Ai, Ve) \dots\dots\dots 1.1$$

En tanto que, para Wilches-Chaux (1993) el desastre se representa por la siguiente fórmula:

$$\text{Desastre} = \text{Riesgo} \times \text{Vulnerabilidad} \dots\dots\dots 1.2$$

Donde el desastre es el producto de la convergencia de los factores riesgo y vulnerabilidad. De tal forma que para la fórmula de desastre, si en un punto en particular hay un riesgo determinado, no existirá desastre si la vulnerabilidad es nula; mientras que puede haber lugares vulnerables por un riesgo en particular, pero si éste no existe entonces el desastre no se concreta.

Sin embargo, por un lado, en la expresión se puede interpretar que el elemento activo es la vulnerabilidad y los procesos y estructuras socioeconómicas y políticas que la conforman, o mejor dicho, que es la vulnerabilidad la que determina los desastres; mientras que por otro lado, se interpreta que la vulnerabilidad representa la incapacidad de una comunidad para absorber los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente tal y como lo define Wilches-Chaux con la teoría sistémica, en donde los desastres son característicos de fenómenos naturales peligrosos.

Así, el considerar un fenómeno natural peligroso significaría de acuerdo con Calderón (2001) que las sociedades son neutras y que les afecta algo que no tiene nada que ver con ellas y que es peligroso. Por consiguiente, se pensaría erróneamente que la sociedad hasta antes del desastre vive en condiciones de normalidad, cuando realmente se resta importancia a las condiciones de vulnerabilidad provocadas por las relaciones sociales. Esta idea perteneciente a la visión dominante resta importancia al proceso social del desastre.

Para contribuir a la discusión sobre el desastre, Maskrey (1993) resalta una confusión que es común encontrar en la literatura sobre el tema. Se trata de señalar al fenómeno natural y al desastre natural como sinónimos. De tal forma, fenómenos naturales como terremotos, inundaciones y ciclones se consideran de manera equívoca como desastres naturales. En realidad un fenómeno ya sea natural o antropogénico, después de un cierto proceso donde ciertas condiciones de vulnerabilidad son relevantes, se considera desastre cuando afecta directamente o indirectamente al hombre y sus actividades en un lugar y tiempo determinado. Es entonces que ocurre un riesgo de desastre cuando uno o más peligros se manifiestan en un contexto vulnerable.

Sin embargo, no solo se confunde desastre natural con fenómeno natural, sino que al hablar de desastre, existe una carga muy fuerte al fenómeno ya sea natural o antropogénico como un componente que lo define. Es el caso de Cardona quien define al desastre de la siguiente manera:

*Un desastre puede definirse como un evento o suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina o inesperada [...] Los desastres pueden ser originados por un fenómeno natural, o provocados por el hombre [...] Algunos desastres de origen natural corresponden a amenazas que no pueden ser neutralizadas debido a que difícilmente su mecanismo de origen puede ser intervenido [...] La mayoría de estos fenómenos ocurren en forma cataclísmica, es decir súbitamente (Cardona en Maskrey, p. 45, 1993).*

En un contexto general de la cita anterior el autor da a entender que el desastre no parte de un proceso al enfatizar que ocurre de manera “repentina” y “súbitamente”, como si el humano no tuviera la posibilidad de responder, mientras que las condiciones de vulnerabilidad de una población no son analizadas en un hecho que de acuerdo al párrafo anterior, no da oportunidad a reaccionar.

Como se ha visto hasta este momento, no es tan simple pensar que los riesgos y desastres se dieron de manera inevitable, en donde toda la capacitación y tecnología del humano no puede lograr revertir el problema. Por el contrario, pretender explicar el mecanismo de dicho proceso desde las entrañas señalando con precisión los factores que moldean al riesgo y exhibir la justa dimensión de la responsabilidad de la sociedad es un paso importante, no para señalar a los individuos sino para plantear acciones que solucionen los problemas.

Wilches-Chaux (Maskrey, 1993) reconoce a los *elementos bajo riesgo* como: la población, las edificaciones y obras civiles, así como también las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura que se encuentre expuesta en un área determinada. Así mismo, ve como uno de los factores principales a la vulnerabilidad, concepto que no es nada nuevo en este capítulo al representar un papel relevante en la categoría de “construcción social del riesgo”. Es así como se introduce al tema del riesgo comprendido como un fenómeno de origen natural o humano que representa un cambio en el medio ambiente donde se encuentra una comunidad, mientras que la vulnerabilidad es la que determina la magnitud de los daños que genere el riesgo sobre ella. En tanto que la Amenaza se considera como la probabilidad de que ocurra un riesgo. De tal forma que si en un punto en particular hay un riesgo determinado, no existirá desastre si la vulnerabilidad es nula, mientras que puede haber lugares vulnerables por un riesgo en particular, pero si éste no existe entonces el desastre no se concreta. Con esto el autor pretende mostrar la validez de la ecuación anteriormente expresada.

Wilches-Chaux se basa en la teoría de los sistemas que ha sido propuesta y discutida en diversos trabajos de su autoría (Maskrey, 1993) (Todo lo referente en

este trabajo al término de vulnerabilidad global y a la teoría de sistemas se obtuvo del artículo escrito por Wilches-Chaux y retomado por Maskrey en la publicación *Los desastres no son naturales* del año 1993). En ellos establece que un sistema es un conjunto de elementos con una interacción mutua, es decir, una relación activa entre todos, en donde la sociedad está vista desde un punto de vista sistémico; por lo tanto, el proceso lo presenta como la interacción entre el sistema comunidad con el sistema medio ambiente. Plantea que también existen otro tipo de vulnerabilidades en combinación con la social que pueden repercutir en la población que habite espacios creados por ella misma; mismos que en conjunto forman una vulnerabilidad global. Con base en lo anterior, la vulnerabilidad la define como la incapacidad de una comunidad a adaptarse a algún cambio en su medio ambiente, es decir, su incapacidad para absorber los efectos. Lo anterior a consecuencia de la interacción de una serie de factores y características que se desarrollan en dicha comunidad definidos como fenómenos de origen natural o humano.

Concluye que la razón fundamental para haber considerado la visión de sistemas, es para tener una visión global que evite ver los fenómenos de manera fragmentaria. De tal manera que se puede hablar de la vulnerabilidad natural, vulnerabilidad física, vulnerabilidad social, vulnerabilidad política, vulnerabilidad técnica, vulnerabilidad ideológica, vulnerabilidad cultural, vulnerabilidad educativa, vulnerabilidad ecológica o vulnerabilidad institucional; como un conjunto denominado vulnerabilidad global en donde la responsabilidad para mitigarla no solo le debe corresponder al gobierno, sino también a la población en general.

En este sentido, uno de los problemas para considerar su teoría, es la determinación de la sociedad ante una inadaptación en su medio ambiente, como si no pudiera existir una apropiación y transformación de la naturaleza, proceso que abarca lo social. Es por eso que el trabajo que se debe realizar radica en el entendimiento de los mecanismos de la naturaleza y su conocimiento. Así mismo, la investigación del riesgo y del desastre, más que dirigirse al estudio de un

fenómeno concreto, debe enfocarse a la investigación del proceso de transformación de fenómenos.

### **1.5. La pobreza y el proceso de desastre**

La dinámica de una ciudad es muy compleja. En ella la población más pobre tiene pocas oportunidades para construir viviendas dignas. De acuerdo con DIR (1996) en su trabajo relacionado con las ciudades y su vulnerabilidad, estos grupos solo encuentran para instalar sus viviendas aquellos lugares en donde las condiciones naturales y sociales resultan adversas para su desarrollo, sitios donde está prohibida la construcción de edificaciones por ser lechos de ríos, por tener un relieve abrupto o por ser terrenos donde antiguamente era un lago. Sin embargo, el emplazamiento de colonias en este tipo de espacios es la única opción teniendo en ocasiones un abrupto crecimiento sin planificación, con construcción de casas con materiales de baja calidad y sin servicios básicos incrementando la vulnerabilidad de los pobladores.

De esta manera, el proceso del desastre se conforma a partir de condiciones de vulnerabilidad en donde en muchos casos, las acciones del gobierno llegan tarde por la situación tan compleja de los espacios creados pero también en gran medida por no tener una adecuada planificación de la urbe.

No obstante, en los espacios urbanos, los asentamientos en zonas restringidas no solo se encuentran en condiciones intrépidas por el tipo de terreno que pueda poner en peligro a la gente o que dificulte la instalación de los servicios básicos, también altera los ecosistemas, ya que son espacios destinados para la recarga que se ve comprometida con las edificaciones, o son impactados por la deforestación que a su vez trae como consecuencia la erosión del terreno. Estos aspectos también pueden contribuir en el aumento de la vulnerabilidad de una población pobre que como última alternativa encuentra lugares para establecerse en los alrededores de las ciudades (DIR, 1996).

A pesar de que Maskrey, citado por Salas (2007), habla de los desastres “naturales”, reflexiona en el sentido de que estos se dan en torno a la coincidencia

entre el fenómeno peligroso y determinadas condiciones específicas. De esta manera y en concordancia con DIR (1996), es ahí donde los procesos de urbanización y los desastres se relacionan, debido a que aquellas condiciones específicas o de vulnerabilidad se definen por las características del desarrollo y crecimiento urbano (Salas, 2007).

Con las ideas anteriores, es claro que existe una evidencia de que la población con menos recursos económicos, es la más afectada en caso de existir un desastre, por aquellas condiciones específicas que la ponen en desventaja ante las amenazas que puedan existir, lo cual es consistente con la idea de Salas (2007) quien comenta que el desastre pone en evidencia situaciones como la pobreza, la segregación social y/o urbana, así mismo, aunado a lo anterior, Angulo citado por Salas (2007) califica este proceso como una evidencia de la debilidad de las instituciones para evitarlos o paliarlos.

Entonces, de acuerdo a lo discutido hasta ahora, estamos en condiciones de argumentar que el desastre es un proceso en donde intervienen elementos como las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo, siendo una amenaza un fenómeno que pueda perturbar la cotidianidad de algún grupo de individuos, sin embargo, a no ser que esté bien preparada la población, dicho fenómeno puede llegar a afectar al sector sometido a la amenaza por las debilidades que tenga, siendo estas las que definen la vulnerabilidad, mientras que el riesgo puede existir si es que se presentan las condiciones de la amenaza y la vulnerabilidad en el mismo espacio y tiempo. Si lo último se cumple, aceptando un riesgo elevado, el proceso del desastre habría concluido y los daños no serían eminentes sino una realidad.

Así que, la razón de por qué los grupos sociales más afectados por los desastres son los que tienen menos recursos económicos está relacionada de principio con la vulnerabilidad, y es que es ésta la que expresa la debilidad de algún sector de la población producto del rezago económico, de la falta de oportunidades y de la segregación social, entre otras, siendo un elemento muy complejo por la multivariabilidad de razones que la definen. De ahí que se esté hablando de diferentes tipos de vulnerabilidad, ya que caracterizan a la población desde

diversas perspectivas, pero que sin duda, van relacionadas en gran medida con la situación de vida de los habitantes más desprotegidos.

En síntesis, la vulnerabilidad es *una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención y mitigación, y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado elevado* (Zapata y Mora, p. 5, 2000).

## **CAPÍTULO II. TRANSFORMACIÓN DEL ESPACIO COMO FACTOR DE RIESGO**

### **2.1. Proceso de urbanización**

El proceso de urbanización en la ciudad de México ha sido un elemento determinante para la creación de espacios riesgosos en donde muchas veces se impulsan políticas públicas a través del territorio que no necesariamente pueden crear un ambiente seguro a largo plazo, y en el cual llega a haber intereses de la gente que se encuentre en el poder. Para hacer un análisis más objetivo que explique este proceso de urbanización, es importante mencionar el siglo XX, puesto que es en este periodo cuando detonó el crecimiento del espacio urbano y el abasto del agua comenzó a ser más comprometido. Sin embargo, a lo largo de los siglos anteriores se entendió al mismo espacio desde otras perspectivas que se tradujeron en acciones que sin duda marcaron en algunos aspectos a la ciudad que actualmente conocemos.

A pesar de que el proceso de urbanización desde hace varias décadas se desenvuelve más allá de la frontera político-administrativa del Distrito Federal, los orígenes radican dentro de esta categoría remontándose alrededor de 25,000 años atrás. Es por eso que esta categoría de análisis espacial está llena de un gran contenido histórico que merece ser expuesto de manera cronológica pero con un mayor énfasis en el antepenúltimo siglo por las razones expuestas anteriormente.

Con respecto a la evolución de la Ciudad de México desde sus orígenes a la fecha se ha escrito mucho, por lo que este apartado pretende hacer un compendio de algunos textos a modo de describir el área de estudio desde el punto de vista de la población y los espacios de los que se ha ido apropiando el humano, siendo este un proceso importante en la determinación de los riesgos relacionados con el abasto y calidad del agua que pudieran existir dentro de un lugar. Con esto se tiene como objeto resaltar algunas problemáticas que de este proceso se desprenden para poderse abordar posteriormente, enfocándose principalmente en

la evolución del espacio urbano propiciado a lo largo del siglo XX debido a que es el de mayor impacto en los recursos naturales de la población (Hernández, 2004).

Es importante resaltar que el proceso de apropiación del espacio por parte del humano llevado a cabo por medio de acciones que se sustentan en las ideas que rigen a la población y las políticas que se aplican en el lugar resultan totalmente determinantes en los espacios ocupados y así como pueden ser favorables para una comunidad, también pueden crear riesgos. Este es el caso por haber implementado obras de desecación de los lagos a partir de una serie de políticas y obras públicas para lograr ocupar más tierra firme y propiciar un mayor crecimiento poblacional al paso del tiempo impulsando acciones de tipo político (Galindo y Villa, 1925), convirtiendo a la Ciudad de México en una de las metrópolis más habitadas del mundo.

El proceso de urbanización de la ciudad de México que ha durado casi cinco siglos, siempre ha exigido sacrificar parte del medio lacustre, ya que dentro de sus mecanismos se incluyó la desecación de los lagos con el fin de edificar las construcciones (Galindo y Villa, 1925). Como resultado, la población creciente comenzó a depender del agua proveniente del acuífero y de otras cuencas.

Con la ocupación de los lagos de la cuenca de México desde los primeros habitantes se dio paso a diversas formas del manejo del servicio ambiental de acuerdo a sus necesidades ideológicas y técnicas con las que disponían (Galindo y Villa, 1925).

Para marcar un antecedente de lo ocurrido a grandes rasgos entre los siglos XIV y XIX, a continuación se muestra una línea del tiempo que da cuenta de la construcción de las principales obras hidráulicas que marcaron el manejo del espacio y su recurso hídrico, así como también, algunas inundaciones provocadas (Información obtenida de Serra (1990); Arqueología Mexicana (2009); Hernández, (2004); Galindo y Villa (1925); Izazola (2001); Cunill (2004); Gutierrez, et al. (2005)).

---

## ÉPOCA PREHISPÁNICA

1325. Se funda la ciudad de México-Tenochtitlan.

1350. Crecimiento de la población al concretarse la alianza de los Tepanecas con los Acolhua.

1382. La isla es presa de inundaciones.

1416. El abasto del agua en el siglo XV dependió principalmente de los manantiales, por lo que se construyó el primer acueducto de barro.

1435. El río Cuautitlán es canalizado artificialmente.

1449. México-Tenochtitlan sufre inundaciones. Se construye el albaradón de Ahuítzotl, con el fin de evitar más inundaciones de la isla de México.

1450. Para controlar las inundaciones, se diseñó un sistema para el control del crecimiento de las aguas por medio de diques. El principal fue el de Nezahualcóyotl.

1499. Debido al aumento de la población se construyó una nueva obra para conducir el agua desde los manantiales de Coyoacán.

## ÉPOCA COLONIAL

1521. Con la conquista, la esclavitud y las enfermedades que llevaron consigo los españoles, la población en la cuenca descendió de 190,000 a 50,000 habitantes.

1522. Nuevas formas de apropiación de los recursos naturales. Construcción llevada a cabo por Alonso García Bravo de una traza orientada por dos de las principales calzadas prehispánicas: por un lado la calzada Tlacopan conocida en la actualidad como México-Tacuba; y por el otro la calzada de Iztapalapa denominada ahora como calzada de Tlalpan.

1555 y 1580. La ciudad de México padece inundaciones.

1536. Construcción del acueducto Santa Fe-Fuente de Mariscal.

1555. Primera gran inundación durante la Colonia en la ciudad de México. Se intenta restaurar el albaradón construido en la época prehispánica.

## SIGLOS XVII-XIX

1607, 1615 y 1623. Nuevamente la ciudad de México padece inundaciones.

1607-1608. Enrico Martínez dirige las obras en Nochistongo. Primer desagüe artificial de la Cuenca de México.

1620-1790. Se construye el acueducto de Arcos de Belén.

1623. El socavón de Nochistongo es clausurado.

1629. Tiene lugar en la ciudad de México una de las peores inundaciones de su historia. Se prolonga por cinco años y deja un saldo de más de 30,000 indígenas muertos y una reducción de 20,000 a 400 familias españolas.

1640. Se reanudan los trabajos en Nochistongo. Para convertirlo en un tajo a cielo abierto.

1789. Se concluye la salida de Nochistongo, a tajo abierto y con más profundidad.

1847. Se construye el primer pozo perforado en la ciudad de México en el centro de la capital con una profundidad de 40 m.

1864. Existían 200 pozos; en 1877, 483 y en 1888, 1100.

1878. Comienzan los trabajos de un nuevo sistema de drenaje para la Cuenca de México, conformado por el Gran Canal de Desagüe y el Túnel de Tequixquiac.

1881-1895. La extracción continua de agua por parte de los pozos causó el hundimiento de la ciudad.

1886-1900. Se construye el Gran Canal y el Túnel de Tequixquiac para evitar las inundaciones en la ciudad de México.

1879. Empieza a funcionar el primer abastecedor de agua potable subterráneo de la ciudad.

---

Es preciso mencionar que si bien los siglos anteriores al siglo XX en el Valle de México, marcaron el comienzo de la desecación del lago para su continuo poblamiento, en el siglo XX fue donde hubo una explosión demográfica promovida por políticas implementadas, no obstante, para poner en contexto este hecho, es preciso comentar algunas situaciones en torno a la región.

En el siglo XX, el crecimiento demográfico en Latinoamérica tuvo un ritmo acelerado entre las décadas de 1930 y 1990. En especial la población urbana representó cambios geohistóricos (la geohistoria tiene como uno de sus temas relevantes el estudio del poblamiento y la ocupación del espacio. Cunill (2004) se vale de esta rama para explicar la evolución en un determinado periodo del crecimiento de los espacios urbanos) espaciales en donde se caracterizó por tener un gran crecimiento, ya que para 1930 representaba el 17% del total de la

población latinoamericana; para 1960 llegó a la mitad la población que habitaba las zonas urbanas; y en 1980 ascendió a dos terceras partes. La razón por la cual se dio este crecimiento fue por la emigración interna desde las zonas rurales (Cunill, 2004).

Este proceso repercutió en la conformación espacial urbana que en 1980 contenía el 60% del total de la población de México. Estos cambios representaron desequilibrios espaciales. En nuestro país la evolución de la población en el periodo 1930-1990 tuvo el liderazgo principalmente de tres ciudades, estas son la ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. Sin embargo, fue en la ciudad de México donde el crecimiento del área metropolitana sobresalió; en ella se incluían las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal y 17 municipios conurbados del estado de México (AMCM) (Cunill, 2004).

Debido al rápido crecimiento de la ciudad, los cambios en sus espacios internos han sido cada vez más drásticos al igual que en sus inmediaciones, así mismo, se ha convertido en una megalópolis con una influencia muy importante en los estados aledaños (Cunill, 2004).

Como antecedente a los momentos decisivos en la expansión de la urbe, Hernández (2004) apunta que a principios del siglo XX durante el porfiriato se aprobaron modificaciones a la ley en 1903 en donde las municipalidades del Distrito Federal perdieron el poder político y económico. De esta manera, sus bienes y recursos se pusieron a disposición del plan metropolitano de expansión y modernización de la ciudad de México. Para ello, se construyeron acueductos que abastecerían de agua al centro urbano del Distrito Federal. Esta acción fue una medida previa al proyecto de expansión y que fue la pauta para llevar a cabo las políticas del año 1928.

El presupuesto además de destinarse para construir la infraestructura necesaria para la modernización e industrialización del país, también se asignó para la creación de colonias populares. El proceso en un principio fue lento, debido en

cierta forma a los problemas que existieron para construir en un medio lacustre del área rural del Distrito Federal (Hernández, 2004).

A partir del estudio histórico que lleva a cabo Héctor Hernández (2004) sobre las transformaciones político-administrativas desde 1928 en el Distrito Federal, es posible observar que con la extinción de las municipalidades se origina el crecimiento urbano de forma desorganizada repercutiendo en la calidad del agua. El proceso político de la desaparición de los municipios tuvo como objetivo la centralización de la política en el Departamento del Distrito Federal y llevar a cabo el proyecto de expansión urbana a través de la modernización. Es así como empieza un proceso de urbanización en donde en 1929 el medio rural del Distrito Federal predominaba frente al espacio urbano.

A pesar de que el crecimiento urbano impedía el paso de los ríos en algunos puntos, aún existían corrientes superficiales de agua; dichos ríos eran de tipo torrencial que bajaban de las montañas y se desbordaban en épocas de grandes lluvias inundando algunos terrenos. En cuanto a los lagos naturales, estaban por extinguirse; el de Xochimilco se cubría casi en su totalidad por las chinampas de los campesinos y el de Texcoco estaba en proceso de desecación (Hernández, 2004).

Debido a que se tenía la percepción de que el tamaño de la ciudad de México era reducido para los proyectos y negocios que se iban a realizar, el marco legal creado con las políticas públicas implementadas permitió al Departamento del Distrito Federal disponer de los bienes y recursos de todo el territorio del que tenía injerencia e imponer una dinámica en la que favoreció a los grupos económicos y políticos de poder. Esto con el objetivo de que aprovecharan el crecimiento económico y promovieran el resto del territorio del Distrito Federal para su modernización y expansión de la mancha urbana sin conciencia de los elementos naturales que se extinguían (Hernández, 2004).

En el transcurso de la década de 1930 se estableció una estrategia económica que incentivó el crecimiento industrial al centro del país. Estas políticas tuvieron

impacto en la organización territorial de la población y las actividades económicas. Como consecuencia de lo anterior, la ciudad retomó su dinamismo a partir de la década de los 1940. Esto se debió al proceso de industrialización. Con ello la ciudad alcanzó una elevada tasa de crecimiento que la llevó a ser considerada como una de las ciudades más grandes del mundo tal y como lo fue hace 500 años (Garza, 1999).

Otra medida que repercutió en la organización del espacio fue la de los “Créditos a la pequeña y mediana industrias” creada en 1953. Pretendía dar preferencia a las empresas que se ubicaban fuera de las ciudades de México y Monterrey, sin embargo, en los primeros 10 años cedió 58% de los créditos a empresas que se encontraban en el Distrito Federal, y para 1970 junto al Estado de México recibieron 52% (Garza, 1999).

Por tal razón, Garza (1999) considera estas políticas como sectoriales y que únicamente son de índole territorial, dando prioridad al desarrollo industrial aun cuando esto significó concentración espacial y desigualdad regional.

La ciudad de México se encontraba dentro de la entidad, pero debido a su acelerado crecimiento a partir de la década de los 1960, superó los límites administrativos, al grado de cubrir 37 municipios del estado de México de acuerdo a datos de CONAPO en 1997. El hecho de que dentro del proceso de urbanización se incluyan a dos entidades administrativas como es el caso del Distrito Federal y el estado de México dificulta la coordinación administrativa para atender los problemas de la ciudad (Izazola, 2001). Aunado a lo anterior, se ha llevado a cabo una demanda de espacios para el emplazamiento de la creciente estructura urbana, que ha decidido ubicar sus colonias en las partes altas del valle, generando un impacto adverso a la calidad del acuífero y del agua de manantial, lo anterior se puede observar en las sierras de las Cruces, Santa Catarina, Ajusco y Guadalupe, en donde la estructura urbana tiene presencia.

El proceso de urbanización e industrialización que se llevó a cabo en el periodo comprendido entre 1940 y 1980 se concentró en el área metropolitana de la

ciudad de México. El incremento poblacional fue de 1.6 a 12.8 millones de habitantes con una participación industrial nacional de 32.2 al 48.6 por ciento en el mismo periodo (Garza, 1999).

De acuerdo a Izazola (2001), el crecimiento en la ciudad se debe a múltiples causas, dentro de las que destacan en primer lugar la concentración de actividades económicas en la capital y a la mejora de la calidad de vida. De esta forma, se dio lugar a altas tasas de crecimiento demográfico en las décadas anteriores. Sin embargo, en la década de 1980 hubo una inversión en los flujos internos de la ciudad debido al descenso del dinamismo económico, la desconcentración de las actividades económicas y a los problemas ambientales.

En la actualidad ha ido disminuyendo la tasa de crecimiento, puesto que entre 1950 y 1970 era de 5% en promedio, mientras que en la década de 1990 fue alrededor de 1.75%. La magnitud del flujo migratorio de la ciudad se evidencia al ver que la inmigración pasó de 825,000 personas en el periodo 1965-1970 a casi un millón en el periodo 1975-1980, en contraste para el quinquenio 1985-1990 donde disminuyó a 559,000 personas. Considerando el saldo neto migratorio, para los dos primeros periodos fue positivo con 444,000 y 301,000 respectivamente, mientras que para el último periodo fue negativo en 440,000 (Izazola, 2001).

El crecimiento de la población de la Ciudad de México es un proceso de expansión urbana que tomó fuerza en el siglo XX e incluyó el máximo aprovechamiento del lecho de los lagos, sin embargo, en las últimas décadas ha ocupado zonas montañosas con impactos irreversibles, puesto que son áreas consideradas de recarga por su alta permeabilidad, sin embargo, con su ocupación por parte de construcciones, tiene el inconveniente de que se filtren los contaminantes domésticos e industriales, afectando la calidad del agua subterránea (Ibídem, 2001).

Con respecto a lo anterior, Pérez (2011) menciona que un gran porcentaje de la urbanización se realizó por medio de asentamientos no planificados, mismo que ha significado el cambio de uso de suelo agrícola y forestal a urbano representado

un impacto ambiental. De esta manera, la urbanización muestra los impactos más importantes relacionados con el cambio de uso de suelo y la pérdida de diversidad biológica.

La expansión de la ciudad de México ha superado los límites político-administrativos desde la década de 1950, llegando hasta los espacios del estado de México. En la actualidad ocupa una extensión cien veces mayor a la alcanzada en el momento del contacto con los españoles como se aprecia en la siguiente gráfica (Izazola, 2001).

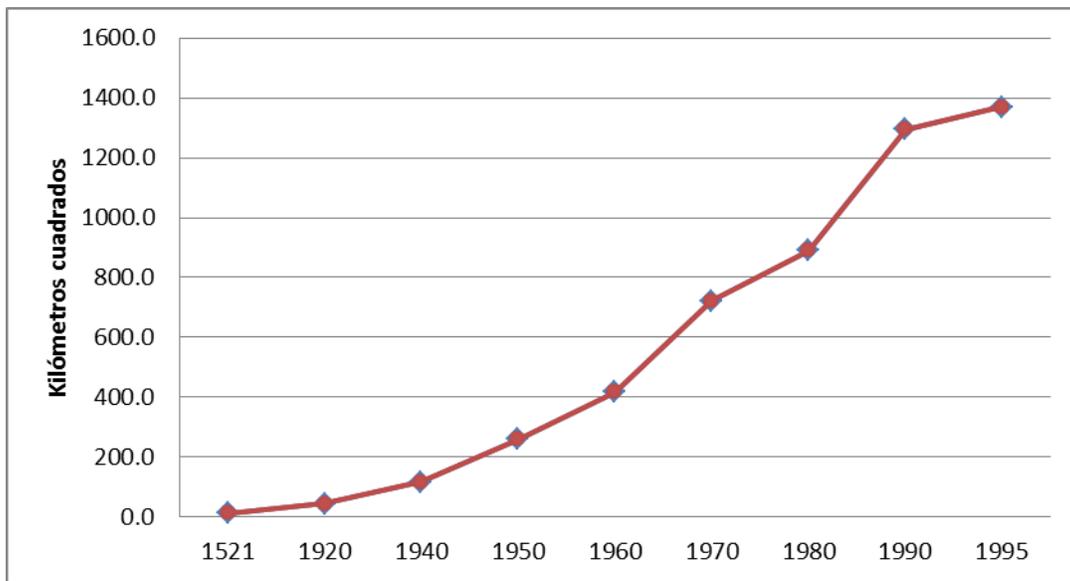


Figura 2.2. Gráfica de crecimiento de la estructura urbana de la ciudad de México a lo largo de los siglos. Elaboración propia con información obtenida de Izazola, 2001.

## 2.2. Situación del Agua en el Distrito Federal

Como se ha mencionado anteriormente, las obras hidráulicas se han llevado a cabo a lo largo de la historia de las poblaciones que han habitado la cuenca de México. Sin embargo, este proceso se puede diferenciar entre los que habitaron el espacio antes de la conquista y los que lo ocuparon después de ella (Izazola, 2001).

Por un lado, las sociedades prehispánicas hacían esfuerzos por ganar territorio al lago mediante la construcción de islotes, mientras que con los españoles, el

objetivo de ocupar los lagos se logró por medio de la apertura de la cuenca y la posterior desecación de los lagos (Ibídem, 2001).

Con estas medidas se llegó a la contradicción por un lado de deshacerse del agua natural de la cuenca y por el otro de solucionar el problema del abasto del vital líquido ante la creciente demanda de la población.

En 1867 durante el imperio de Maximiliano, se iniciaron las obras del Gran Canal del Desagüe conocido como el túnel de Tequixquiac con una longitud de 47 km y 100 m de profundidad desde el lago de Texcoco. A pesar de los esfuerzos por controlar las inundaciones, el crecimiento de la población provocó que la obra fuera insuficiente, lo que propició la construcción de un nuevo túnel entre 1937 y 1942 conocido como el segundo túnel de Tequixquiac. Lo cierto es que con todas las obras realizadas aún no se logró controlar el nivel del agua, ya que en 1951 el centro de la ciudad se inundó durante tres semanas con una profundidad que alcanzó los dos metros (Ibídem, 2001).

Ante la insuficiencia del Gran Canal del Desagüe, en 1975 comenzó la operación del drenaje profundo, que ha ayudado en el control de inundaciones. La obra tiene 240 m de profundidad y cuenta con 164 km de túneles de hasta 6.5 metros de diámetro (Ibídem, 2001).

Como se ha mencionado anteriormente, el esfuerzo por controlar el agua para hacerse de espacios lleva casi cinco siglos, en los cuales se ha invertido una gran cantidad de recursos con el fin de desecar los lagos. Como resultado, se ha incrementado la vulnerabilidad de la Ciudad de México puesto que de ser una ciudad autosuficiente en el vital líquido, a partir de la década de 1950 se comenzó a depender de otras cuencas para el abasto y en la actualidad hay sobre explotación en el agua del subsuelo. El proceso de desecación del lago tiene como consecuencia que el agua, antes abundante, ahora sea escaso y caro (Ibídem, 2001).

Las fuentes de abasto del agua potable han cambiado con la cada vez mayor desecación de los lagos. Izazola (2001) documenta que a principios del siglo XX el

40% del abasto del agua provenía de los pozos que se encontraban en el valle de México y el 60% de las aguas superficiales y manantiales.

En la década de 1930 continuó el problema, por lo que se decidió perforar dos pozos profundos de 100 y 200 m en la zona centro-poniente y al norte en Azcapotzalco (Gobierno del Distrito Federal, 2007). No obstante, esta decisión provocó el hundimiento del terreno ocasionado por la sobreexplotación de las aguas subterráneas. Este hecho fue la razón de importar agua de manera considerable de cuencas externas, por lo que se eligió el acuífero del río Lerma en el valle de Toluca, ya que podía abastecer de agua a la ciudad por gravedad (Izazola, 2001).

Para el periodo de 1940-1944 se intensificó la extracción del agua subterránea con la perforación de 75 pozos profundos de hasta 200 m. Pero a causa del constante hundimiento de la ciudad se suspendió la explotación del acuífero, permitiendo hacer perforaciones únicamente en Xochimilco, Chalco y Zumpango (Ibídem, 2001).

En la década de 1960 hubo efectos adversos en la cuenca del río Lerma, de ahí que se buscara una fuente alterna de abastecimiento. La opción fue la cuenca del río Cutzamala, en el estado de México, a pesar de que se localizaba a 126 km de la ciudad de México y que se debía de bombear 1200 m por la diferencia de altura. El sistema funciona desde 1982 y proporciona una cuarta parte del abastecimiento de agua a la ciudad (Ibídem, 2001).

Para finales del siglo XX, de acuerdo a la Academia de la Investigación Científica (1995), el 65% del agua se extrajo del subsuelo a través de 1,233 pozos, mientras que el 2% se extrajo de las aguas superficiales.

Debido a los procesos de urbanización por los que ha pasado la ciudad de México, el abasto del agua siempre ha sido un problema importante intensificándose en el siglo XX con la insuficiencia frente a la demanda de la población, de tal forma que se ha dado lugar a la sobre explotación de los acuíferos al ser la recarga de estos un 30% menor de lo que se extrae (Gobierno del Distrito Federal, 2007). Como

consecuencia de lo anterior, destaca la declinación de los niveles de agua en el acuífero, el hundimiento del terreno en la ciudad y la exposición del acuífero a la contaminación. Este último punto se da al provocarse fracturas en las arcillas por el hundimiento (Izazola, 2001).

Es claro que ante la escasez de aguas superficiales, el abasto del vital líquido para la ciudad de México depende de cuencas externas, pero esta medida ha ocasionado problemas ecológicos, sociales, económicos y políticos en la cuenca del río Lerma, razón por la que fue necesario seleccionar la cuenca del río Cutzamala, ubicado a 126 km al poniente de la ciudad (Ibídem, 2001).

Este sistema ha ido funcionando en varias etapas y aunque ha sido una relativa solución también representa inconvenientes en la continuación del proyecto Cutzamala, por lo que las autoridades que administran el agua en la ciudad de México han puesto en marcha programas para optimizar el manejo del agua a partir de la eliminación de fugas, aumento del precio para disminuir la demanda y nuevas normas de construcción con el cambio de inodoros que tengan seis litros de capacidad en lugar de 16, sin embargo, estas medidas no incrementarían el abasto del agua, sino apenas permitirían su acceso a la población (Gobierno del Distrito Federal, 2007).

El costo del agua es alto debido al proceso por el que tiene que pasar para llegar finalmente al consumidor, es por eso que se hace un subsidio que se estima entre el 66% y 90% del costo real. Sin embargo, se discute la medida de incrementar el costo del agua y cobrar precios que reflejen el valor real, el inconveniente es el poder de compra de los que habitan la ciudad, por lo que la medida se da paulatinamente (Gobierno del Distrito Federal, 2007).

A continuación se muestran las tablas de las tarifas de consumo de agua y sus subsidios por tipo de toma (Gobierno del Distrito Federal, 2007).

Tabla 2.1. Tarifa de consumo en litros de agua para tomas de uso doméstico

Consumo en litros		Tarifa sin subsidio	Subsidio para manzana de tipo			
Límite inferior	Límite superior	Cuota mínima	Popular	Baja	Media	Alta
0	15,000	\$345.00	91.3043%	90.1449%	67.3913%	60.8696%
Mayor a 15,000	20,000	\$345.00	91.3043%	90.1449%	67.3913%	60.8696%
Mayor a 20,000	30,000	\$460.00	90.6522%	86.3043%	59.7826%	54.1304%
Mayor a 30,000	40,000	\$690.00	97.9710%	80.7246%	52.1594%	47.3768%
Mayor a 40,000	50,000	\$920.00	82.5000%	77.9239%	48.3370%	43.9891%
Mayor a 50,000	70,000	\$1,150.00	79.2087%	70.0000%	46.0348%	41.9478%
Mayor a 70,000	90,000	\$1,710.00	61.5731%	55.2632%	37.1345%	33.8012%
Mayor a 90,000	120,000	\$2,320.00	51.8491%	47.1983%	27.8017%	25.3448%

Tabla 2.2. Tarifa de consumo en litros de agua para tomas de uso no doméstico

Consumo en litros		Tarifa sin subsidio	Subsidio
Límite inferior	Límite superior	Cuota mínima	
0	10,000	\$345.00	60.8696%
Mayor a 10,000	20,000	\$345.00	60.8696%
Mayor a 20,000	30,000	\$575.00	52.1739%
Mayor a 30,000	50,000	\$925.00	42.7243%
Mayor a 50,000	70,000	\$1,625.00	31.7046%
Mayor a 70,000	90,000	\$2,325.00	23.9226%
Mayor a 90,000	120,000	\$3,065.00	19.4519%

En cuanto al consumo per cápita diario, en la primera mitad del siglo XX hubo un incremento de 122 a 340 litros, sin embargo, en la segunda mitad se presentó un ligero descenso. En la actualidad, la Organización Mundial de Salud recomienda un abasto diario de 150 litros por habitante para las ciudades (Izazola, 2001).

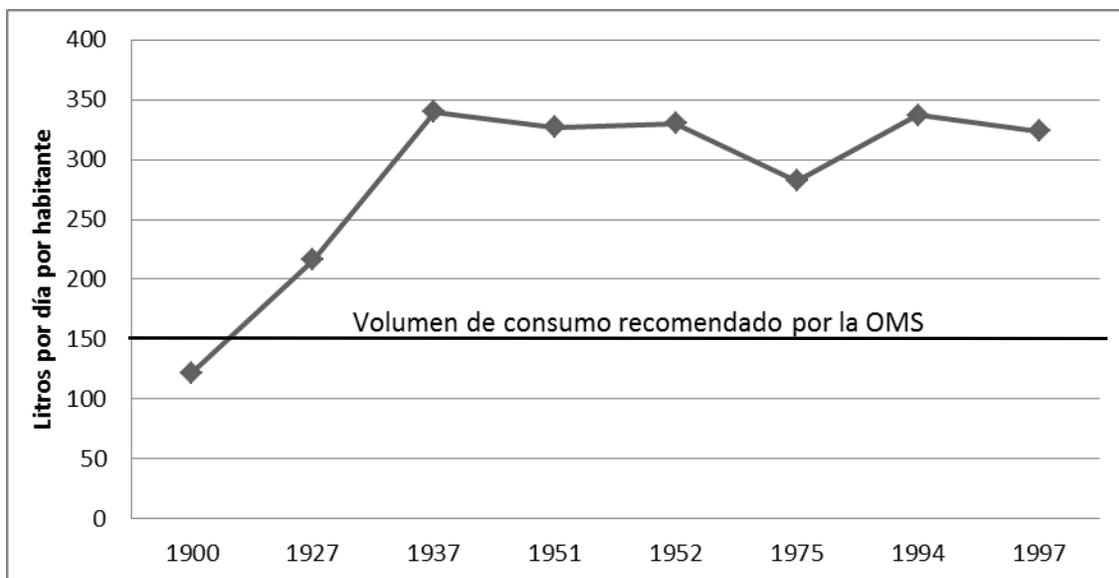


Figura 2.3. Gráfica de consumo de agua en la ciudad de México en el siglo XX. Elaboración propia con información obtenida de Izazola, 2001.

En la actualidad, de acuerdo a la cifra reportada por el gobierno del Distrito Federal, a través de la página de Internet *cuidar el agua*, el consumo para la entidad es de 320 litros. Sin embargo, si nos enfocamos en un análisis más detallado por delegación, resumido en la tabla 2.3 (<http://cuidarelagua.df.gob.mx/>, revisada el 22 de diciembre de 2013), se puede observar que la dotación del agua es desigual y que de acuerdo a la página referida, en cierta forma se debe a la ubicación de las fuentes de consumo que pueden favorecer a ciertas delegaciones. Como ejemplo están las delegaciones Venustiano Carranza con 203 lt/hab/día, en tanto que Tlalpan consume 560 lt/hab/día.

Tabla 2.3. Balance de agua por delegaciones

Delegación	Población	Dotación [ Lt / hab / día ]
Iztapalapa	1,783,535	235
Gustavo A. Madero	1,242,676	237
Álvaro Obregón	690,568	321
Coyoacán	643,838	355
Tlalpan	584,992	560
Cuauhtémoc	519,224	332
Venustiano Carranza	465,571	203
Azcapotzalco	443,071	404
Iztacalco	413,649	219

<b>Delegación</b>	<b>Población</b>	<b>Dotación [ lt / hab / día ]</b>
Xochimilco	372,111	374
Benito Juárez	362,591	406
Miguel Hidalgo	354,803	502
Tláhuac	304,611	210
La Magdalena Contreras	223,266	554
Cuajimalpa de Morelos	152,306	293
Milpa Alta	96,922	410

Ahora bien, la escasez de agua se da principalmente en temporada de estiaje, sin embargo, esta problemática se presenta de manera diferenciada perjudicando en gran medida a las zonas más desfavorecidas económicamente. Un problema que se incluye desde la década de 1950 por el crecimiento urbano, es que la ciudad se emplaza en dos unidades político-administrativas, ya que la confiabilidad de información proporcionada por las dependencias es muy baja para el área metropolitana (Izazola, 2001).

El número de personas que en la actualidad recibe agua por tandeo es muy alto a pesar de que se encuentra con red de distribución de agua potable. De acuerdo a García Lascurain, en 1995 detectó consumos per cápita de 24 y 19 litros en temporadas de abasto regulares a través de pipas en lugares como Chalco y Ecatepec. Mientras que Legorreta en 1997 estimó que en los sectores pobres el consumo era de 28 litros diarios per cápita, en tanto que en los sectores medios fue de entre 275 y 410 litros, y en los de máximo ingreso el consumo diario es de 800 y 1000 litros por habitantes (Ibídem, 2001).

Otro aspecto que merece ser mencionado es la pérdida de agua por fugas que se estima en 40% provocado por la fractura y antigüedad de las redes de distribución. Mientras que de acuerdo a un estudio realizado en el Distrito Federal sobre detección de fugas de agua en el sistema de distribución de agua potable en el 2000, el 22% de la pérdida de agua se debe a fallas en las tomas domiciliarias y 17% de fallas en la red de distribución, derivada de los hundimientos del terreno y los movimientos sísmicos (Ibídem, 2001).

### **2.3. Estaciones de servicio como amenazas técnicas**

La diferencia entre el mejoramiento y la vulnerabilidad es el fortalecimiento de la sociedad en todos los sentidos frente a un fenómeno, sin embargo, cuando éste provoca que el mejoramiento decrezca por debajo de los niveles de vulnerabilidad, es fundamental que exista una asistencia con el fin de restablecer el mejoramiento, no obstante, el trabajo que se deba emplear puede llegar a tardar varios años para obtener los parámetros adecuados.

Considerando lo anterior, es importante contemplar la construcción de espacios desde un primer momento dotándolos entre otras cosas de sistemas técnicos como son los servicios e infraestructura necesarios y de calidad para la población, de esta forma no estarán a la deriva los espacios geográficos a expensas de la intensidad de las amenazas que comprometan la seguridad de los sistemas e incrementen la vulnerabilidad que en este caso sería de tipo tecnológica (Egúsquiza et al., sin fecha)

La vulnerabilidad técnica de acuerdo a lo escrito por Wilches-Chaux (1993) a partir de dos ejemplos relacionados con la infraestructura y servicios afectados por la sequía y los sismos, se refiere a la falta de capacidad tecnológica en términos generales que no permita sobreponerse o resistir algún tipo de amenaza que ponga en desventaja a la población. Ante tal situación, de acuerdo a la interpretación de este trabajo académico, es fundamental fortalecer a la propia infraestructura y servicios considerados sistemas técnicos con que cuenta un espacio geográfico como es el caso de las estaciones de servicio, mismas que por la sustancia que manejan, requieren de regulaciones precisas en donde se consideren diversos puntos a cumplir como son: la ubicación de las estaciones de acuerdo a lo que marcan las normas, tener certeza de la resistencia de los tanques de almacenamiento, o cumplir con el monitoreo e inspección contemplados en los reglamentos ambientales. De esta forma se estaría atendiendo el fortalecimiento del espacio ante una probable situación de peligro y evitar un riesgo de origen humano.

Es fundamental considerar las estaciones de servicio dentro de los sistemas técnicos del territorio, y a su vez, que se asegure el adecuado abasto del hidrocarburo. Lo anterior, ya que de acuerdo a estudios relacionados con la contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos en el cual se menciona que en Estados Unidos y Europa el 85% de las estaciones de servicio tienen fugas en los tanques de almacenamiento subterráneos, en tanto que en Brasil es del 80% (Celis, 2008).

En tanto que en México, Altamirano y Fernández (2001) dan cuenta que los riesgos potenciales asociados con los derrames y fugas de combustibles (gasolina y diésel), se deben de examinar de manera detenida, ya que especialmente, en los tanques de almacenamiento subterráneos de las estaciones de servicio, durante la comercialización de la gasolina, es donde se encuentran las principales fuentes de contaminación para el suelo. Así mismo, la importancia de saber el número de estaciones de servicio que se encuentran establecidas en un lugar, radica en que existen espacios que han estado expuestos a derrames o fugas, lo anterior debido a que el 60% de los contaminantes presentes en el suelo y en el agua subterránea, son compuestos que se encuentran generalmente en la gasolina (Ibídem, 2001).

Por otro lado, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), a través del Laboratorio de pruebas ambientales, ha generado proyectos relacionados con la caracterización de suelos contaminados con hidrocarburos en lugares donde han existido estaciones de servicio (consultado en el sitio de Internet del CENAPRED, 2013).

Dichas pérdidas de hidrocarburo, aunque pueden ser en pequeñas cantidades, al paso de los años logran acumularse y significan una amenaza técnica hacia el vital líquido. Un ejemplo de ello se registró en el cruce de la avenida Anillo Periférico con Paseo de las Palmas en la ciudad de México, en donde después de realizar obras para la construcción del segundo piso, se registró la presencia de hidrocarburo en estado gaseoso producto de un derrame ocurrido hace más de 10 años durante los trabajos de remodelación que se realizaron en una gasolinera

cercana (La Jornada, 2011, 8 de agosto). En este ejemplo, de contaminarse el agua, el proceso se concluiría dando pie al desastre de índole tecnológico, que de acuerdo al Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRN) (1996), se lleva a cabo de manera creciente en situaciones donde hay una rápida e incontrolada urbanización e industrialización.

De este modo, DIR (1996) hace una reflexión sobre los espacios más afectados por desastres tecnológicos, mismos que se encuentran en las ciudades que están en vías de desarrollo, esto debido a la rápida industrialización que lleva consigo el manejo de materiales peligrosos como es el caso de los hidrocarburos en zonas donde existe una gran densidad de población, rebasando por completo una correcta planificación.

Las causas principales de esta situación están relacionadas con deficiencias estructurales, producto de instalaciones inadecuadas de tanques y corrosión de las paredes y tuberías (Celis, 2008).

Es necesario considerar lo anterior, ya que, a consecuencia del desarrollo urbano, se genera una mayor apropiación de las fuentes de agua subterránea y superficial que ocasiona una limitante en calidad y cantidad. De acuerdo con Ángeles y Delgado (2011), más que un costo ligado al proceso de urbanización, dicho deterioro ambiental se debe a cada etapa del desarrollo urbano que incrementa los impactos hidrogeológicos y los desafíos para su manejo. Sin embargo, los autores indican que para contrarrestar los cambios que dañan al medio ambiente ocasionados por la extracción de agua por medio de pozos, existen medidas que minimizan las pérdidas económicas, como restricciones a la extracción al igual que ocurrió en el centro de la capital de México a mediados del siglo XX, utilizar fuentes lejanas con la construcción de obras de infraestructura hidráulica, y en tal caso generar acciones de remediación del acuífero, de uso de suelo y manejo de ecosistemas.

A pesar de ello, la sobreexplotación del agua no es el único problema al que está sometido el acuífero en la Ciudad de México, ya que la contaminación por

hidrocarburos proveniente de fuentes potenciales representa un impacto considerable al filtrarse la sustancia producto de fugas o derrames hasta llegar al nivel freático. Esto es posible debido a las características propias del medio en donde intervienen varios factores que determinan el nivel de contaminación, como la capacidad de la litología superficial y subterránea de permitir o crear resistencia contra la filtración en donde las fracciones solubles del hidrocarburo, pueden incorporarse al agua, o el movimiento de la sustancia contaminante por el medio acuífero permitido por ciertos materiales que constituyen el suelo, entre otros. Como se puede apreciar, la interacción del contaminante puede ser compleja al momento de estar en contacto con el medio donde se encuentra el acuífero debido a que intervienen diversos factores, e incluso puede llegar a ser peligrosa pensando en que repercute directamente en la creciente problemática del abasto del agua en la ciudad, sin embargo, la presencia del hidrocarburo en la vida cotidiana es inminente considerando la gran demanda del combustible para desarrollar diversas actividades.

En el Distrito Federal existen tres tipos de fuentes potenciales de contaminación por hidrocarburos: estaciones de servicio, autoconsumos y fuentes especiales. Las estaciones de servicio son mejor conocidas como gasolineras; mientras que los autoconsumos contemplan inmuebles particulares que se abastecen de hidrocarburos para dar servicio a generadores de luz dentro de los hospitales, talleres que en su momento dieron servicio a los camiones de ruta 100, o compañías de autobuses foráneos, entre otros; y por último, las fuentes especiales que consisten en refinerías de PEMEX y el aeropuerto. Sin embargo, de las tres fuentes potenciales de contaminación, las estaciones de servicio tienen un mayor impacto en el Distrito Federal por su cantidad y capacidad de almacenamiento de hidrocarburo que puede ir desde los 60,000 hasta los 520,000 litros (el volumen total registrado por el censo realizado por el grupo de hidrogeología de cada estación de servicio incluye los volúmenes de gasolina magna, premium y diésel) Estos dos últimos aspectos que hacen referencia al número de estaciones con que cuenta el Distrito Federal y al volumen de hidrocarburo por inmueble, están

relacionados directamente con la lógica espacial que atiende a la dinámica de la población y a la demanda.

De acuerdo a las estadísticas derivadas del análisis de la base de datos de fuentes potenciales de contaminación desarrollada por el grupo de hidrogeología que constan de 349 estaciones de servicio, en la delegación donde más se han establecido es en Iztapalapa donde se registraron 52 elementos, sin embargo, la demarcación de Benito Juárez es la que más establecimientos tiene por cada 100,000 habitantes con 10 estaciones de servicio, seguida de Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza con 9, 8 y 7 establecimientos respectivamente; en contraste, Milpa Alta, Álvaro Obregón, Xochimilco y Tláhuac cuentan con 2 y Magdalena Contreras con solo 1 por cada 100,000 habitantes. Lo anterior atiende a la decisión de establecer una estación de servicio en cierto punto en función de la demanda que pueda existir, lo cual ha tenido como consecuencia una alta concentración de estaciones de servicio al centro de la ciudad donde se encuentran las delegaciones Benito Juárez, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza por el tipo de actividades comerciales que se desarrollan y el nivel económico.

En la figura 2.4, se muestra la distribución de fuentes potenciales de contaminación en Benito Juárez y Cuauhtémoc donde existe más concentración de estaciones de servicio que en cualquier otra parte del Distrito Federal representando así una amenaza técnica, ya que son espacios expuestos a derrames o fugas.

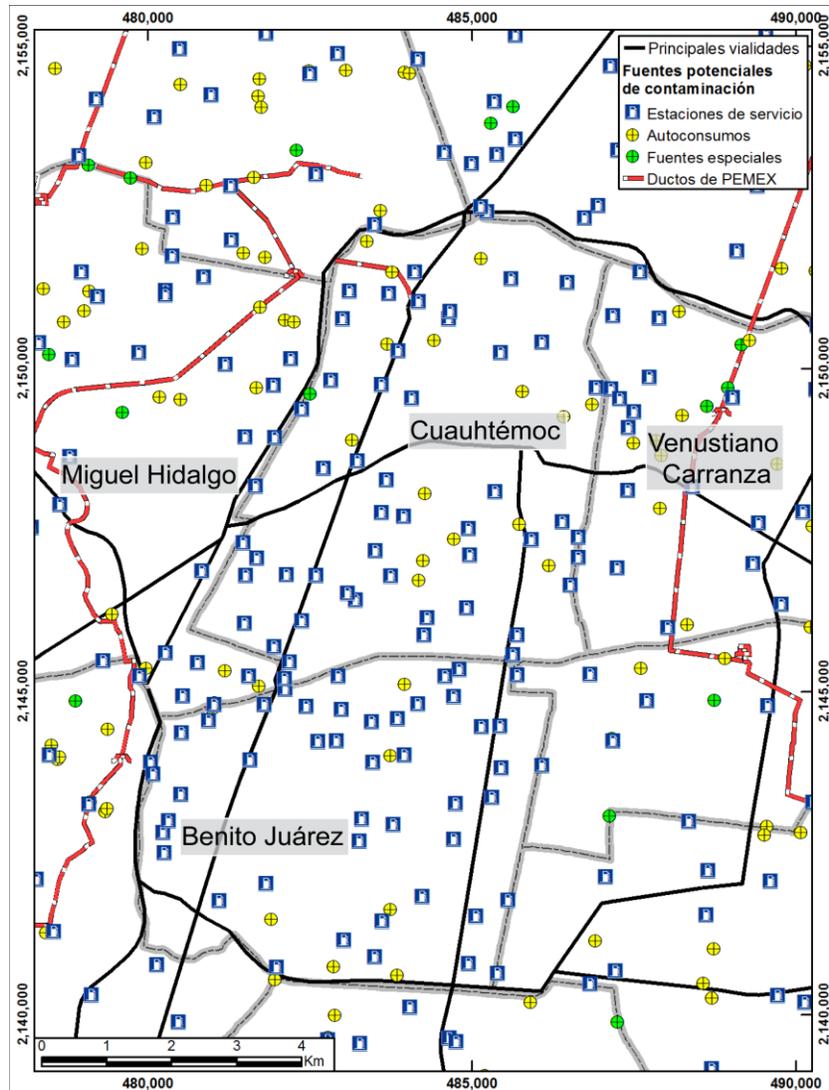


Figura 2.4. Concentración de estaciones de servicio en la delegación Benito Juárez y Cuauhtémoc en donde la proporción es de 10 y 9 elementos por cada 100,000 habitantes.

Como se explicó anteriormente, esta situación es relevante puesto que en el lugar de mayor concentración existe mayor posibilidad de ser contaminada el agua subterránea e incrementar la problemática del vital líquido en la ciudad. Por tal razón, es fundamental considerar la categoría de los *espacios del agua subterránea* con el fin de establecer un criterio para regular la ubicación de estaciones de servicio y dar paso al funcionamiento correcto de la recarga del acuífero. Dicha categoría contempla tres niveles definidos por las características que facilitan la filtración del agua dando lugar a espacios con valor alto, medio y bajo. Principalmente están en función del relieve del terreno y al uso de suelo que

se le esté dando al espacio, de esta manera los espacios de valor alto, son denominados así por mantener su función de recarga original, por lo que es fundamental mantener su régimen hídrico; la de valor medio representa aquellos espacios donde existen zonas de pendiente baja y moderada, que a su vez contienen áreas de vegetación natural, agrícolas o de pastizal inducido, mismas que favorecen la infiltración; por último, la categoría de valor bajo es caracterizada por zonas que han sufrido alteraciones en la cobertura vegetal y en suelo, siendo difícil revertir la situación a su estado original, marcada por el proceso de urbanización, así mismo, estas zonas comprenden cañadas, planicies y zonas de baja pendiente en donde la urbanización puede condicionar el incremento en la infiltración, aparición de manantiales, elevación del nivel freático entre otros; de ahí la importancia del cuidado de estos espacios.

Con base en lo anterior, los espacios donde se establece la mayor concentración de estaciones de servicio en el Distrito Federal, representan las áreas de valor bajo para la recarga, lo que significa que se encuentran en espacios altamente modificados por el proceso urbano. No obstante, existen áreas urbanizadas aledañas a elementos relevantes como cañadas o suelos compuestos por roca volcánica y lugares especiales como la zona lacustre de las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac donde se encuentran espacios del agua subterránea catalogados como de valor alto y medio donde en la actualidad se han establecido estaciones de servicio de manera asilada que atienden a la demanda de los habitantes representando en menor medida un riesgo potencial, sin embargo, a fin de cuenta deben ser estaciones que almacenen hidrocarburos con todos los mecanismos de seguridad.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Sistemas de Información Geográfica como herramienta**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) no pueden ser considerados exclusivamente de índole computacional, aunque en la actualidad es la forma más común de realizarlos. Va más allá, es la acción de manipular, analizar, modelar, y presentar datos especialmente referidos, no obstante, la tecnología ha permitido que se desarrollen dentro de los Sistemas de Información, con lo que ha extendido sus limitaciones a través de sus funcionalidades presentando como una de sus principales cualidades la captura de gran cantidad de datos en formato digital que pueden constituir entre otras el almacenamiento de una base de datos o el tipo de proyección en el que se encuentra la información.

Sus comienzos datan de mediados del siglo XIX cuando el padre de la epidemiología moderna, el inglés John Snow, en 1854 investigó el brote de cólera que dejó como saldo aproximado 700 muertos en el barrio de Soho en Londres, Inglaterra, en un área de apenas medio kilómetro de diámetro. Como parte de sus artículos y exposiciones, anteriormente ya incluía mapas, por lo que para este caso no fue la excepción. En un mapa del barrio de Soho comenzó por ubicar los puntos donde vivían las víctimas que habían fallecido por cólera, ayudándose de trabajo de campo e información del hospital Middlesex, a donde se trasladaba a los enfermos; de igual forma, ubicó con una cruz los pozos de agua. Con este simple hecho, Snow representaba de manera visual la incidencia con la concentración de casos, de esta forma se observó que la mayor parte de defunciones ocurrió en la calle Broad, donde estaba georreferenciada una toma de agua. Entonces comenzó el análisis de la información, en donde descubrió el caso de un taller de la calle Poland en el que de 500 trabajadores solo 5 murieron de cólera, concluyendo que el haber tomado agua del pozo que se encontraba al interior del edificio los salvó. Snow también se percató de que la gente que había muerto y que pertenecía a calles retiradas a la Broad, contrajeron la enfermedad ya que recurrían al lugar por motivos laborales o familiares y bebían agua de ese pozo. Después del análisis, Snow dio a conocer a las autoridades su investigación

y como medida se cerró el pozo; posteriormente se supo que el motivo de la contaminación se debió a los restos fecales de un bebé enfermo que se transmitieron a través de pañales que tuvieron contacto con el agua subterránea del pozo afectado (Johnson, 2008).

Es así como surgen las bases de los SIG que con el paso del tiempo fueron perfeccionándose. En la figura 3.1 se presenta el mapa del Dr. Snow.



*Figura 3.1. Mapa de la epidemia de cólera elaborado por el Dr. Snow que muestra los casos presentados de dicha enfermedad en 1854 (Johnson, 2008).*

En la actualidad los SIG han hecho más eficiente la elaboración cartográfica permitiendo la conversión de unidades, proyecciones, escalas, el manejo de mayor información ya sea en base de datos o en capas que representen algún fenómeno.

El procesamiento de la información obtenida de la búsqueda bibliográfica puede ser manejado dentro de una gama muy amplia de posibilidades que la única limitante está en la imaginación del operador del SIG.

Para la alimentación de un SIG se requiere buscar información que se considere para los objetivos del proyecto. Para elaborar cartografía, es usual obtener información de las fuentes libres de internet ya sea de organismos gubernamentales o independientes o también de fuentes que tienen algún costo, en donde es posible encontrar tanto *shapes* (tipo de formato que usualmente se maneja en los programas SIG, propiedad de ESRI) como *raster* de diferentes temas. Una limitante es la escala que manejan, ya que aunque hay datos a gran escala, por su naturaleza llegan a cubrir pequeñas extensiones; a diferencia de la mayor parte de información que está disponible que se encuentra a pequeña escala pero que cubre grandes extensiones. Sin embargo, uno de los potenciales que se tienen dentro de los SIG consiste en que se puede manejar información a diferentes escalas y proyecciones siempre y cuando se considere el margen de error que esta práctica pueda atraer.

Por otro lado, es común encontrar información en tablas haciendo referencia a un polígono, línea o punto, acompañado de coordenadas asignadas a cada nodo de la forma y con un atributo que puede variar desde el nombre de la geometría, algún valor numérico que pueda representar un nivel de profundidad estático, un área de polígono o una clave. Para tal caso, en un SIG es posible almacenar la información en una base de datos que permita leer las coordenadas y en donde previamente se especifique con qué tipo de geometría se va a trabajar. De igual forma, la cartografía que ya exista en formato impreso se puede manejar asignando en primera instancia una referencia espacial y una proyección, para que se concluya con la digitalización de los elementos que se quieran utilizar. Es así como se maneja información contenida en *shapes* que se caracterizan por representar las geometrías que tengan como mínima unidad el nodo, es decir, los puntos, líneas y polígonos.

En cuanto a los raster constituidos por píxeles, pueden tener la peculiaridad de almacenar un valor en cada pixel, permitiendo la elaboración de cartografía referente a la elevación del terreno, áreas que representen un polígono de un determinado índice de marginación o un índice de riesgo.

### **3.2. Metodología cartográfica**

La cartografía se caracteriza por ser el arte de representar la superficie terrestre en un plano de dos o hasta 3 dimensiones. Por tal motivo, es de vital importancia seguir y conservar ciertos elementos que dan validez a la cartografía que se elabore, como los mencionados a continuación (Caire, 2002):

- Elección de la escala y proyección cartográfica mediante el análisis y objetivos de cada mapa.
- Evolución del desarrollo de la cartografía.
- Transformación y obtención de escalas.
- Representación gráfica de los hechos y fenómenos de interés de acuerdo a los objetivos del trabajo académico mediante el empleo de signos y simbología.
- Construcción de la gradícula del mapa.
- Representación de la información marginal de la carta.
- Obtención del control terrestre con la precisión en función de la escala adoptada en la proyección cartográfica elegida.

#### **3.2.1. Elección de la escala y proyección cartográfica**

De acuerdo con estos elementos, la proyección seleccionada para fines del proyecto es la Universal Transversa de Mercator (UTM) referida al sistema de coordenadas World Geodetic System (WGS) de la temporada 1984 con la última revisión en 2004 y aceptada hasta una próxima reunión de los expertos e investigadores que estudian este parámetro. La elección de esta proyección

consiste en varias razones, entre las que destacan: el tipo de las propiedades cartográficas de la proyección, puesto que el desarrollo de la representación del área de estudio, es decir, la división política del Distrito Federal (DF), se comporta de norte a sur, esto es importante porque una de las propiedades de la proyección consiste en representar de la mejor manera las áreas que se desarrollan a lo largo en forma de bandas y con una mayor deformación hacia lo ancho, así mismo, la proyección es crítica en función directa de la altitud y de la cercanía al meridiano central, como es el caso del Distrito Federal; otra razón y como consecuencia de la anterior consiste en que la mayor parte de la cartografía disponible como es el caso de INEGI o CONAGUA, y que se utilizó como insumo se encuentra en la proyección UTM WGS84; y por último, para fines prácticos, las unidades que maneja dicha proyección están dadas en metros, por lo que facilita el manejo de distancias entre un punto y otro.

### 3.2.2. Representación gráfica de los hechos y fenómenos

Para la representación cartográfica es necesario valerse de todas las variantes que lo constituyen y que han sido mencionadas con anterioridad. Esto es necesario puesto que para obtener un mapa como producto final, se requiere de procesar diversas fuentes de información que se pueden encontrar en tablas, shapfiles o raster. Es por eso que como parte de la labor del operador del SIG, está establecer los objetivos del proyecto para definir el tipo de información que se requiere representar, de esta manera, dentro de la metodología para la elaboración del riesgo, se decidió manejar el producto final para cada variable en formato raster con el fin de trabajar la información con base a álgebra de mapas.

La primera etapa del trabajo académico consistió en recopilar la información deseada y disponible cumpliendo con los objetivos que consistieron en primera instancia en la caracterización del acuífero y el censo de las fuentes potenciales de contaminación. De esta manera, para sustentar la investigación se inició una búsqueda bibliográfica que cubrió varios temas como geología, hidrogeología y SIG.

Como parte del trabajo fue esencial censar las fuentes potenciales de contaminación que abarcaron los hidrocarburos partiendo de un directorio de estaciones de servicio y estaciones de autoconsumo que proporcionó la SACM, en la que se refería la dirección de cada elemento, dando un total de 350 estaciones de servicio y 181 autoconsumos, sin embargo, después de realizar un análisis de las bases de datos, se decidió generar una tercera categoría denominada estaciones especiales. Para el desarrollo del censo, la logística consistió en asignar las fuentes potenciales a censar por delegación a cinco brigadas integradas cada una por dos personas para cubrir toda el área del DF y a las cuales se les asignó la labor de llenar un formato por fuente potencial en donde fue relevante obtener la referencia espacial del lugar, la fotografía y la capacidad de combustible almacenado en los tanques. Mientras tanto, de manera simultánea se fue alimentando la base de datos de fuentes potenciales en el SIG. Finalmente, se censaron 360 estaciones de servicio, 189 autoconsumos y 43 fuentes especiales, dando un total de 592 fuentes potenciales de contaminación (ver Figura 3.2.), poco más de las fuentes potenciales consideradas en un principio debido a que la base de datos no estaba actualizada.

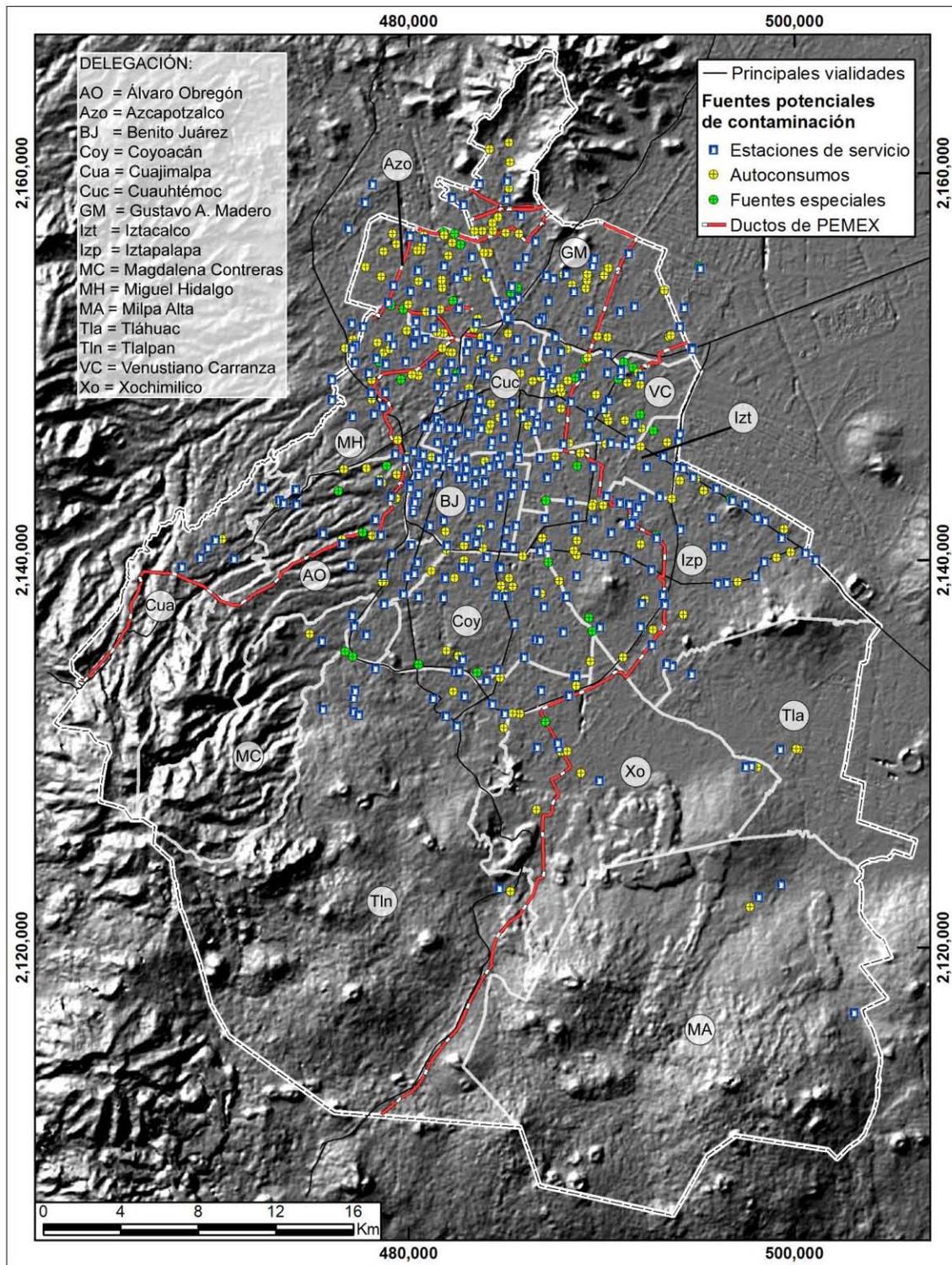


Figura 3.2. Distribución de las tres categorías de las fuentes potenciales de contaminación censada (Grupo de Hidrología, 2010).

### 3.3. Vulnerabilidad acuífera

#### 3.3.1. Sector del acuífero a evaluar

El presente estudio de vulnerabilidad acuífera empleada para el Distrito Federal, tiene validez para la parte somera del acuífero en actual explotación, particularmente para los primeros 300-400 m de esta unidad hidrogeológica que es donde se encuentran las tuberías ranuradas de los pozos en explotación. Está representada geológicamente por una serie de formaciones que presentan una alta heterogeneidad de tobas pumicíticas, cenizas, escorias basálticas, andesitas basálticas, arenas-gravas y depósitos aluviales que varían en edad de cuaternario a terciario, referido en la sección esquemática (figura 3.3.2) por el inciso c (Hernández-Espriú, et al. 2013). La línea de la sección esquemática en planta se observa en la figura 3.3.1.

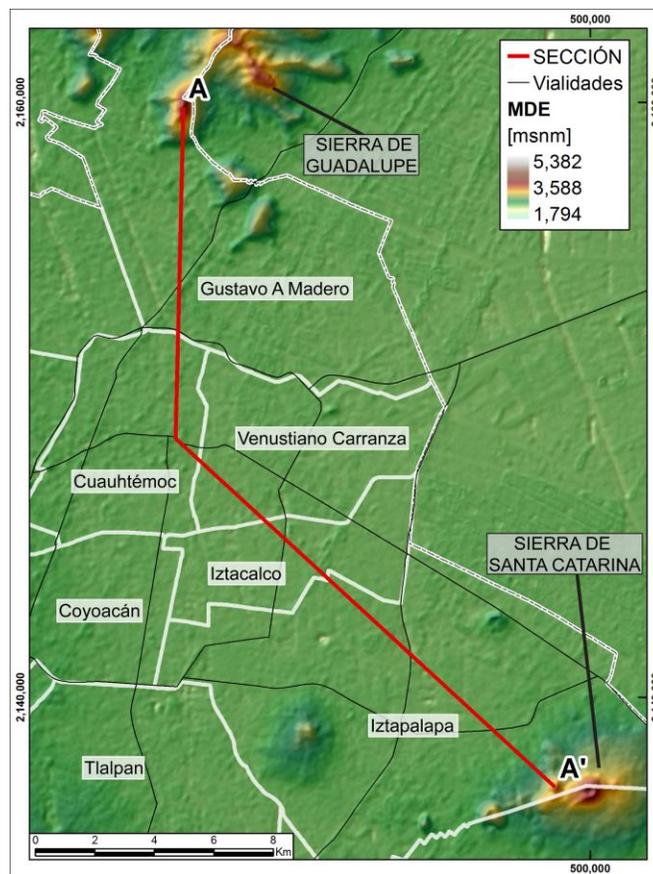


Figura 3.3.1 Línea de sección hidrogeológica esquemática AA'.

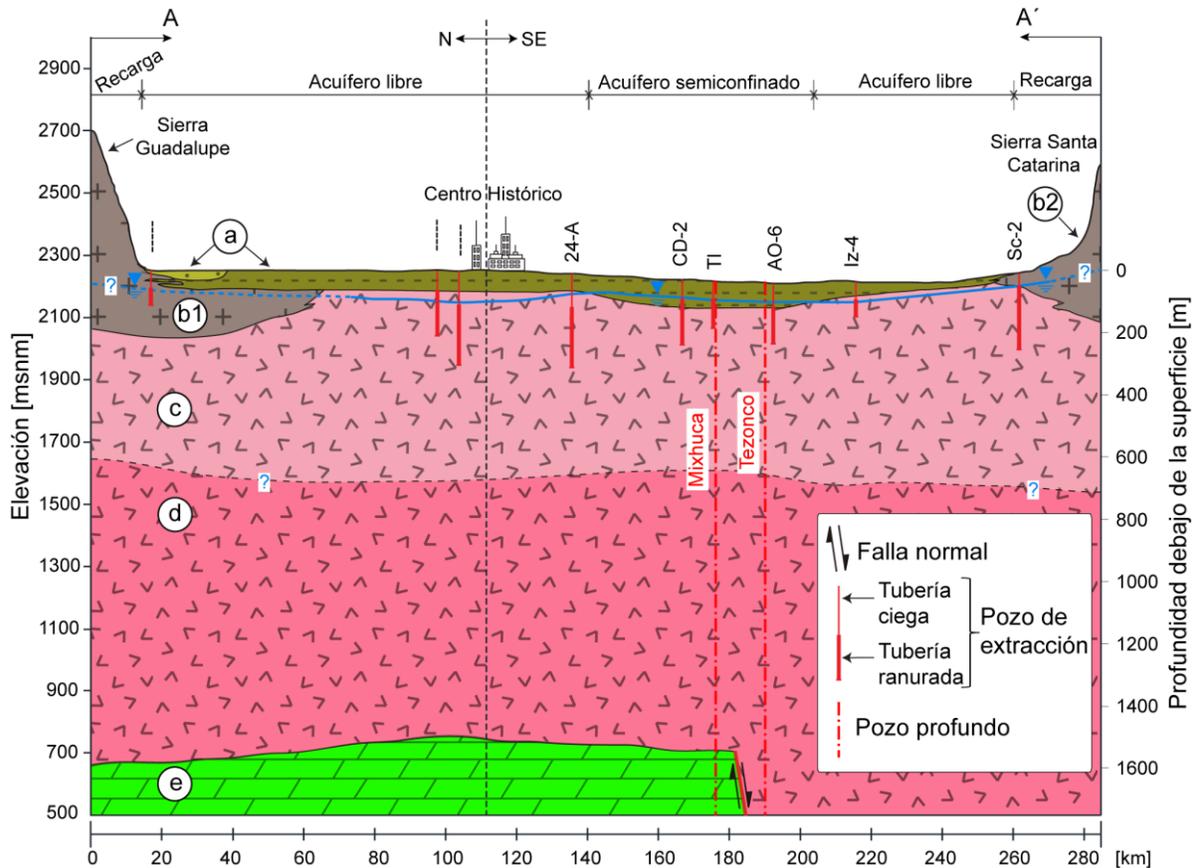


Figura 3.3.2 Sección hidrogeológica esquemática en donde: a) acuitardo/aluvión, b1) andesita, b2) conos de escoria, c) unidad volcánica superior, d) unidad volcánica inferior y e) basamento calcáreo. (Hernández-Espriú, et al. 2013).

### 3.3.2. DRASTIC

A partir de la búsqueda bibliográfica y el censo, la información obtenida se procesó para evaluar el potencial de contaminación del agua subterránea de la Ciudad de México considerando la metodología DRASTIC.

Su elección se basó en el análisis de diversas metodologías para caracterizar la vulnerabilidad del acuífero. En dicho análisis se consideró el tipo de variables que utilizan, la frecuencia de uso de cada método, y la fiabilidad de los resultados que arrojan.

La búsqueda bibliográfica para realizar dicho análisis se enfocó en 5 categorías: Artículos, Libros, Normativas, Reportes Técnicos y Tesis; dando como resultado un total de 218 referencias bibliográficas clasificadas en una base de datos

generada por: *nombre de archivo* (asignado por el operador de la base de datos), *archivo* (indica si se tiene el archivo electrónico en formato PDF), *Revista/Instit./Empresa* que publica, *título, autores, año, país* de publicación, tipo de metodología a la que se enfoca la referencia, *URL* (dirección de Internet en la que se encuentra el recurso) y la *referencia*.

Se realizó una tabla de ventajas y desventajas a modo de comparación entre métodos encontrados. Con lo que se informa que de los 58 métodos que fueron encontrados en la búsqueda bibliográfica, se pudieron hacer 38 categorías en donde se agruparon los parámetros considerados por los métodos de acuerdo a sus características y se les asignó un número para su mejor ubicación que va del 1 al 38 de manera consecutiva. La tabla se modificó a partir de la hecha por Ramos en 1997 (ver tabla 3.1.), misma que se modificó de la hecha por Civita en 1993 (Ramos, 2005), la cual toma en cuenta 30 categorías.

*Tabla 3.1. Metodologías de vulnerabilidad de acuíferos e impacto ambiental y parámetros utilizados (De Civita 1993, modificado Ramos, 1997)*

MÉTODO REFERENCIA	PARÁMETROS BÁSICOS																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Albinet & Margat (1970) BRGM (1976)								x		x	x		x	x																
Vrana (1968) Olmer & Rezac (1974)										x				x																
Fenge (1976)					x				x	x	x	x	x	x																
Josopaiit & Schwerdtfeger (1979)									x	x	x			x	x															
Zampetti (1983) Fried (1987)										x	x																			
Villumsen et al. (1983)					x					x	x	x	x	x																
Haerde (1983)										x	x																			
Vrana (1984a)	x				x					x				x																
Subirana Asturias & Casas Ponsati (1984)								x		x	x		x	x																
Engelen (1985)									x		x	x		x																
Zaporec (1985)					x	x	x	x	x		x	x		x																
Breeuwsma et al. (1986)				x	x	x	x	x	x	x																				
Sotornikova & Vrba (1987)						x						x	x	x																
Ostry et al. (1987)				x			x					x		x																
Ministry Flemish Comm (1986)				x			x					x		x																
Goosens & Van Damme (1987)				x			x					x		x																
Carter et al. (1987)				x		x	x							x																
Marcolongo & Pretto (1987) Método 1				x					x	x	x																			
Marcolongo & Pretto (1987) Método 2					x					x	x	x																		
GOD - Foster (1987)											x	x			x															
Schmidt (1987)				x					x		x																			
Trojan & Perry (1988)	x	x					x			x	x	x		x																
Civita in Binacchio et al. (1988)									x		x	x		x	x															
DRASTIC - Aller et al. (1987)			x		x					x	x	x		x	x															
SINTACS - Civita (1990a)			x	x	x					x	x	x		x	x															
AVI - Stempvoort & Wassenaar (1992)											x																			
SAFE - Roux et al. (1986)	x										x	x		x																
SRS - Hagerly et al. (1973)							x	x																						
SIA - LeGrand (1964)				x			x					x																		
ERIS - Wilson (1991)	x	x						x		x	x	x	x		x															
LSR - Le Grand & Brown (1977)							x					x			x	x														
WSSIM - Phillips et al. (1977)							x	x			x	x																		
HRS - Caldwell et al. (1981)	x	x					x				x		x																	
SRM - Kufs et al. (1980)	x						x					x			x															

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1 Tasa de precipitación y composición química.</li> <li>2 Superficie topográfica y variabilidad de pendiente.</li> <li>3 Densidad de corrientes de flujo. Características de los suelos.</li> <li>4 Textura, espesor y mineralogía.</li> <li>5 Humedad específica.</li> <li>6 Permeabilidad.</li> <li>7 Propiedades físicas y químicas.</li> <li>8 Conexiones del acuífero con aguas superficiales.</li> <li>9 Recarga neta.</li> <li>10 Características de la zona no saturada, espesor de las capas en la zona vadosa.</li> <li>11 Profundidad del agua.</li> <li>12 Cambios del nivel freático o piezométrico.</li> <li>13 Factores hidrogeológicos.</li> <li>14 Conductividad hidráulica del acuífero.</li> <li>15 Gradiente del agua subterránea.</li> <li>16 Conductividad hidráulica de cada una de las capas en la zona vadosa.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>17 Área de uso de agroquímicos.</li> <li>18 Gasto.</li> <li>19 Dirección de flujo.</li> <li>20 Área de recarga.</li> <li>21 Estado físico de la fuente para los diferentes mecanismos de transporte.</li> <li>22 Capacitación, entrenamiento, equipo, disciplina del personal en caso de emergencia.</li> <li>23 Distancia de la fuente a aguas superficiales y/o pozos.</li> <li>24 Distancia a viviendas, zonas húmedas, industria, parques y ambientes sensibles.</li> <li>25 Ignición, recreatividad e incompatibilidad de la sustancia contaminante.</li> <li>26 Accesibilidad a la sustancia.</li> <li>27 Probabilidad de uso de los diferentes mecanismos de transporte.</li> <li>28 Volumen, persistencia y/o toxicidad de la sustancia.</li> <li>29 Población actual y futura de áreas cercanas a la fuente contaminante.</li> <li>30 Uso de suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas.</li> </ul> |
|---|---|

La categoría que incluye los parámetros que tuvieron una mayor consideración fue la número 6 referente a las *características de la zona no saturada y los espesores de las capas en la zona vadosa*, ya que se incluyó en 21 metodologías; seguida con 18 menciones por las categorías 2 y 8 que consideran las características del *suelo* y las del *medio acuífero* respectivamente; mientras que entre 12 y 16 ocasiones se mencionan parámetros como *profundidad del agua, superficie topográfica y variabilidad de la pendiente, recarga y conductividad hidráulica*; el resto de las categorías se consideraron en al menos 1 y en ocasiones hasta 5 metodologías. A continuación se presenta la figura 3.3 con la distribución de las categorías por mención y posteriormente la tabla 3.2 completa con las categorías propuestas y el número de veces que han sido consideradas por las 58 metodologías.

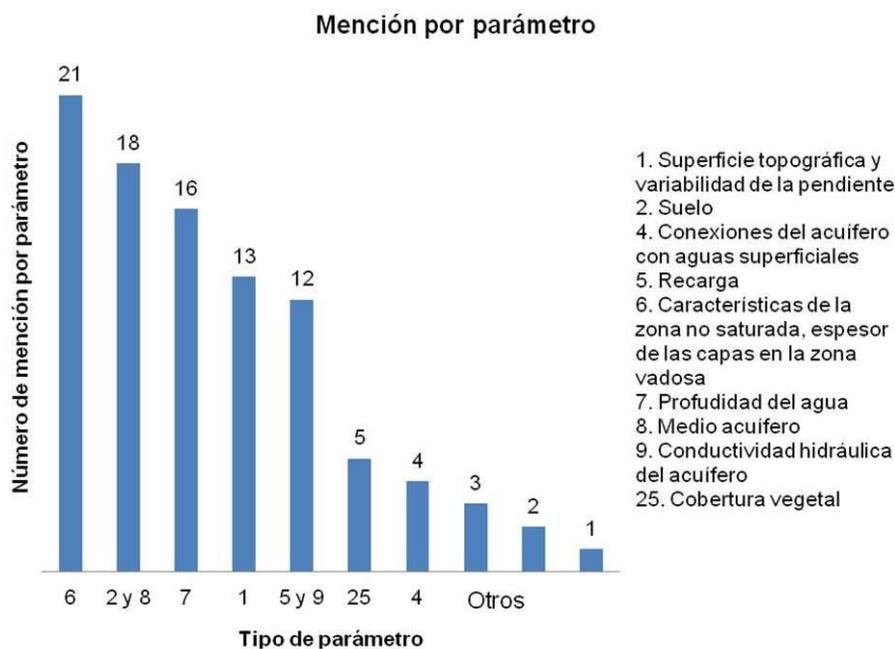


Figura 3.4. Menciones en metodologías por categorías de parámetros

Tabla 3.2. Listado de categorías de parámetros que caracterizan el acuífero

NO. DE VECES	CATEGORÍA DE PARÁMETROS
13	1 Superficie topográfica y variabilidad de la pendiente
18	2 Suelo
2	3 Propiedades físicas y químicas
4	4 Conexiones del acuífero con aguas superficiales
12	5 Recarga
21	6 Características de la zona no saturada, espesor de las capas en la zona vadosa
16	7 Profundidad del agua
18	8 Medio acuífero
12	9 Conductividad hidráulica del acuífero
1	10 Gradiente del agua subterránea
1	11 Conductividad hidráulica de cada una de las capas en la zona vadosa
1	12 Dirección de flujo
1	13 Distancia de la fuente a aguas superficiales y/o pozos
1	14 Población actual y futura de áreas cercanas a la fuente contaminante
3	15 Uso de suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas
1	16 Profundidad del pozo
2	17 Espesor de arcillas parcial
1	18 Espesor de arcillas total
3	19 Percolación
2	20 Litología de la zona vadosa
2	21 Condiciones artesianas
1	22 Zonas de protección
1	23 Superficie de escorrentía
1	24 Discontinuidades
5	25 Cobertura vegetal

NO. DE VECES	CATEGORÍA DE PARÁMETROS
2	26 Medio fracturado
2	27 Factores climáticos
1	28 Erosión
2	29 Grado de karstificación
3	30 Factor de flujo
1	31 Red kástica
2	32 Distancia a la costa
2	33 Intrusión salina
2	34 Epikarst
1	35 Potencial de atenuación
1	36 Tectónica
2	37 Advección descendente
1	38 Capacidad de retención

Es necesario mencionar que de los 58 métodos encontrados, 5 de ellos partieron de la modificación del método DRASTIC, siendo éste el que más variantes presentó de todos.

De igual forma, se concluye que los métodos DRASTIC, SINTACS y KARSTIC, son los únicos que toman en cuenta parámetros de las 7 categorías con mayor mención, el último de ellos enfocado a acuíferos de tipo kárstico; a continuación se presentan en orden decendente las categorías: *zona no saturada y los espesores de las capas en la zona vadosa; suelo; medio acuífero; profundidad del agua; superficie topográfica y variabilidad de la pendiente; recarga; y conductividad hidráulica.*

El DRASTIC es un método para medir la contaminación potencial del agua subterránea creado por la Environmental Protection Agency (EPA por sus siglas en inglés) (Aller *et al.*, 1987).

Se caracteriza por ser un método de *Índices y Superposiciones* que combina un conjunto de características a las cuales se les asigna una ponderación de acuerdo a su importancia en la evaluación de la susceptibilidad del acuífero. De esta manera, la metodología DRASTIC considera siete variables que influyen; es un acrónimo que se forma de los siguientes parámetros: profundidad del agua subterránea (D), recarga neta (R), medio acuífero (A), tipo de suelo (S), topografía

(gradiente topográfico) (T), impacto a la zona vadosa (I), y conductividad hidráulica del acuífero (C).

Una de las peculiaridades de esta propuesta es que cada parámetro, de acuerdo a sus características es sometido a una reclasificación de valores para ponerlo en términos de vulnerabilidad relativa con un rango de clases que va de 1 a 10, en donde 1 representa una susceptibilidad baja y 10 una elevada susceptibilidad de cada parámetro.

Para el caso del presente trabajo académico, se utilizó un SIG en el cual se incorporó la información disponible. De esta manera fue posible crear los datos a manera de capas de cada uno de los parámetros del método DRASTIC para que se hiciera un ajuste por medio de tablas y gráficas, con lo que se obtuvo siete mapas de salida en términos de clases con rangos de 1 a 10 dependiendo de la variable.

Posteriormente, se asignó una ponderación o valor para cada variable de acuerdo a su importancia, lo cual hace que el método en cierta forma sea subjetivo, puesto que hay que considerar que las condiciones de cada acuífero son independientes del resto de ellos, por lo que la ponderación puede cambiar y por lo tanto, el rango del índice del método DRASTIC puede ser distinto de un área de estudio a otra.

En la siguiente tabla se muestran las variables con los pesos generales que se utilizaron y que fueron propuestos por Aller (1987).

*Tabla 3.3. Parámetros DRASTIC con ponderación*

	<b>PARÁMETRO</b>	<b>PESO GENERAL W</b>
<b>D</b>	Profundidad del Agua Subterránea	5
<b>R</b>	Recarga	4
<b>A</b>	Medio Acuífero	3
<b>S</b>	Suelo	2
<b>T</b>	Topografía	1
<b>I</b>	Impacto a la Zona Vadosa	5
<b>C</b>	Conductividad Hidráulica	3

El resultado final que arroja esta metodología es un índice que se obtiene de la multiplicación de cada parámetro ( $r$ ) por su ponderación ( $w$ ), para ser sumados al final por medio de un álgebra de mapas. Dado que el índice puede cambiar por razones anteriormente expuestas, fue importante hacer una normalización para reasignar las categorías de susceptibilidad del acuífero; de esta manera, los valores extremos del índice utilizados para el proceso de normalización fueron de 55 a 150 puntos.

A continuación se presenta la ecuación que se utilizó en el álgebra de mapas:

$$DrDw+RrRw+ArAw+SrSw+TrTw+Irlw+CrCw \dots\dots\dots 3.1$$

donde  $r$  representa la asignación numérica de la vulnerabilidad relativa y  $w$  el peso de cada variable.

De esta manera, los valores altos que dé el resultado significarán un gran potencial de que sea contaminada el agua subterránea por un contaminante, mientras que si son los valores menores significará un bajo índice de vulnerabilidad de contaminarse el acuífero.

### 3.3.3. Tabla resumen

A continuación se presenta una tabla resumen dando cuenta qué información se utilizó en cada variable.

*Tabla 3.4. Tabla resumen*

<b>Variable</b>	<b>Método</b>
<b>D</b>	Se utilizaron 55 mediciones de pozos proporcionados por OCAVM y de 169 hidrógrafos realizados por el Grupo de Hidrogeología (2010)
<b>R</b>	Balance diario de datos climatológicos del 2009 realizado por Carrera-Hernandez
<b>A e I</b>	Configuración cualitativa de acuerdo a las litologías de 372 cortes litológicos proporcionados por SACM (2006)
<b>S</b>	A partir de la carta edafológica E14-2 escala 1:250,000 (INEGI)
<b>T</b>	Se realizó esta variable a partir del Modelo Digital de Elevación con precisión de 30 m el pixel de ASTER.
<b>C</b>	Se hizo a partir de 55 pruebas de bombeo de 6 a 72 horas de duración

#### 3.3.4.1. Profundidad del agua subterránea (D)

Para lograr tener un mapa de profundidad del nivel estático se requirió hacer una configuración por medio de SIG. La información con la que se trabajó fue referente a la profundidad proporcionada por la Secretaría de Aguas de la Ciudad de México (SACM) para el período 1990-2005 y el Organismo de Cuenca de Aguas del Valle de México (OCAVM) para el período 2006-2010. Para ello fue necesario capturar la información y así comenzar formando una base de datos hidrogeológica con la cual se pudo procesar la información.

Con base en lo mencionado por Ramos Leal (Ramos, 2005), la PNE puede presentar variaciones tanto temporales como espaciales, por lo que fue de suma importancia para el proyecto trabajar con datos recientes. Considerando lo anterior se procedió a analizar la calidad y cantidad de información con la que se contó para el año 2010 proporcionada por el OCAVM, con lo que se concluyó que era escasa ya que solo se contaba con 55 pozos con esta información tomando en cuenta datos anómalos. Por tal motivo, se desarrolló un algoritmo en el programa Matlab con el que fue posible generar una interpolación. El resultado de este proceso nos permitió obtener la PNE para 2010 de 233 pozos en total, de los que 169 fueron considerados de hidrógrafos, 31 fueron mediciones realizadas en campo por el OCAVM y 34 fueron datos obtenidos de hidrógrafos que se descartaron por inconsistencias.

Al contar con esta información fue posible realizar una configuración en el programa Surfer 10. Sin embargo, al transferir la información a la plataforma de ArcGIS 9.3., fue necesario utilizar el programa Global Mapper 10 para convertir las extensiones y de esta manera conservar los valores de las isolíneas de profundidad del nivel estático. Una configuración parte de datos previamente seleccionados en formato de puntos acotados por su coordenada X y Y, y un valor Z que para este caso representó la PNE. Este proceso permite generar isolíneas o líneas de un mismo valor interpolando el valor Z.

Posteriormente, el mapa de isolíneas de profundidad del nivel estático se interpoló con la finalidad de crear un raster y sustituirlo en la ecuación de ajuste que se

generó a partir de la modificación de la tabla que representa la asignación de clases de acuerdo a los intervalos de PNE.

*Tabla 3.5. Valores para el factor de profundidad del agua subterránea*

PARÁMETRO	INTERVALO (Original) (m)	INTERVALO (Modificado) (m)	CLASE
PROFUNDIDAD D DEL AGUA D <sub>w</sub> = 5	0.0 – 1.5	0.0 – 7.5	10
	1.5 – 4.6	7.5 – 22.5	9
	4.6 – 9.1	22.5 – 45.0	7
	9.1 – 15.2	45.0 – 75.0	5
	15.2 – 22.9	75.0 – 115.0	3
	22.9 – 30.5	115.0 – 150.0	2
	> 30.5	> 150.0	1

La razón por la cual se modificó la tabla fue porque los valores de PNE que se presentaron para 2010 en el acuífero de la Ciudad de México tuvieron como mínima profundidad 0.0 y máxima 150.0, por lo que se normalizó el rango asignando la clase 10 al mínimo valor y 1 a toda aquella profundidad mayor a 150 m.

Con el fin de que sea continua la asignación de las clases para los intervalos de profundidad que se fijaron fue fundamental realizar una ecuación de ajuste, la cual quedó de la siguiente manera:

$$y = 0.00026x^2 - 0.09889x + 10.00000 \dots\dots\dots 3.2$$

Mientras que la gráfica que se muestra a continuación define la ecuación de ajuste donde el eje de las abscisas representa la PNE y el eje de las ordenadas las clases.

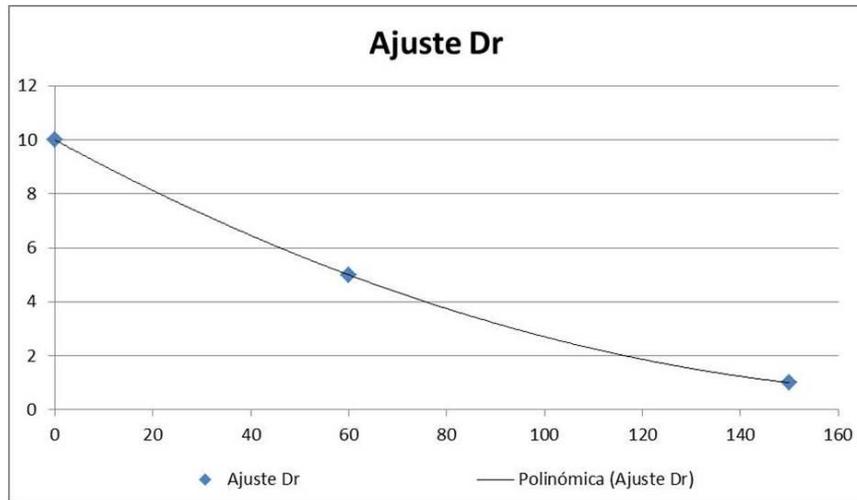


Figura 3.5. Ecuación de ajuste para la profundidad del nivel estático

El resultado de sustituir la PNE del 2010 en la variable  $X$ , es la obtención de un mapa que muestra la vulnerabilidad del acuífero con respecto a la distancia que hay entre la elevación del terreno y la superficie del acuífero. Por lo que el mapa de salida se define como Dr.

### 3.3.4.2. Recarga (R)

Con base a Aller (Aller *et al.*, 1987), la recarga neta depende de la precipitación y de la evapotranspiración real, de tal forma que la fórmula se expresa en los siguientes términos:

$$RN = P - Er \dots \dots \dots 3.3$$

Esta es una de las variables más complejas para calcular dentro de la metodología, sin embargo, los datos para la recarga del Distrito Federal se obtuvieron de datos climatológicos del 2009 de las estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional que mediante un balance diario con base a la metodología propuesta por Carrera-Hernández (2008) dieron como resultado el mapa de la Recarga.

Es preciso acotar que no se cuenta con información de este parámetro en la parte sur-suroeste del Distrito Federal, ya que el algoritmo del método contempla como límites la cuenca del Valle de México.

A continuación se muestra la ecuación que se obtuvo de la gráfica de ajuste para asignar los rangos de vulnerabilidad para el parámetro Rr que de acuerdo a la metodología DRASTIC el rango va de 1 a 10.

$$y = -0.000042x^2 + 0.041617x + 1.000000 \dots \dots \dots 3.4$$

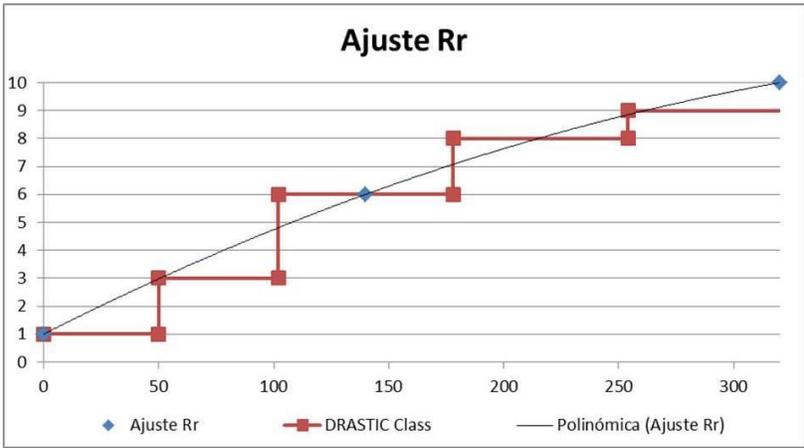


Figura 3.6. Ecuación de ajuste para la recarga

3.3.4.3. Medio acuífero (A)

Como se ha mencionado anteriormente, la facilidad o dificultad de ser contaminada el agua subterránea depende de varios factores. Con la variable medio acuífero (A) se pretende caracterizar el transporte del contaminante al paso de los materiales del acuífero. Estos tienen diferentes resistencias contra la sustancia ajena al suelo debido a las características litológicas, el grado de compactación y la granulometría del material que se encuentra en el acuífero de la ciudad de México. Varias litologías fueron evaluadas por Aller *et al.* (1987) con base a las características anteriores y a su vez ajustados de acuerdo a la proporción de materiales base como arenas, arcillas, gravas y basaltos dando como resultado una clase que puede ir del 1 al 10 siendo 1 un valor exclusivo para los materiales que representan una mayor resistencia contra el transporte del contaminante y 10 para las litologías que pueden presentar una menor oposición al transporte de las sustancias (Goya, 2011).

La forma de proceder para asignar estos valores a cada litología fue en primera instancia utilizando la descripción litológica de más de 372 pozos del Distrito Federal que se obtuvieron por medio del Sistema de Aguas de la Ciudad de México. De esta manera fue posible identificar los materiales que se presentan en el área de estudio. A continuación se analizaron los cortes litológicos de los pozos y se ubicó la profundidad al nivel estático de 2010 para encontrar la litología que corresponde al nivel de saturación; de esta manera fue posible asignar un valor ponderado a cada material. Es así como se obtuvieron valores puntuales en términos de clases que representan la vulnerabilidad relativa con los cuales se realizó una configuración del Distrito Federal para finalmente obtener el mapa de vulnerabilidad del *Medio Acuífero*.

A continuación se muestra la tabla 3.6 con los valores de clase para cada material. Del lado izquierdo los propuestos por Aller *et al.* (1987) y del lado derecho los encontrados en el área de estudio.

*Tabla 3.6. Clases para Ar con relación al tipo de litología, modificado de Aller et al. (1987)*

<b>MATERIAL DEL ACUÍFERO</b>			
<b>Material original</b>	<b>Clase</b>	<b>Material Área de estudio</b>	<b>Clase</b>
Lutita masiva	1 - 3	Arcilla	1
Ígnea / Metamórfica	2 - 5	Andesita	2
Ígnea / Metamórfica alterada	3 - 5	Arcilla / Limo	3
Till glacial	4 - 6	Ceniza volcánica	3
Arenisca estratificada, caliza, lutitas	5 - 9	Arcilla / Arena	4
Arenisca masiva	4 - 9	Conglomerado	4
Caliza masiva	4 - 9	Toba	4
Arena y grava	4 - 9	Aglomerado	5
Basaltos	2 - 10	Arena	5
Caliza cárstica	9 - 10	Basalto	5
		Basalto / Escoria	6
		Arena / Grava	7
		Escoria	7
		Escoria / Piroclasto	7
		Grava	9

### 3.3.4.4. Suelo (S)

El suelo se considera como material no consolidado, está constituido por materia orgánica, y se encuentra a poca profundidad comprendida entre 1 y 2 m.

La importancia de este parámetro radica en que la dinámica de una sustancia al transportarse a través del suelo puede ir cambiando. En algunos casos sufre procesos de retardación, disolución o hasta eliminación (Ramos, 2005).

A continuación se presenta la tabla original para la evaluación del factor del tipo de suelo en el DRASTIC.

Tabla 3.7. Clases por tipo de material para el parámetro  $S_r$  (Aller et al., 1987)

PARÁMETRO	MATERIAL	CLASE
TIPO DE SUELO $S_w = 2$	Fino o ausente	10
	Grava	10
	Arena	9
	Agregado arcilloso o comprimido	7
	Arenisca margosa	6
	Marga	5
	Limo margoso	4
	Arcilla margosa	3
	Arcillas no agregadas y material no compacto	1

La información para este parámetro se obtuvo de la carta edafológica E14-2 de INEGI escala 1:250,000 de la que se registraron 11 tipos de suelo que se mencionan a continuación: Cambisol (B), Gleysol (Gsn), Feozem (H/HS), Litosol (I), Fluvisol (J), Luvisol (L), Histosol (O/OsN), Regosol (R), Andosol (T), Vertisol (V) y Solonchak (Z).

Debido a que el material encontrado en el área de estudio con la fuente de INEGI y los materiales propuestos en la tabla original no corresponde totalmente, fue necesario hacer una adaptación de estos materiales con los encontrados en el Distrito Federal, y posteriormente, asignar su respectiva clase, quedando de la siguiente manera la tabla modificada.

Tabla 3.8. Clases por tipo de material para el parámetro Sr en el área de estudio, modificado de Aller et al. (1987)

PARÁMETRO	TIPO DE SUELO	CLAVE	MATERIAL	CLASE
TIPO DE SUELO SW = 2	Litosol	I	Fino o ausente	10
	Regosol	R	Fino o ausente	10
	Feozem	H/HS	Arenas	9
	Andosol	T	Arcillas no agregadas	1
	Gleysol	Gsn	Arcillas no agregadas	1
	Histosol	O/OsN	Arcillas no agregadas	1
	Solonchak	Z	Arcillas no agregadas	1

### 3.3.4.5. Pendiente topográfica (T)

La pendiente topográfica es un factor que a pesar de que no tiene una ponderación alta, influye en la vulnerabilidad puesto que mientras mayor es el porcentaje de la pendiente del terreno, menor posibilidad tiene el contaminante de penetrar hasta el acuífero, en tanto que entre menor sea el porcentaje de pendiente, será más tiempo el que esté el contaminante sobre el mismo punto dando mayor oportunidad de penetrar hasta el acuífero.

A diferencia de otros parámetros, el de la topografía difícilmente presenta cambios temporales a corto plazo a no ser de lugares puntuales que se ven afectados por actividades como la minería o los basureros ocasionando cambios en el relieve que pueden ser desfavorables para el acuífero. Para el Valle de la Ciudad de México en todo caso la actividad que más repercute son los basureros, sin embargo, debido a la escala en la que se presenta la información disponible no es posible apreciar estos detalles.

En el caso de la información disponible sobre *topografía*, se encuentran varias fuentes tanto libres como de paga. Una de las más destacadas es INEGI, institución que maneja la cartografía a escala 1:50,000 tanto en formato vectorizado como impreso y Modelos Digitales de Elevación (MDE) con precisión de 50 m; de igual forma ASTER maneja MDE pero con precisión de 30 m.

Para elegir la fuente fue necesario hacer un análisis de la información por medio de álgebra de mapas en donde se obtuvo como resultado la diferencia de elevación entre el modelo de INEGI y ASTER (ver mapa 3.3.).

De esta manera se concluyó que la información proporcionada por ASTER fue la más recomendable, puesto que en las partes con mayor elevación, INEGI muestra menos detalle, por ende son los lugares donde se encontró una mayor diferencia en la elevación, tal y como lo muestra la gráfica 3.4.

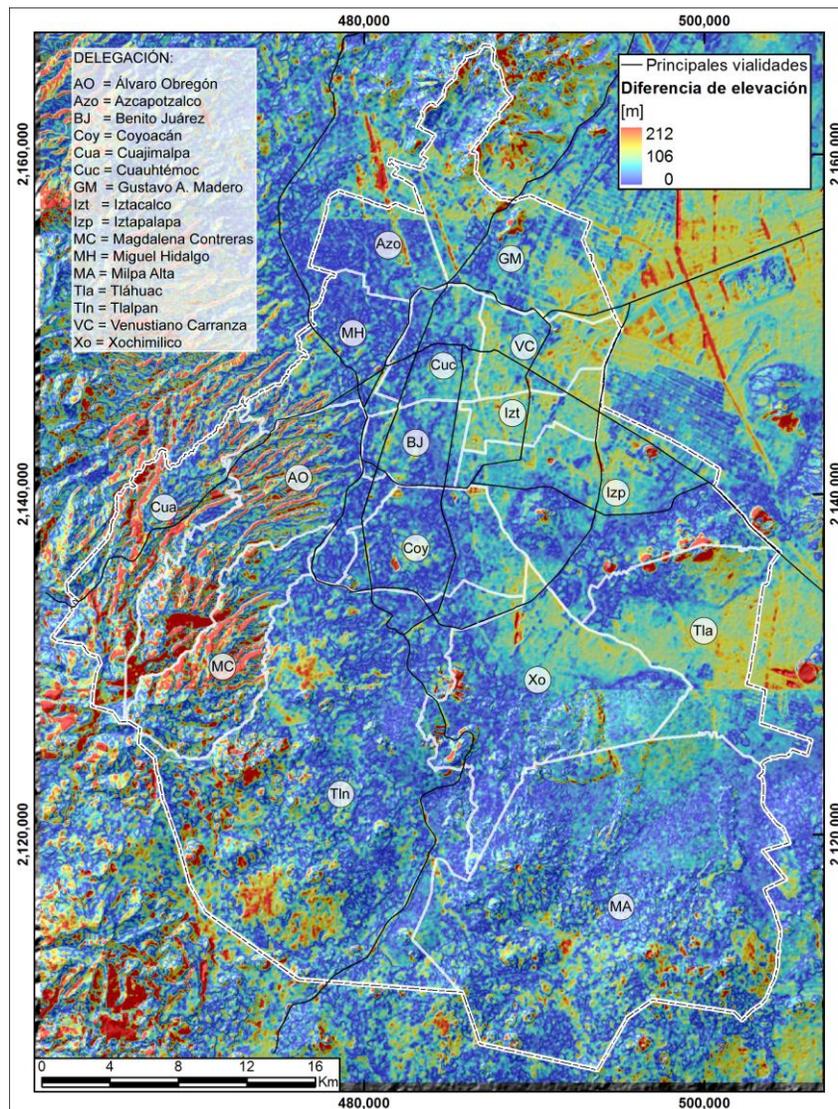


Figura 3.7. Mapa de comparación de elevaciones entre el modelo INEGI y el ASTER, en donde el color rojo representa una mayor diferencia en metros, en tanto que el azul fuerte indica menor diferencia (ASTER e INEGI).

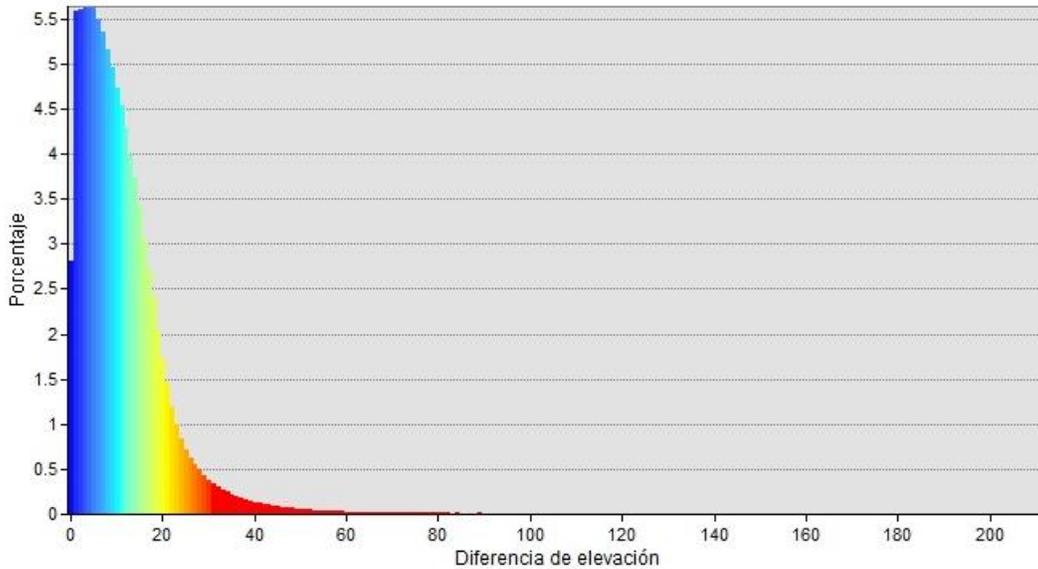


Figura 3.8. Gráfica de porcentaje de pixeles con respecto a la diferencia de elevación entre los modelos INEGI y ASTER

Con respecto al análisis de la gráfica y el mapa, se puede apreciar que la máxima diferencia de elevación entre las dos fuentes se presenta en las barrancas y en las partes planas, sin embargo, representan estos puntos el menor porcentaje con el 13% que abarca un rango de 20 a 212 m de diferencia, mientras que el rango comprendido de 0 a 19 m de diferencia cuenta con un porcentaje de 87%. La máxima diferencia entre las dos fuentes se debe principalmente que el MDE de ASTER tiene una mejor precisión que INEGI, por lo que se consideró al primero para trabajar en el parámetro de pendiente topográfica.

Dado que la pendiente del terreno es la que influye, va a ser determinante para obtener el mapa de índice de vulnerabilidad. Por lo que al igual que el resto de los parámetros, se definieron los rangos correspondientes a los que se les reasignó su respectiva clase, pero en esta ocasión sin modificar la propuesta por Aller *et al.* (1987) puesto que se consideran los mismos rangos.

Tabla 3.9. Clases asignadas a las pendientes para el parámetro *Tr*

PARÁMETRO	INTERVALO (% pendiente)	CLASE
TOPOGR AFIA TW = 1	0 – 2	10
	2 – 6	9
	6 – 12	5
	12 – 18	3
	> 18	1

De esta manera, la ecuación se muestra a continuación acompañada por su gráfica de ajuste (Gráfica 3.5.).

$$y = 0.0062x^2 - 0.6111x + 10 \dots\dots\dots 3.5$$

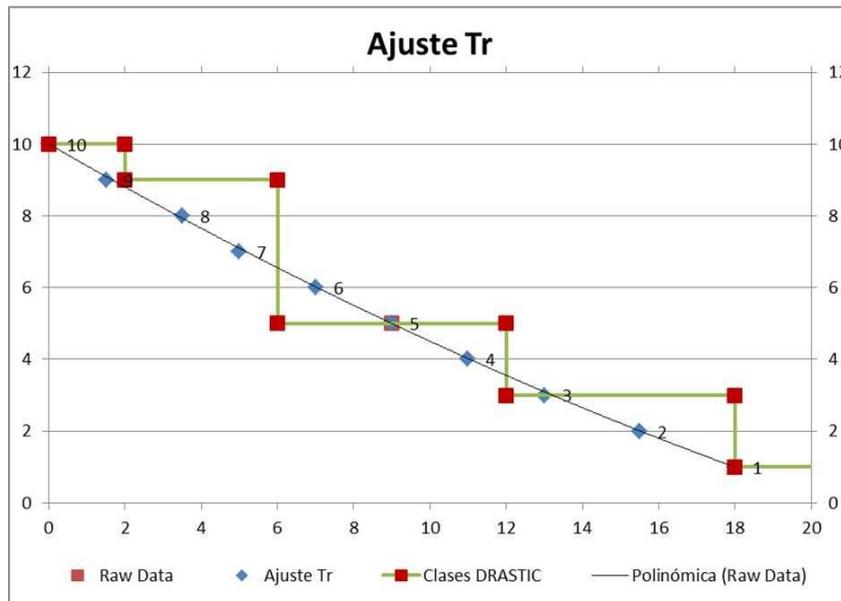


Figura 3.9. Gráfica de ecuación de ajuste para la pendiente con la serie de clases propuesta por la metodología (línea verde) y la modificada (línea azul)

### 3.3.4.6. Impacto a la zona vadosa (I)

Como en la variable A, en el impacto a la zona vadosa (I) se modificaron los valores propuestos por Aller *et al.* (1987) con base a la litología que se encuentra en la cuenca de México. En dicho parámetro se considera la permeabilidad empírica que presenta cada roca, significando la potencial infiltración (advectiva) de alguna sustancia contaminante que se transporte a través de un paquete de rocas.

Para obtener la información requerida se utilizaron los cortes litológicos del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM, 2005). En ellos se ubicó la profundidad al nivel estático (PNE) del 2010 y a partir de su nivel en cada corte se realizó una ponderación con el porcentaje respectivo de cada espesor de las diferentes unidades que presentó el corte, considerando como profundidad total la

acotada por la PNE y la máxima profundidad del corte. A partir de este proceso, se obtuvo un valor por cada pozo que permitió generar una configuración con lo que se obtuvieron valores interpolados en espacios sin información y así calcular la vulnerabilidad.

A continuación se muestra la tabla con la asignación de clases por materiales realizado por Aller *et al.* (1987) (lado izquierdo) y la modificada para el área de estudio (lado derecho).

*Tabla 3.10. Clases asignadas al factor de impacto a la zona vados, modificado de Aller et al. (1987)*

<b>MATERIAL DE LA ZONA NO SATURADA</b>			
<b>Material original</b>	<b>Clase</b>	<b>Material Área de estudio</b>	<b>Clase</b>
Capa confinante	1	Arcilla	2
Limo / Arcilla	2 - 6	Arcilla / Limo	3
Lutita	2 - 5	Ceniza volcánica	3
Caliza	2 - 7	Margas	3
Arenisca	4 - 8	Andesita	4
Caliza estratificada, arenisca, lutita	4 - 8	Arcilla / Arena	4
Arena, grava con limo, arcilla	4 - 8	Caliza	5
Ígnea / Metamórfica	2 - 8	Toba	5
Arena y grava	6 - 9	Arena	6
Basalto	2 - 10	Basalto	6
Caliza cárstica	8 - 10	Conglomerado	6
		Basalto / Escoria	7
		Aglomerado	8
		Arena / Grava	8
		Escoria	8
		Escoria / Piroclasto	8
		Grava	9

### 3.3.4.7. Conductividad (C)

La conductividad hidráulica es un parámetro que expresa en términos de tasa de movimiento la facilidad o dificultad del transporte del agua a través del medio acuífero en donde se considera la unidad de área transversal a la dirección de flujo, de acuerdo a la ley de Darcy.

Este factor también puede intervenir en la velocidad de desplazamiento de un contaminante. Los datos se obtuvieron a partir de la realización de pruebas de bombeo (SACM, 2005 y Grupo de Hidrogeología 2010).

Una prueba de bombeo permite determinar las características hidráulicas de los acuíferos, así como también, estudiar el pozo mismo. Consiste en la medición a diferentes intervalos de tiempo de la descarga del pozo de bombeo y abatimiento del nivel del agua.

A manera de ejemplo, en la figura 3.10 se muestra el resultado de la interpretación de la prueba de bombeo correspondiente al pozo Coyuya 45, donde a partir del método de Jacob Cooper se obtuvo una transmisividad de 3000 m<sup>2</sup>/d.

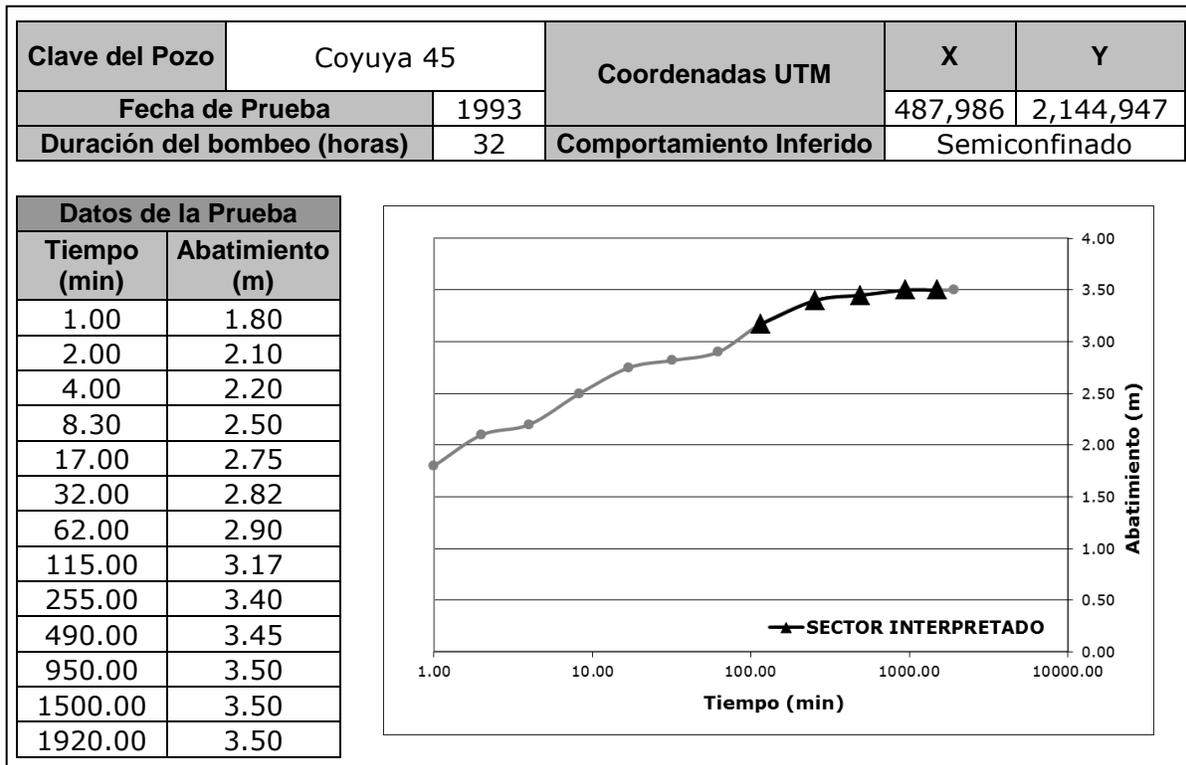


Figura 3.10. Prueba de bombeo de Coyuya 45

A continuación se muestran los valores asignados por Aller *et al.* (1987) que son considerados para la conductividad hidráulica, medida en unidades de velocidad (m/día).

Tabla 3.11. Clases asignadas a los intervalos de conductividad

Conductividad Hidráulica (m/d)		
Intervalo		Clase
0.040746	- 4.0746	1
4.0746	- 12.2238	2
12.2238	- 28.522	4
28.522	- 40.746	6
40.746	- 81.492	8
>	81.492	10

A partir de los intervalos presentados en la tabla anterior, se hizo una gráfica de ajuste de la cual se obtuvo la siguiente gráfica:

$$y = -0.0013x^2 + 0.2147x + 0.9893 \dots \dots \dots 3.6$$

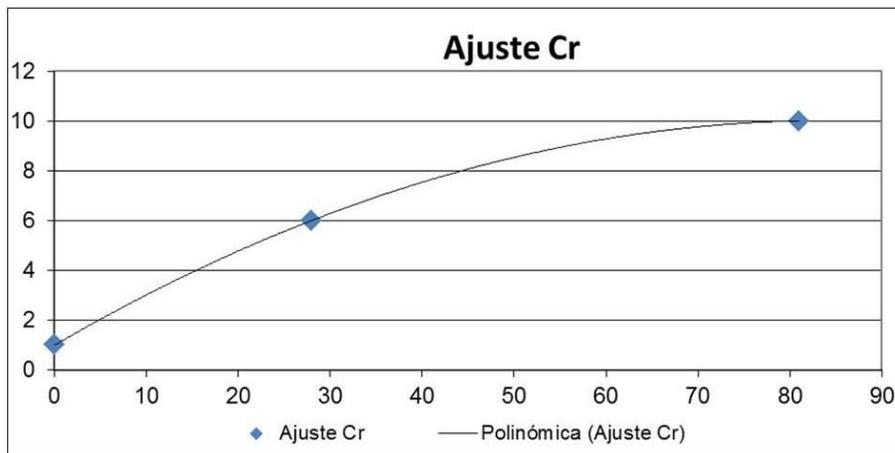


Figura 3.11. Gráfica de ecuación de ajuste para la conductividad

### 3.4. Metodología del Índice de Marginación Urbana (IMU) 2005

#### 3.4.1. Consideraciones iniciales

El apartado que a continuación se lleva a cabo, es parte de la propuesta planteada en la tesis para desarrollar una metodología de manera exploratoria, que permita considerar tanto el DRASTIC como el IMU en un análisis conjunto, con la finalidad de generar un aporte dirigido al entendimiento de la problemática del agua y su contaminación por hidrocarburos en el Distrito Federal, desde la construcción de los espacios riesgosos. Lo anterior de acuerdo a los principios que se plantean en la discusión del primer capítulo con conceptos como la vulnerabilidad, el riesgo y

el desastre; y considerando el crecimiento de la estructura urbana como un punto esencial en el análisis.

Así mismo, la exposición de la metodología IMU en este apartado, también tiene por objeto mostrar las semejanzas en su desarrollo con la metodología DRASTIC, al ser un planteamiento numérico, con variables que proponen caracterizar su objeto de estudio, en donde para el IMU, el grado de marginación es su tarea final. Lo anterior a partir de varias consideraciones, que a manera de variables son sujetas a ponderaciones de acuerdo a su relevancia en el fenómeno estudiado, con la finalidad de llegar a un índice que dé cuenta de la susceptibilidad del objeto de estudio y que para fines de gestión del área de estudio, dicho índice es agrupado en intervalos bien definidos en cinco categorías que permiten zonificar el área de trabajo.

Finalmente, es preciso señalar que lo que a continuación se plantea sobre el Índice de Marginación Urbana (IMU), fue consultado en el libro de *Índice de Marginación Urbana 2005* publicado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2005).

#### 3.4.2. Conceptos básicos

Como se ha comentado anteriormente, el proceso de urbanización de la ciudad de México a mediados del siglo pasado se caracterizó por un acelerado crecimiento que se tradujo a través del espacio en una elevada concentración de personas. De esta manera, el proceso de expansión de la urbe frente a la continua desecación de los lagos donde se emplaza la ciudad, da lugar a asentamientos irregulares en la periferia, en zonas que constituyen riesgos y vulnerabilidades que pueden poner en entredicho la seguridad de la calidad de vida resumida en las características de las viviendas y el acceso a los servicios sociales básicos, así como también efectos negativos sobre el medio ambiente.

Ante semejante problemática, los programas sociales enfocados al mejoramiento del entorno de la población, sobre todo dirigidos a los espacios con alta y muy alta marginación, son una constante en los planteamientos de solución. Por ello, el

Concejo Nacional de Población (CONAPO) a través de la metodología del IMU desarrolló un *indicador resumen* que busca a partir de la categoría de análisis espacial AGEB (Área Geoestadística Básica) clasificar rasgos propios de las ciudades a escala de barrios, pueblos, colonias y conjuntos habitacionales.

Las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) pertenecen al Marco Geoestadístico Nacional, mismo que relaciona la información estadística con el espacio geográfico correspondiente a diferentes escalas: Estatales (AGEE), Municipales (AGEM) y Básicas (AGEB). Los AGEB son la mínima unidad del Marco Geoestadístico, sin embargo, debido a las diferencias de densidad de población se registran urbanas y rurales. Las urbanas pueden cubrir una parte o el total de una localidad de 2,500 habitantes o más, mientras que las rurales cubren una superficie predominantemente agropecuaria que puede cubrir varias localidades menores a 2,500 habitantes.

De esta manera, la metodología indica que el IMU tiene por objeto representar un fenómeno a través de categorías de análisis espacial definidas como AGEB urbanas que pueden ser diferenciadas de acuerdo a la susceptibilidad de la población con base a las carencias y los efectos negativos que puedan significar, en donde el acceso a la: educación, salud, condiciones de la vivienda y dificultad de acceder a los bienes de primera necesidad, repercuten en la problemática de la población.

Precisamente, estos últimos puntos son los que definen las cuatro dimensiones del indicador resumen y que a su vez contemplan en conjunto diez indicadores socioeconómicos que conforman el IMU y que se presentan a continuación en la tabla 3.12 con más detalle.

Tabla 3.12. Indicadores considerados por las dimensiones que constituyen el IMU

DIMENSIÓN	INDICADOR
Educación	Porcentaje de población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela (I <sub>1</sub> )
	Porcentaje de población de 15 años o más sin secundaria completa (I <sub>2</sub> )
Salud	Porcentaje de población sin derechohabiencia a los servicios de salud (I <sub>3</sub> )
	Porcentaje de hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años (I <sub>4</sub> )
Vivienda	Porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada dentro de la vivienda (I <sub>5</sub> )
	Porcentaje de viviendas particulares sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica (I <sub>6</sub> )
	Porcentaje de viviendas particulares sin excusado con conexión de agua (I <sub>7</sub> )
	Porcentaje de viviendas particulares con pisos de tierra (I <sub>8</sub> )
	Porcentaje de viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento (I <sub>9</sub> )
Bienes	Porcentaje de viviendas particulares sin refrigerador (I <sub>10</sub> )

CONAPO analiza las ventajas de trabajar a escala de AGEB a partir de la creación de dos clasificaciones derivadas de dichas áreas; estas son las de índole rural y urbana. Resalta la posible identificación dentro de las áreas urbanas al interior de las localidades y municipios los lugares donde existe una población susceptible a partir de los parámetros englobados en las cuatro dimensiones. En tanto que, el resultado de dicho análisis muestra un rezago dominante en unidades rurales dentro de municipios y localidades, lo cual no quiere decir que en las urbanas no exista esta situación.

Otra virtud que se expresa en la metodología leída para este apartado, es que, las cifras absolutas de marginación a escala de AGEB urbanas, pueden elevar su dimensión escalar a nivel de ciudades con el fin de obtener indicadores globales como el número de habitantes en AGEB urbanas con altos niveles de marginación.

Las AGEB son categorías bien delimitadas por calles, avenidas o cualquier rasgo de fácil identificación en el terreno, por lo que es posible emplear un análisis que considere las dimensiones espaciales con el fin de identificar y estudiar los patrones de concentración de las unidades con alta y muy alta marginación, esto mediante el manejo de los Sistemas de Información Geográfica.

El insumo para la estimación del IMU 2005 fue el *II Censo de Población y Vivienda 2005*, utilizando la base de datos a nivel de registro mejor conocidos

como microdatos, con lo cual fue posible calcular los diez indicadores seleccionados para la metodología. No obstante, en la metodología explicada por CONAPO, se precisa que dado que el IMU para 2005 se estima a partir del *II Conteo de Población y Vivienda 2005*, presenta diferencias contrastantes con respecto al IMU del 2000 que se basó en el *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*, puesto que un Conteo cubre menos información que un Censo.

Los microdatos en particular de la Muestra del II Conteo de Población 2005, son gestionados por el INEGI. Contienen información referente a las características sociodemográficas, tamaño y distribución territorial de la población por entidad federativa, considerando como objeto de análisis las viviendas particulares.

En tanto, los censos se realizan cada 10 años en aquellos que terminan en 0, sin embargo, ante las transformaciones económicas, sociales, demográficas, tecnológicas y territoriales, es necesario mantener la información actualizada. Por tal razón, en 1995 el INEGI decidió realizar un conteo a mitad de tiempo y para 2005 se realizó el último, con el fin de que tenga una periodicidad de 10 años en aquellos donde termine en 5. Ambos recopilan información sociodemográfica de tipo estadístico, que a su vez es procesada, analizada y difundida a la población.

### 3.4.3. Dimensiones

El desarrollo de una población puede verse mermada por ciertos aspectos que de no atenderse o carecer de ellos llegan a representar una situación desfavorable para los individuos. Es por ello que la metodología IMU contempla la caracterización de dimensiones que puedan expresar la situación de susceptibilidad en todos sus niveles de la población.

Por lo anterior, en términos de educación se desprenden dos indicadores que expresan tanto el porcentaje de población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela ( $I_1$ ), como el porcentaje de población de 15 años o más sin secundaria completa ( $I_2$ ). Considerando lo anterior, es posible identificar la situación de la población de cierta área con deficiencias o no en la educación básica contemplada como un derecho en el artículo 3° de la Constitución Política, lo que se traduce de

acuerdo a la CONAPO como la facilidad o dificultad de insertarse en el mercado laboral además de repercutir directamente en el desarrollo integral de la familia. De esta manera, se cubre un aspecto que puede ser significativo para el desenvolvimiento eficaz en un medio donde la concientización puede ser la diferencia entre prevenir eventos desfavorables o impactar en la susceptibilidad de una comunidad.

De igual forma, el tema de la salud juega un papel primordial en la calidad de vida de los habitantes, mismo que está sustentado en el artículo 4° de la constitución; ya que la prevención y atención oportuna de enfermedades permite tener una población más sana y como consecuencia, los sistemas de salud pueden ser mejor aprovechados. Para ello, el porcentaje que muestra la población sin derechohabencia a los servicios de salud ( $I_3$ ), da cuenta del nivel de accesibilidad que tenga la población a la asistencia médica por medio de instituciones de salud pública o privada, mientras que el porcentaje de hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años ( $I_4$ ), no solo manifestará el estado de salud con el que se encuentre la población joven, sino la situación de marginación social que se vive en un tiempo y espacio determinado.

Continuando bajo el mismo esquema de exponer los indicadores con los que se trabajó para el desarrollo del IMU, en cuanto a la vivienda se refiere, se encuentran varios aspectos fundamentales relacionados con éste espacio en donde se desarrollan actividades de protección y refugio. En ella es relevante la dinámica que se desarrolla entre los miembros de la familia que la integran, generando un ambiente propicio para el desarrollo del individuo y su recreación. Por ello, ante la necesidad de caracterizar el espacio en estudio dentro de esta dimensión, CONAPO enfoca la atención en el porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada dentro de la vivienda ( $I_5$ ), aunado al porcentaje de viviendas particulares sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica ( $I_6$ ), el porcentaje de viviendas particulares sin excusado con conexión de agua ( $I_7$ ), el porcentaje de viviendas particulares con pisos de tierra ( $I_8$ ) y complementado con el porcentaje de viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento ( $I_9$ ). De esta manera, se

expresa la representación de lo que se considera como una vivienda con problemas de salubridad por falta de infraestructura y aseo.

Por último, CONAPO se vio con la necesidad de involucrar un indicador que diera cuenta a la capacidad de una familia para tener un bien de consumo duradero de primera necesidad que incremente sus posibilidades para desarrollarse. En este caso, el porcentaje de viviendas particulares sin refrigerador ( $I_{10}$ ) fue la elección óptima puesto que permite dar cuenta de la posibilidad de una familia para conservar sus alimentos durante un tiempo considerable y así evitar enfermedades, pero también mejorar su economía al racionar mejor sus gastos.

3.4.4. Cálculo de dimensiones

El Índice de Marginación Urbana 2005 tiene como antecedente en el país la estimación que se llevó a cabo en el año del 2000. Su objetivo es representar la situación de las AGEB identificando las carencias sociales. Para ello se definen los conceptos que formarán parte de los indicadores socioeconómicos y se identifican las variables que estén involucradas en la construcción de los indicadores. La fuente de información para desarrollar el índice del año 2005 es el *II Censo de Población y Vivienda 2005*.

En cuanto a la construcción del Índice de Marginación Urbana del 2005 se calcularon diez indicadores socioeconómicos. Dichos indicadores se agrupan en cuatro dimensiones definidas como la educación, la salud, el disfrute de una vivienda y la disponibilidad de bienes de primera necesidad.

Los indicadores están dados en porcentajes y a continuación se presentan las ecuaciones para cada uno de ellos:

- l) Porcentaje de población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela ( $I_{11}$ )

$$I_{11} = \frac{P_i^{nasis}}{P_i^{6-14} - NE_i^a} \times 100 \dots\dots\dots 3.7$$

donde:

$P_i^{nasis}$ : es la población de 6 a 14 años que no asiste,

$P_i^{6-14}$ : es la población de 6 a 14 años, y

$NE_i^a$ : es la población de 6 a 14 años que no especificó su condición de asistencia a la escuela.

II) Porcentaje de población de 15 años o más sin secundaria completa ( $I_{i2}$ )

$$I_{i2} = \frac{P_i^{si} + P_i^{cp} + P_i^{tp} + P_i^{sec1-2}}{P_i^{15+} - (NE_i^{sec} + NE_i^{inst})} \times 100 \dots\dots\dots 3.8$$

donde:

$P_i^{si}$ : es la población de 15 años o más sin instrucción,

$P_i^{cp}$ : es la población de 15 años o más con primaria completa,

$P_i^{tp}$ : es la población de 15 años o más con estudios técnicos o comerciales con primaria terminada,

$P_i^{sec1-2}$ : es la población de 15 años o más que aprobaron entre el primer y segundo año de secundaria,

$P_i^{15+}$ : es la población de 15 años o más,

$NE_i^{sec}$ : es la población de 15 años o más que no especificó su grado aprobado en secundaria, y

$NE_i^{inst}$ : es la población de 15 años o más que no especificó su nivel de Instrucción.

III) Porcentaje de población sin derechohabencia a los servicios de salud ( $I_{i3}$ )

$$I_{i3} = \frac{P_i^{sd}}{P_i^T - NE_i^d} \times 100 \dots\dots\dots 3.9$$

donde:

$P_i^{sd}$ : es la población sin derechohabencia a los servicios de salud,

$P_i^T$ : es la población total, y

$NE_i^d$ : es la población que no especificó se condición de derechohabencia a los servicios de salud.

IV) Porcentaje de hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años ( $I_{i4}$ )

$$I_{i4} = \frac{HNV_i^{m15-49} + HS_i^{m15-49}}{HNV_i^{m15-49}} \times 100 \dots\dots\dots 3.10$$

donde:

$HNV_i^{m15-49}$ : es el número de hijos nacidos vivos de las mujeres de 15 a 49 años, y

$HS_i^{m15-49}$ : es el número de los hijos sobrevivientes de las mujeres de 15 a 49 años.

V) Porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada dentro de la vivienda ( $I_{i5}$ )

$$I_{i5} = \frac{V_i^{afv} + V_i^{sa}}{V_i^T - NE_i^a} \times 100 \dots\dots\dots 3.11$$

donde:

$V_i^{afv}$ : son las viviendas particulares que disponen de agua entubada fuera de la vivienda pero dentro del terreno,

$V_i^{sa}$ : son las viviendas particulares que disponen de agua de una llave pública o hidrante, de otra vivienda, de pipa, de pozo, de río, arroyo, lago u otro,

$V_i^T$ : es el total de viviendas particulares habitadas, y

$NE_i^a$ : son las viviendas particulares para las cuales no se especificó la disponibilidad de agua.

VI) Porcentaje de viviendas particulares sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica ( $I_{i6}$ )

$$I_{i6} = \frac{V_i^{dbg} + V_i^{drim} + V_i^{sd}}{V_i^T - NE_i^d} \times 100 \quad \dots\dots\dots 3.12$$

donde:

$V_i^{dbg}$ : son las viviendas particulares con drenaje conectado a barranca o grieta,

$V_i^{drim}$ : son las viviendas particulares con drenaje conectado a río, lago o mar,

$V_i^{sd}$ : son las viviendas particulares sin disponibilidad de drenaje,

$V_i^T$ : es el total de viviendas particulares habitadas, y

$NE_i^d$ : son las viviendas particulares para las cuales no se especificó la disponibilidad de drenaje.

VII) Porcentaje de viviendas particulares sin excusado con conexión de agua ( $I_{i7}$ )

$$I_{i7} = \frac{V_i^{sm} + V_i^{ssa} + V_i^{se}}{V_i^T - (NE_i^{ca} + NE_i^s)} \times 100 \quad \dots\dots\dots 3.13$$

donde:

$V_i^{sm}$ : son las viviendas particulares con excusado con descarga manual de agua,

$V_i^{ssa}$ : son las viviendas particulares con excusado sin admisión de agua,

$V_i^{se}$ : son las viviendas particulares sin disponibilidad de excusado,

$V_i^T$ : es el total de viviendas particulares habitadas,

$NE_i^{ca}$ : son las viviendas particulares con excusado para las cuales no se especificó el tipo de descarga de agua, y

$NE_i^e$ : son las viviendas particulares para las cuales no se especificó la disponibilidad de excusado.

VIII) Porcentaje de viviendas particulares con pisos de tierra ( $I_{i8}$ )

$$I_{i8} = \frac{V_i^{pt}}{V_i^T - NE_i^p} \times 100 \quad \dots\dots\dots 3.14$$

donde:

$V_i^{pt}$ : son las viviendas particulares con pisos de tierra,

$V_i^T$ : es el total de viviendas particulares habitadas, y

$NE_i^p$ : son las viviendas particulares para las cuales no se especificó el tipo de piso.

IX) Porcentaje de viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento ( $I_{i9}$ )

$$I_{i9} = \frac{V_i^h}{V_i^T - NE_i^h} \times 100 \quad \dots\dots\dots 3.15$$

donde:

$V_i^h$ : son las viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento,

$V_i^T$ : es el total de viviendas particulares habitadas, y

$NE_i^h$ : son las viviendas particulares para las cuales no se especificó el número de cuartos.

X) Porcentaje de viviendas particulares sin refrigerador ( $I_{i10}$ )

$$I_{i10} = \frac{V_i^T - V_i^r}{V_i^T} \times 100 \quad \dots\dots\dots 3.16$$

donde:

$V_i^T$ : es el total de viviendas particulares habitadas, y

$V_i^R$ : son las viviendas particulares que disponen de refrigerador.

#### 3.4.5. Índice de marginación

Ya definidos los indicadores y las ecuaciones, se delimitó el espacio de análisis, es decir, se definió el conjunto de AGEB urbanas que serían parte de la estimación del índice de marginación, con lo que de acuerdo a los resultados del *II Censo de Población y Vivienda 2005*, se registraron 46,172 AGEB urbanas; de las cuales 2,355 pertenecen al Distrito Federal. Para ello se excluyeron las que no tuvieran suficiente información y aquellas donde la mayor parte de la población habita en viviendas colectivas. Con base a lo anterior, el universo de estudio fue constituido por 39,172 AGEB con las cuales fue posible estimar los diez indicadores socioeconómicos.

Con el fin de unificar los diez indicadores que se han expuesto en una sola *medida resumen* que exprese las carencias de la población, la CONAPO se valió del análisis de componentes principales para que así evitara la dimensionalidad de datos pero que a su vez mostrara la relación entre indicadores a través de las AGEB urbanas que se consideraron. La dimensionalidad se refiere en este apartado a la variabilidad de datos que pueda existir entre los indicadores de las cinco dimensiones ya expuestas. Por lo que en caso de que se quiera trabajar con todos los indicadores para realizar una medida, se debe emplear algún método que permita reducir la dimensionalidad. Con base a lo anterior, la CONAPO utilizó el análisis de componentes principales para tal efecto.

De acuerdo a la metodología consultada del IMU 2005, el análisis de componentes principales es un método matemático que transforma un conjunto de variables que en este caso son los indicadores en uno nuevo, reduciéndose así el número de dimensiones, es decir, se hace una síntesis de la información. Lo que se logra con

este procedimiento, es la facilidad para el análisis de tanta cantidad de indicadores y su mejor interpretación.

Una de las características que debe cumplir el análisis de componentes principales es que las variables que se someterán a este proceso de reducción, deben ser dependientes o correlacionadas entre ellas, de tal forma que se puedan reducir en nuevas variables siendo el 20% del número inicial lo más frecuente. De esta forma, se estará habra una pequeña pérdida de información pero que aún permita trabajar con datos representativos y confiables (Peña, 2002).

Tomando en cuenta lo anterior, se puede apreciar una correlación entre las variables consideradas en la metodología IMU ya que son indicadores de rezago o déficit de la población. Así mismo, es importante mencionar que con el fin de que dichos indicadores fueran consistentes entre sí y se pudieran comparar entre distintas AGEB, se definieron en términos de porcentaje para eliminar el efecto de la escala propiciada por la diferencia de cantidad de población entre categorías espaciales en estudio.

A pesar de la aparente relación que pueda existir entre las variables, fue fundamental hacer una matriz de correlación de indicadores socioeconómicos que incluso sirve para el desarrollo del análisis de componentes principales. De esta forma, en la tabla 3.13 se puede apreciar la asociación entre variables que va desde 0.286 hasta 0.848.

Tabla 3.13. Matriz de correlaciones de los indicadores socioeconómicos a nivel AGEB urbana. Fuente: IMU 2005

Indicador socioeconómico	Indicador socioeconómico									
	% Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela (I <sub>1</sub> )	% Población de 15 años o más sin secundaria completa (I <sub>2</sub> )	% Población sin derechohabiente a los servicios de salud (I <sub>3</sub> )	% Hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años (I <sub>4</sub> )	% Viviendas particulares sin agua entubada dentro de la vivienda (I <sub>5</sub> )	% Viviendas particulares sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica (I <sub>6</sub> )	% Viviendas particulares sin excusado con conexión de agua (I <sub>7</sub> )	% Viviendas particulares con pisos de tierra (I <sub>8</sub> )	% Viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento (I <sub>9</sub> )	% Viviendas particulares sin refrigerador (I <sub>10</sub> )
% Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela (I <sub>1</sub> )	1.00000									
% Población de 15 años o más sin secundaria completa (I <sub>2</sub> )	0.58816	1.00000								
% Población sin derechohabiente a los servicios de salud (I <sub>3</sub> )	0.40167	0.66752	1.00000							
% Hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años (I <sub>4</sub> )	0.35708	0.53643	0.44549	1.00000						
% Viviendas particulares sin agua entubada dentro de la vivienda (I <sub>5</sub> )	0.31274	0.59714	0.54587	0.40534	1.00000					
% Viviendas particulares sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica (I <sub>6</sub> )	0.28643	0.53400	0.40145	0.38074	0.60169	1.00000				
% Viviendas particulares sin excusado con conexión de agua (I <sub>7</sub> )	0.41632	0.73314	0.63702	0.49082	0.84845	0.65082	1.00000			
% Viviendas particulares con pisos de tierra (I <sub>8</sub> )	0.38643	0.58835	0.50617	0.44117	0.60876	0.62245	0.70812	1.00000		
% Viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento (I <sub>9</sub> )	0.44340	0.72036	0.54645	0.45570	0.69800	0.55643	0.81732	0.66439	1.00000	
% Viviendas particulares sin refrigerador (I <sub>10</sub> )	0.39914	0.64723	0.64004	0.50202	0.69160	0.64517	0.76592	0.72033	0.69335	1.00000

A continuación, se aplicó en la metodología la medida de adecuación Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que permitió hacer un análisis de los coeficientes parciales de las variables y los coeficientes observados para saber si es viable la aplicación de las componentes principales. Este procedimiento arrojó como coeficiente para el IMU el valor de 0.921, lo cual significa que existe una excelente adecuación entre los indicadores en una escala de 0.000 a 1.000 y por ende un excelente nivel para obtener las componentes principales (Bisquerra, 1989). El criterio de adecuación muestral de KMO considera los siguientes rangos: 0.0-0.5 inaceptable, 0.5-0.6 mala, 0.6-0.7 regular, 0.7-0.8 aceptable, 0.8-0.9 buena y 0.9-1.0 excelente.

El objetivo del desarrollo de procedimientos hasta ahora explicados fue para proyectar los diez indicadores considerados en uno unidimensional, es decir, obtener la primera componente principal definida como el índice de marginación urbana. Sin embargo, para ello, se estimaron los coeficientes de ponderación para cada una de las variables, este coeficiente indica los indicadores con mayor importancia, por lo que a través de una combinación lineal de las variables a escala de AGEB urbana tendrán más peso y así poder obtener un IMU representativo. Los resultados que se arrojaron con los coeficientes de ponderación indican que los cuatro indicadores más relevantes son el  $I_7$ ,  $I_{10}$ ,  $I_9$  y el  $I_2$  (ver tabla 3.14.).

*Tabla 3.14. Coeficiente de la primera componente principal por indicador socioeconómico a nivel AGEB urbana. Fuente: IMU 2005*

<b>Indicador socioeconómico</b>	<b>Coeficiente de la primera componente principal</b>
% Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela ( $I_1$ )	0.09127
% Población de 15 años o más sin secundaria completa ( $I_2$ )	0.13726
% Población sin derechohabencia a los servicios de salud ( $I_3$ )	0.12027
% Hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años ( $I_4$ )	0.10145
% Viviendas particulares sin agua entubada dentro de la vivienda ( $I_5$ )	0.13343
% Viviendas particulares sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica ( $I_6$ )	0.11873
% Viviendas particulares sin excusado con conexión de agua ( $I_7$ )	0.14900
% Viviendas particulares con pisos de tierra ( $I_8$ )	0.13089
% Viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento ( $I_9$ )	0.13881
% Viviendas particulares sin refrigerador ( $I_{10}$ )	0.14073

Hasta ahora ya se explicó cómo se obtuvo el índice de marginación por AGEB, sin embargo, el paso final de esta metodología fue la estratificación del índice en cinco categorías denominadas como grado de marginación muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Para ello se utilizaron los índices de marginación de 29,564 AGEB correspondientes al sistema urbano nacional (SUN), mientras que se anexaron 9,608 AGEB urbanas más que no se contemplan en el SUN. Las AGEB urbanas que pertenecen a municipios de zonas metropolitanas y localidades de 15,000 o más habitantes fueron catalogadas como parte del sistema urbano nacional, en tanto que el resto de ellas son las que se encuentran en localidades menores a 15,000 habitantes.

La construcción de los cinco grupos se llevó a cabo por medio de la estratificación óptima de Dalenius y Hodges. La estratificación se realiza a partir de la distribución de índices de marginación en clases, por lo que es fundamental considerar dos aspectos, un intervalo de variación que defina los límites adecuados de cada clase, y el tamaño mínimo de muestreo que representa el número mínimo de elementos a contar por estrato (Abad y Servín, 1978). Para la construcción de la estratificación se tomaron en cuenta únicamente las AGEB del SUN, además de excluir dos de ellas por tener valores atípicos, una en el estado de Sonora que presentó un índice de 4.37996 y otra en el de Chiapas con un índice de 4.90372. Excluir las es viable, ya que la diferencia que existe entre ellas y la AGEB anterior es de 0.4 y 0.9 unidades, lo cual puede impactar directamente en la estratificación al ser casi de la misma magnitud o mayor a la cifra de destino.

La cifra de destino es un valor que se obtiene de la división de la suma de las raíces cuadradas del número mínimo de elementos que habrá dentro de una clase entre el número de clases que en este caso es de 5. En este caso, no fue posible identificar de manera directa la sumatoria de las raíces cuadradas del número mínimo de elementos puesto que la CONAPO no lo detalla en la metodología IMU, sin embargo, se pudo obtener la cifra de destino a través de la diferencia entre los puntos de corte (-1.00936, -0.45735, 0.09466 y 0.92267) que indica la

metodología, siendo de 0.55201 unidades. Estos puntos de corte indican el límite entre una clase y otra.

De esta manera las dos AGEB excluidas del procedimiento se catalogaron en la última clase definida como de muy alta marginación. Así mismo, al resto de las AGEB urbanas también se les asignó un grado de marginación a partir de su índice previamente calculado. A continuación se presenta el cuadro donde se observa la equivalencia del grado con el índice de marginación.

*Tabla 3.15. Estratificación del índice de marginación urbana. Fuente: IMU 2005*

Grado de marginación	Número de AGEB urbanas			Límites del intervalo	
	Total	AGEB del SUN	Resto de las AGEB	Inferior	Superior
Muy Bajo	6,136	6,072	64	-1.56137	-1.00936
Bajo	9,321	8,527	794	-1.00936	-0.45735
Medio	8,330	6,408	1,922	-0.45735	0.09466
Alto	8,438	5,539	2,899	0.09466	0.92267
Muy Alto	6,947	3,018	3,929	0.92267	5.32234

Es importante mencionar que el área de estudio acotado para este trabajo académico está delimitado por el Distrito Federal, por lo que cubre un total de 2,352 AGEB, todas ellas pertenecientes al sistema urbano nacional que dan cabida a 8,653,397 habitantes, lo anterior con información referente al *II Censo de Población y Vivienda 2005*. Es decir, que la entidad representa el 8.0% de las AGEB del SUN.

Al considerar el Índice de Marginación Urbana en este estudio, se abre la posibilidad de representar por medio de categorías de análisis espacial bien definidas la situación de la población en cuanto a carencias se refiere; y más aún a partir de cada uno de los indicadores que conforman dicho índice. Con ello, el objeto de estudio se define como el AGEB urbano, espacio socialmente construido y que a través de la representación cartográfica da cuenta de las condiciones de sus habitantes.

La importancia de considerar a nivel de AGEB nuestro objeto de estudio, radica en que los productos que se desprendan del análisis del Índice de Marginación

Urbana así como también de los elementos que se incorporen a esta metodología permitirán reconocer fenómenos y acciones ejercidas por parte de la población a niveles razonables para poder elaborar resultados objetivos y apegados a la realidad.

El uso de esta metodología sirve como un instrumento esencial para las demandas de la población. Así mismo, permite incorporar otros métodos de interés para los habitantes que le dan forma a la mínima categoría de estudio, la AGEB urbana, a partir de acciones que de igual forma impactan a la propia sociedad.

En síntesis, la AGEB urbana tiene la capacidad de caracterizar la condición de la población a escalas que permiten ver la articulación de la población en un tiempo definido.

### **3.5. Construcción de gráfica de correlación**

Con el fin de realizar una aplicación del método DRASTIC en los espacios socialmente contruidos y representados por las AGEB urbanas del Distrito Federal, en las cuales se ha proyectado el fenómeno del IMU, fue fundamental en primera instancia crear, analizar e interpretar una gráfica de correlación para que de esta forma la aplicación propuesta arrojara un resultado objetivo y útil para abordar la problemática del agua.

Por tal razón, se generó una gráfica de correlación que considera las clases Índice DRASTIC e IMU 2005, teniendo en cuenta que se compararon ambos índices de una misma unidad espacial considerada como el pixel, con el entendido de que toda la cartografía que se realizó en el presente trabajo académico, tiene el mismo formato que consiste en el tamaño de pixel de 90 m<sup>2</sup> y las coordenadas extremas acotadas por la división política del Distrito Federal del marco geoestadístico nacional de la versión 4.1. De esta forma se entiende que se está hablando de la misma unidad espacial para ambos índices.

Sin embargo, la mínima escala del IMU 2005 es un AGEB, con el entendido de que se representa por un polígono que contiene un índice particular. De esta manera, se convirtió el archivo de polígonos a raster, por lo que fue posible que cada área se constituya por varios pixeles de 90 m<sup>2</sup> con su información correspondiente de IMU 2005. Este procedimiento fue posible con la herramienta *Polygon to Raster* del programa ArcGIS.

La construcción de la gráfica permitió observar si existe o no la correlación entre las dos magnitudes y con una posterior interpretación se analizó la viabilidad de un mapa de espacios riesgosos a partir del resultado arrojado por las dos metodologías.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1.1. Dr

El resultado que ha arrojado la configuración de la profundidad del nivel estático representada en la figura 4.1 se caracteriza por tener en las partes altas localizadas en su mayoría al oeste y sur del Distrito Federal una profundidad mayor a 105 m, por lo que de acuerdo a la modificación de la teoría original propuesta por Aller *et al.* (1987), la variable Dr mostrará en estas áreas una susceptibilidad a ser afectado el acuífero por algún contaminante mínima, por lo que después de realizar el procedimiento correspondiente para obtener dicho parámetro, se registró el valor de 1 en una escala de 1 a 10 (ver figura 4.2.).

En contraste, dado que la profundidad del nivel estático está en función de la elevación del terreno, en las partes bajas se presenta una menor profundidad del nivel estático, de tal forma que el acuífero tiene una alta susceptibilidad de contaminarse debido a que el hidrocarburo puede recorrer menor distancia del nivel de terreno al nivel estático, considerando que la contaminación en la metodología se considera de manera vertical. A pesar de que la baja profundidad del nivel estático se presenta en un porcentaje de área del 10.0%, es importante considerarlo, puesto que dichas áreas se emplazan en partes altamente urbanizadas en donde la distribución de fuentes potenciales de contaminación abunda.

Finalmente, la distribución en porcentaje de este parámetro es la siguiente: la susceptibilidad muy baja representa la mayor parte del Distrito Federal con 57.6%, baja 6.1%, moderada 26.3%, alta 10.0% y muy alta 0.0%.

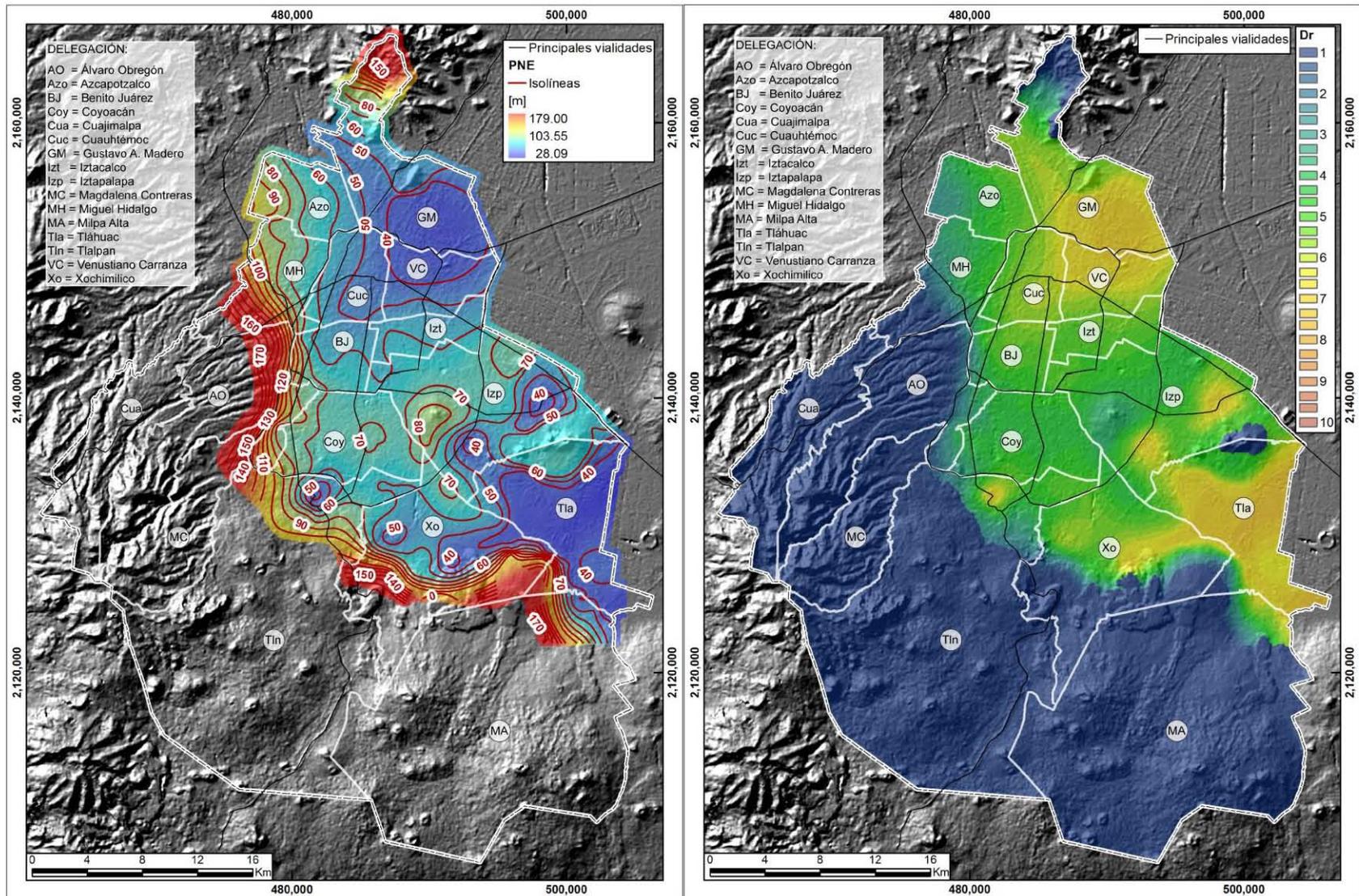


Figura 4.1. (Izquierda). El mapa muestra la configuración de la profundidad del nivel estático de 2010 (Elaboración propia con información de SACM 2010). Figura 4.2. (Derecha). Mapa de vulnerabilidad relativa de la profundidad del nivel estático de 2010 en donde el color azul con valor 1 representa menor susceptibilidad, y el color rojo con valor 10, indica mayor susceptibilidad de contaminación (Grupo de Hidrología, 2010).

#### 4.1.2. Rr

La recarga neta consiste en un proceso en el cual un volumen de agua por unidad de área ingresa al acuífero durante un periodo de tiempo, en su camino arrastra consigo muchas sustancias que por medio de la lixiviación y el transporte de contaminantes líquidos pueden afectar al acuífero. De esta manera cuanto más grande sea la recarga mayor oportunidad tendrán los contaminantes en llegar al acuífero.

Considerando lo anterior para el análisis del mapa de recarga neta obtenido de la metodología propuesta por Carrera-Hernández (2008), se observa que el intervalo de recarga varía de 0 a 421 mm/año y tiene el inconveniente de que fue realizada para la cuenca del Valle de México, por lo que al sur del Distrito Federal existe un área que no fue considerada. La menor recarga le corresponde un valor de 1 y a la mayor de 10 en términos de vulnerabilidad relativa.

Los valores máximos se encuentran en las partes altas, sin embargo, más que por los altos topográficos, la recarga se lleva a cabo por la litología permeable que se encuentra dentro del área de estudio en la sierra Chichinautzin presentando como valor máximo 331 mm/año, en la sierra del Ajusco con un máximo de 421 mm/año y en las estribaciones de la sierra de las Cruces con un máximo de 316 mm/año. En contraste, las áreas donde menor recarga neta llega a haber se encuentra generalizada por todo el Distrito Federal, la prueba de ello es que la zona con muy baja susceptibilidad de ser dañado el acuífero representado con 1 tiene un porcentaje de 77.8%; mientras que la suma de las zonas de alta y muy alta susceptibilidad representada con un valor de 10 cubre un área del 10.0%.

Finalmente, los porcentajes que definen las zonas susceptibles son las siguientes: muy baja 77.8%, baja 8.7%, moderada 3.6, alta 7.0% y muy alta 3.0%.

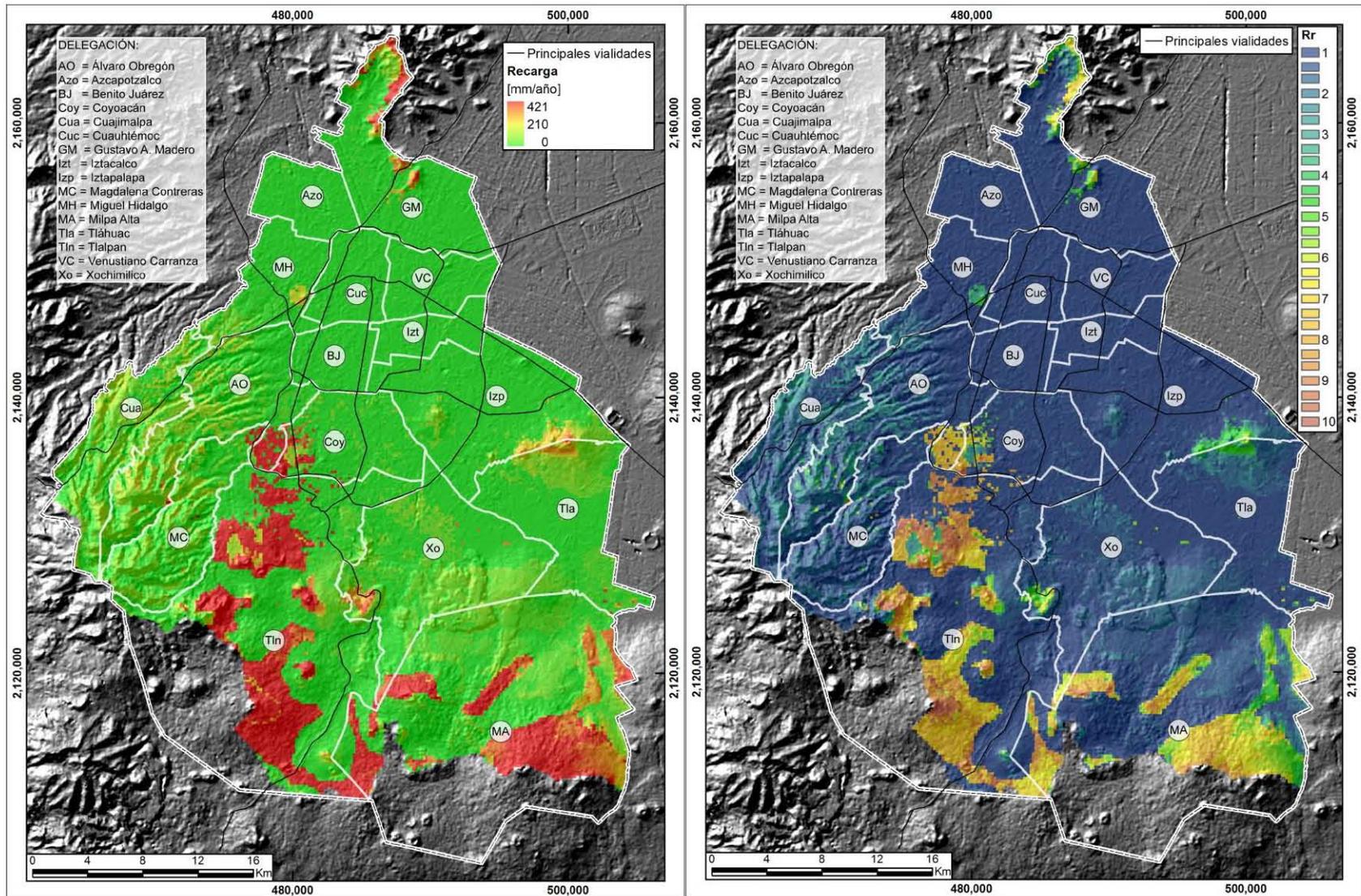


Figura 4.3. (Izquierda). Recarga neta obtenida a partir del balance diario de datos climatológicos de 2009(Carrera-Hernández, 2008). Figura 4.4. (Derecha). Mapa de vulnerabilidad relativa de la recarga neta, representada por la rampa de colores que va de azul a rojo y que atiende a la numeración de clases que va de 1 a 10 respectivamente, siendo más susceptible el acuífero en las clases mayores (Grupo de Hidrología, 2010).

#### **4.1.3. Ar**

Dado que la información con la cual se trabajó para obtener el mapa de vulnerabilidad en términos del medio acuífero, se obtuvo de la interpretación de los cortes litológicos, no se cubre toda el área del Distrito Federal tal y como lo muestra la figura 4.5., se recurrió a una configuración que abarcara el área de estudio.

De esta manera, se puede apreciar en la figura 4.6. la presencia de materiales con una baja oposición al transporte de las sustancias contaminantes por el tipo de granulometría y grado de compactación de la grava presente en partes de las delegaciones de Coyoacán, Benito Juárez, Miguel Hidalgo y Azcapotzalco, teniendo como consecuencia un valor de clase 9.

En contraste, es de resaltar que la mayor oposición a que se contamine el acuífero en términos del parámetro Ar, se encuentra donde se emplaza la arcilla principalmente al este y noreste del Distrito Federal. La presencia de las arcillas que dan razón de ser a las clases más bajas en el mapa, tienen una presencia aproximadamente en la misma proporción que las gravas con valor de 9.

Sin embargo, las clases con mayor presencia en el área de estudio están dentro del rango de clases 4 y 6 característicos de los materiales como el conglomerado, aglomerado y basalto, emplazándose principalmente en las sierras de Santa Catarina, las Cruces, el Ajusco y Chichinautzin.

Haciendo énfasis en el significado que tienen los materiales considerados en el parámetro que se describe, se obtuvo un porcentaje de distribución por zonas de susceptibilidad a partir de la reclasificación del mapa de clases definidas como muy baja, baja, moderada, alta y muy alta, dando como resultado los porcentajes 6.4%, 22.6%, 61.4%, 8.2%, y 1.4% respectivamente.

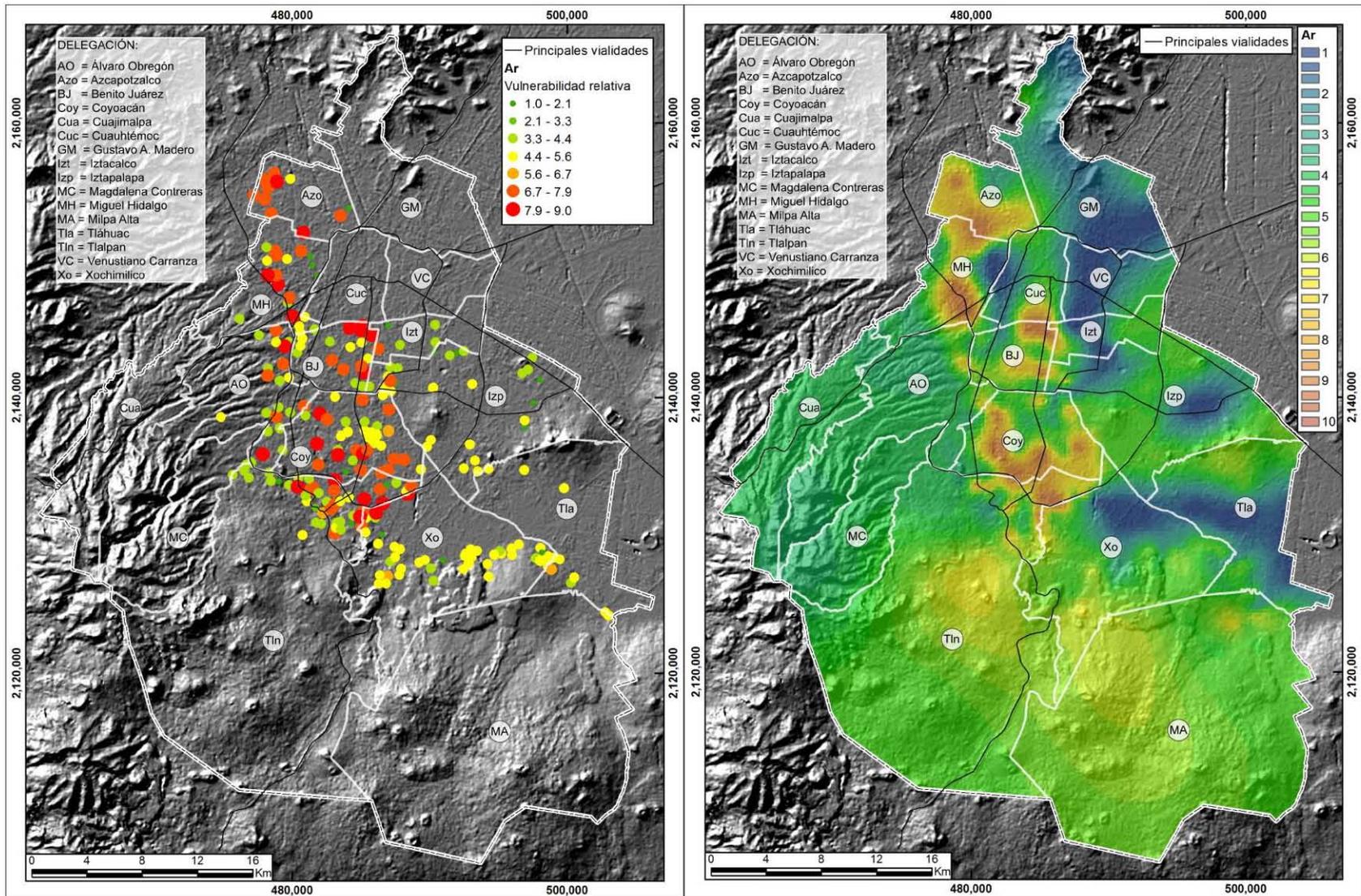


Figura 4.5. (Izquierda). Mapa de datos puntuales de vulnerabilidad relativa del medio acuífero de la cual se hizo una configuración (Grupo de Hidrogeología 2010). Figura 4.6. (Derecha). Mapa de vulnerabilidad relativa del medio acuífero, en donde el color azul con valor 1 representa menor susceptibilidad, y el color rojo con valor 10, indica mayor susceptibilidad de contaminación (Grupo de Hidrología, 2010).

#### **4.1.4. Sr**

En cuanto a la figura 4.8 referente a las clases asignadas para los diferentes suelos que se presentan, existe un contraste entre los valores al presentarse únicamente máximos de 7, 9 y 10 y mínimos de 1.

De acuerdo a la figura 4.7, en cuanto a los valores mínimos, responde a la distribución de arcillas no agregadas características de suelos como andosol, gleysol, histosol, luvisol y solonchak, ofreciendo de esta manera una protección al acuífero en las sierras y al este y noreste en las fronteras del Distrito Federal. Mientras que las arenas propias del suelo feozem que tienen una gran extensión por toda el área de estudio, principalmente al centro de la entidad en las partes bajas, representan poca oposición al flujo vertical de sustancias externas, por lo que la clase que las representa tiene un valor de 9; en tanto que el material fino o ausente y la grava propios de los suelos cambisol, litosol y regosol dan los valores de clase 10.

De esta manera, la distribución en porcentaje por zonas susceptibles producto de la agrupación de clases solo presenta muy baja de 32.4% y muy alta de 67.6%, ya que baja, moderada y alta no figuran dentro del área de estudio.

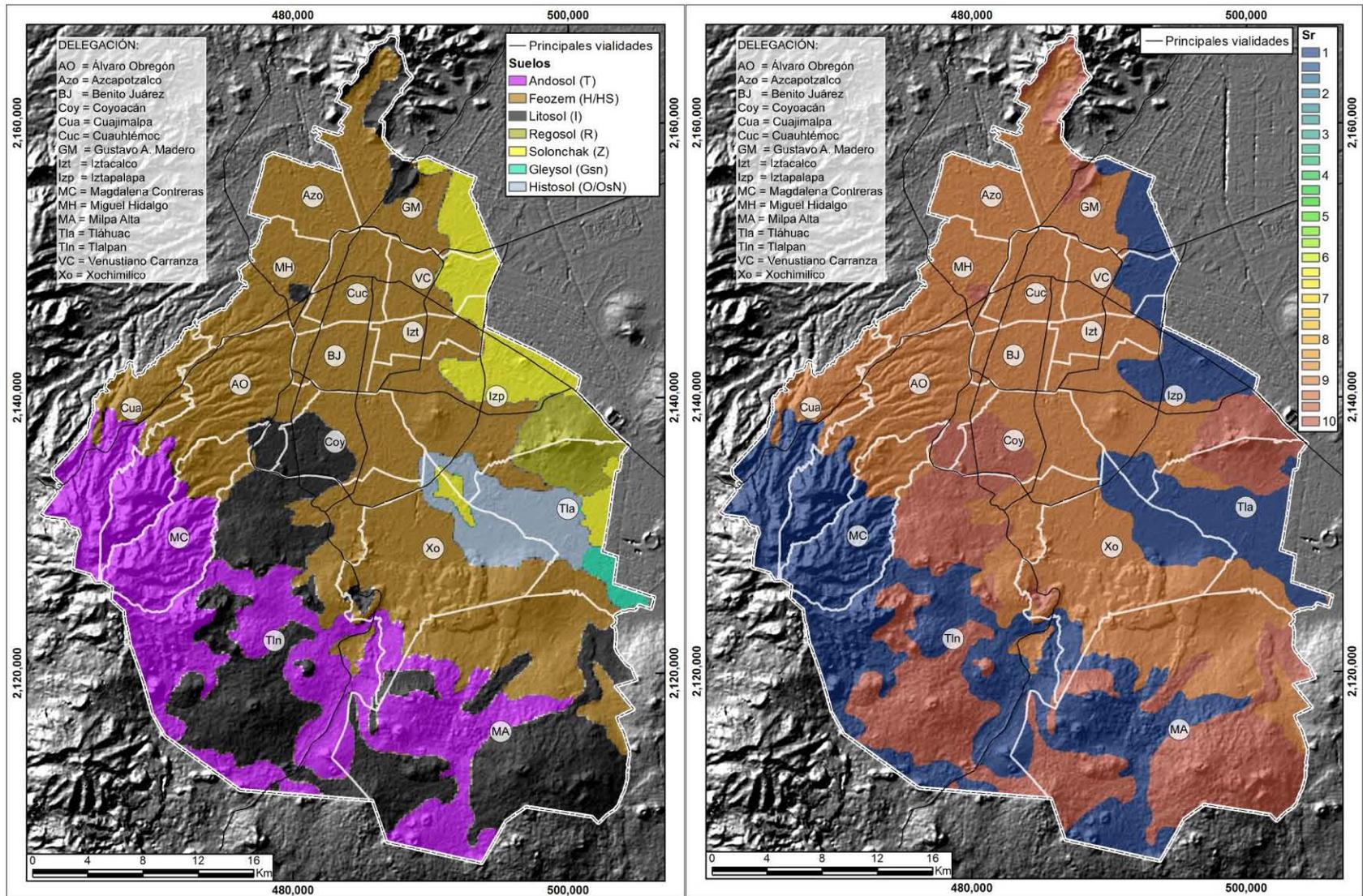


Figura 4.7. (Izquierda). Mapa de la zonificación de suelos de acuerdo a la clasificación del sistema FAO-UNESCO (INEGI, 2007). Figura 4.8. (Derecha) Vulnerabilidad relativa del suelo, en donde solo se presentan 3 valores distintos de susceptibilidad representados con los colores azul (valor de 1), naranja (valor de 9) y rojo (valor de 10) (Grupo de Hidrogeología, 2010).

#### **4.1.5. Tr**

La pendiente topográfica en términos de porcentaje del Distrito Federal representada en la figura 4.9., se caracteriza principalmente por tener dos grandes áreas. Por un lado, se encuentran las pendientes que en su mayoría son superiores al 18% ubicadas en las sierras de Guadalupe al norte, Santa Catarina al este, las Cruces al oeste y al sur la del Ajusco y las estribaciones del Chihinautzin; mientras que por otro lado, la segunda gran área presenta porcentajes de pendiente que van de 0% a 6% principalmente ubicada en el valle de la Ciudad de México acotada por las principales sierras, sin embargo, es posible encontrar algunos lugares con poca inclinación al sur de la entidad entre las zonas montañosas.

Con base a la descripción topográfica anterior, es posible comprender mejor la distribución de la susceptibilidad del acuífero en función de la pendiente topográfica, puesto que en las pendientes menores el flujo vertical de un contaminante tiene mayor posibilidad de penetrar a través del subsuelo al presentarse mayor tiempo en un mismo punto, por lo que tiene una mayor susceptibilidad de ser contaminado el acuífero. En contraste, donde las pendientes son mayores, el flujo vertical del contaminante tiene menor posibilidad de realizarse, por lo que la posible contaminación es menor. Ver figura 10.

De esta manera, la distribución de la vulnerabilidad relativa se presenta en términos de porcentaje a través del Distrito Federal de la siguiente manera: muy baja 22.4%, baja 13.5%, moderada 14.5%, alta 13.8% y muy alta 35.8%.

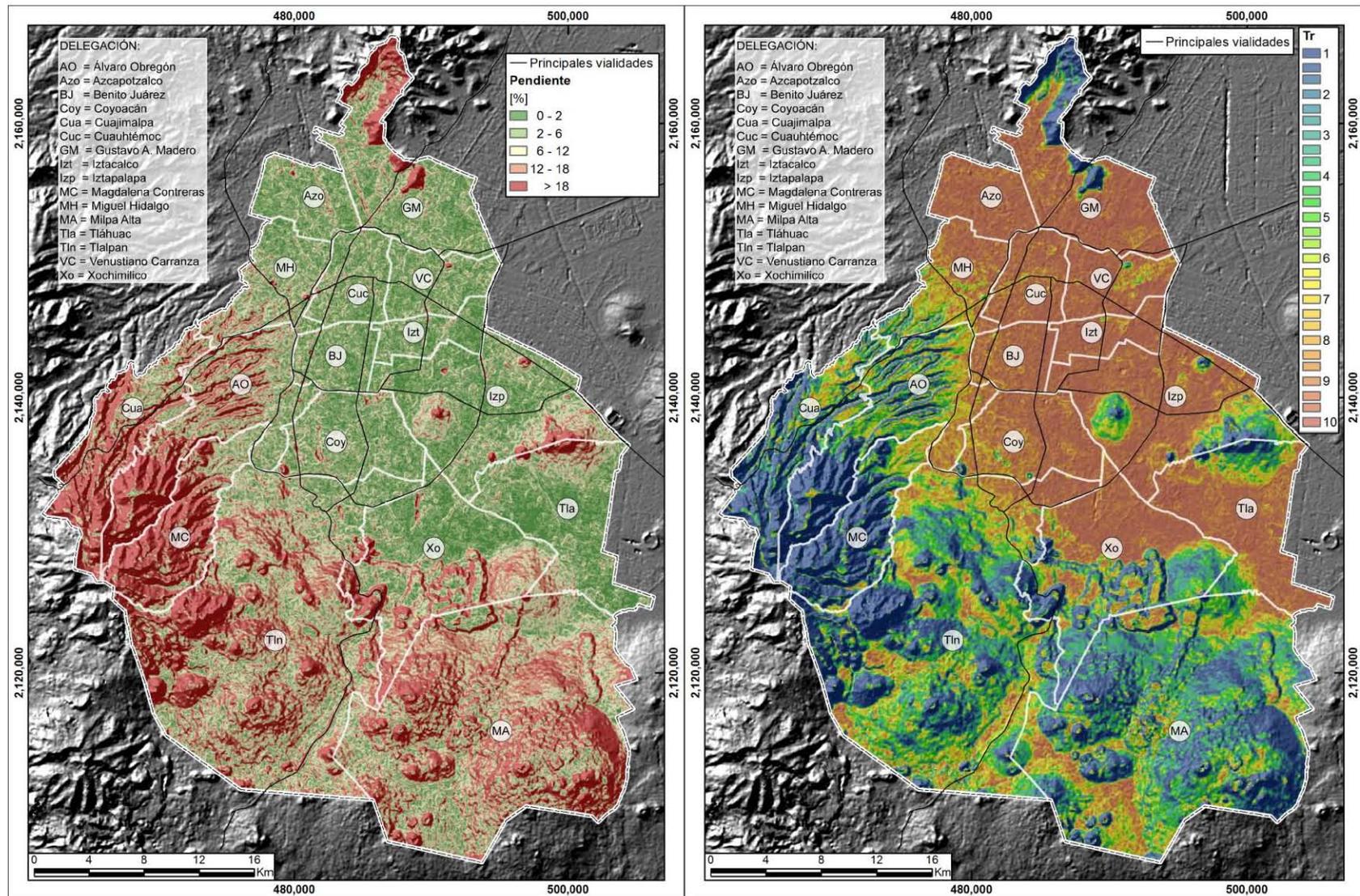


Figura 4.9. (Izquierda) Pendiente topográfica obtenida a partir del Modelo Digital de Elevación (ASTER, 2010). Figura 4.10. (Derecha). Mapa de vulnerabilidad relativa de la pendiente topográfica, en donde predomina el color rojo con valor de 10 en el valle del Distrito Federal indicando mayor susceptibilidad, en tanto que las clases más bajas predominan en las zonas abruptas del relieve (Grupo de Hidrología, 2010).

#### **4.1.6. Ir**

De igual forma que en el mapa de clases del medio acuífero, la forma de proceder para la obtención del impacto a la zona vadosa en términos de clases requirió de extender la configuración a las zonas que no cubría la distribución de los pozos, localizados en su mayoría a lo largo de las estribaciones de las sierras (figura 4.11.).

Analizando los resultados arrojados por en el mapa de la figura 4.12, a pesar de que existen materiales con alta permeabilidad que permiten en algún momento una fácil advección a través del medio, la forma de obtener las clases fue realizando una ponderación de cada espesor considerando el porcentaje de presencia de cada uno de los materiales, por lo que influyeron considerablemente los materiales que tienen un rango de clase entre 4 y 6.

De esta manera, la ubicación de los valores más altos en la figura 4.12 son menores a 9 y se encuentran localizados al centro del área de estudio, en tanto que existe una extensa zona en las partes altas con valores que no llegan a 7. Finalmente, es de resaltar que la presencia de arcillas ha sido decisiva para brindar una protección al acuífero, ya que en su mayoría los valores en términos de clases están por debajo de 3.

Para poner en términos cualitativos la distribución de clases, se han agrupado en 5 zonas de vulnerabilidad con su porcentaje de distribución correspondiente: muy baja 0.1%, baja 18%, moderada 59% y alta 23%, mientras que la categoría muy alta no tiene presencia.

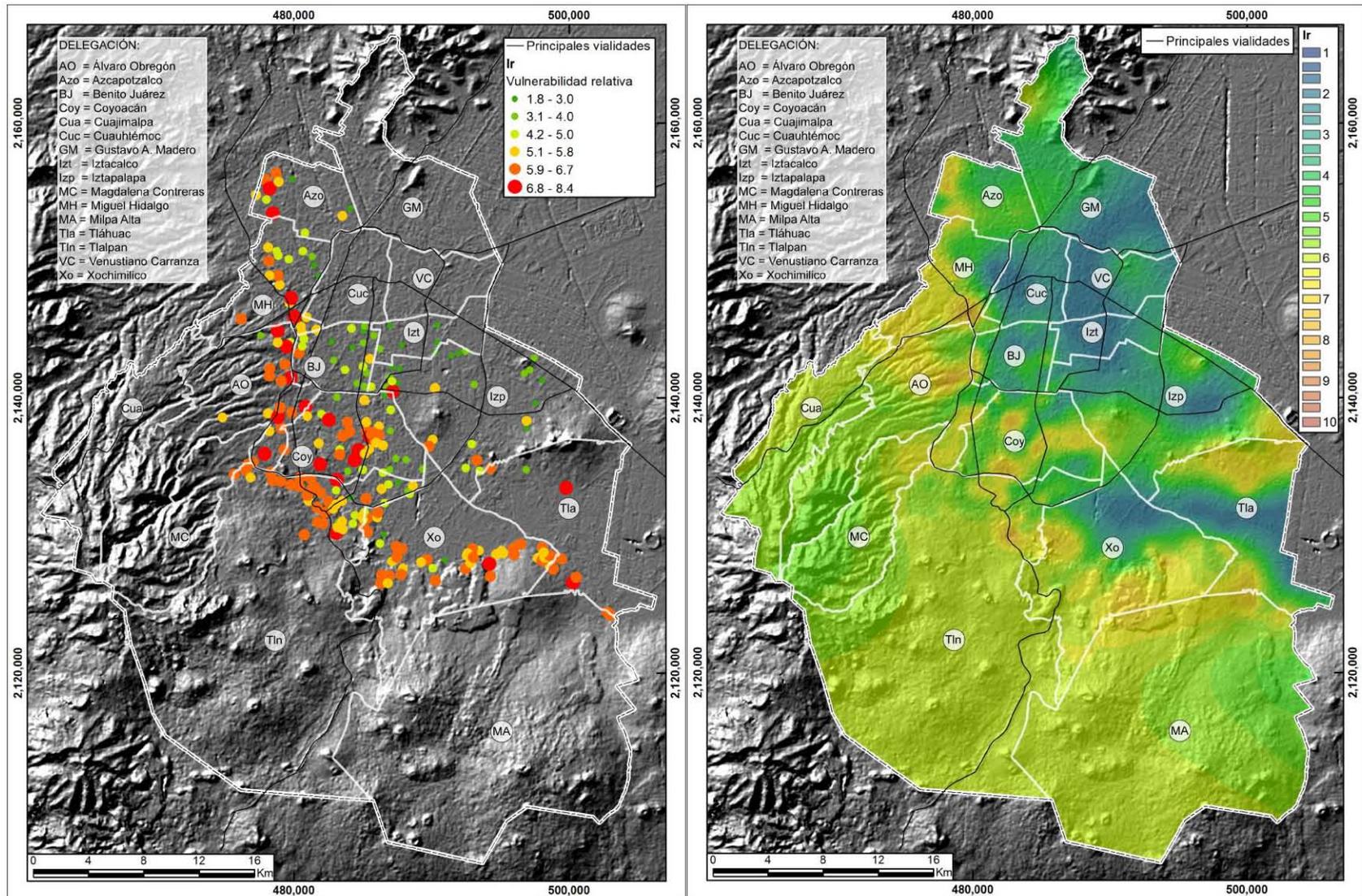


Figura 4.11. (Izquierda). Mapa de datos puntuales de vulnerabilidad relativa del impacto a la zona vadosa, obtenidos a partir de la ponderación del espesor de las diferentes unidades que presentó cada corte litológico tomando en cuenta la PNE (Grupo de Hidrogeología, 2010). Figura 4.12. (Derecha). Mapa de vulnerabilidad relativa del impacto a la zona vadosa, en donde predominan las clases de vulnerabilidad baja a intermedia con un rango de 2 a 6 (Grupo de Hidrogeología, 2010).

#### **4.1.7. Cr**

La configuración de la conductividad hidráulica se realizó con base a datos obtenidos de pruebas de bombeo, sin embargo, dichos datos con los que se trabajó son puntuales y no cubren todo el Distrito Federal, por lo que se infirió el resto del territorio tal y como lo muestra la figura 4.13 por medio de líneas punteadas. No obstante, la inferencia se llevó a cabo con base a la morfología y la geología. De esta manera se consiguió obtener una configuración completa de la entidad.

Considerando lo anterior, el mapa de conductividad hidráulica presenta los máximos valores en la sierra de Santa Catarina, entre la delegación de Coyoacán y Benito Juárez y en las inmediaciones de las delegaciones de Azcapotzalco y Gustavo A. Madero; mientras que en las sierras de Chichinautzin y el Ajusco se aprecia una amplia área con conductividades intermedias. En contraste, los valores mínimos se encuentran en su mayoría en la sierra de las Cruces y de manera puntual en la sierra de Guadalupe.

A pesar de la diferencia que existe entre las conductividades hidráulicas, en la figura 4.14 se presentan clases únicamente dentro del rango 1 y 4. Esto se debe a que de acuerdo a la metodología DRASTIC, dicho rango en términos de clases no representa los valores mayores a 4.

En resumen, los porcentajes de cobertura de cada una de las zonas de vulnerabilidad obtenidas a través del mapa de clases muestran que la zona de muy baja susceptibilidad tiene una extensión del 44.9%, la de baja de 52.9%, moderada de 2.2% y en cuanto a las zonas alta y muy alta no se presentan valores.

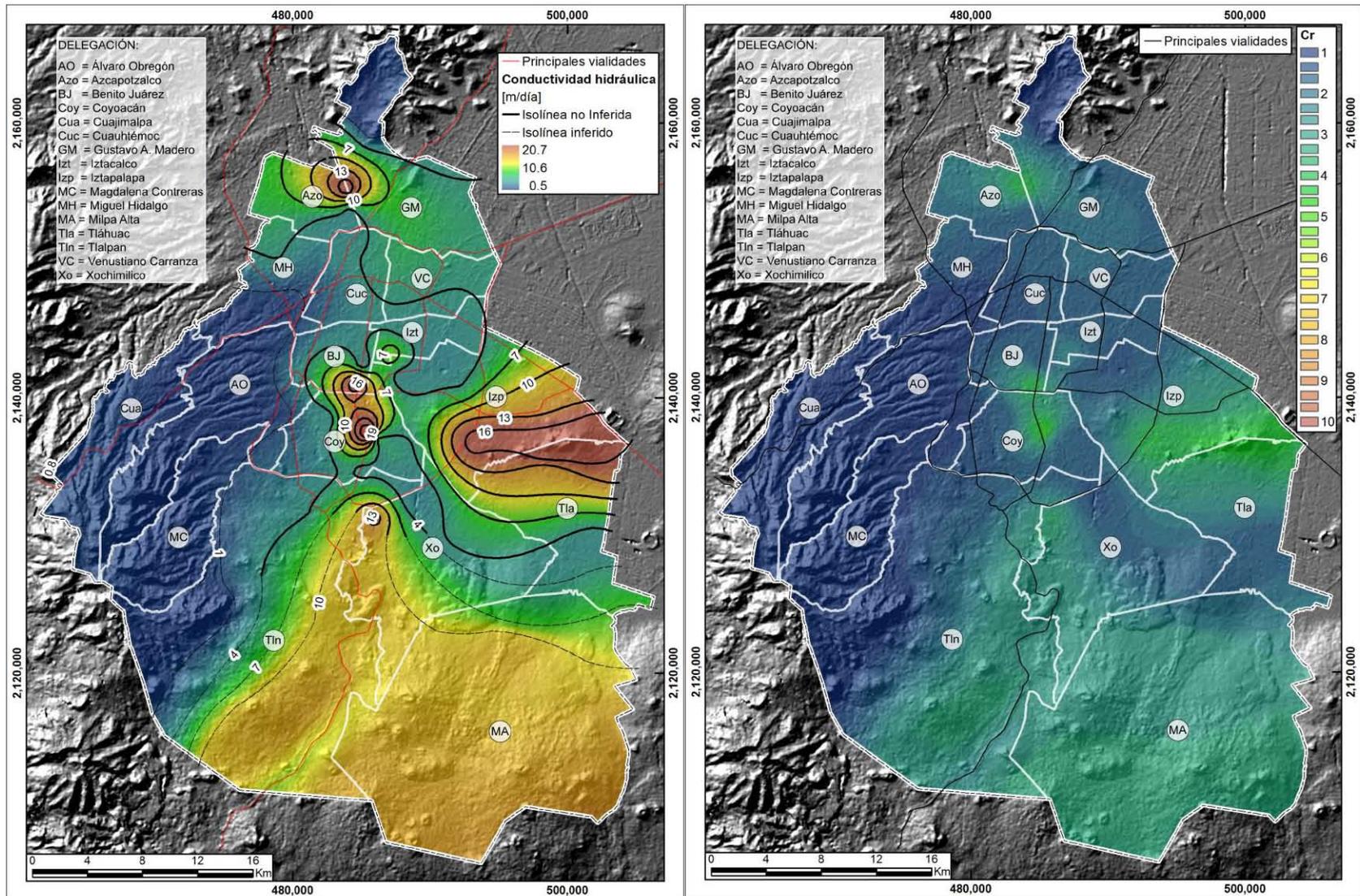


Figura 4.13. (Izquierda). Mapa de configuración de la conductividad hidráulica obtenida de pruebas de bombeo (SACM, 2005 y Grupo de Hidrogeología, 2010). Figura 4.14. (Derecha) Vulnerabilidad relativa de la conductividad hidráulica en donde solo se presentan clases menores a 4 dentro del Distrito Federal (Grupo de Hidrogeología, 2010).

#### **4.1.8. Índice DRASTIC y zonas de vulnerabilidad**

En la figura 4.15 se muestra el índice DRASTIC que se obtuvo de la multiplicación de cada una de las variables de la metodología por su valor correspondiente de ponderación y sumadas entre ellas. El resultado de lo anterior fue un mapa de índices que oscilan entre los 53.8 y 155.8 puntos. Los puntos donde se presentó un mayor índice son en las partes bajas de la sierra de Santa Catarina al igual que a los alrededores de la sierra del Ajusco y al centro del Distrito Federal en la delegación de Coyoacán. De esta manera, de acuerdo a la teoría del método, con el fin de poner en términos de vulnerabilidad el índice, fue necesario hacer una reclasificación de valores con lo que el índice menor representa el valor 1 y el índice mayor una clase de 10. Cabe resaltar que la influencia de los principales parámetros señalados así por su mayor ponderación como la profundidad del nivel estático, la recarga neta y el impacto a la zona vadosa, es evidente en el índice obtenido de la metodología por sus valores altos representados en el propio mapa. De esta manera es como se pueden ir dibujando las zonas de susceptibilidad del acuífero considerando que la zona de muy baja vulnerabilidad está entre el rango 53.81-65.12, la baja en un rango de 65.12-87.77, la moderada en 87.77-110.42, la alta en 110.42-133.07, y finalmente la zona muy alta es acotada por 133.07 y 155.77.

Finalmente, el mapa de zonas (figura 4.16.) revela que las zonas de muy alta vulnerabilidad se encuentran de manera mínima focalizadas en Coyoacán con un porcentaje del 0.1%; mientras que las altamente susceptibles se encuentran principalmente al sur de las estribaciones de la sierra de Santa Catarina, al suroeste de la delegación de Coyoacán y en una parte de la sierra del Chichinautzin con una extensión de área del 6.0%; en contraste con la zona moderada que se encuentra más generalizada pero al sur bien definida por la influencia de las clases altas de la recarga, de esta manera representa un porcentaje del 31.0%; finalmente, las zonas que en conjunto predominan son las de baja y muy baja vulnerabilidad sin un patrón aparente y con una presencia en porcentaje de 41.0% y 23.0% respectivamente.

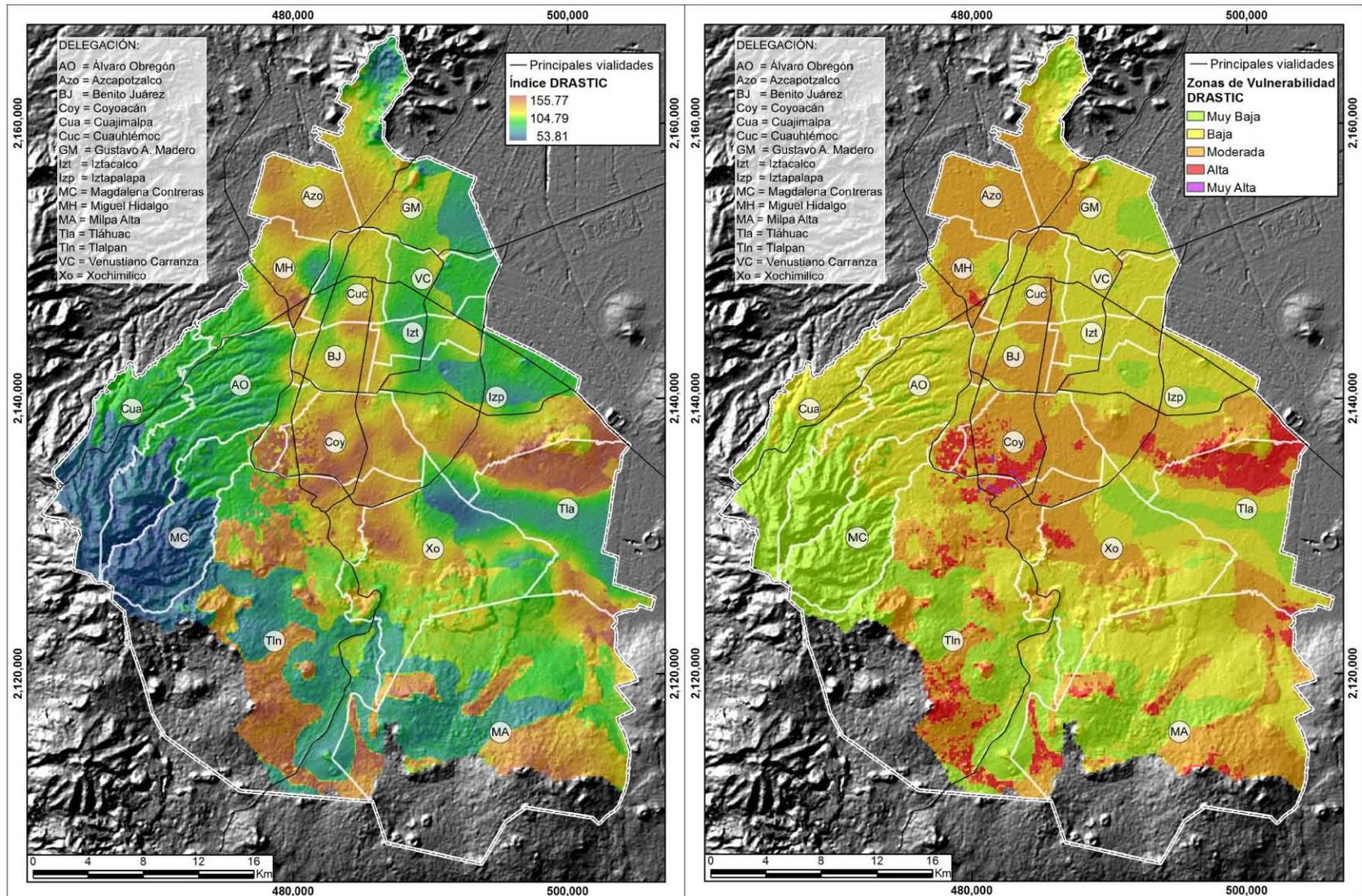


Figura 4.15. (Izquierda). Mapa que muestra el Índice DRASTIC producto de la suma de las siete variables ponderadas (Grupo de Hidrogeología, 2011). Figura 4.16. (Derecha). Mapa de las cinco zonas de vulnerabilidad DRASTIC posterior a la reclasificación del mapa de índice DRASTIC (Grupo de Hidrogeología, 2011).

## 4.2. IMU y grado de marginación

El índice de marginación urbana dentro del área de estudio va de -1.46703 a 2.09076 unidades, siendo el primer valor muy bajo y el último muy alto. De acuerdo a los mapas de las figuras 4.17 y 4.18, aunque no se puede establecer un patrón espacial del IMU, si se puede observar que los valores menores que representan un grado de marginación muy bajo se encuentran en su mayoría distribuidos en las delegaciones de Miguel Hidalgo, Benito Juárez y parte de Coyoacán, representando el 31.2%; sin embargo, la clase que más predomina dentro del área de estudio es el grado de marginación bajo con el 44.1% distribuido de manera más generalizada por el territorio. En cuanto a los grados de marginación medio, alto y muy alto, su presencia en la entidad es puntual, no obstante, los porcentajes varían de 16.7%, 6.9% y 1.1% respectivamente; estos se encuentran con mayor frecuencia en los alrededores de la ciudad, en especial en las estribaciones de las sierras de las Cruces, del Ajusco, Chichinautzin, Santa Catarina y de Guadalupe, aunque es posible encontrar algunas AGEB de estas características al interior de la ciudad. Es preciso mencionar que en la delegación Gustavo A. Madero se encuentra una de las AGEB con mayor índice de marginación del SUN con 2.09076 unidades.

En la tabla 4.1 se muestra la estratificación de los índices de marginación del área de estudio de acuerdo al grado de marginación y el porcentaje que cubre con respecto al total de AGEB del DF.

*Tabla 4.1. Estratificación del índice de marginación urbana.  
Fuente: Elaboración propia con datos del IMU 2005*

Grado de marginación	AGEB perteneciente al SUN	Porcentaje con respecto al total de AGEB [%]	Límites del intervalo	
			Inferior	Superior
Muy Bajo	733	31.2	-1.46703	-1.00944
Bajo	1,038	44.1	-1.00512	-0.45859
Medio	392	16.7	-0.45675	0.09267
Alto	162	6.9	0.09777	0.90573
Muy Alto	27	1.1	0.94608	2.09076

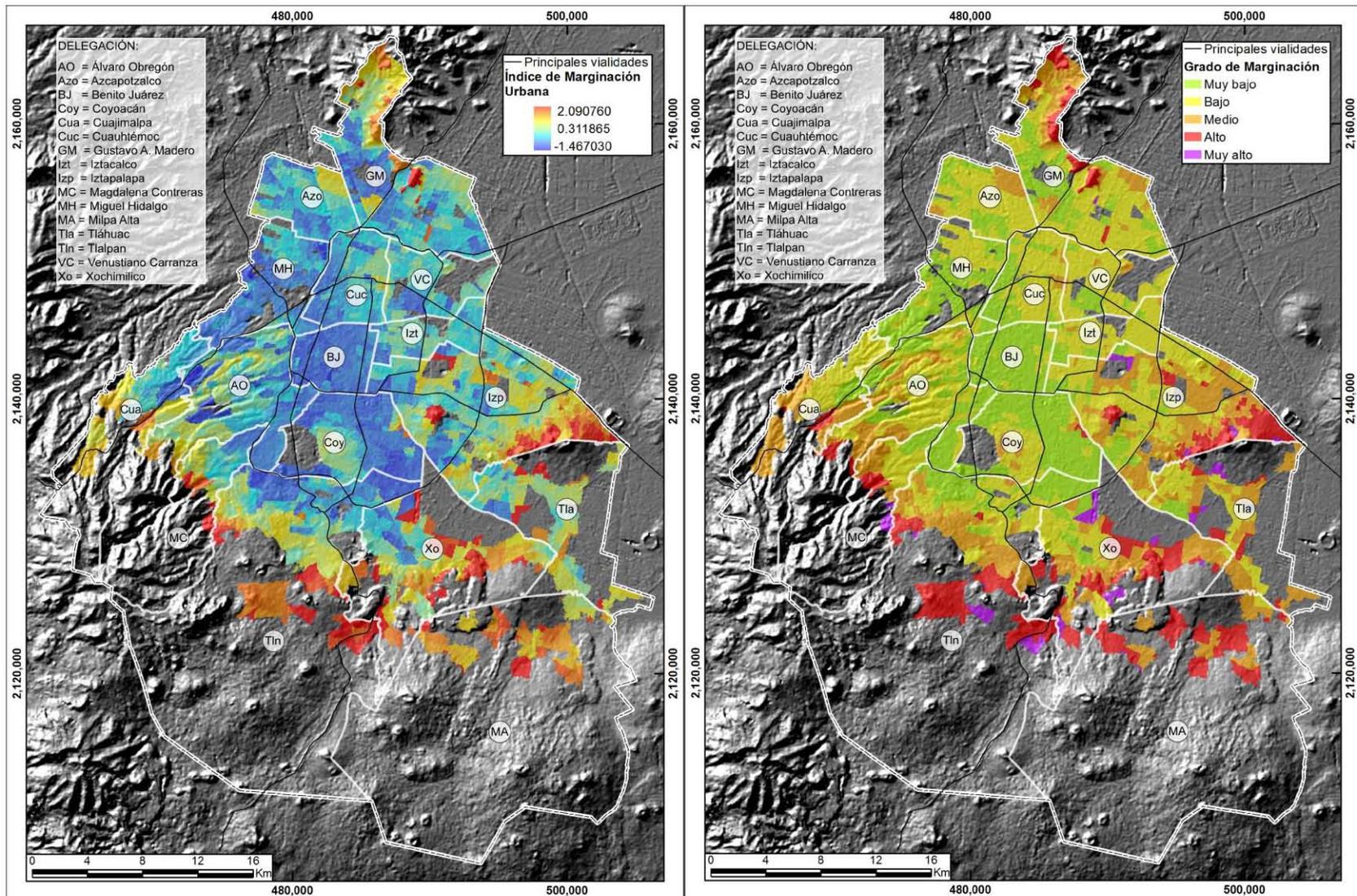


Figura 4.17. (Izquierda) Mapa de índice de marginación urbana que representa en color azul correspondiente a valores bajos las áreas con menor índice de marginación, en tanto que los valores altos señalados en rojo responden a áreas con alto índice marginal (Elaboración propia con información de IMU 2005). Figura 4.18. (Derecha) Mapa de grado de marginación con cinco intervalos definidos por las categorías muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (Elaboración propia con información de IMU2010).

### 4.3. Correlación de variables

La correlación que se llevó a cabo entre las variables Índice DRASTIC e IMU (Figura 4.19.), indica que la línea de tendencia de tipo lineal es negativa y el índice de correlación es de 0.0349. La rampa de colores de los valores de la gráfica de correlación está en función de los valores del IMU, en donde el color rojo pertenece al grado más alto de marginación, mientras que el color azul fuerte representa el grado de marginación más bajo, pasando por los colores naranja, amarillo y azul claro. El índice de correlación quiere decir que la relación no es lo suficientemente fuerte entre las variables, por lo que es necesario mencionar algunas ideas que expliquen esta situación:

- a) Las variables tienen distintos objetos de estudio, ya que la metodología DRASTIC se enfoca a la caracterización del acuífero, mientras que el IMU contempla las variables relacionadas con las carencias de la población para su desarrollo.
- b) La mínima unidad que se utilizó como precisión en el índice de cada una de las metodologías fue diferente, ya que para DRASTIC se manejó un píxel de 90 m por lado, mientras que para el IMU fue a nivel de AGEBA, es decir, con un área variable que está en función de la densidad de población. Esto, aunado al punto anterior, sin duda puede significar una limitante en el procedimiento de correlacionar las variables por falta de precisión al manejar diferentes escalas.
- c) La gráfica presenta dos sectores delimitados por el óvalo 1 y 2 que representan valores fuera de la distribución general que existe, por lo que a continuación se analizarán.

En primera instancia, dentro del óvalo 1 se observa que existen valores altos del índice DRASTIC (entre 130 y 155 puntos), en tanto que en el mismo sitio se presentan valores de IMU que están entre los intervalos de Media, Baja y Muy Baja vulnerabilidad, y que a pesar de que se encuentran focalizados en su mayoría entre la delimitación delegacional de Coyoacán y

Tlalpan como se observa en el mapa de la figura 4.18 (en color azul fuerte, azul claro, amarillo y naranja), más allá de ser una relación, lo más adecuado es interpretar esta situación como coincidente, debido a que el índice de marginación que se presenta en esta área cubre un rango amplio que consta de tres intervalos de los cinco planteados por la metodología.

En contraste con el óvalo 1, en el 2 se encuentran los índices más elevados que pertenecen al intervalo de muy alto grado de marginación. Presentan en su mayoría valores de índice DRASTIC menores a 95 puntos y no muestran ningún patrón, tal y como se observa de igual forma en la figura 4.18 en color rojo).

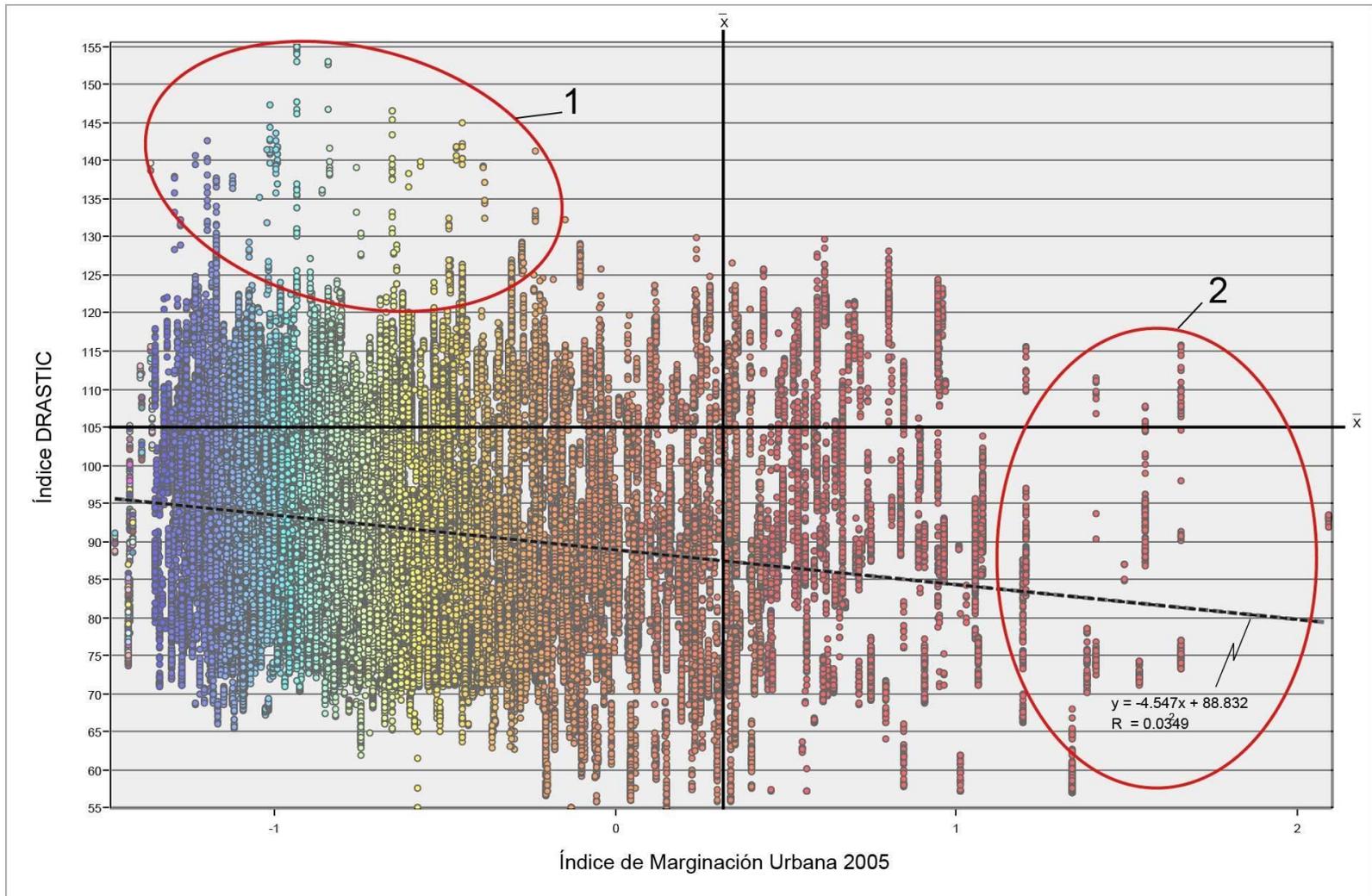


Figura 4.19. Gráfica de correlación entre las metodologías IMU e Índice DRASTIC en donde se representan los valores medios de cada una y la línea de tendencia de la gráfica.

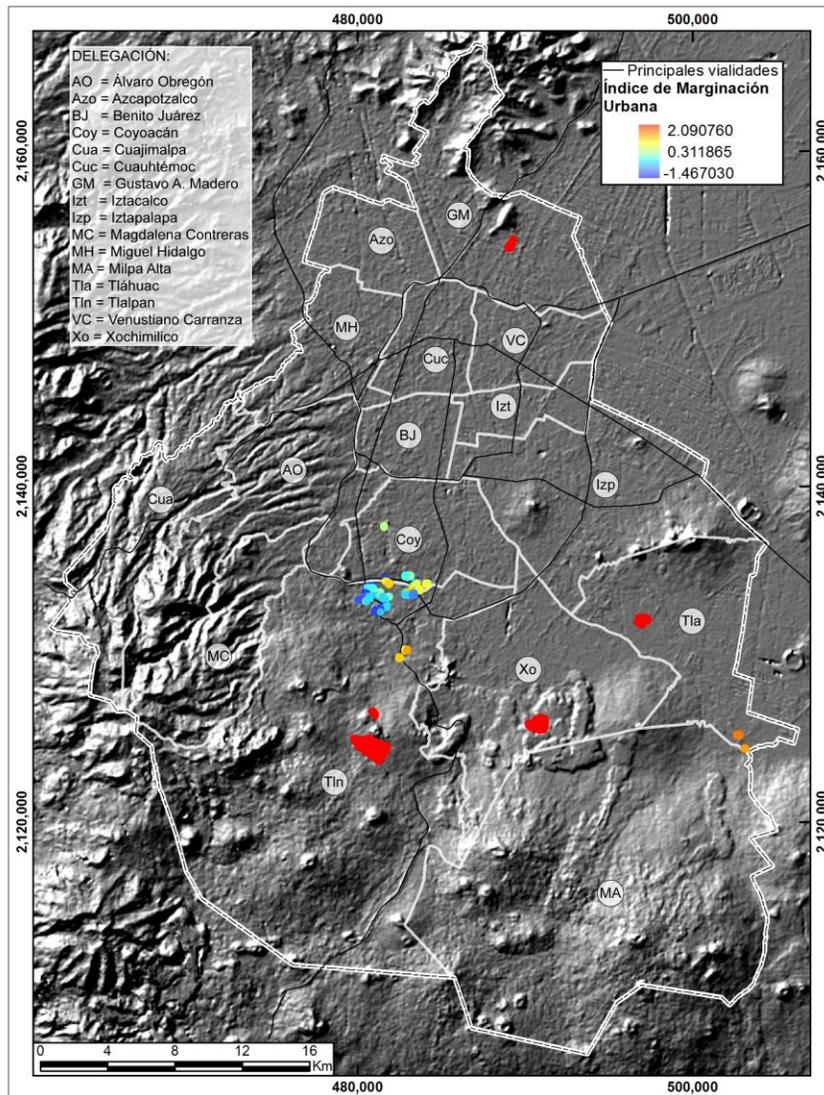


Figura 4.19. Distribución espacial de valores IMU que en la figura 4.19. son dispersos

## CONCLUSIONES

Finalmente, vale reflexionar con respecto al corto tiempo por el que ha pasado la *visión alternativa* discutiendo sobre los conceptos vulnerabilidad, riesgo, amenaza y desastre, frente a la *visión tradicional*. Es por eso que aún es complicado conocer las teorías y objetos de estudio de la *visión alternativa* por la poca difusión, aunado a que dentro del debate de esta corriente, algunos autores pueden verse en la disyuntiva de si es necesario acompañar estos principales conceptos con el adjetivo “naturales”. Quizá esto pudo haber complicado la investigación del presente trabajo académico, sin embargo, fue de vital importancia conocer los diversos paradigmas de las dos corrientes antagónicas para desarrollar una posición teórica.

Con respecto al área de estudio, de acuerdo a la crónica escrita y a la discusión de las diferentes corrientes de los principales conceptos en torno a los que gira este trabajo, se puede argumentar que el proceso urbano por el que ha pasado a lo largo del tiempo la ciudad de México, en gran medida ha influido en la construcción de las vulnerabilidades de la población, lo cual entre otras cosas, ha agravado el problema para el abasto del agua al estar en riesgo las fuentes de suministro por la contaminación de hidrocarburos almacenados en las estaciones de servicio.

En tanto que el apartado de las metodologías empleadas en la tesis permitió entender desde perspectivas diferentes la situación en la que prevalece el Distrito Federal. Lo cual de principio es fundamental para desarrollar estrategias para la solución en el abasto del agua dentro de la ciudad de México, en donde la contaminación del vital líquido puede ser un factor importante que agudice la problemática por la que está pasando la ciudadanía.

Sin embargo, a partir del resultado obtenido por medio de la gráfica de correlación, se puede concluir que es necesario profundizar en el tema con el fin de poder plantear un procedimiento que tome dos visiones, una de corte social y otra de corte hidrogeológico.

De esta manera, el que se haya comprobado que la correlación entre la susceptibilidad de contaminación del acuífero y la vulnerabilidad social de los habitantes, no es lo suficientemente fuerte, de ninguna manera es motivo para abstenerse de considerar su manejo de manera conjunta. Es decir, a pesar de que se emplearon metodologías con objetos de estudio diferentes, se concluye que es fundamental considerarlas para un análisis integral a mayor detalle con la intención de tener un aporte relevante dentro del tema de la sociedad y el agua.

Así, en lugar de buscar una correlación entre las dos metodologías para obtener un resultado concreto, es preciso desarrollar una estrategia consistente en donde, con base a la discusión de los conceptos con una visión alternativa rescatada del primer apartado se puedan proponer análisis tanto cuantitativos como cualitativos considerando la configuración del territorio y los resultados de las diferentes metodologías como insumos potenciales para la consideración de diferentes variables.

Por tal motivo, es importante identificar aquellos espacios en donde la población se vea más susceptible por tal proceso. Para ello considerar los puntos donde existe mayor concentración de estaciones de servicio y en los que exista mayor probabilidad de que se contamine el acuífero por dichas fuentes potenciales, puede ser el primer paso a seguir en las futuras líneas de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBROS Y ARTÍCULOS

Abad y Servín, Luis. 1978. *Introducción al muestreo*. Limusa. Distrito Federal, México.

Aller, L et al. 1987. *DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hidrogeologic settings*. Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035. Estados Unidos de Norteamérica.

Altamirano, Efraín y Fernández, Georgina. 2001. *Informes Técnicos. Prácticas apropiadas para medir los riesgos ambientales por el manejo de gasolina en estaciones de servicio*. CENAPRED. Distrito Federal, México.

Anzaldo, Carlos y Prado, Minerva. 2005. *Índice de marginación urbana 2005*. Consejo Nacional de Población. Distrito Federal, México

Arqueología Mexicana. 2009. *Ciudad de México. Guía Arqueológica*. 33, Edición especial. Distrito Federal, México.

Bisquerra, Rafael. 1989. *Introducción conceptual al análisis multivariable. Un enfoque informático con los paquetes SPSS-X, BMDP, LISREL y ALAS*. Promociones y publicaciones universitarias. Volumen I. Barcelona, España.

Blaikie et al. 1994. *At Risk. Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledge. Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica.

Caire, Jorge. 2002. *Cartografía Básica*. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Distrito Federal, México.

Calderón, Georgina. 2001. *Construcción y reconstrucción del desastre*. Plaza y Valdés. Distrito Federal, México.

Cardona, Omar. 1991. *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo*. Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres. Bogotá, Colombia.

Cardona, Omar. 1993. "Manejo ambiental y prevención de desastres: dos temas asociados privado", en: Maskrey, Andrew. *Los desastres no son naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Panamá, Panamá.

Cardona, Omar. 2003. *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una Crítica y una Revisión Necesaria para la Gestión*. Centro de Estudios Sobre Desastres y Riesgos CEDERI, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

Cardona, Omar. Sin fecha. *Midiendo lo inmedible*. Universidad de los Andes, 60-65. Bogotá, Colombia.

Celis, Bastián. 2008. *Contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa*. Universidad de Concepción, 20-29. Concepción, Chile.

CENAPRED. 2001. *Diagnóstico de peligros de identificación de riesgos de desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana*. CENAPRED. Distrito Federal, México.

Cunill, Pedro. 2004. *Las transformaciones del espacio geohistórico latinoamericano, 1960-1990*. El Colegio de México. Distrito Federal, México.

DIRN. 1996. *Ciudades en peligro. Ciudades más seguras... antes de un desastre*. Naciones Unidas. Nápoles, Italia.

Duglas, Mary y Wildavsky, Aaron. 1997. *Risk and Culture*. University of California Press. Estados Unidos de América.

Dynes, Russell. 1999. *The dialogue between Voltaire and Rousseau on the Lisbon earthquake: The emergence of a social science view*. Disaster Research Center, University of Delaware. Delaware, Estados Unidos de América.

Egúsquiza, Rolando et al. Sin fecha. *Amenazas y planes de mitigación de cultivos nativos y sus parientes silvestres*. Gobierno del Perú. Perú.

Galindo y Villa, Jesús. 1925. *Historia sumaria de la Ciudad de México*. Cultura. Distrito Federal, México.

García, Virginia. 2005. *El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos*. Desacatos (19), 11-24. Distrito Federal, México.

Garza, Gustavo. 1999. *Desconcentración tecnológica y localización industrial en México*. El Colegio de México. Distrito Federal, México.

Garza, Gustavo. 1985. *Proceso de industrialización en la ciudad de México (1821-1970)*. Colegio de México. Distrito Federal, México.

Garza, Mario y Rodríguez, Daniel. 2001. *Los Desastres en México. Una perspectiva multidisciplinaria*. Universidad Iberoamericana. Distrito Federal, México.

Giménez, Gilberto. 2007. *El desierto como territorio, paisaje y referente de identidad*. Culturales, enero-junio, volumen III, número 005. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, México.

Gobierno del Distrito Federal. 2007. Programa de manejo sustentable del agua para la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal. Distrito Federal, México.

Goya, Jésica. 2011. *Distribución espacial de la vulnerabilidad del acuífero de abastecimiento de la ciudad de México aplicando la Metodología DRASTIC*. TESIS. Facultad de Ingeniería, UNAM. Distrito Federal, México.

Gutiérrez, Javier y Gould, Michael. 2000. *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Síntesis. Madrid, España.

Gutiérrez, María; González, Jorge y Zamorano, José. 2005. *La Cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales*. Instituto de Geografía. Distrito Federal, México.

Hernández, Antonio et al. 2013. *DRASTIC-Sg Model, a new extension to the standard DRASTIC approach for mapping groundwater vulnerability in urban*

*aquifers subject to differential land subsidence. Application to Mexico City.* Hydrogeology Journal. Manuscrito aceptado (1/enero/2014), en Prensa.

Hernández, Héctor. 2004. "Historia política de la Delegación Xochimilco 1929-2004", en: Terrones, María Eugenia. 2004. *A la orilla del agua. Política, urbanización y medio ambiente. Historia de Xochimilco en el siglo XX.* Mora. Distrito Federal, México.

Hewitt, Kenneth. 1983. *Interpretations of Calamity: From the Viewpoint of Human Ecology.* Allen and Unwin. Boston, Estados Unidos de Norteamérica.

Hewitt, Kenneth. 1995. *Excluded Perspectives in the Social Construction of Disaster.* International Journal of Mass Emergencies and Disasters. Waterloo, Canadá.

Hewitt, Kenneth. 1997. *Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters.* Longman Pub Group. Inglaterra.

Iracheta, Alfonso. 1992. "Transformaciones regionales: la megalópolis de la Ciudad de México", en: Panadero, Miguel et al. 1992. *América Latina: La cuestión regional.* Universidad de Castilla-La Mancha. España.

Izazola, Haydea. 2001. *Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México.* Estudios Demográficos y Urbanos. Colegio de México. Distrito Federal, México.

Johnson, Steven. 2008. *El mapa fantasma. La historia real de la epidemia más terrorífica vivida en Londres.* Ediciones Kantolla. España.

Lavell, Allan. 1999. *Un encuentro con la verdad: Los desastres en América Latina durante 1998.* Anuario Político y Social de América Latina. Distrito Federal, México.

Lavell, Allan. 2000. "Desastres durante una Década: Lecciones y avances conceptuales y prácticos en América Latina (1990-1999)", en: *Anuario Política y Social de América Latina*, número 3, 2000. Secretaría General de la FLACSO.

Lavell, Allan. 2000. *Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición*. 22.

Ley, Judith y Calderón Georgina. 2008. *De la vulnerabilidad a la producción del riesgo en las tres primeras décadas de la ciudad de Mexicali*. *Región y Sociedad*, Colegio de Sonora, 41, 145-173. Hermosillo, México.

Maskrey, Andrew. 1989. *El manejo popular de los desastres naturales. Estudios de vulnerabilidad y mitigación*. Tecnología Intermedia. Lima, Perú.

Maskrey, Andrew. 1993. *Los desastres no son naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Panamá, Panamá.

Méndez, Ricardo. 1997. *Geografía Económica, La lógica espacial del capitalismo global*. Ariel. Barcelona, España.

Miranda, Sergio. 2008. *La creación del Departamento del Distrito Federal. Urbanización, política y cambio institucional*. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.

Musset, Alain. 1992. *El agua en el Valle de México. Siglos XVI-XVIII*. Pórtico de la Ciudad de México. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos. Distrito Federal, México.

Oliver-Smith, Anthony. 2002. "Theorizing Disasters. Nature, Power, and Culture?", en: Hoffman, Susanna y Oliver-Smith. *Catastrophe and Culture: The Anthropology of Disaster*. School of American Research.

Peña, Daniel. 2002. *Análisis de datos multivariantes*. Mc Graw Hill / Interamericana de España. Madrid, España.

Pérez, Enrique et al. 2011. *Suelos de Conservación del Distrito Federal. ¿Hacia una gestión y manejo sustentable?*. Estudios Urbanos Serie. Distrito Federal, México.

Ramos, José. 2005. *Curso de vulnerabilidad acuífera e índices de calidad del agua*. IPICYT. San Luis Potosí, México.

Salas, Julián. 2007. *Vulnerabilidad, pobreza y desastres 'socionaturales' en Centroamérica y el Caribe*. Informes de la Construcción. España.

Santoyo, Enrique *et al.* 2005. *Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México*. TGC. Distrito Federal, México.

Serra, Mari Carmen. 1990. "El pasado, ¿una forma de acercarnos al futuro? 25 mil años de asentamientos en la cuenca de México", en: J. Kumate y M. Mazarí. *Problemas de la Cuenca de México*. El Colegio Nacional. Distrito Federal, México.

UNDRO. 1979. *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*. Report of Experts Group Meeting. Ginebra, Suiza.

Wilches-Chaux, Gustavo. 1993. "La vulnerabilidad global", en: Maskrey, Andrew. *Los desastres no son naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Colombia.

Zapata, Ricardo y Mora, Sergio. 2000. Un tema del desarrollo: La reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres. CEPAL y BID. México.

Zuk, Miriam *et al.* 2010. *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México.

## VÍNCULOS DE INTERNET

Consultada el 11 de marzo de 2011, de

[www.atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=278&Itemid=467](http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=278&Itemid=467)

Consultada el 6 de abril de 2011, de

<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>

Consultada el 1 de julio de 2012 en

[http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices\\_margina/IMU2005/IMU2005\\_principal.pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/IMU2005/IMU2005_principal.pdf)

Consultada el 20 de julio de 2012 en

[http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/cartocen/cartocen.cfm?  
c=334](http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/cartocen/cartocen.cfm?c=334)

Consultada el 3 de junio de 2013 en

<http://www.unocha.org/about-us/who-we-are/history>

Consultada el 11 de junio de 2013 en

<http://www.inegi.org.mx/sistemas/microdatos2/default.aspx?c=14648&s=est>

Consultada el 20 de julio de 2013 en

<http://www.jornada.unam.mx/2011/08/01/capital/029n1cap>

Consultada el 21 de diciembre de 2013 en

[http://cuidarelaqua.df.gob.mx/pdf/infografia\\_balance\\_agua2.pdf](http://cuidarelaqua.df.gob.mx/pdf/infografia_balance_agua2.pdf)

Consultada el 21 de diciembre de 2013 en

<http://www.finanzas.df.gob.mx/IDS/tablasValores.pdf>

Consultada el 23 de diciembre de 2013 en

[http://www.cenapred.unam.mx/es/AnalisisYGestionDeRiesgos/RQuimicos/Laborat  
orioDeMuestrasAmbientales/](http://www.cenapred.unam.mx/es/AnalisisYGestionDeRiesgos/RQuimicos/LaboratorioDeMuestrasAmbientales/)