



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN GEOGRAFÍA
Facultad de Filosofía y Letras
Instituto de Geografía

Análisis Socio-Espacial de la Demanda por Uso Doméstico de Agua en la Ciudad de México

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:
ARTURO RAMOS BUENO

DRA. MARÍA PEREVOCHTCHIKOVA
Centro de Estudios Demográficos Urbanos y Ambientales, COLMEX

DR. HEEJUN CHANG (Departamento de Geografía, Universidad Estatal de Portland)
DRA. MARÍA VERÓNICA IBARRA GARCÍA (Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras)
MTRO. ARMANDO GARCÍA DE LEÓN LOZA (Instituto de Geografía)
DR. MANUEL SUÁREZ LASTRA (Instituto de Geografía)

Ciudad de México, septiembre de 2016



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.

Resumen

La presente investigación es un caso de aplicación de la Geografía Global para comprender de forma general y espacial la demanda por uso doméstico de agua, conceptualizada como un proceso, en las colonias que conforman la Ciudad de México.

El marco que sustenta este trabajo es, por una parte, el paradigma de la Geotecnología y el uso de los Sistemas de Información Geográfica, a través de los cuales se introducen los conceptos de la Gestión Integrada del Agua Urbana y la Gestión de la demanda, estructurados en un sistema socio-técnico de tres niveles, donde se resalta el papel que juegan las viviendas en una parte del ciclo urbano del agua. Se realizaron los siguientes análisis:

El primero aborda el proceso de manera bimestral para toda el área de estudio en general para toda la ciudad y se relaciona con la cantidad de agua almacenada en el Sistema Cutzamala para el periodo de 2008-2012.

En el segundo análisis muestra la demanda en forma de proporciones bimestrales con respecto al total anual promedio para el periodo 2008-2012. Dichas proporciones fueron cartografiadas, para medir la autocorrelación espacial univariada, que permite detectar patrones de tipo espacial para cada uno de los bimestres.

El tercer análisis corresponde a la comparación de tres modelos explicativos: la regresión lineal múltiple, el *Spatial Lag* y el *Spatial Error*, con los que se estimó la significancia de los coeficientes de las variables explicativas para la demanda por uso doméstico de agua en su forma bruta y en términos *per cápita* a nivel colonia. Se presentan también las autocorrelaciones bivariadas entre la variable dependiente, en sus dos formas, y el resto de factores que se estudiaron.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el pago de la beca mensual que recibí de agosto de 2013 a julio de 2015, así como la posibilidad de realizar una estancia en el extranjero durante periodo en el que fui alumno del Posgrado en Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Proyecto 60512, denominado “Análisis socio-ecológico de las consecuencias de la implementación de programas de conservación forestal en el contexto peri-urbano y rural”, con la referencia PDCPN-2014/246947 y que pertenece a la convocatoria de “Proyectos de Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales 2014” del CONACYT, a través del cual recibí una beca por mis aportes.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado en Geografía por la formación académica que me fue brindada.

A mis papás, a mi hermana y a mis familiares, de quienes siempre he recibido su apoyo incondicional.

A mis abuelitos y abuelitas que, a pesar de que ya no están aquí, han sido una piedra angular en mi desarrollo personal.

A la Dra. María Perevochtchikova, quien ha sido una persona que me ha apoyado y creído en mí, desde el primer momento en que surgió una idea que, hoy día, es un proyecto completado.

Al Dr. Heejun Chang, Karin Waller y David Brandt de la Universidad Estatal de Portland, por su recibimiento y ayuda durante mi estancia de investigación.

A mis amigos y amigas Isabel Quintero, Yilotl Cázares, David Escobedo, Luis Fernando Lara, Erick Gutiérrez, Maviel Velázquez, Nalle Camacho, Pedro Arredondo, Ericka Rocío Reyes, Nuria Vargas, Luis Iturbe, Adriana Flores, Joaquín Baltazar, Héctor Zaragoza, Karla Andrade, Camila de Lima, Antonio Fernandes, Diana López Cruz, Raquel Romero, Sandra Gallardo, Lupita, Lae García, Violeta Piña, Thania Gómez, Luis Galván y Pavel Velázquez, que son personas con quienes he compartido varios momentos de mi vida.

A la familia Cohoe, quienes me recibieron en su hogar durante el tiempo que estuve en la ciudad de Portland.

A Zack Herzfeld, Hue Duong, Kimberley Yazzie y Eric Watson, quienes conocí en el Departamento de Geografía de la Universidad Estatal de Portland.

A todas estas personas y a aquellas que haya olvidado mencionar, muchas gracias y les dedico el presente trabajo.

Contenido

Resumen.....	1
Agradecimientos	2
Introducción	12
Capítulo 1 Marco teórico y conceptual	20
1.1 La Geografía Global y el Análisis Socio-espacial.....	20
1.2 Sistema Socio-Técnico y Gestión Integrada del Agua Urbana	29
1.3 Gestión de la Demanda de Agua Doméstica	39
Capítulo 2. Sistema socio-técnico de la Ciudad de México.....	45
2.1 Conformación del sistema socio-técnico de la Ciudad de México.....	45
2.2 Nivel Político: Comisión Nacional del Agua.....	48
2.3 Nivel de Organismo Operador: Sistema de Aguas de la Ciudad de México.....	59
2.3.1 Funcionamiento del Organismo Operador	62
2.3.2 Descripción de la infraestructura del ciclo urbano del agua.....	72
2.4 Nivel de Vivienda: Usuarios domésticos de agua.....	80
Capítulo 3. Revisión de literatura y Marco metodológico	90
3.1 Revisión de estudios que abordan la demanda por uso doméstico de agua.....	90
3.1.1 Estudios no espaciales sobre la demanda por uso doméstico de agua	95
3.1.2 Estudios espaciales sobre la demanda por uso doméstico de agua	100
3.2 Selección de métodos y conformación de la base de datos	107
3.2.1 Análisis temporal de la demanda por uso doméstico de agua en base bimestral... 111	
3.2.2 Análisis socio-espacial con factores explicativos para la demanda por uso doméstico de agua	114
Capítulo 4. Análisis y resultados.....	120
4.1 Resultados del análisis temporal de la demanda por uso doméstico de agua en base bimestral	120
4.2 Resultados del análisis socio-espacial con factores explicativos para la demanda por uso doméstico de agua	132
Discusión y Conclusiones	147
Recomendaciones	153
Bibliografía	154
Anexo 1 Solicitudes realizadas vía los portales de transparencia.....	159
Anexo 2 Histogramas y diagramas de dispersión del análisis temporal	164
Anexo 3 Histogramas y diagramas de dispersión del análisis socio-espacial	170

Listado de abreviaturas

Abreviatura	Significado
ANOVA	Análisis de Varianza
CADF	Comisión de Aguas del Distrito Federal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CVM	Cuenca del Valle de México
DGCOH	Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica
IDI	Índice de Desarrollo e Infraestructura
IDS	Índice de Desarrollo Social
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LADF	Ley de Aguas del Distrito Federal
LAN	Ley de Aguas Nacionales
MZAR	Manzanas con árboles y plantas de ornato
PGIRH	Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídrico. Visión 20 Años
PMSACM	Programa para el Manejo Sustentable del Agua en la Ciudad de México
REPDA	Registro Público de Derecho de Agua
RHA	Región Hidrológico Administrativa
RMB	Región Metropolitana de Barcelona
SACMex	Sistema de Aguas de la Ciudad de México
SCINCE	Sistema para la Consulta de Información Censal
SEDUVI	Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda
SIG	Sistema de Información Geográfica
SRH	Secretaría de Recursos Hidráulicos
THGO	Tamaño del hogar
VIV1CTO	Viviendas particulares con un cuarto
VIV2CTOS	Viviendas particulares con dos cuartos
VIV3CTOS	Viviendas particulares con tres cuartos o más
VIVCTA	Viviendas particulares con toma de agua al interior
VIVDEPTO	Viviendas particulares en departamento
VIVUNIF	Viviendas particulares unifamiliares
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México

Índice de Figuras

FIGURA 1 ESQUEMA PENDULAR DEL DESARROLLO DE LA GEOGRAFÍA COMO CIENCIA. [FUENTE BUZAI Y BAXENDALE, 2011: 47].....	21
FIGURA 2 DESARROLLO DISCIPLINARIO Y EXPLOSIÓN DE LA GEOGRAFÍA. [FUENTE: BUZAI, 2014B:7]	24
FIGURA 3 MATRIZ DE DATOS GEOGRÁFICOS. [FUENTE: BUZAI, 2014A: 51 Y 52].....	27
FIGURA 4 NIVELES DE INTEGRACIÓN Y RESOLUCIÓN DEL ANÁLISIS ESPACIAL. [FUENTE: BUZAI Y BAXENDALE, 2011: 53].....	28
FIGURA 5 MODELO CONCEPTUAL SISTÉMICO PARA ESTUDIAR EL USO DE AGUA. [FUENTE: KRANTZ, 2012:106]	32
FIGURA 6 EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DEL AGUA EN LAS CIUDADES. [FUENTE: TIBURCIO Y PEREVOCHTCHIKOVA, 2012:382]	41
FIGURA 7 SISTEMA SOCIO-TÉCNICO PARA EL USO DOMÉSTICO DE AGUA. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, BASADA EN: GARCÍA, 2006 Y KRANTZ, 2012]	46
FIGURA 8 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA PER CÁPITA Y DE LA DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA. [FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2008:16 Y 2011:29]	53
FIGURA 9 GRADO DE PRESIÓN POR REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA. [FUENTE COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2014:74]	54
FIGURA 10 SUBREGIONES QUE CONFORMAN LA RHA XIII. [FUENTE: TIBURCIO, 2013: 99]	57
FIGURA 11 REGIÓN HIDROPOLITANA. [FUENTE: PERLÓ Y GONZÁLEZ, 2009:56]	60
FIGURA 12 MACROPROCESOS QUE CONFORMAN EL PGRIH. [FUENTE: GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2012:15].....	70
FIGURA 13 COMPARACIÓN DE DOTACIONES EN LITROS/HABITANTE/DÍA A NIVEL DELEGACIÓN [FUENTE: JIMÉNEZ, ET AL., 2011:54]	79
FIGURA 14 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL POR COLONIA DEL PORCENTAJE DE USUARIOS DOMÉSTICOS CON MEDIDOR. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000028614].....	87
FIGURA 15 DELEGACIONES QUE CUENTAN UN USO DOMÉSTICO CONFORTABLE. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON LOS DATOS PUBLICADOS EN MONTESILLO, 2004]	88
FIGURA 16 ESQUEMA DE LA BASE DE DATOS CREADA CON LAS VARIABLES EXPLICATIVAS. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF].....	108
FIGURA 17 CONTIGÜIDADES SEGÚN LOS CRITERIOS DE ROOK Y QUEEN. [FUENTE: O'SULLIVAN Y UNWIN, 2010:201].....	111
FIGURA 18 BASE DE DATOS DE LAS PROPORCIONES BIMESTRALES DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA (2008-2012). [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	113
FIGURA 19 BASE DE DATOS DE LOS FACTORES EXPLICATIVOS PARA LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA EN EL AÑO 2010. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF].....	117
FIGURA 20 PRUEBA DE TUKEY PARA LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO BIMESTRAL 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913].....	122
FIGURA 21 PRUEBA DE TUKEY, ALMACENAMIENTO BIMESTRAL DE LAS PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR LA CONAGUA EN LA SOLICITUD 1610100249514].....	124
FIGURA 22 PRUEBA DE TUKEY PARA EL ANÁLISIS DE LAS PROPORCIONES BIMESTRALES. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913].....	127
FIGURA 23 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPORCIONES DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO PARA EL PRIMER BIMESTRE (PERIODO 2008-2012). [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	128

FIGURA 24 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPORCIONES DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO PARA EL SEGUNDO BIMESTRE 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	128
FIGURA 25 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPORCIONES DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO PARA EL TERCER BIMESTRE (PERIODO 2008-2012) [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	129
FIGURA 26 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPORCIONES DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO PARA EL CUARTO BIMESTRE (PERIODO 2008-2012) [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	130
FIGURA 27 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPORCIONES DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO PARA EL QUINTO BIMESTRE (PERIODO 2008-2012) [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	130
FIGURA 28 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPORCIONES DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO PARA EL SEXTO BIMESTRE (PERIODO 2008-2012) [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	131
FIGURA 29 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA EN METROS CÚBICOS POR SEGUNDO 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	134
FIGURA 30 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA PER CÁPITA 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI]	135
FIGURA 31 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS VIVIENDAS CON TOMA DE AGUA AL INTERIOR 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI]	136
FIGURA 32 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS MANZANAS CON ÁRBOLES EN SUS LADOS 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI]	136
FIGURA 33 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ÍNDICE DE DESARROLLO SOCIAL PROMEDIO 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DESCARGADOS DEL SITIO WEB DE EVALUADF]	137
FIGURA 34 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL TAMAÑO DEL HOGAR PROMEDIO 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI]	137
FIGURA 35 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RELACIÓN ENTRE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA, EN TÉRMINOS BRUTOS Y EL ÍNDICE DE DESARROLLO SOCIAL PROMEDIO 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DE EVALUADF]	140
FIGURA 36 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RELACIÓN ENTRE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA, EN TÉRMINOS BRUTOS Y LAS VIVIENDAS CON TOMA DE AGUA AL INTERIOR 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI]	140
FIGURA 37 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RELACIÓN ENTRE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA, EN TÉRMINOS BRUTOS Y LAS MANZANAS CON ÁRBOLES EN SU INTERIOR 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI]	141
FIGURA 38 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RELACIÓN ENTRE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA, EN TÉRMINOS BRUTOS Y EL TAMAÑO DEL HOGAR PROMEDIO 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI]	141
FIGURA 39 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RELACIÓN ENTRE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA, EN TÉRMINOS PER CÁPITA Y EL ÍNDICE DE DESARROLLO SOCIAL PROMEDIO 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF]	144
FIGURA 40 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RELACIÓN ENTRE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA, EN TÉRMINOS PER CÁPITA Y LAS VIVIENDAS CON TOMA DE AGUA EN SU INTERIOR 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF]	144

FIGURA 41 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RELACIÓN ENTRE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA, EN TÉRMINOS PER CÁPITA Y LAS MANZANAS CON ÁRBOLES EN TODOS SUS LADOS 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF].....	145
FIGURA 42 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RELACIÓN ENTRE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA, EN TÉRMINOS PER CÁPITA Y EL TAMAÑO DEL HOGAR PROMEDIO 2010 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF].....	145
FIGURA 43 OFICIO DE RESPUESTA A LA SOLICITUD 03240000105214, REALIZADA AL SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO	159
FIGURA 44 OFICIO DE RESPUESTA A LA SOLICITUD 1610100249514, REALIZADA A LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA	160
FIGURA 45 OFICIO DE RESPUESTA A LA SOLICITUD 0324000072013, REALIZADA AL SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO	161
FIGURA 46 RESPUESTA DEL SACMEX OTORGADA VÍA CORREO ELECTRÓNICO PARA LA SOLICITUD 0324000071913	162
FIGURA 47 EJEMPLO DE LA BASE DE DATOS APORTADA POR EL SACMEX PARA LA SOLICITUD 0324000071913	162
FIGURA 48 RESPUESTA DEL SACMEX OTORGADA VÍA CORREO ELECTRÓNICO PARA LA SOLICITUD 0324000028614	163
FIGURA 49 EJEMPLO DE LA BASE DE DATOS APORTADA POR EL SACMEX PARA LA SOLICITUD 0324000028614	163

Índice de Gráficas

GRÁFICA 1 VOLÚMENES CONCESIONADOS Y ASIGNADOS POR RHA. [FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2008:56]	56
GRÁFICA 2 DISPONIBILIDAD PER CÁPITA POR ÁREA GEOGRÁFICA. [FUENTE: MORALES Y RODRÍGUEZ, 2009, P. 28]	58
GRÁFICA 3 SUMINISTRO PROMEDIO POR ÁREA GEOGRÁFICA EN LA CVM. [FUENTE: MORALES Y RODRÍGUEZ, 2009, P. 34]	61
GRÁFICA 4 COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO POBLACIÓN Y ABASTO DE AGUA EN LA CIUDAD DE MÉXICO. [FUENTE: GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2012:31]	72
GRÁFICA 5 ENTIDAD DE PROCEDENCIA DE LOS CAUDALES QUE LLEGAN AL DF EN PORCENTAJE. [FUENTE: PERLÓ Y GONZÁLEZ, 2009:7]	74
GRÁFICA 6 CAUDALES DE ABASTO PARA LA CIUDAD DE MÉXICO POR FUENTE 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DEL SACMEX OBTENIDOS VÍA TRANSPARENCIA]	75
GRÁFICA 7 ALMACENAMIENTO EN LAS PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR LA CONAGUA VÍA TRANSPARENCIA]	75
GRÁFICA 8 COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE ALMACENAMIENTO EN EL SISTEMA CUTZAMALA Y DE LA DEMANDA DE AGUA EN LA CIUDAD 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE SACMEX Y CONAGUA OBTENIDOS VÍA TRANSPARENCIA]	76
GRÁFICA 9 COMPARACIÓN DE LOS USOS DE AGUA CON EL ABASTO 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE SACMEX OBTENIDOS VÍA TRANSPARENCIA]	77
GRÁFICA 10 PORCENTAJE DE USUARIOS DOMÉSTICOS CON Y SIN MEDIDOR EN LA CIUDAD DE MÉXICO 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE SACMEX OBTENIDOS VÍA TRANSPARENCIA]	78
GRÁFICA 11 COMPARACIÓN DE ESCENARIOS PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS HIDRÁULICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO. [FUENTE: GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2012: 67 Y 69]	79
GRÁFICA 12 COMPARACIÓN ENTRE EL PADRÓN DE USUARIOS CON LA CANTIDAD DE VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO. [FUENTE: GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2012: 35]	82
GRÁFICA 13 PORCENTAJE DE MANZANAS CLASIFICADAS SEGÚN DOS ÍNDICES DEL GOBIERNO LOCAL. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN JIMÉNEZ ET AL. (2011) Y LOS DATOS OBTENIDOS DEL SITIO WEB DE EVALÚA DF]	86
GRÁFICA 14 PUBLICACIONES SOBRE DEMANDA URBANA DE AGUA (1978-2010). [FUENTE: HOUSE-PETERS Y CHANG, 2011:2]	92
GRÁFICA 15 COMPORTAMIENTO BIMESTRAL DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO PARA EL PERIODO 2008-2012 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	121
GRÁFICA 16 COMPORTAMIENTO BIMESTRAL DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SISTEMA CUTZAMALA, PARA EL PERIODO 2008-2012 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR LA CONAGUA EN LA SOLICITUD 1610100249514]	123
GRÁFICA 17 PROPORCIONES BIMESTRALES PROMEDIO DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913 Y EXPUESTOS EN COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2008]	126
GRÁFICA 18 COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE COLONIAS QUE PRESENTARON PATRÓN ESPACIAL PARA EL PERIODO 2008-2012 CON LA PRECIPITACIÓN. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913 Y EN COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2008]	131
GRÁFICA 19 PROPORCIONES CORRESPONDIENTES AL PRIMER BIMESTRE 2008-2012 CON SU DIAGRAMA DE DISPERSIÓN CORRESPONDIENTE	164
GRÁFICA 20 PROPORCIONES CORRESPONDIENTES AL SEGUNDO BIMESTRE 2008-2012 CON SU DIAGRAMA DE DISPERSIÓN CORRESPONDIENTE	165
GRÁFICA 21 PROPORCIONES CORRESPONDIENTES AL TERCER BIMESTRE 2008-2012 CON SU DIAGRAMA DE DISPERSIÓN CORRESPONDIENTE	166

GRÁFICA 22 PROPORCIONES CORRESPONDIENTES AL CUARTO BIMESTRE 2008-2012 CON SU DIAGRAMA DE DISPERSIÓN CORRESPONDIENTE.....	167
GRÁFICA 23 PROPORCIONES CORRESPONDIENTES AL QUINTO BIMESTRE 2008-2012 CON SU DIAGRAMA DE DISPERSIÓN CORRESPONDIENTE.....	168
GRÁFICA 24 PROPORCIONES CORRESPONDIENTES AL SEXTO BIMESTRE 2008-2012 CON SU DIAGRAMA DE DISPERSIÓN CORRESPONDIENTE.....	169
GRÁFICA 25 HISTOGRAMA DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA EN TÉRMINOS BRUTOS.	171
GRÁFICA 26 HISTOGRAMAS DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO EN FORMA PER CÁPITA	171
GRÁFICA 27 HISTOGRAMAS DE LA VARIABLE EXPLICATIVA: ÍNDICE DE DESARROLLO SOCIAL	172
GRÁFICA 28 HISTOGRAMA DE LA VARIABLE EXPLICATIVA: VIVIENDAS CON TOMA DE AGUA AL INTERIOR	172
GRÁFICA 29 DISTRIBUCIÓN DE LA VARIABLE EXPLICATIVA: MANZANAS CON ÁRBOLES Y PLANTAS DE ORNATO EN SUS LADOS.....	173
GRÁFICA 30 HISTOGRAMA DE LA VARIABLE EXPLICATIVA: TAMAÑO DEL HOGAR	173
GRÁFICA 31 HISTOGRAMA DE LA VARIABLE EXPLICATIVA: VIVIENDAS CON UN CUARTO.....	174
GRÁFICA 32 HISTOGRAMA DE LA VARIABLE EXPLICATIVA: VIVIENDAS CON DOS CUARTOS	174
GRÁFICA 33 HISTOGRAMA DE LA VARIABLE EXPLICATIVA: VIVIENDAS CON TRES CUARTOS O MÁS	175
GRÁFICA 34 HISTOGRAMA DE LA VARIABLE EXPLICATIVA: VIVIENDAS EN DEPARTAMENTO.....	175
GRÁFICA 35 HISTOGRAMA DE LA VARIABLE EXPLICATIVA: VIVIENDAS UNIFAMILIARES	176

Índice de Tablas

TABLA 1 COMPARACIÓN DE LOS PARADIGMAS DE GESTIÓN DEL AGUA. [FUENTE: COMPILACIÓN DE PINKHAM Y SCHOLAR 1999; MITCHELL 2006; BAHIR 2012 Y TIBURCIO Y PEREVOCHTCHIKOVA 2012]	36
TABLA 2 ACTIVIDADES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GIAU. [FUENTE: MAHEEPALA, 2010]	38
TABLA 3 COMPETENCIAS PARA LA GESTIÓN DE AGUA POR NIVEL DE GOBIERNO. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA BASADA EN JIMÉNEZ, ET AL., 2011 Y TIBURCIO, 2013]	51
TABLA 4 COMPARACIÓN DEL AGUA RENOVABLE PER CÁPITA PARA LOS AÑOS 2003 Y 2013. [FUENTE ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2004; 2014]	53
TABLA 5 USOS DEL AGUA A NIVEL NACIONAL. [FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2012A:36]	55
TABLA 6 PORCENTAJE DE SOBREEXPLOTACIÓN EN SEIS ACUÍFEROS DE LA RHA XIII. [FUENTE: CONSEJO DE CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO, S/A DISPONIBLE EN LÍNEA]	58
TABLA 7 SÍNTESIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA POLÍTICA DEL AGUA DURANTE LOS AÑOS 90 EN LA CIUDAD DE MÉXICO. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE MARTÍNEZ, 2004]	64
TABLA 8 COMPARATIVO DE LA MEDICIÓN DE EFICIENCIAS EN EL DF PARA 1997 Y 2001. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE MARTÍNEZ, 2004]	65
TABLA 9 DESGLOSE DE LAS ACCIONES DEL PMSACM. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON LA INFORMACIÓN DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2007]	67
TABLA 10 INTEGRACIÓN DEL PGIRH CON LOS DEMÁS PROGRAMAS DE GOBIERNO. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2012]	69
TABLA 11 DESGLOSE DE ACCIONES DEL PGIRH. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON LA INFORMACIÓN DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL 2012]	71
TABLA 12 COMPONENTES DE INFRAESTRUCTURA DEL ORGANISMO OPERADOR. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2012]	73
TABLA 13 VARIABLES QUE COMPONEN EL ÍNDICE DE DESARROLLO E INFRAESTRUCTURA DE LA CIUDAD. [FUENTE: JIMÉNEZ, ET AL., 2011: 118]	83
TABLA 14 NÚMERO DE MANZANAS POR DELEGACIÓN SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE DESARROLLO E INFRAESTRUCTURA DE LA CIUDAD. [FUENTE: JIMÉNEZ, ET AL., 2011: 125]	83
TABLA 15 COMPONENTES DEL IDS-DF Y SUS PONDERADORES. [FUENTE: SÁNCHEZ, ET AL., 2011:39]	85
TABLA 16 APLICACIONES DEL ESTUDIO DE LA DEMANDA DOMÉSTICA DE AGUA, SEGÚN PLAZOS DE ESTUDIO. [FUENTE: BILLINGS Y JONES 2008:7]	93
TABLA 17 SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS SOBRE DEMANDA DE AGUA SIN EL ENFOQUE ESPACIAL	99
TABLA 18 SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS SOBRE DEMANDA DE AGUA CON EL ENFOQUE ESPACIAL	106
TABLA 19 MEDICIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES SELECCIONADAS	115
TABLA 20 DATOS DESCRIPTIVOS DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA EN FORMA BIMESTRAL 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	120
TABLA 21 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO BIMESTRAL 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913]	122
TABLA 22 DATOS BIMESTRALES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SISTEMA CUTZAMALA 2008-2012. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR LA CONAGUA EN LA SOLICITUD 1610100249514]	123
TABLA 23 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA, ALMACENAMIENTO BIMESTRAL EN EL SISTEMA CUTZAMALA. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR LA CONAGUA EN LA SOLICITUD 1610100249514]	124
TABLA 24 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL, DEMANDA BIMESTRAL-SISTEMA CUTZAMALA. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913 Y POR LA CONAGUA EN LA SOLICITUD 1610100249514]	125

TABLA 25 PORCENTAJE PROMEDIO BIMESTRAL DE DEMANDA POR USO DOMÉSTICO. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913].....	125
TABLA 26 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS PROPORCIONES BIMESTRALES. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913].....	127
TABLA 27 DATOS DESCRIPTIVOS DE LOS FACTORES EXPLICATIVOS Y ÁREA DE ESTUDIO. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF].....	132
TABLA 28 DATOS DESCRIPTIVOS DE LAS VARIABLES TRANSFORMADAS EN LOGARITMOS NATURALES. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF].....	133
TABLA 29 RESULTADOS DE LA REGRESIÓN STEPWISE PARA LA SELECCIÓN DE VARIABLES EXPLICATIVAS. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF].....	134
TABLA 30 MEDIDAS DE AJUSTE PARA LOS MODELOS EXPLICATIVOS DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO EN TÉRMINOS BRUTOS. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF]	138
TABLA 31 VARIABLES UTILIZADAS EN LOS MODELOS EXPLICATIVOS PARA LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA EN TÉRMINOS BRUTOS. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF].....	139
TABLA 32 MEDIDAS DE AJUSTE PARA LOS MODELOS EXPLICATIVOS DE LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO EN TÉRMINOS PER CÁPITA. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF]	142
TABLA 33 VARIABLES UTILIZADAS EN LOS MODELOS EXPLICATIVOS PARA LA DEMANDA POR USO DOMÉSTICO DE AGUA EN TÉRMINOS PER CÁPITA. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS APORTADOS POR EL SACMEX EN LA SOLICITUD 0324000071913, DESCARGADOS DEL SITIO WEB DEL INEGI Y DEL DE EVALUADF].....	143
TABLA 34 VARIABLES CENSALES EN EL SISTEMA DE CONSULTA DE INFORMACIÓN CENSAL 2010.....	170

Introducción

Ante el surgimiento de los problemas ambientales relacionados con el abasto, la distribución y el uso del agua en las ciudades, se han generado nuevos enfoques para administrar este recurso de manera integrada, que sirvan para incluir un amplio espectro de las dimensiones que abarca el ciclo urbano del agua; es así como se ha concretado un nuevo paradigma cuyo origen ocurrió en la planificación del sector energético durante los años 70 y que después de dos décadas se aplicó al sector hídrico, se trata de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos y de la Gestión Integrada del Agua Urbana (Mitchell, 2006; Perevochtchikova, 2010).

El cambio que ha suscitado la forma de administrar el agua en su generalidad, tiene su origen en que la distribución espacial y temporal de los recursos hídricos es muy heterogénea, a la vez que la cantidad de agua que puede ser utilizada para el uso y el consumo humano se ha enfrentado a un aumento exponencial y constante, que va de la mano con el incremento de la población mundial. El resultado ha sido que en la actualidad la mayor parte de los seres humanos reside en áreas urbanas, tendencia va continuar durante el presente siglo y también va a fomentar la necesidad por estudiar, comprender y analizar nuevas formas para abastecer a las ciudades con este vital líquido (Perevochtchikova, 2010; House-Peters y Chang, 2011; Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

Con respecto a esta situación, en Baumann et al. (1998) se considera que los retos que enfrenta la gestión del agua urbana son situaciones como la contaminación y la explotación de las fuentes, además de la presencia de sequías cada vez más frecuentes en un contexto de creciente competencia por los usos urbanos y agrícolas principalmente; es por esta razón que se ha dificultado la factibilidad para construir nueva infraestructura, con costos políticos altos además de una elevada inversión para su operación y mantenimiento, de ahí la necesidad por modificar la gestión en sí misma y sus objetivos.

Tras la acuñación del concepto del desarrollo sustentable, para satisfacer las necesidades actuales, sin mermar las de las generaciones futuras, la Gestión Integrada del Agua Urbana ha surgido para aplicar esta forma de desarrollo en las ciudades, con respecto a la manera en la que hacen uso y disposición del agua, es por esto que, desde este nuevo enfoque, se cuenta con una serie de herramientas para que las urbes tengan una mejor relación con la naturaleza y que puedan reducir el impacto que ocasionan en ella. El origen de este marco conceptual se dio como respuesta ante las limitaciones que ha presentado la gestión convencional del agua urbana, la cual está estructurada desde una visión sectorial y centralizada de los componentes de abasto, drenaje y saneamiento, en donde cada uno de ellos se realiza por separado y no se contemplan acciones para mitigar la degradación ambiental, además de que carece de objetivos para la sustentabilidad, ya que, no va más allá de la cobertura de los servicios hidráulicos para la población (Kayaga y Smout, 2011; Bahir, 2012; Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

Este nuevo paradigma enfatiza que las soluciones deben encontrarse por el lado de la gestión de la demanda en oposición al aumento de la oferta, es así como se plantea la necesidad por establecer un equilibrio en la administración del suministro en relación con los volúmenes requeridos por la población, para que sea posible tomar en cuenta fuentes no tradicionales como la captación de agua pluvial. También se hace hincapié en la generación de acuerdos entre los usuarios y los diferentes tomadores de decisión para que se planifique la utilización del recurso, contemplando su preservación en el presente y en el futuro (Mitchell, 2006; Bahir, 2012).

La integración que plantea este paradigma tiene lugar con la inclusión y la coordinación de las políticas de vivienda, energía y uso del suelo sobre la planificación para el uso de los recursos hídricos. Desde un enfoque sistémico, en donde se precisa la inclusión de la infraestructura junto con las características físicas en donde tiene lugar el ciclo urbano del agua. Otro aspecto que contempla, es la correspondencia entre las instituciones que tienen a su cargo la prestación de los servicios hidráulicos para la población, bajo el entendido que, la ciudad será más sustentable en tanto que todos sus componentes se encuentren integrados. La GIAU plantea que el cambio de paradigma debe permear hasta el nivel de concepción y determinación de los problemas que se pretenden abordar y solucionar (Bahir, 2012).

Este paradigma emergente, que involucra el desarrollo sustentable, cuando se implementó en México dio como resultado la fundación de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a nivel federal. A través de esta Institución, se plantearon objetivos centrados en la priorización de los servicios públicos urbanos y el uso industrial, además de que la política hídrica se sustentó en un discurso que exalta la existencia de una crisis del agua, desde la que se definen el tipo de estrategias, posiciones y acciones. Este esquema surgió después de una serie de reformas que tuvo el Estado mexicano, quien en materia de agua, pasó de ser un ente garantizador a uno regulador que se centra en la administración del recurso, el mantenimiento de su calidad y la promoción de la iniciativa privada dentro del sector (Aboites, 2009; Torregrosa et al., 2010).

Desde este nuevo papel que juega el Estado mexicano para administrar los recursos hídricos, a través de la CONAGUA, se genera el diagnóstico oficial, cuya base es la cantidad de población y el volumen amparado por los títulos de las concesiones y de las asignaciones otorgadas para los usuarios del agua a nivel nacional. Un principio que se enmarca desde esta nueva concepción, es la gestión por cuenca, gracias a la que se ha dividido el territorio nacional en trece Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA), en las que se miden diferentes indicadores para mostrar el estado que guarda el agua. Mediante este principio, se considera importante tomar en cuenta que la distribución temporal y espacial de la precipitación en todo el país ocurre de forma heterogénea, por lo que la disponibilidad para los usos varía entre las Regiones y al mismo tiempo es necesario resaltar que el estudio de escalas grandes impide visualizar las diferencias que ocurren al interior de las RHA y de las ciudades (Comisión Nacional del Agua, 2008; Tiburcio, 2013).

A través de las mediciones que realiza la CONAGUA, se ha destacado un fenómeno que se ha mantenido en el tiempo, se trata de la reducción de la disponibilidad media *per cápita*. En 1950 la población nacional era de 25.82 millones de habitantes, quienes disponían de 18,035 m³/hab/día, mientras que, para el 2013 esta cifra ascendía a 118.40 millones de personas que contaban con 3,982 m³/hab/día. La disminución de la disponibilidad media *per cápita* ha tenido lugar en prácticamente todas las RHA durante el periodo de 2003 a 2013, siendo el caso más crítico el de la RHA XIII “Aguas del Valle de México”, donde se asienta la capital del país, que es el área de estudio de la presente investigación; en este caso se pasó de contar con 182 m³/hab/día a 152 m³/hab/día para cada uno de los años respectivos (Comisión Nacional del Agua, 2004; 2008; 2014).

Otra manera para caracterizar el estado de los recursos hídricos, es mediante el Índice de Falkenmark, el cual establece que, cuando en una cuenca, la disponibilidad es menor a 1000 m³/hab/año, se presenta una situación de escasez extrema. La RHA XIII es la que cuenta con la menor disponibilidad natural *per cápita* en todo el país y también se encuentra en un grado de

escasez extrema, cabe destacar que, es aquí en donde se genera el 25.8% del PIB nacional (Comisión Nacional del Agua, 2012b).

Además de la situación regional, al interior de la Cuenca de México, que es una de las dos subregiones de la RHA XIII, existen contrastes entre las entidades que la integran, como se muestra en Morales y Rodríguez (2009). Estos autores se basaron en el *Compendio básico del agua 2004* que publica la CONAGUA, para exponer que la disponibilidad natural media de esta subregión es de 85.8 m³/hab/día, mientras que el uso de la Ciudad de México corresponde a 125.28 m³/hab/día, en comparación con el de los municipios conurbados a su alrededor, en los cuales se utilizan 79.28 m³/hab/día. Es así como se ha establecido la existencia de un déficit de 7.01 m³/s en la capital mexicana.

Con las cifras mostradas en el párrafo anterior, queda de manifiesto parte de la gran paradoja que ha caracterizado a esta ciudad, ya que, ha pasado de luchar de contras las inundaciones, dada su naturaleza lacustre, a padecer de escasez de agua para sus habitantes debido a la reducción de las fuentes que la abastecen, con lo que se ha visto en la necesidad de importar el recurso desde cuencas lejanas para saciar su sed. En este punto destaca la definición de contrato-hídrico social, que es un concepto que describe los valores prevalecientes sobre la forma en que debe ser gestionada el agua, así como la perspectiva cultural dominante desde la que se toman las decisiones; la expresión de dicho contrato tiene lugar en la infraestructura, por lo que, el caso que se aborda en esta investigación, se trata de una ciudad drenada en la que se ha privilegiado el desarrollo económico mediante la construcción de obras para ampliar la oferta de agua disponibles para la ciudad, sin contemplar sus costos inherentes (Brown, et al., 2008; Perló y González, 2009; Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

A pesar de ser la entidad con mayor uso de agua en la Cuenca de México y de toda la infraestructura que se ha construido para su abastecimiento, la dotación de agua en la Ciudad de México se ha reducido entre los años de 1997 y de 2007, pasó de 379 litros por habitante al día en promedio, a 342 respectivamente. Por otro lado, existen dotaciones diferenciales al interior de la urbe, de tal forma que en la delegación Cuajimalpa se cuenta con 686 litros por habitante al día, en contraste con Tláhuac, en donde la dotción es de 247 litros por persona al día. Cabe destacar que estos números no son concluyentes, ya que cerca de 40% de los caudales con los que se abastece a la ciudad se pierden fugas, además de que no hay claridad si estos datos corresponden a la cantidad utilizada por la población o si se trata del volumen suministrado entre el número de habitantes que tiene cada delegación (Perló y González, 2009; Jiménez, et al., 2011; Gobierno del Distrito Federal, 2012).

Como respuesta a estas problemáticas y ante las reformas que se hicieron a nivel nacional en el sector hídrico, el gobierno local reformó, durante el sexenio de 1988 a 1994, el esquema administrativo del agua mediante la creación de un nuevo marco jurídico basado en la descentralización para la prestación de los servicios hidráulicos, con lo que apareció la gestión público-privada basada en la delegación de responsabilidades y la subcontratación de empresas. La prioridad que se tuvo, fue la modernización y el aprovechamiento integral de recursos hídricos, con el fin de equilibrar financieramente al gobierno de la ciudad, así como, garantizar la eficiencia y la continuidad en la prestación del suministro para la población; es por esto que se llevaron a cabo acciones como el aumento de la medición del agua utilizada, la rehabilitación de las redes de distribución y la participación de la iniciativa privada, entre otras (Martínez, 2004).

En la actualidad, Jiménez et al. (2011) mencionan la existencia de cuatro paradigmas diferentes dentro de la administración del agua en la Ciudad de México. Estos autores apuntan que, en la gestión local, ningún paradigma ha logrado prevalecer sobre el resto, más bien han coexistido y en ocasiones han guiado decisiones contrapuestas. Bajo esta circunstancia, se han institucionalizado dos ordenamientos jurídicos, uno es el *Programa para el Manejo Sustentable del Agua en la Ciudad de México* (PMSACM), para el periodo 2007-2012 y el otro es el *Programa de Gestión Integral de Recursos Hídricos. Visión 20 Años* (PGIRH), cuya publicación se hizo en el año 2012.

En el PMSACM se menciona que la alta densidad de población en la ciudad ha generado una fuerte demanda por el agua, en un contexto donde la prestación de los servicios hidráulicos es insuficiente e inadecuada la mayor parte del tiempo aunada a la fuerte sobreexplotación del acuífero local, lo que ha obligado a importar grandes cantidades de agua desde cuencas vecinas, pero también se reconoce la necesidad de usar eficientemente las fuentes actuales, junto con acciones para reducir el uso intradomiciliario. A pesar de mencionar algunos puntos provenientes del paradigma de uso eficiente, sobresale nuevamente el paradigma para el aumento de la oferta, dado que, también se plantea que en los años venideros la ciudad va a requerir más caudales para evitar que la prestación de los servicios se vuelva más deficiente (Gobierno del Distrito Federal, 2007).

Por su parte, en el PGIRH *Visión 20 años*, se presentan algunas estrategias que conciernen a la conservación del agua desde la consolidación de campañas permanentes de concientización sobre la cultura del agua, a través de las que se plantean varias acciones. A la vez se mencionan otras estrategias para el uso eficiente del agua, por ejemplo, la sectorización de la red de distribución, la cual plantea la posibilidad de prestar un servicio sostenible, sin embargo aún están presentes las acciones para importar agua y cubrir las necesidades de la ciudad (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

En ambos ordenamientos convergen los paradigmas ofertista, de uso eficiente y en menor medida el ambiental, pero a diferencia del resto de los problemas que tiene la ciudad, tanto en el PMSACM como en el PGIRH, no se presenta un diagnóstico oficial sobre la cantidad de agua que requiere la población capitalina, sólo se vincula con el crecimiento poblacional sin reparar en su distribución espacial ni en las características de los usuarios. Bajo este entendido únicamente se plantea que, ante el aumento demográfico, la demanda va a incrementar. A pesar de las estrategias para hacer un uso eficiente del agua, no se precisa el contenido de las campañas de concientización ni los estratos sociales a quienes se dirigen, por lo que, en suma, estas acciones tienen menor importancia en comparación con aquellas de tipo ofertista.

Como resultado de la falta de un diagnóstico oficial sobre los requerimientos de agua para la Ciudad de México y la manera en que se utiliza este recurso en su interior, surge el concepto de demanda por uso doméstico, el cual, en coordinación con lo que establece la legislación local, se define como: el volumen necesario de agua para que los usuarios domésticos¹ puedan realizar las actividades que conciernen a la higiene, la limpieza de la vivienda en general y los usos exteriores como el riego de jardines y el llenado de albercas.

¹ Es la persona física o moral que hace uso de los servicios hidráulicos destinados a las viviendas (Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 2003; Sistema de Aguas de la Ciudad de México, S/A)

Se utiliza también el concepto de demanda, porque en Dasch (2003) y en Gleick (2003), se le asignan unidades de medición a la cantidad de agua utilizada y de igual forma se menciona su ocurrencia en el tiempo, por lo que queda una magnitud medible y analizable, que a su vez designa cierto tipo de actividades en las que se utiliza este recurso en una ciudad.

Para entender el proceso que implica la demanda por uso doméstico de agua en la capital mexicana, dadas las deficiencias de los diagnósticos oficiales y del planteamiento de crisis hídrica que se expone desde las instituciones de gobierno, el objetivo general de esta investigación es determinar los factores que mejor la expliquen, desde una visión espacial, sistémica e integrada, con la que se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Qué distribución espacial y temporal tiene la demanda por uso doméstico de agua en la Ciudad de México?
- ¿Qué variables sociales, demográficas y económicas explican mejor la demanda por uso doméstico en la Ciudad de México?
- ¿Qué patrones espaciales presenta la demanda por uso doméstico en la Ciudad de México a nivel colonia?
- ¿En dónde se presentan los valores más altos de la demanda por uso doméstico de agua en la Ciudad de México?

La importancia de contestar estas preguntas radica en contar con un estudio exploratorio de la demanda por uso doméstico de agua en la Ciudad de México, para generar un instrumento de Gestión Integrada del Agua Urbana, que sea útil como base para establecer estrategias de conservación. El caso de esta investigación, corresponde a la Fase 1 del esquema que presenta Maheepala (2010), el cual consiste en comprender el funcionamiento del sistema en cuestión, para llevar a cabo este nuevo paradigma integrado de gestión del agua urbana, por esta razón, se contemplan los siguientes tres componentes: (1) la Geografía Global, (2) el establecimiento de un sistema socio-técnico y (3) la gestión de la demanda de agua.

El primero parte de que la Geografía es una ciencia cuyo desarrollo ha estado ligado al estudio de la noción de espacio, cuya comprensión ha cambiado a lo largo del tiempo desde su institucionalización como ciencia humana durante el siglo XIX. A su vez, las corrientes del pensamiento geográfico, han establecido que la definición del espacio geográfico depende del soporte teórico y de la visión paradigmática desde la que se desarrolle alguna investigación en particular (Ortega, 2000; Buzai y Baxendale, 2011).

Hacia finales del siglo XX se distinguen cuatro perspectivas principales en la Geografía, que son: la Ecología del Paisaje, la Geografía Posmoderna, la Geografía Humanista y la Geografía Automatizada; ésta última tiene sus bases en los paradigmas cuantitativo y racionalista, además de ser el sustento de la Geotecnología, que resulta de la interacción entre el desarrollo de las tecnologías digitales y de la computación con la Geografía, es así como esta ciencia se ha convertido en Global e interdisciplinaria, desde la que se concibe al espacio como un modelo digital de la realidad. A través del ambiente computacional es posible estudiar los fenómenos de naturaleza social sin profundizar en sus causas ontológicas, esto es, porque el interés de este paradigma se centra en las distribuciones, las asociaciones, las interacciones y la localización, además de las formas de evolución que presentan los objetos de estudio en el espacio (Buzai, 1999; Buzai y Baxendale, 2011).

Aunque la propuesta de la Geografía Global, basada en la Geotecnología, presenta un sustento difuso desde el que no es posible generar hipótesis ni teorías dentro de sí mismo pero representa una nueva forma de concebir la realidad, cuyas aplicaciones se han extendido. A pesar de que su formación no es neutra, la Geotecnología es una revaloración de los paradigmas cuantitativo y racionista, las cuales han dado como aporte principal la difusión y el uso de la visión espacial en diferentes ciencias, además de que se ha convertido en un insumo importante para la gestión de recursos y el ordenamiento territorial, a través del uso de los Sistemas de Información Geográfica (Buzai, 1999; 2001; 2006).

La herramienta principal que utiliza la Geografía Global es el análisis espacial, que representa el nivel máximo de integración-resolución en el espacio, desde lo infinitamente grande, hasta lo infinitamente pequeño. En el caso de la escala humana se lleva a cabo el análisis socio-espacial, que permite incluir variables sociales y naturales en un modelo digital; lo que permite que la realidad sea concebida de forma sistémica para entender los distintos tipos de relaciones dentro de los niveles de una totalidad organizada, llamada sistema complejo. La forma en que se abordan estos sistemas es mediante la interdisciplina y la construcción de marcos interparadigmáticos (García, 2006; Buzai y Baxendale, 2011; Buzai, 2014b).

A través del segundo componente de esta investigación, se plantea un sistema socio-técnico que integra tres elementos del ciclo urbano del agua para conocer el papel de la demanda por uso doméstico de agua en la Ciudad de México. El estudio de una realidad compleja se hace a través de recorte que la limita, de ella destacan los elementos heterogéneos no separables que están organizados a manera de totalidad, mediante las interacciones que ocurren entre sí. Esta descripción corresponde a un sistema complejo cuya definición y delimitación se realiza mediante los objetivos con los que se desarrolla una investigación, por lo que, pueden estar compuestos por distintos subsistemas y a la vez ser parte de un sistema más grande (García, 2006).

Según García (2006) los procesos son el centro de estudio de los sistemas complejos, ya que son los que describen cambios en su dinámica interior. En cuanto a la aplicación de este marco, en Sandoval (2004), se menciona que la gestión es un conjunto de relaciones que ocurren entre las entidades que desarrollan los procesos de administración y control de los recursos, ya sea en el ámbito público o en el productivo, desde los cuales se plantean objetivos concretos que sirvan para mejorar las relaciones se dan entre los elementos del sistema en cuestión.

Para darle estructura al sistema complejo que se define en esta investigación, se planteó el esquema conceptual propuesto por Krantz (2012), que está acomodado en tres niveles: (1) el político, con las metas y objetivos que conciernen al sector hídrico; (2) el organismo operador con su reglas y la puesta en marcha de la infraestructura; y (3) la vivienda, en donde residen los usuarios del agua; en ella destacan sus características físicas y sociales. Adicionalmente se distinguieron en cada uno de los niveles, los diferentes tipos de procesos que fueron definidos según García (2006). Destacan las políticas hídricas como procesos de tercer nivel; el abastecimiento de agua como uno de segundo; y finalmente la demanda que los usuarios generan, que es un proceso de primer nivel o local y que corresponde al objeto de estudio de la presente investigación, del cual se aborda la ocurrencia que tiene temporal y espacialmente.

Para comprender este proceso local desde el ambiente de los Sistemas de Información Geográfica y estudiar su comportamiento espacial, es necesario generar inventarios de

información que resultan del registro de los medidores con los que cuentan los usuarios, así como las características censales de las viviendas de la Ciudad de México. Con esta propuesta es posible aplicar el paradigma Geotecnológico y la Geografía Global desde una visión sistémica de la realidad, a través de la cual se estudia la demanda por uso doméstico de agua desde el análisis socio-espacial dentro de un sistema socio-técnico.

Finalmente, el tercer componente que estructura esta investigación, es la gestión de la demanda de agua, la cual es una de las estrategias del paradigma de la GIAU, que ha sido incorporado, al menos en forma discursiva, en la política hídrica local. La aplicación de este tipo de medidas requiere modificar los esquemas administrativos para generar mejoras ambientales a través de la integración. Desde este enfoque, la toma de acciones implica reducir la demanda para contar con mayor disponibilidad para las generaciones futuras, así como disminuir la energía utilizada para el suministro de agua y utilizar diferentes alternativas que sustituyan las fuentes convencionales, que cada vez se están viendo más afectadas con la gestión convencional. Todas estas acciones en su conjunto, generan que las ciudades sean más sustentables (Troy y Holloway, 2004; Kayaga, 2011).

La gestión de la demanda del agua contempla entre sus estrategias la conservación del recurso, desde la que se aborda factores como la eficiencia en la manera en que se utiliza el agua, la reducción de flujos residuales, el planteamiento de acciones para alcanzar la demanda futura para las ciudades, así como la inclusión de actividades diseñadas para reducir los volúmenes requeridos, lo que implica aumentar la eficiencia de los sistemas y disminuir las pérdidas que hay en ellos. El propósito que sigue la conservación es proteger el recurso y obtener beneficios por su uso a un menor costo (Baumann et al., 1998; Dasch, 2003).

En Saurí (2013) se mencionan algunos factores importantes para fomentar la conservación del recurso; este autor plantea la necesidad de localizar los sitios en donde hay demanda alta, para así integrar las políticas de desarrollo urbano con el uso del agua. También aborda el debate entre la ciudad dispersa con viviendas que cuentan con jardines y alberca, en oposición a la ciudad compacta con mayor densidad. Por su parte, House-Peters y Chang (2011) mencionan que en la primera forma de desarrollo urbano, la demanda de agua presenta mayor sensibilidad a las variaciones climáticas, por lo que es importante ubicar los sitios que presentan este tipo de características en las ciudades, con el fin de reducir los volúmenes requeridos.

En general, tanto en Troy y Holloway (2004) como en Krantz (2012), se menciona que existe poca información sobre la forma sistémica en que, los factores socio-económicos de la población, inciden en la demanda por uso doméstico de agua; de igual forma se conoce poco sobre las variaciones que presenta la demanda al interior de las ciudades. La utilidad de este tipo de información sirve para asegurar el abasto, así como considerar los flujos necesarios para la salud de los ecosistemas.

La presente investigación, a través de cuatro capítulos, aborda de manera exploratoria, temporal y espacialmente la demanda por uso doméstico de agua, a nivel colonia en la Ciudad de México. En el primero se desarrolla el marco teórico-conceptual, que está conformado por la Geografía Global y el uso de los Sistemas de Información Geográfica, a través de los que se realizó el análisis socio-espacial de la demanda de agua, dentro de un sistema socio-técnico que incluye desde las políticas hasta las características de las viviendas. Este sistema a su vez, está

inmerso en el paradigma de la Gestión Integrada del Agua Urbana, junto con la conservación del recurso.

El segundo capítulo es una descripción del sistema socio-técnico, en donde se plantean las reformas que hubo en el sector hídrico a nivel nacional y local, que establecieron como referencia la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y la Gestión Integrada del Agua Urbana, lo que dio paso a la importancia de integrar distintos tipos de política en el ámbito de la Ciudad de México. Se destaca la carencia de un diagnóstico oficial en los ordenamientos gubernamentales sobre el papel que juega la demanda de agua urbana, así como la necesidad de aumentar la resolución espacial de estudio que dé pie para generar nuevas estrategias y lograr la regulación de la cantidad de agua que requiere la ciudad.

El tercer capítulo comienza con una síntesis de algunos estudios que han analizado este tema en Australia, España, el Reino Unido y Estados Unidos; en este último país se han realizado análisis espaciales en las ciudades de Phoenix, Arizona y de Portland, en el estado de Oregon. A continuación se describen los análisis que se realizaron para el caso de la Ciudad de México:

- El temporal de la demanda para toda la ciudad y del almacenamiento de agua en el Sistema Cutzamala, que corresponde al periodo 2008-2012. Se realizó un modelo de regresión lineal que vincula ambos elementos.
- El análisis espacial de las proporciones bimestrales de la demanda por uso doméstico de agua en las colonias de la ciudad, para el periodo 2008-2012.
- Finalmente aparece el análisis socio-espacial de la demanda por uso doméstico de agua para el año 2010. Se estudió la demanda en forma bruta y en términos *per cápita*, mediante la comparación de tres modelos: la regresión lineal múltiple, el de *Spatial Lag* y el de *Spatial Error*. Se seleccionaron las variables explicativas, según la información censal disponible en el INEGI, para utilizarlas con los modelos anteriormente mencionados. También se utilizaron los métodos expuestos en Aselin (2005) y en Billings y Jones (2008).

Los resultados de estos análisis se muestran en el capítulo 4. En primer caso se muestra la ocurrencia de una disminución de la demanda para el año 2010, la cual coincide con un fenómeno similar para el agua almacenada en el Sistema Cutzamala, que se redujo para el año de 2009. Las proporciones bimestrales de demanda de agua por uso doméstico, mostraron patrones espaciales moderados pero significativos para cada uno de los seis bimestres, en promedio del periodo 2008-2012; su ocurrencia es semejante al comportamiento de la precipitación en la ciudad. Por la parte de los modelos explicativos, en el caso de la demanda en términos brutos, la inclusión de la dimensión espacial aumentó poco porcentaje a la explicación, en tanto que, en la forma *per cápita*, esta dimensión tuvo mayor contribución.

La propuesta de esta investigación es un estudio exploratorio sobre la demanda por uso doméstico de agua en la Ciudad de México, tanto de forma espacial como temporal. Un estudio de este tipo, es necesario para contar con información en una ciudad cuyo contexto de apropiación del agua excede sus límites geográficos y su impacto tiene lugar en varias dimensiones.

Capítulo 1 Marco teórico y conceptual

1.1 La Geografía Global y el Análisis Socio-espacial

Cuando se realiza una investigación científica la realidad se percibe y se analiza de una manera determinada, la cual, está sustentada en un posicionamiento para acercarse a ella. En la tesis de Khun (1962) sobre las Revoluciones Científicas se analiza la evolución que ha tenido la ciencia, para ello se propuso el concepto de paradigma como una visión del mundo que, durante un periodo de tiempo determinado, proporciona modelos y soluciones a los problemas que se abordan dentro de una comunidad científica, además es el medio para seleccionar las preguntas y los temas de interés que se van a desarrollar, convirtiéndose así en el sustento de las teorías y la base para el diseño de los métodos en los periodos de ciencia normal (Capel, 1988; Buzai, 1999; 2014a).

En el momento en que surgen anomalías, queda expuesta la incapacidad del paradigma para dar explicaciones a la realidad y tiene lugar una crisis, que termina hasta que surge uno nuevo capaz de superarla: es así como ocurre una revolución científica, la cual es un proceso trunco, no acumulativo que dista mucho de ser lineal, es por eso que los paradigmas en cuestión representan dos visiones incompatibles de la realidad, ya que cada uno responde a preguntas diferentes, a la vez que resuelven los problemas de maneras distintas. La revolución científica modifica las normas, los valores, los hechos relevantes, los métodos y las teorías (Capel, 1988; Buzai, 1999).

La Geografía ha presentado varias veces estas situaciones de crisis, lo que ha generado que, esta ciencia tenga como sustento dos ramas filosóficas: la positivista y la historicista. A partir de estas dos bases, han surgido diferentes tipos de geografías, la cuales cuentan posturas y métodos diversos. Según la clasificación de las ciencias realizada por Windelband y Rickert, se distinguen dos tipos: por un lado están las ideográficas o excepcionalistas, que se encargan de estudiar los fenómenos únicos e irrepetibles y por el otro las nomotéticas, que abordan los aspectos generalizables (Capel, 1988; Buzai y Baxendale, 2011).

Además de estas corrientes filosóficas que han dado soporte a la Geografía, en Buzai (1999) se expone que han ocurrido periodos de ciencia normal con una duración de entre 20 y 25 años aproximadamente, tomando como referencia su institucionalización como ciencia humana en el siglo XIX. A pesar de que han surgido nuevos paradigmas, en ningún caso, alguno de ellos se ha impuesto sobre los demás como lo plantea el modelo de Khun sobre la ocurrencia de las revoluciones científicas.

El resultado de la coexistencia de paradigmas en una misma etapa, ha generado que el desarrollo de la Geografía semeje un péndulo, como se menciona en Capel (1988) y en Buzai (1999). Algo que debe destacarse, es que esta visión ha quedado limitada porque deja de lado el papel de las nuevas visiones positivistas surgidas a partir de la Geografía Automatizada. Para llenar este vacío y actualizar los nuevos desarrollos que ha tenido esta ciencia, ha sido necesario incorporar la explosión disciplinaria actual, que ha llegado a otros campos del saber científico. En la Figura 1 se muestra el esquema de desarrollo pendular, al que se hace referencia en este párrafo:

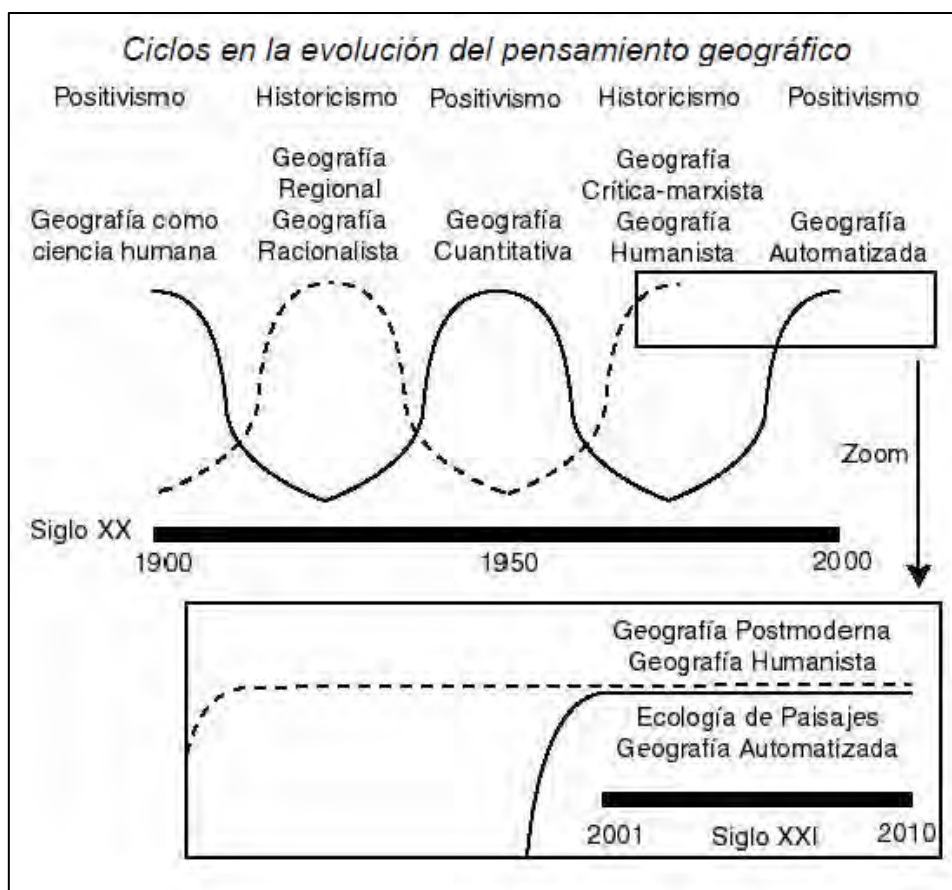


Figura 1 Esquema pendular del desarrollo de la Geografía como ciencia. [Fuente Buzai y Baxendale, 2011: 47]

La construcción de una Geografía científica ha dado como resultado una tradición rica y diversa que posee muchos objetos de estudio, sin embargo el componente que siempre ha estado presente en todas estas variedades es la noción del espacio, por lo que, la Geografía ha sido nombrada como una “ciencia del espacio” o de la “organización espacial”. La comprensión de esta dimensión ha variado a lo largo del tiempo y también se ha abordado de manera distinta en cada una de las corrientes del pensamiento geográfico, por esta razón, su definición conceptual depende del soporte teórico y de la visión paradigmática de que se trate (Ortega, 2000).

En Buzai y Baxendale (2011; 2012) se menciona que en general, la Geografía es una ciencia que cuenta con tres enfoques: (1) el ecológico, encargado de estudiar la relación entre la humanidad y la naturaleza; (2) el regional, que aborda la diferenciación de los espacios sobre la superficie terrestre con una visión corológica; y (3) el espacial, que se centra en el estudio de las leyes que rigen las pautas de distribución, mediante una visión sistémica. Este último enfoque sintetiza a los otros dos y en su conjunto, da sustento al análisis espacial.

A principios del siglo XX la Geografía Regional que planteó Vidal de la Blanche, con una base positivista, consideraba a la región (forma de clasificar el espacio) como una realidad objetiva que debía ser descubierta. Para finales de la década de los 30 surgió la perspectiva racionalista de bases neokantianas que consideraba a la Geografía una ciencia excepcional. Con este nuevo enfoque se cambió la concepción de la región y se estableció que debía ser construida. Esta

forma de estudiar el espacio geográfico, es un ejemplo de ciencia ideográfica (Buzai y Baxendale, 2011).

Después de la segunda guerra mundial se impulsó el desarrollo científico y tecnológico que estuvo vinculado a las ciencias físicas y matemáticas, a partir de las que se consolidó la base del paradigma cuantitativo en la Geografía, cuyo sustento epistemológico es el neopositivismo o positivismo lógico desarrollado durante los años 20 por dos grupos: el Círculo de Viena y el Grupo de Berlín. A pesar de que esta nueva corriente se formuló a principios del siglo XX, tomó fuerza hasta finales de los años 50, cuando tuvo lugar la Revolución Cuantitativa que se opuso al excepcionalismo y a la descripción ideográfica, ya que sus planteamientos buscaban el establecimiento de leyes generales a partir de modelos, creados por medio de un abordaje sistemático de la realidad. Este tipo de Geografía se llama Teorética o Cuantitativa (Capel, 1988; Buzai, 1999; Buzai y Baxendale, 2011).

La necesidad por realizar la planificación regional y urbana en un contexto de crisis económica, son las razones que dieron fuerza a este paradigma, en donde la introducción de los métodos cuantitativos en las ciencias sociales y el desarrollo tecnológico, permitieron aumentar la capacidad para tratar la información, lo cual generó una técnica unificadora para crear modelos basados en la probabilidad (Capel, 1988; Buzai y Baxendale, 2011).

A continuación se mencionan algunos de los puntos que según Buzai y Baxendale (2011) caracterizan a los estudios geográficos de corte cuantitativo:

- **Abordaje espacial:** es el sustento principal de este paradigma, ya que permite realizar asociaciones y correlaciones como formas de análisis
- **Construcción de regiones:** se considera a la región como una delimitación del espacio sobre la superficie terrestre que resulta de su construcción y no de su descubrimiento
- **Metodología cuantitativa para la construcción regional:** se realiza a través de métodos clasificatorios de datos espaciales del sitio de estudio, o también, las regiones se definen a partir de las unidades espaciales involucradas
- **Construcción de modelos:** atiende al tratamiento de las características cuya expresión se puede generalizar a partir del uso de metodologías rigurosas y de simplificaciones de la realidad, que sirven para comprenderla. Este tipo de enfoque está opuesto al excepcionalismo
- **Producción de capacidades interdisciplinarias:** gracias a la estandarización, dada por el lenguaje matemático, la Geografía se ha visto en la posibilidad de vincularse con otras ciencias de manera multi, inter o transdisciplinaria, siempre y cuando se posea el enfoque espacial

La nueva forma que presentó la Geografía Cuantitativa para hacer estudios, más allá del uso de la geometría como lenguaje formal, fue mediante la aplicación del análisis espacial y sus tres líneas de abordaje: la regional, la sistémica y la histórica. El sustento con que cuenta esta corriente es el uso de la matriz de datos geográficos, la cual permitió la sistematización de las metodologías para generar un enfoque modelístico y sistemático, que también resultó ser útil para complementar las pautas geométricas de localización que se habían desarrollado anteriormente. Todos estos aportes han ganado fuerza gracias a la introducción de los Sistemas de Información Geográfica (Buzai, 2014a).

Además de las características ya mencionadas, el paradigma cuantitativo se sustenta en la noción del espacio como un contenedor, el cual resulta de la acción ordenadora de la naturaleza mediante la creación de extensión y apertura. Este ámbito se caracteriza por ser neutro, estar vacío en sí mismo y en él interesa conocer la distribución de los fenómenos sociales, cuya representación se hace espacialmente. Esta es la razón por la que, desde esta visión, no se abordan las causas por las que surge una realidad determinada y sólo se destaca la ordenación de las actividades humanas de una manera funcionalista (Ortega, 2000; Buzai y Baxendale, 2011).

El predominio que tuvo el paradigma cuantitativo ocurrió entre los años de 1950 y 1970, ya que durante la última década de este periodo, tuvieron lugar varios sucesos políticos y sociales a nivel mundial, que provocaron la radicalización de las ciencias. Es así como surgieron críticas hacia este paradigma con la finalidad de denunciar su utilidad para la permanencia del sistema, además de enfatizar su carencia de compromiso social. Estos cambios originaron la Geografía Radical, que tiene dos vertientes: la crítica, basada en la teoría marxista y la humanista, que se encarga de estudiar la relación entre la percepción personal y el medio (Buzai y Baxendale, 2011).

Desde el paradigma crítico se concibe que el espacio pierde su carácter absoluto y se convierte en una manifestación de los procesos sociales, es por esto que se centra en la denuncia de las desigualdades espaciales, porque considera que el sistema capitalista posee el dominio sobre esta dimensión, lo que implica una visión incompatible con el paradigma cuantitativo, ya que cada uno presenta argumentos irreconciliables entre sí (Capel, 1988; Buzai y Baxendale, 2011).

A pesar de la permanencia por treinta años del paradigma crítico, el resultado ha sido que las problemáticas denunciadas se han agravado en lugar de solucionarse; lo que ha dado como consecuencia que, al término de este periodo de ciencia normal, nuevamente se haya comenzado a revalorizar el paradigma cuantitativo basado en el positivismo. Esta corriente ha ido cambiando con el tiempo, durante el siglo XIX estuvo ligada a la biología evolucionista, en el siglo XX a la lógica matemática y en la actualidad a la informática, lo que ha permitido que la Geografía trascienda sus límites disciplinarios (Buzai y Baxendale, 2011).

Debido a la naturaleza espacial de la Geografía Cuantitativa, se busca que las soluciones dadas sean corroborables. Las preguntas que plantea son útiles para la planificación territorial y pretende colaborar con el mejoramiento la calidad de vida de la población, a pesar de que no se ocupe de las causas que generan las diferencias sociales existentes en el espacio geográfico. Por otro lado, la Geografía es una ciencia observacional, dado que las variables en cuestión no pueden ser manipuladas como ocurre en las ciencias experimentales (Buzai y Baxendale, 2011).

En la Figura 2, ubicada en la siguiente página, se muestra la propuesta actualizada de Buzai (2014b), en la que se representan los ciclos del desarrollo de la Geografía. En ella es posible apreciar los varios periodos por los que ha transitado esta ciencia, cuyas duraciones varían entre sí. En esta nueva aportación ya se incluyen los momentos en los que han ocurrido las explosiones disciplinarias hacia otras ciencias, por lo que complementa el desarrollo pendular que se presentó al principio de esta sección.

El proceso de formación disciplinaria de la Geografía, muestra dos momentos de explosión: el primero ocurrió durante el siglo XIX cuando esta disciplina se definió como una ciencia humana, y a la vez, se estableció su objeto de estudio. La segunda explosión disciplinaria, tuvo lugar cien años después de la primera, cuando la ciencia del espacio ingresó al mundo de las computadoras

y se convirtió en una Geografía Global de alcance interdisciplinario cuya base es la Geotecnología, un paradigma emergente de base cuantitativa que resulta de una nueva concepción de la realidad (Buzai, 1999; 2014b).

Uno de los resultados que ha tenido el desarrollo del pensamiento geográfico, al menos en lo que respecta al paradigma cuantitativo, ha sido el de recuperar la visión espacial y la diferenciación del espacio, como objetos principales para la generación de síntesis que integren diferentes tipos de variables, algo que es aplicable para la planificación territorial mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (Buzai y Baxendale, 2011; 2012).

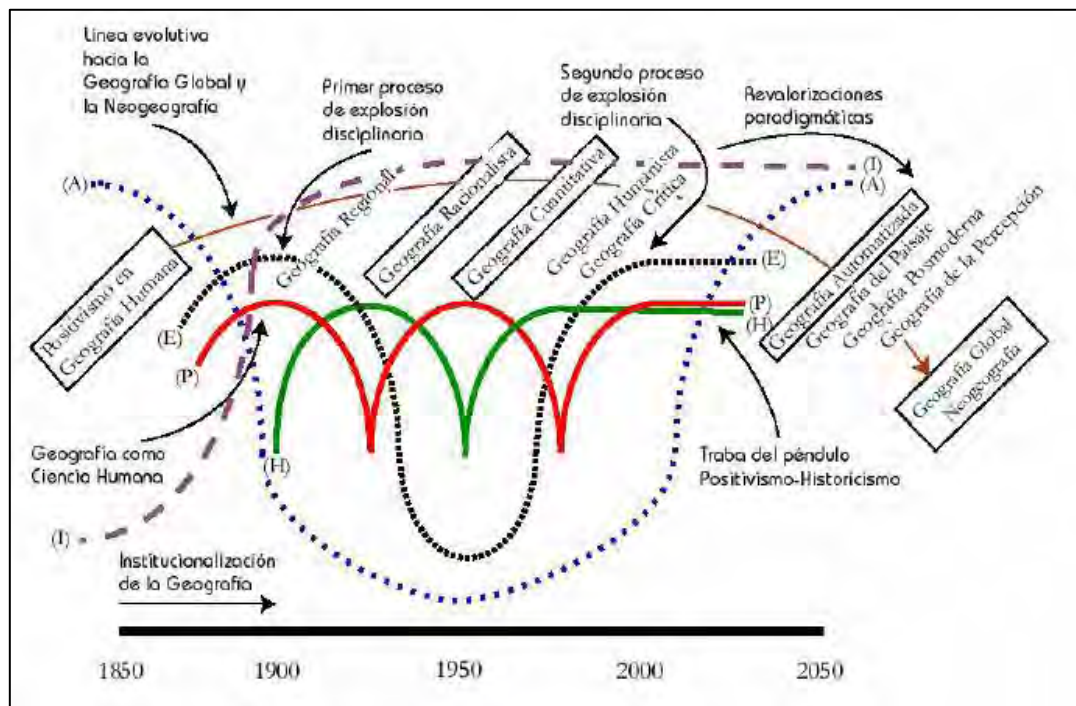


Figura 2 Desarrollo disciplinario y explosión de la Geografía. [Fuente: Buzai, 2014b:7]

Para finales del siglo XX, Buzai y Baxendale (2011) apuntan que hay cuatro perspectivas dominantes en la Geografía: (1) la Ecología del Paisaje, conformada a través de los paradigmas regional, racionalista y cuantitativo; (2) la Geografía Posmoderna, cuya base es el paradigma crítico de los años 60. (3) La Geografía Humanista, que presenta continuidad con sus planteamientos desde la década de 1970; y finalmente, (4) la Geografía Automatizada, basada en los paradigmas cuantitativo y racionalista, que son el sustento de la Geotecnología. Ésta última, es un enfoque que muestra el impacto que ha tenido el desarrollo de las tecnologías digitales en la Geografía (Buzai, 1999; Buzai y Baxendale, 2011).

La informática, definida por Deitel y Deitel (1985) como la combinación de ciencias y técnicas relativas al manejo de la información, se relacionó con la Geografía gracias al uso de las computadoras, en donde surgió un campo emergente conocido como la Geoinformática, cuya aparición fue el resultado de automatizar los procedimientos del análisis espacial en el ambiente digital. Esto fue lo que abrió la posibilidad para manejar la geoinformación, la cual se caracteriza

por contar con una referencia dentro de un sistema de coordenadas en particular, además de tener atributos medibles y ser representada en forma de geometría. De este modo se pueden crear bases de datos alfanuméricas y gráficas que conforman la interface de los SIG, Sistemas de Información Geográfica (Buzai, 1999; 2006).

Otra manifestación del impacto que ha tenido la relación entre la informática y la Geografía, ha sido el surgimiento de nuevos campos de estudio, en donde ambas tienen una aplicación y aportación. De acuerdo con Buzai (2006) son:

- **Desarrollos geoinformáticos:** comprende el campo tecnológico utilizado para el tratamiento de los datos espaciales, es decir de la Geotecnología
- **Geografía Automatizada:** resulta de la estandarización computacional de los procedimientos para el análisis espacial cuantitativo
- **Geografía Global:** corresponde al uso de metodologías y conceptos geográficos, además de los que se importan de otras disciplinas, para aplicarlos de manera espacial. En este sentido, surge la discusión sobre la aparición de un nuevo paradigma
- **Formación transdisciplinaria:** se refiere a la aparición de nuevos campos basados en las aplicaciones geotecnológicas, tales son las Ciencias de la Información Geográfica, las Ciencias Integradas Espacialmente, así como la Geocomputación

En esta investigación sólo se abordan los tres primeros puntos para generar el soporte teórico necesario, ya que, los dos primeros abordan el surgimiento y uso de los SIG, mientras que el tercero corresponde a la corriente, de tipo geográfico, que le da soporte. A través del uso de los Sistemas de Información Geográfica, se ha generado una nueva forma de comprender y mirar la realidad a partir del análisis socio-espacial. Es esta herramienta la que ha permitido la ocurrencia de una nueva explosión disciplinaria de la Geografía, porque la ha convertido en una ciencia Global de carácter interdisciplinario, cuya base principal es el manejo de la geoinformación (Buzai y Baxendale, 2011).

Hacia la década de 1980, con el uso cada vez más extendido de las computadoras, comenzó el debate sobre el impacto que estaba teniendo esta nueva tecnología sobre la ciencia del espacio. Es así como surgió la Geografía Automatizada, cuyas aportaciones fueron tomadas, en un principio, como una cuestión meramente técnica pero que presentaban un gran potencial para su desarrollo. Fue hasta los años 90, cuando se reconoció la profundización teórica que había estado surgiendo con el tratamiento y el manejo de la geoinformación. Un punto importante que se destacó en el debate de aquellos años, es la relajación teórica y la confusión entre teoría y metodología (Buzai, 1999).

A través de la geoinformación se ha incorporado el análisis espacial a un medio digital, a partir de la convergencia de diferentes tipos de *software*; es así como ha sido posible incluir la dimensión espacial por medio del tratamiento de datos georreferenciados, lo que ha representado una herramienta que ha resultado útil para diferentes ciencias. Esta es la razón por la que los SIG son un elemento que ha producido dos revoluciones, una intelectual relacionada con la forma en que se ve y se comprende la realidad, en tanto que, la otra es de tipo tecnológico y se basa en la generación de nuevas técnicas de aplicación (Buzai, 2014b).

El uso de los SIG implica que ocurran dos cambios para conocer, entender y analizar el mundo real. Esta premisa es la que plantea el origen de un nuevo paradigma que impacta a la Geografía

como ciencia, ya que, al irse desarrollando un campo emergente para comprender la realidad, también aparece una nueva manera de relacionarse con ella. Este paradigma basado en la geoinformación, ha ido adquiriendo carga teórica más allá de ser solamente un conjunto de herramientas, cuyo sustento es la Geotecnología, la cual recibe conceptos y métodos geográficos, así como de otras ciencias, para posteriormente mediatizarlos y poder tratarlos de manera digital. El soporte con el que cuenta este enfoque es cuantitativo y/o racionalista pero su aplicación es interdisciplinaria y holística (Buzai, 1999).

Gracias a la Geotecnología se ha podido desarrollar la visión sistémica de la Geografía mediante el análisis espacial, ya que éste, utiliza conceptos provenientes del enfoque ecológico, ocupado de estudiar la relación entre los seres humanos y el ambiente; así como los del enfoque corológico, que es el encargado de realizar divisiones en el espacio geográfico. Estas dos visiones son complementarias entre sí, por lo que la diferenciación espacial se puede realizar desde cualquiera de las dos de forma indistinta (Capel, 1988; Buzai, 1999; Buzai y Baxendale, 2012).

A partir del crecimiento de las tecnologías de la información geográfica se han podido digitalizar los conceptos geográficos, lo que ha permitido su aplicación en otras ciencias, siendo una muestra de la explosión disciplinaria a la que se hace referencia en Buzai (1999), en donde también se mencionan las siguientes líneas de análisis:

- **Inventario:** corresponde al almacenamiento de la información georreferenciada
- **Diferenciación:** se utiliza para poner límites en el espacio geográfico
- **Interacción:** se refiere a la integración en sentido vertical
- **Significancia:** es la selección de información
- **Temporalidad:** incorpora la dimensión temporal al análisis espacial

Estas líneas conceptuales son las que permiten estudiar y sintetizar las manifestaciones que tienen los fenómenos en el espacio, al momento de ingresarlas al ambiente computacional para que puedan ser abordadas de forma geográfica, es decir, de modo espacial. Esta es la manera en que la Geografía cumple con su papel de ciencia organizadora del territorio desde una visión aplicada, que se logra por medio de la utilización de la matriz de datos geográficos propuesta por Berry (1964). Este tipo de arreglo matricial contiene toda la información medida y recopilada del espacio geográfico, la cual cuenta con una localización en particular y así cada una de las celdas de la matriz representa un “hecho geográfico” (Buzai y Baxendale, 2012; Buzai, 2014a).

El aporte principal de esta herramienta es, según Berry (1964), que los estudios geográficos tienen relevancia en el contexto científico por su capacidad integradora, desde el estudio de la distribución, el ordenamiento y la integración de los procesos espaciales. El auge que ha tenido la aplicación de la matriz de datos geográficos, se ha dado gracias al desarrollo y consolidación del uso y el manejo de los Sistemas de Información Geográfica, a través de los que es posible realizar los análisis de corte cuantitativo basados en la estadística. El arreglo matricial puede incluir las unidades espaciales como columnas o viceversa, incluso se puede agregar la dimensión temporal al análisis (Buzai, 1999; 2014a). La Figura 3 muestra dos ejemplos de organización con los que se puede construir la matriz de datos geográficos:

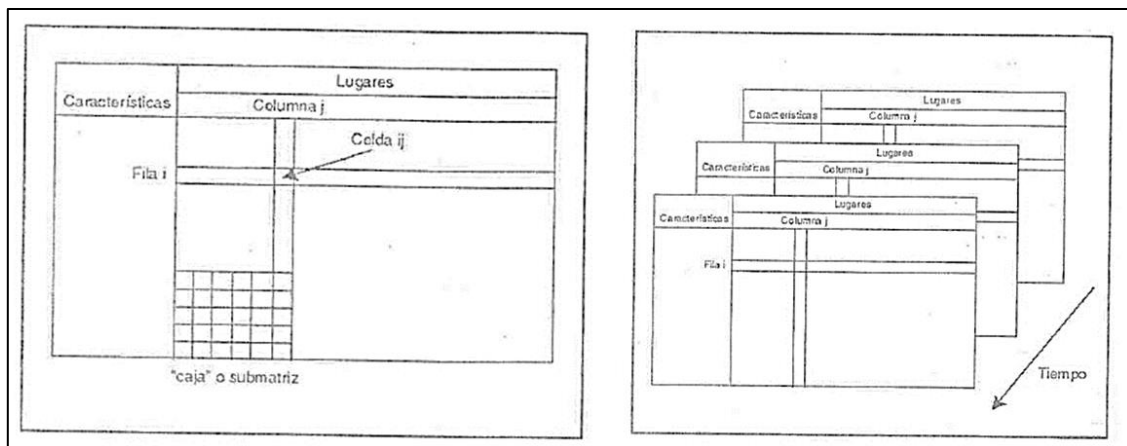


Figura 3 Matriz de datos geográficos. [Fuente: Buzai, 2014a: 51 y 52]

La forma en que impacta este nuevo enfoque del paradigma Cuantitativo, tanto a la Geografía como a las demás ciencias, es mediante el análisis espacial, que se define como el conjunto de técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas al estudio de datos distribuidos en el espacio geográfico. Este tipo de tratamiento de la información es el núcleo de la tecnología de los SIG. Aunque sus conceptos fueron acuñados como parte de un paradigma en particular, su uso se ha extendido a las demás corrientes del pensamiento geográfico, porque permite el vínculo entre las bases de datos numéricas y los mapas, es así como se logran los resultados de tipo espacial sin importar el tema que se trate (Buzai y Baxendale, 2011).

En su generalidad, las dimensiones en las que tiene lugar el análisis espacial van desde lo infinitamente grande, hasta lo infinitamente pequeño; es por esta razón que, esta forma de tratar la información se concibe como el nivel máximo de integración-resolución en el espacio. En cada una de las escalas, existen diferentes tipos de herramientas tecnológicas para su estudio, en el caso de la escala humana, se tiene el análisis geográfico con un nivel de detalle o resolución, mientras que la integración se refiere al nivel de combinación de variables que se utilizan en la búsqueda de resultados (Buzai y Baxendale, 2011).

La Figura 4, expuesta en la siguiente página, muestra un esquema en donde aparecen los niveles de resolución e integración que abarca el análisis espacial, en donde se destaca la escala humana, al centro de lo infinitamente grande y lo infinitamente pequeño. Su estudio se lleva a cabo mediante el uso de los SIG, en donde el espacio geográfico es concebido como un modelo digital de la realidad y se incluyen variables sociales y naturales, que dan como resultado el análisis socio-espacial (Buzai y Baxendale, 2011; Buzai, 2014b).

De acuerdo con Buzai y Baxendale (2011) los conceptos fundamentales del análisis espacial son:

- **Localización:** es la ubicación en el espacio geográfico de los atributos que están referenciados a un sistema de coordenadas
- **Distribución espacial:** se refiere a la variación de intensidad que presenta cualquier variable en las unidades espaciales en las que tiene lugar
- **Asociación espacial:** estudia las semejanzas encontradas entre dos distribuciones espaciales diferentes

- **Interacción espacial:** se enfocan, de manera sistémica, en los vínculos horizontales que hay entre entidades geográficamente localizadas
- **Evolución espacial:** incorpora la dimensión temporal al análisis, donde es posible comparar la transición de un estado a otro

Después de 50 años de desarrollo de los SIG, se ha logrado sintetizar una larga tradición del pensamiento geográfico, al igual que los procedimientos metodológicos que están asociados a éste; lo que ha abierto nuevas posibilidades de aplicación para incorporar la dimensión espacial en el contexto de otras ciencias, lo que da como resultado una Geografía Global (Buzai, 2014b).

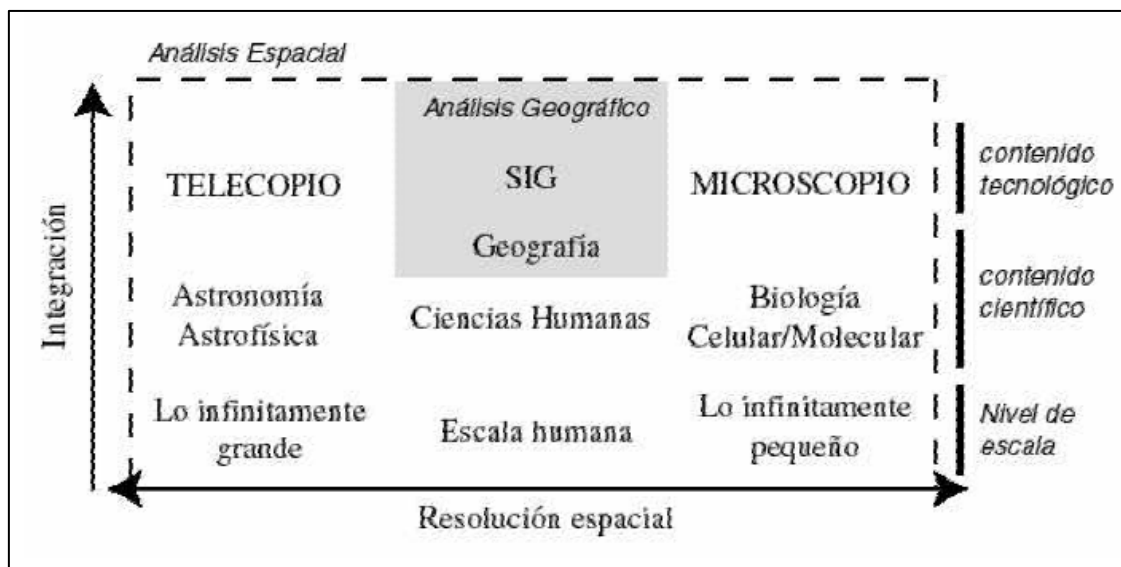


Figura 4 Niveles de integración y resolución del Análisis Espacial. [Fuente: Buzai y Baxendale, 2011: 53]

La Geotecnología brinda las posibilidades para estudiar problemáticas complejas desde el establecimiento de relaciones entre las diferentes disciplinas científicas, en general. Gracias a esta nueva forma de ver y comprender la realidad, ha sido posible exportar los conceptos geográficos para su estandarización y su aplicación a través de los modelos digitales, lo que constituye la presencia del enfoque espacial en los análisis interdisciplinarios. A pesar de que se presentan limitaciones para generar hipótesis y teoría al interior de esta propuesta paradigmática, se ha planteado que mediante esta revalorización de los enfoques cuantitativo y racionalista ha surgido un paradigma de tipo geográfico, que permite el vínculo entre la Geografía y las demás áreas del conocimiento (Buzai, 1999; 2001; 2006).

Bajo esta perspectiva y de acuerdo con lo que se menciona en Ortega (2000), el espacio geográfico en la Geografía Global, según Buzai y Baxendale (2011), se concibe como un modelo digital dentro del ambiente computacional, el cual permite estudiar los fenómenos de naturaleza social sin profundizar en sus causas ontológicas, por lo que también se relaciona con el espacio contenedor de carácter neutro, cuyo interés se centra en las distribuciones, asociaciones, interacciones, localizaciones y evoluciones de carácter espacial de los procesos sociales que se analizan.

Otra de las características que vincula los planteamientos de la Geografía Cuantitativa con la Geografía Global, basada en la Geotecnología, es que el enfoque espacial tiene un carácter primordial y permite plantear la organización y el ordenamiento territorial, además de contribuir a la gestión de recursos naturales. Una gran diferencia que separa a estos dos enfoques, es que el primero está basado en la lógica matemática y la geometría del espacio, mientras que el segundo tiene como sustento las aplicaciones computacionales y el manejo de la información (Buzai, 1999; Buzai y Baxendale, 2011; Ortega, 2000).

En Buzai y Baxendale (2011) se menciona que el análisis socio-espacial con Sistemas de Información Geográfica se realiza desde una visión sistémica de la realidad. Respecto a este punto, estos autores, relacionan al paradigma de tipo geográfico con la Teoría de los Sistemas Complejos expuesta en García (2006), que habla sobre analizar los diferentes tipos de relaciones entre los niveles que conforman una totalidad organizada. Este marco epistemológico también se presenta como una metodología para el trabajo interdisciplinario mediante la construcción de marcos interparadigmáticos.

1.2 Sistema Socio-Técnico y Gestión Integrada del Agua Urbana

Cuando existe una confluencia de paradigmas, uno funciona como base y el resto como auxiliares, pero todos se utilizan para dar explicación a los diferentes niveles que se presentan en una misma realidad. Bajo esta premisa, queda al descubierto que las leyes científicas no son en todo momento incompatibles entre sí y que se pueden utilizar en distintos abordajes, por lo que se rompe con las dicotomías que caracterizaron la modernidad y la investigación interdisciplinaria adquiere el papel principal, cuyo lugar se asienta en varios bordes paradigmáticos (García, 2006; Buzai, 2014a).

En este caso, los problemas ambientales se conciben de manera compleja, porque en ellos ocurren procesos múltiples y de naturaleza variada; por esta razón, el marco teórico que se propone en García (2006), plantea la existencia de una realidad compleja, que se refiere a aquel 'mundo real', compuesto por situaciones y procesos que no pueden ser clasificados según su correspondencia con una sola disciplina en particular. De manera similar, en Buzai (1999), se menciona al mundo real como un entorno vivencial con múltiples dimensiones (entre ellas la espacial), en donde es posible determinar relaciones entre los elementos heterogéneos que lo componen y los distintos niveles que lo estructuran.

Para estudiar esta realidad es necesario hacer un recorte, el cual da origen a un sistema complejo, que denomina una totalidad organizada compuesta por elementos heterogéneos no separables. La definición de este tipo de sistemas se hace según los objetivos de la investigación que se esté realizando, por lo que, no están delimitados en sí mismos. En ocasiones pueden estar compuestos por subsistemas y a la vez ser parte de otro sistema más grande. En síntesis, un sistema complejo es una realidad empírica que carece de límites precisos, cuya definición se da según la estructura que tiene en términos espaciales y temporales (García, 2006).

Los elementos que componen este recorte de la realidad poseen propiedades que determinan su estabilidad y aunque existen procesos que los relacionan entre sí, cada uno tiene sus dinámicas propias, es por eso que el análisis se centra en comprender los procesos que tienen lugar entre los componentes del sistema complejo, el cual se caracteriza por: A) ser una estructura abierta; B) carecer de límites bien definidos; C) realizar intercambios con el exterior

a manera de flujos; y D) tener una estructura que no es rígida, por esta razón pueden estar sometidos a perturbaciones exógenas o endógenas (García, 2006).

Este marco epistemológico ha permeado al ámbito de la gestión de los recursos naturales, en donde se plantean los sistemas teleológicos, cuyos objetivos deben dar resultados específicos, además de que, en ellos se debe exaltar la capacidad para ser mejorados a través de la acción sobre las relaciones que ocurren entre sus elementos. En estos términos se define a la gestión como: el conjunto de relaciones que tienen lugar entre las entidades que desarrollan los procesos de administración y control de los recursos, además de la provisión de servicios públicos y productivos (Sandoval, 2004).

Para el caso particular del agua, el proceso de gestión recae principalmente en los organismos operadores, cuyas actividades comprenden el suministro y la disposición de aguas residuales. El primer conjunto está compuesto acciones como: asegurar, tratar, transportar, almacenar y distribuir el recurso, que se utiliza para los diferentes usos humanos; mientras que en el segundo caso, se lleva a cabo la recolección, el transporte, el tratamiento y la disposición final de las aguas residuales que se generan en las ciudades (Baumann et al., 1998).

Desde la visión de la problemática ambiental actual, y con un enfoque sistémico, en Krantz (2012) se plantea la necesidad de estudiar el uso doméstico del agua desde el papel que desempeñan las viviendas como parte de un sistema socio-técnico, con el objetivo de entender los procesos que relacionan a los sistemas de abasto con las políticas ambientales. La propuesta de esta autora corresponde a un modelo conceptual que fue construido de manera empírica con la experiencia obtenida en ciudades suecas, en donde se abordó minuciosamente este tema, sin embargo también se menciona que su aplicación se puede llevar a cabo en cualquier ciudad cuya urbanización haya sido occidental.

El estudio de los sistemas complejos se centra en el análisis de la dinámica que presentan los procesos, ya que, estos describen los cambios que se suscitan en el interior del sistema. Para el caso de esta investigación, la gestión del agua urbana queda definida como un proceso cuyo fin es el control del ciclo urbano del agua, que está compuesto por la extracción, el tratamiento, la distribución, el uso, la descarga, el tratamiento de aguas residuales y la disposición de lodos, en donde se pretende alcanzar objetivos, comprender y analizar las dinámicas, así como generar propuestas y cambios que hagan perdurar el funcionamiento del sistema (Sandoval, 2004; García, 2006; Krantz, 2012).

La ocurrencia de estos procesos tiene lugar dentro de un esquema conceptual llamado sistema socio-técnico, en donde se contemplan las relaciones que hay entre tres niveles, que son: el político, el del organismo operador y el de la vivienda. La relación que tiene lugar entre los últimos dos niveles es la más importante de todo el sistema socio-técnico, por lo que es necesario conocer el tipo de factores que influyen la rutina cotidiana del uso que se le da al agua y la manera en que se retroalimentan cada uno de los niveles entre sí. Este modelo sirve para darle estructura a un sistema complejo y así comprender las relaciones que ocurren entre sus elementos, mientras que el proceso principal de estudio es el uso doméstico de agua en las viviendas (García, 2006; Krantz, 2012).

- **Nivel político:** comprende los objetivos políticos y metas del sector hídrico, que en su conjunto son instrumentos que pretenden cambiar el estado presente del sistema; su

aplicación directa tiene influencia sobre los organismos operadores y en menor medida en las viviendas. Los actores que conforman este nivel, en su papel ejecutor de las políticas hídricas, actúan en paralelo con las compañías de desarrollo inmobiliario, quienes influyen fuertemente en el uso doméstico y la demanda que se genera por el agua

- **Nivel de organismo operador:** es el elemento más difícil de cambiar de todo el sistema, está compuesto por dos partes que son interdependientes entre sí: la organizacional y la técnica. En la primera se encuentran todos los aspectos institucionales como: las reglas, los procedimientos y las normas operativas, que en su conjunto definen la relación con los usuarios que habitan las viviendas; en tanto que la segunda está conformada por la infraestructura física, por ejemplo las redes de distribución, las plantas de tratamiento y los demás componentes para suministrar a las ciudades con agua
- **Nivel de la vivienda:** es un elemento que tradicionalmente ha estado compuesto por los usuarios del agua, que se han caracterizado por tener un papel pasivo en todo el proceso de gestión. A través de esta perspectiva sistémica, se valora su importancia e ingresan a la generación de nuevas políticas e instrumentos que se vean reflejados en los organismos operadores y que a la vez retroalimenten el nivel político, de ahí la importancia para su estudio. En este esquema se contemplan tanto las características físicas de las viviendas, así como las de los usuarios que las habitan y quienes comparten recursos entre sí

En Krantz (2012) se apunta que el concepto de uso doméstico de agua es diferente al de consumo de agua, porque en el primer caso el vital líquido regresa al ciclo hidrológico, en tanto que en el segundo queda inaccesible para otro tipo de actividades. Este planteamiento es similar al que hacen Dasch (2003) y Gleick (2003), quienes mencionan que, cuando se consume el recurso, éste queda fuera de la cuenca de donde se extrajo; entre los ejemplos que dan para ejemplificarlo, están: la evapotranspiración, el agua contenida en los tejidos vegetales, evaporación, entre otros.

El uso doméstico de agua se define como aquel proveniente de grifos y llaves, que permiten utilizar el líquido en actividades como: beber, cocinar, bañarse, lavar ropa y propósitos similares, que constituyen un uso interior; por su parte, actividades como el riego de jardines, el lavado de automóviles y el llenado de albercas, son usos exteriores que pueden clasificarse como consumo de agua, ya que, su realización implica que el recurso ya no pueda ser utilizado en otra actividad, debido a los efectos de la evaporación (Dasch, 2003; Domene y Saurí, 2003; Gleick, 2003; Zhang y Brown, 2005).

Adicionalmente en Gleick (2003) y en Billings y Jones (2008) se define la demanda de agua, para lo que, se le asignan unidades volumétricas a las acciones que implica el uso doméstico en un tiempo dado. Tomando este elemento como base y en conjunto con lo mencionado en los dos párrafos anteriores, se acuña el concepto de demanda por uso doméstico de agua, un proceso de primer nivel definido como: el volumen necesario de agua para que los usuarios domésticos puedan realizar las actividades que conciernen a la higiene, la limpieza de la vivienda en general y los usos exteriores como el riego de jardines y el llenado de albercas.

El proceso que se estudia en esta investigación, es el de demanda por uso doméstico de agua, que es generado por las viviendas del sistema socio-técnico y que tiene relación directa con el proceso de suministro a cargo del organismo operador, quien a su vez está subordinado a los procesos que se generan en el nivel político, así como de los factores climáticos que también inciden en todo el sistema (Krantz, 2012). En la Figura 5 se esquematizan los niveles del sistema socio-técnico que se describieron en las dos páginas anteriores.



Figura 5 Modelo conceptual sistémico para estudiar el uso de agua. [Fuente: Krantz, 2012:106]

Para que este proceso se pueda abordar desde el ambiente de los Sistemas de Información Geográfica, con el fin de estudiar su comportamiento espacial, es necesario generar inventarios de información que resultan del registro de los medidores con los que cuentan los usuarios. De esta manera es posible aplicar el paradigma Geotecnológico y la Geografía Global desde una visión sistémica de la realidad, con la finalidad de realizar el análisis socio-espacial dentro de un sistema socio-técnico.

Dadas las diferentes características que tienen los tres niveles de este sistema complejo, para su estudio y comprensión se deben distinguir tres tipos de proceso según el tipo de análisis que se quiera realizar, así como el tipo de dinámicas que se quieran estudiar. En este punto se ligán el esquema conceptual de Krantz (2012) con el marco teórico de García (2006) para generar un esquema operativo que dé estructura a esta investigación y de ahí que se vinculen los niveles

del sistema socio-técnico con el tipo de procesos que se desprende de cada uno y que a continuación se enlistan.

- **Procesos de tercer nivel:** son aquellos que se dan en niveles nacionales e internacionales; son los que vinculan el nivel político y al organismo operador del sistema socio-técnico, por ejemplo el planteamiento de principios para guiar la política hídrica o las modificaciones de metas y objetivos desde el gobierno
- **Procesos de segundo nivel:** también concidos como metaprocesos, ocurren en una escala regional o nacional y condicionan a los procesos de primer nivel. Estos ocurren dentro de las dos entidades que son parte del organismo operador y comprende los procesos que conforman el ciclo urbano del agua, entre ellos el suministro de agua a las ciudades
- **Procesos de primer nivel:** se refiere a los procesos que son esencialmente locales y que ocurren en las viviendas por parte de los usuarios, como la demanda por uso doméstico de agua

El modelo que propone Krantz (2012) también se concibe de forma espacial y temporal, por lo que se debe tener en mente que: “El análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica es empírico al tratar cuestiones del mundo real y su práctica se hace operativa a través de apelar a aspectos teóricos (Teoría de la Geografía), aspectos metodológicos (análisis espacial) y las principales propiedades de aplicación (planificación territorial)” (Buzai y Baxendale, 2011:72). De ahí la importancia de plantear un marco sistémico que sirva para dar explicación a la demanda por uso doméstico de agua, desde una visión espacial e integrada.

La gestión convencional del agua urbana fue desarrollada durante el siglo XIX con un enfoque centrado en evitar epidemias y mejorar la salud pública, por estas dos razones, durante la construcción de la infraestructura no se tomaron en cuenta consideraciones de tipo ambiental y únicamente se basó en la provisión de agua para las ciudades. En este modelo se tomó el aumento de la demanda del recurso como constante, en relación con el crecimiento poblacional (Mitchell, 2006; Kayaga, 2011).

Ante el surgimiento de los problemas ambientales en torno al abasto, la distribución y el uso de los recursos hídricos, dentro del ciclo urbano del agua, se han generado nuevos enfoques para su administración de manera integrada, de tal manera que se ha visto la necesidad de incluir más dimensiones en este proceso; es así como se ha concretado un nuevo paradigma que tuvo su origen en la planificación del sector energético durante la década de 1970, y que después de veinte años se aplicó al sector hídrico, se trata de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos y de la Gestión Integrada del Agua Urbana (Mitchell, 2006; Perevochtchikova, 2010).

El cambio que ha suscitado la forma de administrar el agua, ha estado ligado a que la cantidad de agua dulce que puede ser utilizada para el consumo humano tiene una distribución espacial y temporal muy heterogénea, además de que, desde el siglo XVIII, la población mundial ha aumentado de forma exponencial y constante, por lo que en la actualidad la mayor parte de los seres humanos residen en áreas urbanas, tendencia que tenderá a continuar en este siglo y que pone de manifiesto la necesidad de estudiar, comprender y analizar nuevas formas para abastecer a las ciudades de agua (Perevochtchikova, 2010; House-Peters y Chang, 2011; Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

A pesar de que la agricultura es la actividad humana que requiere más agua, representa un uso consuntivo en comparación con los que se hacen en las ciudades; el crecimiento urbano constante y el incremento de su demanda, han sido factores determinantes para generar el estado crítico actual que presentan los recursos hídricos, el cual tiene repercusiones para el desarrollo y la calidad de vida. En la actualidad no se han contemplado los usos ambientales del vital líquido, lo que ha traído como consecuencia el aumento de la vulnerabilidad de las fuentes, así como diversas formas de impacto ambiental que van más allá de las áreas urbanas (Alberti, 1999; Gleick, 2003; Newton y Meyer, 2012).

Estas circunstancias han provocado una crisis en torno al agua, la cual se presenta principalmente en las ciudades y se caracteriza por el aumento de la extracción de agua subterránea, contaminación de las fuentes, cambios en el régimen hidrológico natural, disminución en la eficiencia económica para su apropiación y manejo, además de competencia entre usuarios y usos (Tiburcio y Perevochtchikova, 2012). En Baumann et al. (1998) se mencionan los siguientes retos para la gestión del agua urbana:

- Las fuentes sin explotación son cada vez menos, en tanto que el agua subterránea está llegando a su límite para abastecer los usos humanos, al tiempo en que está siendo contaminada
- Sequías con mayor frecuencia, que han suscitado la competencia entre usos urbanos y agrícolas
- Cada vez se presenta mayor dificultad para construir nueva infraestructura para el abasto urbano, desde el punto de vista de su factibilidad política, además de los costos asociados para su operación y mantenimiento

Éstas son las razones por las que se ha planteado la necesidad de contar con alternativas que sirvan para disminuir el impacto que generan las ciudades en el ambiente, y que al mismo tiempo se vuelvan lugares más saludables para sus habitantes, ya que la capacidad del planeta se está tornado incapaz para mantener la trayectoria del consumo y uso de los recursos que se hace en el presente siglo, además de que se estima que para el año 2050 la población mundial será de 9 mil millones de personas y el 70% va a residir en las ciudades, de ahí la importancia de estudiar los patrones de uso de recursos que se hace en estas áreas (Alberti, 1999; Mitchell, 2006; Newton y Meyer, 2012).

Este panorama ha hecho que el tema del agua tome prioridad entre los principales retos ambientales, según las instituciones globales. El aumento de la demanda y la disminución de calidad de las fuentes ha generado un escenario de “tormenta perfecta”, que es capaz de poner en riesgo a la civilización actual, por lo que, para la resolución de este tipo de problemas, se debe tener en mente que la gestión es el reflejo de los procesos políticos, sociales, económicos y culturales de cada época, los cuales tejen intrincadas redes de relaciones entre la sociedad y el recurso manejado, además de que se deben establecer metas y prioridades al respecto. En el caso del agua, ocurrió un cambio en su concepción, pasó de ser vista como un elemento que debía ser controlado a uno que debe ser cuidado, de ahí la implementación de los enfoques de gestión integral (Sandoval, 2004; Saurí, 2013; Tiburcio, 2013).

La Planificación Integrada de Recursos (PIR) es un enfoque que puede ser útil para alcanzar la sustentabilidad ambiental; este marco surgió durante los años 70 en el sector energético y

posteriormente se le aplicó a la gestión del agua. Su origen se basó en la reducción de costos, en donde está inmersa la gestión de la demanda, dado que puede ser estudiada y modelada, además de que es parte de diferentes procesos de integración concebidos de forma sistémica. Esta manera de planificación, también incorpora el principio del menor costo, que para su implementación, es necesario establecer ¿qué tipo de costos deben ser reducidos? y a ¿quiénes se debe beneficiar mediante estas acciones? Por otro lado se debe fomentar la participación en la toma de decisiones, así como plantear objetivos comunes (Baumann et al., 1998; Kayaga, 2011; Kayaga y Smout, 2011).

Para los años 80 se acuñó el concepto de desarrollo sustentable como una alternativa para que los países logaran el crecimiento económico que satisfaga las necesidades actuales, sin comprometer aquéllas de las generaciones futuras; así fue como se adoptaron enfoques emergentes para llevar a cabo esta forma de desarrollo, entre ellos la Gestión Integrada de Recursos Naturales (GIRN), la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) y la Gestión Integrada del Agua Urbana (GIAU), cuya finalidad es el uso racional del agua en una unidad espacial determinada, mediante la coordinación con el desarrollo del suelo y los demás recursos, que se hace con el fin de maximizar los beneficios económicos y el bienestar social de manera equitativa, además de procurar la mejoría de la situación ambiental (Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

Las propuestas que expone la GIAU han surgido como respuestas ante las limitaciones de la gestión convencional del agua urbana, tales como: (1) la visión sectorial y centralizada de los componentes de abasto, drenaje y saneamiento; (2) la separación de tareas y falta de acciones para mitigar la degradación ambiental; (3) el enfoque en la dotación a las poblaciones urbanas a través de servicios hidráulicos, sin contar con objetivos de sustentabilidad ni tomar en cuenta otros usos (Kayaga y Smout, 2011; Bahir, 2012).

Las limitaciones que se mencionaron en el párrafo anterior, se explican por el contexto en que surgió el paradigma convencional durante el siglo XIX. En aquel tiempo las prioridades que se querían alcanzar concernían al mejoramiento de la higiene en las ciudades europeas y americanas; en tanto que no había metas que contemplaran la sustentabilidad ambiental y el desarrollo, además de que se pasó por alto el costo creciente por la reparación de la infraestructura que envejecía y que llegaba al límite de su vida útil. Desde esta concepción, la demanda de agua debe cubrirse sin importar los costos ambientales ni los sociales, además de que no se percibe de una forma multifacética, simplemente se le relaciona con el aumento poblacional (Mitchell, 2006; Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

Tiburcio y Perevochtchikova (2012) apuntan que las propuestas que se hacen a través de la GIAU, como una nueva forma de gestión, son la manera en que se lleva a cabo el desarrollo sustentable en la escala espacial de la ciudad y corresponden a la forma en que se maneja el agua en este ámbito. Su finalidad principal es que las urbes tengan una mejor relación con la naturaleza y que así se reduzca su impacto negativo, en esta sintonía se describe el objetivo de la GIAU como: “apoyar a la toma de decisiones en el manejo del agua en los territorios urbanos y periurbanos, en la búsqueda de soluciones conjuntas a un amplio rango de objetivos e intereses” (Tiburcio y Perevochtchikova, 2012:397).

Una de las consideraciones que plantea la GIAU, es que la centralización de los servicios hidráulicos entra en conflicto con el funcionamiento físico de la naturaleza, por lo que los servicios de suministro, alcantarillado, saneamiento, manejo de las tormentas y drenaje deben ser gestionados como un ciclo completo, ya que estos componentes están relacionados entre sí; por eso es importante implementar la descentralización en la administración del recurso y la priorización del alcance de objetivos comunes entre usuarios. (Mitchell, 2006; Bahir, 2012; Tiburcio y Perevochtchikova, 2012). En la Tabla 1 se presenta una comparación de las acciones según el paradigma convencial y el integrado de la gestión del agua.

Tabla 1 Comparación de los paradigmas de gestión del agua. [Fuente: compilación de Pinkham y Scholar 1999; Mitchell 2006; Bahir 2012 y Tiburcio y Perevochtchikova 2012]

Viejo Paradigma	Nuevo Paradigma
Los residuos son un problema, deben ser expulsados de la ciudad.	Los residuos son un recurso, se deben aprovechar los nutrientes que poseen.
La lluvia es un problema, debe ser transportada lejos de la ciudad.	La lluvia es un recurso, puede colectarse para utilizarla como fuente de abasto o infiltrarla hacia los mantos acuíferos
La demanda es cuestión de cantidad	La demanda es polifacética
El agua tiene una trayectoria unidireccional y hay un solo uso.	Recuperación y reutilización, el agua puede ser utilizada varias veces según su calidad.
Infraestructura gris.	Infraestructura verde.
Sistemas de colección y plantas de tratamiento gigantes y centralizadas.	Sistemas de colección y plantas de tratamiento pequeñas y descentralizadas.
Limita complejidad y emplea soluciones estándar.	Permite diversas soluciones, nuevas estrategias y tecnología en la gestión.
Integración ciclo del agua por accidente	Integración física e institucional por diseño.
Colaboración = relaciones públicas.	Colaboración = contrato.

Este nuevo paradigma enfatiza que las soluciones deben encontrarse en la gestión de la demanda, que debe estar equilibrada con la administración del abasto, además de que se deben tomar en cuenta las fuentes no tradicionales, como lo es la captación de agua pluvial. También se hace hincapié en la necesidad de generar acuerdos entre los usuarios y los diferentes tomadores de decisión, para que se planifique la utilización del agua contemplando su preservación en el presente y en el futuro (Mitchell, 2006; Bahir, 2012). A continuación se enlistan algunos principios que establece la GIAU:

- Consideración de las partes naturales y las antrópicas del ciclo urbano del agua, para que puedan ser incluidas todas las fuentes posibles
- Establecimiento de la calidad del agua según tipo de uso que se le va a dar
- Tomar en cuenta el contexto local de ambiente, sociedad y cultura

- Plantear que el almacenamiento, distribución, tratamiento, reciclaje y disposición de residuos son un ciclo integrado, en lugar de actividades separadas
- Inclusión de todos los tomadores de decisiones en la generación de acuerdos relativos a la gestión y la planificación del uso de los recursos hídricos, de tal manera que se busquen alinear las instituciones formales e informales en un marco de conciliación de intereses
- Planificación de la protección, la conservación y la explotación del agua en según la fuente que se trate
- Tomar en cuenta todos los usos del agua además del urbano
- Promover la sustentabilidad bajo un balance de las dimensiones ambiental, social y económica en el corto, medio y largo plazos

Todos estos principios quedan enmarcados en tres requisitos principales para su aplicación: la eficiencia, la equidad y la sustentabilidad ambiental, que se refieren a: (1) la optimización de un recurso escaso y vulnerable; (2) la garantía de acceso universal al agua en calidad y cantidad; y (3) brindar la protección del recurso y los ecosistemas que tiene asociados, para asegurar su disponibilidad presente y futura (Bahir, 2012).

Un planteamiento importante dentro de la integración que maneja este paradigma, es que dentro de la ciudad, las políticas de la vivienda, la energía y el uso de suelo deben vincularse y coordinarse con la planificación del uso de los recursos hídricos, desde un enfoque sistémico que incluya tanto las características físicas del ciclo del agua, así como de las instituciones urbanas que tienen a su cargo la prestación de servicios hidráulicos, bajo el entendido que, entre mayor sea la integración, la ciudad será más sustentable. La idea que fomenta la GIAU es que el cambio de paradigma debe permear hasta el nivel de concepción y determinación de los problemas que se pretenden abordar y solucionar (Bahir, 2012).

Además de la escala local, en donde opera la GIAU, sus principios y sus planteamientos deben coordinarse con los de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, que tienen lugar en la cuenca. En esta unidad espacial, la ciudad es un punto importante en cuanto al uso del agua. La manera en que se logra esta integración, sin importar las escalas ni los contextos, es a través del enfoque sistémico, el cual posibilita una mejor relación entre la humanidad y la naturaleza, además de que permite la comprensión de la forma en que se articulan la materia y la energía dentro de los sistemas naturales y los humanos (Perevochtchikova y Martínez, 2010; Bahir, 2012).

La aplicación de la Gestión Integrada del Agua Urbana plantea la integración de diferentes áreas del conocimiento, lo que constituye la interdisciplina, porque se trata de un marco integral. De acuerdo con la propuesta de García (2006), la ciudad se puede concebir como una totalidad organizada, que en sí misma sea un sistema complejo o un subsistema de otro más grande, lo importante es tener en mente que sus elementos no son “separables”, en este caso se hace referencia a los componentes del ciclo urbano del agua, en donde ocurren diferentes tipos de interacción que mediante la aplicación de la GIAU, se pretenden guiar hacia determinados objetivos para alcanzar esquemas sustentables y equitativos.

En Maheepala (2010) se menciona que la GIAU puede realizarse en cualquier área urbana que busque minimizar su impacto en el ambiente; por esta razón, se debe enfocar sus herramientas

en la planificación y la generación de acuerdos entre actores e instituciones. De igual forma, la implementación de este paradigma semeja a una espiral con tres fases y cinco actividades que consisten en una retroalimentación progresiva de mejoramiento, según el avance que se vaya teniendo en cada una:

- **Fase 1:** análisis apropiado del entendimiento de la ciudad como un sistema, los balances de agua y los contaminantes, así como la identificación de oportunidades para la gestión integrada
- **Fase 2:** análisis suficiente y detallado para generar un conjunto de anteproyectos plausibles y líneas de planificación estratégica. La finalidad en este punto es disminuir la cantidad de opciones
- **Fase 3:** consiste en comparar la línea reducida de opciones y seleccionar de manera consensuada la que se ajuste mejor a los intereses de la ciudad

Las actividades que deben llevarse a cabo en cada una de las fases, para implementar la GIAU en un área urbana, se sintetizan en la Tabla 2, que fue obtenida de Maheepala (2010):

Tabla 2 Actividades para la implementación de la GIAU. [Fuente: Maheepala, 2010]

ACTIVIDAD	CARACTERÍSTICAS
Establecimiento de un grupo de tomadores de decisión	Constituir un grupo de representantes, quienes estén encargados de supervisar la aplicación de la GIAU
Acuerdos en objetivos, medidas, criterio y métodos	Generación de acuerdos en los términos y objetivos para la provisión del servicio de agua en calidad y cantidad.
Entendimiento actual del sistema	Comprensión de todos los elementos del sistema, el ciclo urbano del agua, legislación, clima, demografía, contexto social y económico y ambiental.
Generación de propuestas de gestión	Requiere la comprensión de las diferentes estrategias y de la función de todos los componentes juntos.
Implementación de la planificación	Comprende la confirmación y consenso de las estrategias elegidas antes de su aplicación.

Un punto importante que se desprende de la Tabla 2, es que se necesita entender el estado actual en que se encuentra el sistema como un punto prioritario para la implementación de acciones de la GIAU, por lo que es importante tener en mente que las instituciones y las organizaciones, encargadas de gestionar el agua dentro de un sistema socio-técnico, deben conocer el volumen que demandan los usuarios a quienes prestan sus servicios en un periodo de tiempo, el cual está en función de diferentes factores, y que corresponde al concepto de demanda del agua (Gleick, 2003; Billings y Jones, 2008).

Otra de las grandes diferencias entre ambos paradigmas para la gestión urbana del agua, y que se menciona en los trabajos de Pinkham y Scholar (1999), Mitchell (2006), Bahir (2012) y Tiburcio y Perevochtchikova (2012), es la manera en que se concibe el proceso local de demanda de agua para las ciudades, en uno de ellos sólo se vislumbra como una cantidad en constante aumento, mientras que en el otro se aborda de manera multifacética, por lo que es importante conocer los factores que la determinan. Esto hace que se vinculen los principios de la GIAU con la propuesta sistémica de Krantz (2012), en donde se estudia el papel de las viviendas y de igual manera en la importancia de conocer cómo se integran en un contexto más amplio.

Actualmente la gestión del agua ha tomado una base científica que también incluye la tecnología, además de que su concepción ha trascendido la visión que se centra únicamente en el abasto, de ahí la importancia de estudiar los aspectos que están relacionados con la demanda por el recurso como son: los aspectos tecnológicos, la institucionalidad, las leyes, la regulación estructural de incentivos y las prácticas de financiamiento, con la visión de conservar el agua. Por esta razón, la gestión de la demanda de agua se ha vuelto la piedra angular en la política sustentable (Baumann et al., 1998; Saurí, 2003).

1.3 Gestión de la Demanda de Agua Doméstica

Aunque aún no existe un consenso entre los expertos y las autoridades sobre los objetivos que se deben alcanzar con la gestión del agua, se le ha dado mayor importancia a los temas que atañen a la gestión de la demanda, la medición de la eficacia y las herramientas para el diseño e implementación de las políticas en un contexto que se ha caracterizado por el crecimiento urbano y la búsqueda por la minimización de los impactos ambientales sobre las fuentes disponibles, de ahí la importancia de entender la forma en que las ciudades se han relacionado con el medio que les provee de los recursos hídricos necesarios (Brown et al., 2008; Sosa, 2009).

Para estudiar estos cambios por los que han pasado las urbes en relación con el agua y la manera en que se apropian de ella, desde los aspectos histórico, ecológico, geográfico y socio-político, Brown et al. (2008) propusieron el concepto de contrato hidro-social, el cual enmarca la perspectiva cultural dominante que se basan en los valores que sustentan la manera en que se debe gestionar el agua urbana, cuya expresión ocurre en los arreglos institucionales. Las implicaciones de dicho entramado tienen lugar en los distintos niveles de los sistemas socio-técnicos.

Este modelo se realizó con base en la experiencia histórica de las ciudades australianas, sin embargo como mencionan Tiburcio y Perevochtchikova (2012), basándose en un argumento de Aboites (1998), el concepto de contrato hídrico-social de Brown et al. (2008) también es aplicable para las ciudades mexicanas, porque los sistemas para el abastecimiento de agua se hicieron con base en la ingeniería inglesa, al igual que el caso de Australia. Se plantean seis etapas distintas, acumulativas y transitorias por las que ha pasado la gestión del agua, junto con las modificaciones que ha tenido el contrato hídrico-social:

- **La ciudad con agua potable:** durante esta etapa, la prioridad principal se enfocaba en la provisión de agua desde fuentes seguras para la creciente población. Este servicio estaba limitado para abastecer a la clase alta; sin embargo se empezó a considerar la necesidad de ampliar la cobertura para toda la población a un bajo costo, con el fin de garantizar un acceso equitativo. Se tenía una percepción del recurso como ilimitado

- **La ciudad con alcantarillado:** tuvo su origen en el combate a las enfermedades patógenas que ocurrían en las urbes, razón por la cual, se consideró como prioritaria la construcción de los sistemas de drenaje subterráneo para expulsar los residuos al ambiente, lejos de las zonas habitadas para mantener la salubridad pública en las áreas urbanas
- **La ciudad drenada:** este tipo de relación se dio cuando la población comenzó a requerir seguridad contra las inundaciones, por lo que la hidrología urbana se centró en expulsar el agua de lluvia, la cual se concebía como un problema, en tanto que los servicios de abasto y de drenaje se encontraban centralizados en una sola autoridad
- **La ciudad de aguas corrientes:** implica un cambio en la manera de plantear las funciones para la prestación de los servicios de suministro y drenaje, que también incluye la cuestión ambiental, que no se había tomado en cuenta anteriormente. A partir de esta etapa se integró en la planificación de las ciudades al sector hidráulico
- **La ciudad del ciclo de agua:** es el resultado de reconocer las limitaciones del paradigma convencional para abastecer las poblaciones, que se presentan en un contexto de desarrollo urbano en constante incremento. Se centra en encontrar soluciones para la contaminación del agua, por lo que es necesario adoptar la sustentabilidad ambiental, económica y social como metas, por medio del diálogo entre las autoridades y los investigadores desde el enfoque integrado del ciclo urbano del agua
- **La ciudad sensible al agua:** es un escenario futurista que contempla la integración de los valores de reparación y de protección ambiental, el abasto seguro, el control de las inundaciones, la salubridad pública, las amenidades, la sustentabilidad económica y la habitabilidad, entre otros. Implica un nuevo arreglo socio-técnico que implique un contrato hídrico-social adaptativo en evolución continua

En la Figura 6, que aparece en la siguiente página, se presenta una síntesis del esquema publicado en Brown, et al. (2008) y cuya traducción al español se puede encontrar en Tiburcio y Perevochtchikova (2012: 382).

Con los elementos mencionados desde el enfoque de integración de la gestión del agua en las ciudades y ante los problemas de contaminación de las fuentes, así como el incremento de la cantidad del líquido que requieren las ciudades, surge la necesidad de centrarse en la gestión de la demanda del agua doméstica como un elemento clave para alcanzar su uso eficiente y sustentable mediante el desarrollo y la implementación de estrategias, políticas u otras iniciativas aplicables para los usuarios finales (Baumann et al., 1998; Kayaga, 2011).

A través de esta nueva forma de concebir la gestión del agua, se pretende redefinir el balance entre el abasto y la demanda para las poblaciones urbanas, proveyendo los mismos bienes y servicios pero utilizando menos cantidad del recurso. Las estrategias para alcanzar estos objetivos se dividen en tres categorías: (1) económicas, que buscan fomentar el ahorro mediante el establecimiento de precios apropiados; (2) tecnológicas, que comprende la instalación de dispositivos que reduzcan el volumen requerido; y (3) conductuales, que se refiere a la generación de cambios en la manera en que se usa el agua, como respuesta a las presiones económicas y a la conciencia ambiental, entre otras (Saurí, 2003)

Entre las acciones para implementar las estrategias de la gestión de la demanda del agua, están: (1) el mejoramiento de los procesos de tratamiento, (2) la reducción de pérdidas en el sistema,

(3) la promoción del uso de dispositivos más eficientes y (4) la sustitución de fuentes de agua potable; es por esta razón que este concepto y el de conservación del agua, en ocasiones se utilizan de forma indistinta. En ambos casos, la base que tienen es la planificación integrada de recursos como marco guía de análisis (Kayaga, 2011; Kayaga y Smout, 2011).

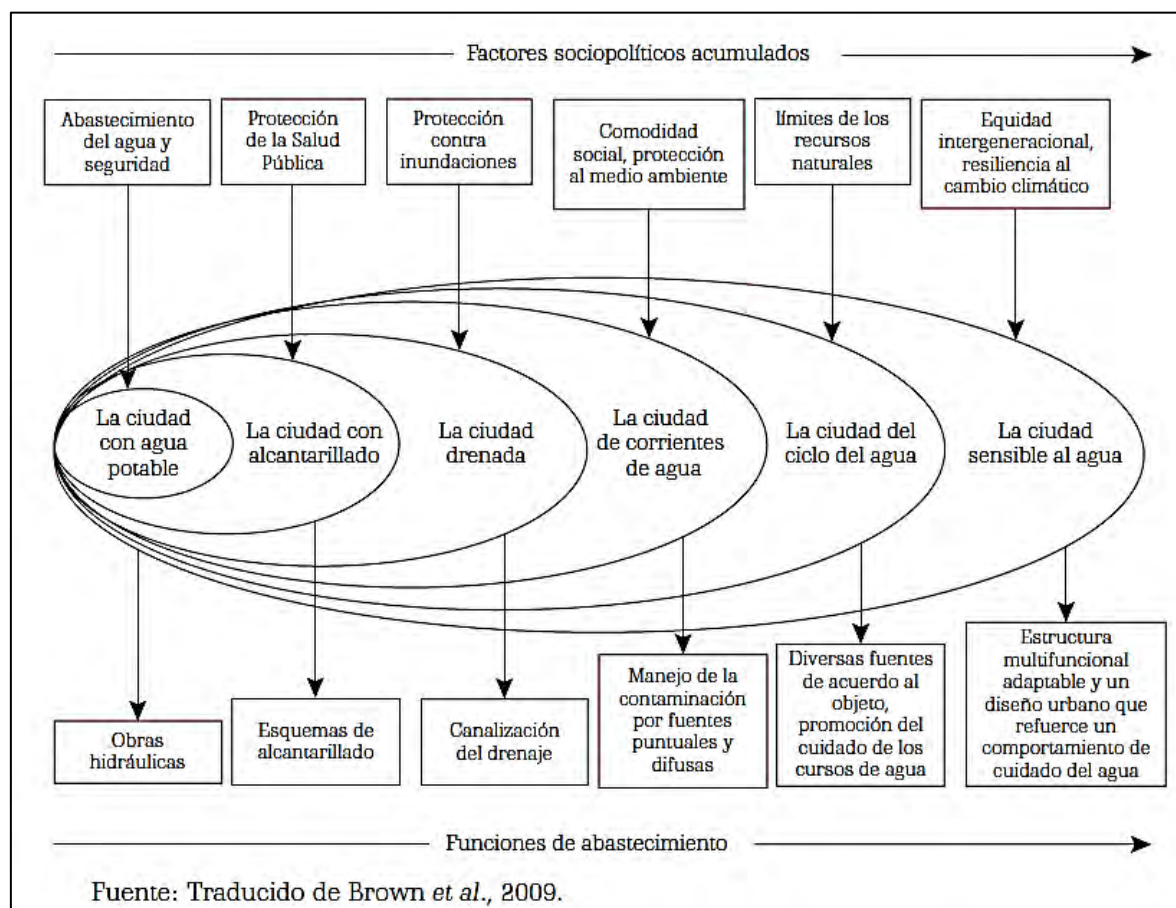


Figura 6 Evolución de la gestión del agua en las ciudades. [Fuente: Tiburcio y Perevochtchikova, 2012:382]

La aplicación de medidas para la gestión de la demanda requiere de modificaciones en los esquemas administrativos, con la finalidad de generar mejoras de tipo ambiental desde el paradigma emergente de la integración; en tanto que la toma de acciones implica reducir la demanda para contar con mayor disponibilidad para las generaciones futuras, disminuir la cantidad de energía utilizada para el suministro de agua y utilizar diferentes alternativas para sustituir las fuentes convencionales, así como realizar mejoras en la infraestructura para garantizar el acceso de la población vulnerable a la prestación del servicio, así como lograr la reducción de los flujos residuales, disminuir la contaminación y proteger a la biodiversidad. Todas estas acciones en su conjunto, generan que las ciudades sean más sustentables (Troy y Holloway, 2004; Kayaga, 2011).

Una de las estrategias de la gestión de la demanda del agua es la conservación, la cual ha crecido desde una visión centrada en reducir los flujos residuales, hasta ampliarse y abordar factores como la eficiencia en el uso para generar estrategias y alcanzar la demanda futura de las

ciudades. También contempla el diseño de actividades para reducir la cantidad de agua requerida mediante el aumento de la eficiencia y la reducción de pérdidas en los sistemas de abastecimiento. El propósito que sigue la conservación es proteger el recurso y obtener beneficios por su uso a un menor costo, por esta razón se plantean metas que conciernen la instalación de dispositivos ahorradores, volver los procesos de uso de agua más eficientes y gestionar la demanda, así como racionarla (Baumann et al., 1998; Dasch, 2003).

En esencia, la conservación del agua significa reducir la cantidad usada o las pérdidas, siempre y cuando se contextualice el abasto de forma espacial y dentro del ciclo hidrológico, para que se puedan seleccionar las acciones que son útiles para el sistema y las que no. Estas acciones deben ser benéficas, por lo que es importante mencionar los siguientes puntos que se plantean en Baumann et al. (1998) y que deben ser contempladas a la hora de implementar las prácticas:

- **Reducción:** ocurre cuando disminuyen los niveles de agua utilizados después de haber implementado una práctica en particular. La utilización de menos caudales debe ser comparable a la ausencia de acciones
- **Beneficio:** tiene lugar cuando los recursos que se consideran escasos son conservados y presentan más beneficios que adversidades, cuyo reflejo se puede medir en términos monetarios
- **Uso del agua:** se debe contemplar la disponibilidad para otros usos, además del urbano
- **Pérdidas de agua:** contempla la reducción de las pérdidas de agua, desde los reservorios hasta las fugas en las redes de distribución

Para lograr reducir la cantidad de agua que demandan las ciudades y alcanzar metas económicas, ambientales y sociales, se tienen que tomar en cuenta las dimensiones de aplicación de las estrategias para la conservación. En Saurí (2013) se hizo una revisión de diferentes estudios realizados en países desarrollados, en donde se han aplicado este tipo de medidas. En esta publicación se distinguen las siguientes dimensiones como factores para clasificar los distintos tipos de estrategias:

- **Factores conductuales internos:** este tema se ha estudiado principalmente desde el campo de la psicología, en donde se han distinguido dos visiones: una que contempla las necesidades del ser humano como prioritarias, mientras que la segunda expone que los seres humanos deben adaptarse a los ambientes en que viven, por lo que los valores operantes son los que pueden estar dando forma a los diferentes tipos de conducta. De esta manera es como se ha tratado de caracterizar el perfil del conservador con base en sus características socio-económicas, sin embargo los resultados no han sido homogéneos
- **Factores conductuales externos:** se dividen en económicos, tecnológicos y campañas de concientización. En el primer caso, se plantea que la conservación no prospera si se carece de precios e impuestos que fomenten las conductas responsables, por lo que es necesaria la instalación de medidores; por otro lado existe la discusión sobre cómo plantear los cobros para que sean eficientes y equitativos. El segundo factor plantea que la instalación de dispositivos ahorradores disminuye la demanda de agua, pero es importante hacer hincapié en el contexto de su implementación para no incurrir en su aumento. Por su parte, el tercer factor se centra en las campañas de concientización, las

cuales han mostrado mayor impacto en la percepción de la gente que habita sitios con alta escasez de agua, sin embargo los resultados que han tenido son variados

- **Factores estructurales:** su relación con la conservación es indirecta pero puede ejercer mucha influencia en la reducción de la demanda de agua. El elemento principal que está dentro de esta categoría es la densidad urbana, ya que incide en el tipo de uso que se le da al vital líquido, ya sea interno o externo. En este punto surge el debate sobre las ciudades con alta y baja densidad; las primeras tienden a presentar un uso *per cápita* más bajo en comparación con la expansión suburbana, que son viviendas que cuentan con jardines privados y albercas, los cuales aumentan la utilización externa del recurso y representan zonas prioritarias para que se implementen las prácticas de conservación

De todos estos puntos planteados en Saurí (2013), esta investigación sólo se centra en los factores estructurales que caracterizan las viviendas, para relacionarlos con la demanda por uso doméstico de agua dentro de un sistema socio-técnico y así mostrar la incidencia que tienen los usuarios. Por esta razón es importante mencionar el concepto de forma urbana, que se define como la configuración de las ciudades, resultado de la implantación de los diferentes tipos de edificaciones según una voluntad preestablecida o algún sentido de organización dado por las características físicas de alguna ciudad (López, 2010).

El uso de este concepto, en el contexto de la conservación del agua, como una medida de gestión de la demanda, es una manera de relacionar la Gestión Integrada del Agua Urbana y al mismo tiempo de abordar el debate sobre la ciudad compacta en contra de la dispersa, como formas de fomento de la sustentabilidad en el uso de los recursos (López, 2010). La manera en que ocurre la forma urbana se liga al tipo de viviendas en que habita la población, que coincide con la dimensión física del sistema socio-técnico como se describe en Krantz (2012).

Como se ha planteado en García (2006) y de manera más específica en Krantz (2012), el estudio de los sistemas complejos es muy importante para entender la dinámica que tienen los procesos que ocurren en ellos, para contar con un esquema útil y entender la forma en que se relacionan las escalas espaciales y temporales, es por esto que se debe analizar la manera en que se integran los distintos componentes de la planificación, las estrategias de conservación y gestión de la demanda de agua.

Actualmente, a pesar de la crisis hídrica para abastecer a las ciudades, se carece de una planificación en el uso de suelo urbano que se vincule con la demanda doméstica de agua o la reducción de flujos residuales, al igual que con el control de escorrentías causadas por las lluvias. Estas carencias limitan el establecimiento de un contrato hídrico-social que devenga en un diseño sensible al agua, en el que también se fomente la reducción de la cantidad de agua utilizada, junto con su reúso (Troy y Holloway, 2004).

Para lograr los objetivos que conciernen a la reducción del uso de agua existe poca información, en particular sobre los usuarios de manera individual. Así mismo hay poca exploración sistémica de los factores socio-económicos que afectan el uso individual y al mismo tiempo se desconoce la forma en que se utiliza el agua al interior de las ciudades, además de que existe poco vínculo con la cantidad de aguas residuales generadas. La utilidad de este tipo de información sirve para asegurar el abasto, así como considerar los flujos necesarios para la salud de los ecosistemas (Troy y Holloway, 2004; Krantz, 2012).

Ante estas limitaciones que hay en las zonas urbanas y utilizando como referencia los planteamientos de la GIAU y en particular la aplicación de la gestión de la demanda, la propuesta de la presente investigación es conocer el tipo de factores que explican la demanda por uso doméstico de agua en la Ciudad de México.

La propuesta que se presenta en este trabajo es de tipo espacial, cuyo sustento está dado por el paradigma Geotecnológico y el uso de los SIG, como una aplicación de la Geografía Global, a través de la configuración de un sistema socio-técnico, que es un recorte de la realidad compleja organizado en tres niveles, en los cuales se estudia la relación que existe entre ellos y que permite la comprensión de la gestión del agua en las ciudades desde el nuevo paradigma que es la Gestión Integrada del Agua Urbana. Dentro de este nuevo marco, destaca el papel de la conservación del recurso con fines ambientales y de equidad; por esta razón se presenta una explicación de tipo espacial, sistémica e integrada.

Para contestar la pregunta que guía esta investigación, sobre ¿qué variables explican la demanda por uso doméstico en la Ciudad de México?, se utilizan los inventarios de información de demanda de agua agregados a nivel colonia, que es la unidad de análisis. También se estudian las características de las viviendas de esta ciudad desde una visión sistémica, para que este estudio exploratorio sirva para la implementación de los principios de la GIAU y de la gestión de la demanda. En el siguiente capítulo se plantea la delimitación del sistema socio-técnico y se describen los elementos que lo caracterizan.

Capítulo 2. Sistema socio-técnico de la Ciudad de México

2.1 Conformación del sistema socio-técnico de la Ciudad de México

La gestión es el reflejo de los procesos políticos, sociales, económicos y culturales de cada época, estos tejen intrincadas redes de relaciones entre la sociedad y el recurso manejado, que en el caso del agua, se pasó de verla como un recurso que debía ser dominado a uno que debe ser cuidado, de tal forma que recientemente se ha exaltado la necesidad de controlar su demanda y en particular de su comprensión sistémica desde diferentes dimensiones, entre ellas la ambiental (Sosa, 2009; Tiburcio, 2013).

El esquema conceptual de Krantz (2012) provee las bases necesarias para entender el uso del agua en las ciudades desde un enfoque sistémico. A partir de esta propuesta, es necesario abordar los tres niveles que constituyen un sistema socio-técnico, que son: el político, el del organismo operador y el de las viviendas. En este capítulo se desarrolla este esquema y se describen los elementos que la componen, ya que son la herramienta principal para analizar la demanda por uso doméstico de agua en la Ciudad de México, la cual es el proceso principal de estudio y se define como el volumen necesario del vital líquido para realizar actividades como la higiene personal, la limpieza de la vivienda en su generalidad y los usos exteriores como el riego de jardines y el llenado de albercas.

Por la parte de los niveles, en el primero está la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que es un organismo del gobierno federal mexicano, encargado de plantear la política hídrica de todo el país. El segundo lo constituye el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMex), que se encarga de la distribución del recurso, el cual es aprovechado por los usuarios domésticos, quienes constituyen el tercer nivel. En este punto cabe destacar que en la Ley de Aguas del Distrito Federal (LADF), el usuario se define como la persona moral o física que hace uso de los servicios hidráulicos que presta esta Institución; se distinguen tres tipos de uso de acuerdo a lo que se menciona en Asamblea Legislativa del Distrito Federal (2003) y Sistema de Aguas de la Ciudad de México (S/A):

- **Uso Doméstico:** es aquel destinado para las viviendas y el riego de jardines, siempre y cuando no incurran en actividades lucrativas, por lo que corresponde a todas las tomas instaladas en inmuebles habitacionales.
- **Uso No Doméstico:** se refiere a la instalación de tomas en inmuebles no habitacionales, tales como establecimientos comerciales, industriales o de servicios.
- **Uso Mixto:** comprende los inmuebles que están destinados de forma conjunta a propósitos habitacionales, y que al mismo tiempo se utilizan para otro tipo de actividad.

Existe congruencia entre el concepto mencionado en el primer párrafo de este capítulo y el planteamiento que hace la LADF, lo que permite vincular el esquema de Krantz (2012) con la fuente la información que provee el SACMex. Estos datos son el resultado de los registros realizados por los medidores instalados en la ciudad; por lo que el objetivo principal de esta investigación es el de utilizarlos en conjunto con la cartografía del área de estudio, dentro del ambiente digital de los SIG, para llevar a cabo el análisis socio-espacial y explicar la demanda por uso doméstico de agua en la Ciudad de México desde una visión sistémica y espacial.

Con la configuración del sistema socio-técnico quedan determinados los niveles y los procesos que se generan en cada uno, así como sus resultados, que tienen como expresión las

características sociales, económicas y de tipo urbano que conforman las variables explicativas para el proceso principal de estudio, la demanda por uso doméstico de agua. Los componentes que estructuran este sistema están determinados por aspectos los políticos y se ven reflejados en el nivel de organismo operador, cuyo papel es el de ejecutor y cuya relación con las viviendas es la más importante para analizar, ya que el tercer nivel puede aportar los elementos necesarios que sirvan de retroalimentación al resto del sistema. A continuación, en la Figura 7 se muestra el esquema, basado en García (2006) y en Krantz (2012), que fue modificado para su aplicabilidad en el caso de la Ciudad de México.



Figura 7 Sistema socio-técnico para el uso doméstico de agua. [Fuente: Elaboración propia, basada en: García, 2006 y Krantz, 2012]

En Krantz (2012) se define al nivel político de una parte sistema socio-técnico en la que están agrupados los objetivos políticos y metas que se relacionan con el uso del agua, a partir de los que surgen los instrumentos aplicables para cambiar el estado presente del sistema. Este planteamiento es similar al que se expone en Brown et al. (2008) sobre el contrato hidro-social como un concepto que enmarca la perspectiva cultural dominante, que está basada en los valores sobre la forma en que se debe gestionar el agua urbana.

El resultado de la visión dominante para la administración de los recursos hídricos, son los arreglos institucionales, los cuales también representan un proceso de tercer nivel que opera a

escala nacional o internacional, aunque la conformación del tipo de procesos que ocurren puede ocurrir de una a otra (García, 2006). En este trabajo se aborda el caso de México como país, para posteriormente hacer hincapié en la dinámica que se presenta en las colonias de la Ciudad de México. Aquí es importante destacar que los cambios y los planteamientos que se hacen desde el organismo federal tienen repercusión en la manera en que se administra el agua a nivel local y finalmente en la forma en que repercuten estos procesos en las viviendas.

Con base en estas premisas, se desarrolla el primer nivel correspondiente a la Comisión Nacional del Agua. Primero se hace un recuento sobre la forma en que se ha modificado la gestión del agua en todo el país, la cual se ha caracterizado recientemente por principios como el ambientalismo, la descentralización de la prestación de los servicios de agua potable, la gestión por cuenca, además de la participación de la iniciativa privada, en donde el papel que desempeña la CONAGUA es el de regulador y no el de proveedor. Después de mencionar todos estos cambios y la nueva forma en que se gestionan los recursos hídricos, se aborda el diagnóstico oficial sobre el estado del agua para todo el país y después en la Región Hidrológica Administrativa XIII “Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala”, en donde se localiza la ciudad capital y área de estudio de esta investigación.

El siguiente nivel corresponde al Organismo Operador, que está compuesto por dos dimensiones interdependientes entre sí, la organizacional y la infraestructura, que son la base y el sustento necesarios para el abastecimiento del agua en las ciudades. La primera consiste en todos los aspectos institucionales como las reglas, los procedimientos y las normas, que en el caso de este estudio tienen una relación importante con los mandatos federales porque le dan forma a la manera en que se rigen los asuntos locales, en tanto que la segunda dimensión está conformada por los pozos, las líneas de conducción, las redes primarias y las secundarias, las plantas de tratamiento y los demás elementos cuya finalidad es la de garantizar la prestación de los servicios hidráulicos para la población urbana (Krantz, 2012).

El abastecimiento de agua para la Ciudad de México fue creciendo con el tiempo a partir de los años 50, cuando se comenzó con la importación de agua; de este modo se generó un sistema de escala regional en donde intervienen varios y diversos actores en cuatro cuencas diferentes conectadas de forma artificial, cuya característica principal ha sido la asimetría en las relaciones de poder, principalmente entre el Estado de México y la capital del país. La interacción entre esta dimensión y el nivel político se ha dado de forma histórica y actualmente con la operación de parte de la infraestructura, lo que hace necesario delimitar el sistema socio-técnico y sólo contemplar las acciones del SACMex, porque es el encargado de la distribución de agua local y sus acciones tienen repercusión directa en los usuarios domésticos del área de estudio. Esta Institución es un organismo desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente local (Perló y González, 2009; Gobierno del Distrito Federal, 2012; Krantz, 2012).

Los procesos que se generan en este nivel tienen acción directa en la ciudad, aunque su modificación también tiene impacto más allá de sus límites geográficos, es por esta razón, que es importante estudiar la relación entre las viviendas y el organismo operador a través de la demanda por uso doméstico de agua, la cual tiene una ocurrencia de tipo local pero su impacto es mayor. Para describir este segundo nivel, primero se presenta una revisión de las modificaciones que ha tenido la política hídrica en la ciudad y posteriormente las acciones gubernamentales correspondientes a la gestión de la demanda de agua, plasmadas en el

Programa para el Manejo Sustentable del Agua en la Ciudad de México (PMSACM) y en el Programa de Gestión Integral de Recursos Hídricos. Visión 20 Años (PGIRH).

Finalmente, se describe el tercer nivel, en donde se define el concepto de vivienda y se le compara con el de usuario doméstico, que son los dos elementos principales que componen el nivel y que están vinculados entre sí. Se mencionan las características de las viviendas como las mide el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) durante los eventos censales, así como una comparación entre los Índices de Desarrollo e Infraestructura de la Ciudad y de Desarrollo Social; el primero se utiliza para la asignación de subsidios en el cobro de la prestación de los servicios hidráulicos, mientras que el otro tiene como finalidad la localización de los sitios prioritarios donde el gobierno local debe llevar acciones para alcanzar el desarrollo social.

También se presentan dos investigaciones en las que se utilizaron datos de demanda por uso doméstico a nivel delegacional y su correlación con variables de tipo socio-económico como los índices de marginalidad y el desarrollo humano, además del producto interno bruto. Un punto relevante, es que este proceso de demanda tienen una distribución espacial diferencial entre el poniente y el oriente de la ciudad a nivel delegacional. A través de la comprensión del sistema socio-técnico, es posible darle explicación al proceso de demanda con una aplicación de tipo espacial y a escalas con mayor resolución, que brinden mejor comprensión del fenómeno.

2.2 Nivel Político: Comisión Nacional del Agua

Los procesos que conforman la gestión del agua han sido parte de los cambios de prioridad que ha marcado el Estado mexicano y la manera en que la sociedad ha hecho uso del agua, sin embargo los conflictos entre usuarios y el acceso inequitativo han sido una constante en el manejo del agua. En cada una de las etapas que han pasado, los actores sociales han jugado distintos papeles, por lo que se pueden ver formas diferentes de expresión del contrato hidro-social. En el periodo del virreinato hasta el siglo XX, el manejo de los recursos hídricos se hacía de forma descentralizada sin la existencia de una autoridad nacional rectora, por lo que la administración se llevaba a cabo a través de acuerdos privados entre los usuarios y en donde el ayuntamiento tenía un papel destacado (Brown et al., 2008; Tiburcio, 2013).

Después de la revolución mexicana y con el establecimiento de la Constitución de 1917, se dio el predominio al interés público sobre los derechos de los particulares. Este cambio se operó a través del reparto agrario, y para la década de 1930 ya se había consolidado el dominio federal, con lo que se constituyó el modelo centralizador junto con la idea del dominio sobre el agua mediante el desarrollo tecnológico. Esta forma de administración es la gestión convencional. En este contexto se creó la Comisión Nacional de Irrigación en 1926, que fue el primer organismo nacional encargado de administrar el agua en todo el país con la prioridad de abrir áreas para riego. En 1948 surgió la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), que además de encargarse de la construcción y operación de la infraestructura y de la irrigación, tenía a su cargo el abasto de agua potable para las ciudades (Tiburcio, 2013).

Con el cambio de una sociedad rural a una urbana, la construcción de obras públicas para la irrigación fue perdiendo fuerza. Este proceso desgastó el modelo creado por la SRH hasta su desaparición en 1976. Al mismo tiempo el Estado mexicano pasó por una crisis financiera que redujo su capacidad de inversión, además de que orientó su política hacia el neoliberalismo, el

cual ha estado acompañado de un discurso ambientalista, es así como se concretó el modelo descentralizador. La culminación de esta nueva forma de administrar el agua se dio con la creación en 1989 de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la promulgación de la nueva Ley de Aguas Nacionales (LAN) en 1992.

La fundación de este organismo gubernamental tuvo como vocación la priorización de los servicios públicos urbanos y el uso industrial, tomando como pauta la crisis del agua, planteada desde el discurso oficial, para definir el tipo de estrategias y posiciones para el planteamiento de la política hídrica. Como resultado de la reforma del Estado y su reducción, en materia de agua se dio el cambio de función de las instituciones federales, por lo que pasaron de un papel garantizador a uno de regulador, por lo que se disminuyó la construcción de nuevas obras y la operación de la infraestructura para centrarse en la administración del agua y el mantenimiento de su calidad, así como en la promoción de la iniciativa privada en el sector hidráulico (Aboites, 2009; Torregrosa et al., 2010).

De forma complementaria, se hicieron una serie de las reformas al artículo 27 constitucional, que permitieron el surgimiento de la LAN, a través del cual se consumaron las políticas descentralizadoras, que se vieron reforzadas con los cambios que se le hicieron a esta Ley durante el año 2004. La implementación de la LAN ocurrió en un contexto de recurrentes crisis económicas, que generaron una situación de sometimiento ante el Banco Mundial y otros organismos internacionales como el Fondo Monetario Internacional y el Banco Interamericano de Desarrollo, lo que dio como resultado el cambio de las políticas económica y social del Estado mexicano. Entre estas modificaciones se incluyó a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos como la guía de la política hídrica nacional, desde la cual se vislumbró la participación de la iniciativa privada para lograr un mejor desempeño, y hacer más eficiente el manejo de los sistemas urbanos de agua y saneamiento (Torregrosa et al., 2010).

Este tipo de políticas neoliberales han estado acompañadas por la corriente ambientalista originada en la Conferencia de Estocolmo 1972 y la de Río de Janeiro de 1992; a partir de este enfoque, se plantearon las ideas y las políticas que expresan una preocupación aparente por que se logre el crecimiento económico sin deterioro del medio ambiente. A través de este concepto se concretó el nuevo arreglo institucional en México, aunado a la redefinición total de los aspectos de la política hídrica nacional que se han centrado en promover la apertura a la inversión privada, con el fin de involucrarla en la prestación de servicios hidráulicos para las ciudades, lo que en su generalidad es el modelo descentralizador (Aboites, 2009; Tiburcio, 2013).

Por la parte de la protección ambiental, ésta queda condicionada por la expansión del mercado, sin embargo la contaminación y la sobreexplotación de las fuentes subterráneas han continuado con este nuevo esquema, basado en la descentralización de funciones. Por otra parte, desapareció el discurso que buscaba la equidad, por lo que el Estado ha hecho de manera parcial sus funciones de regulación a pesar de que ha enunciado como sus nuevos propósitos la valorización del agua, el cuidado de su calidad, el aumento de la recaudación y el cobro con el fin de evitar el deterioro ambiental (Aboites, 2009).

Una de las características que tiene la política hídrica planteada desde el modelo descentralizador, de corte ambientalista es la administración del agua por cuenca y el otorgamiento de concesiones y asignaciones para los usuarios, a través del establecimiento del

Registro Público de Derechos del Agua (REPD). Entre los objetivos con los que cuenta están: mejorar la productividad del sector agrícola; incrementar el acceso y calidad de servicios hidráulicos; el manejo integrado y sustentable de cuencas y acuíferos; mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector agua; consolidar la participación de los usuarios y de la sociedad organizada; además de formentar una cultura contributiva y de buen uso del agua (Tiburcio, 2013).

Las transformaciones que ha realizado el Estado mexicano en materia de administración de los recursos hídricos ha supuesto la democratización de las estructuras de la gestión, con la apertura para la empresa privada, la participación de los usuarios y la sociedad organizada. Este nuevo esquema ha traído consigo el refuerzo de las instancias locales, entre ellas las gerencias regionales, los Consejos de Cuenca y los Organismos de Cuenca; estos últimos son la autoridad federal en cada una de las Regiones Hidrológico Administrativas (RHAs), capaces de otorgar concesiones y asignaciones, con lo que se refuerza el principio de gestión por cuenca (Comisión Nacional del Agua, 2009; Torregrosa et al., 2010).

El fortalecimiento de los Organismos de Cuenca ocurrió durante los años 90 y fue parte de la reestructuración administrativa. Estos cambios dieron origen al surgimiento de las comisiones estatales de agua y la creación de leyes estatales en la materia, sobre todo cuando se transfirieron las funciones correspondientes del abasto de agua potable a los estados y a los municipios, lo que dio origen a los Organismos Operadores de agua potable como entidades desconcentradas del gobierno municipal o estatal (Torregrosa et al., 2010).

En síntesis, esta nueva forma de administrar el agua conjuga los niveles regionales, estatales y municipales que tienen diferentes responsabilidades según la jurisdicción en la que se encuentran. De igual manera cada institución cuenta con diferente tipo de planes y programas, por esta razón, en la Tabla 3, expuesta en la siguiente página, se reproduce un extracto de Tiburcio (2013:106), en donde se recopilieron las responsabilidades e instrumentos de las instituciones que están a cargo del agua en la Ciudad de México, sin embargo se le hicieron algunas modificaciones, con la finalidad de mostrar todos los niveles de gestión que están involucrados en este caso.

En el esquema presentado en la Tabla 3, se puede apreciar la forma en que se vinculan los gobiernos federal, en su escala regional y local de la ciudad. De esta forma queda expuesta la manera en que interaccionan tanto el nivel político y el del Organismo Operador con sus atribuciones, concebidas desde un nuevo marco político que determina las nuevas prioridades que se han dictado desde el gobierno federal para la administración hídrica.

Como consecuencia de la reestructuración de la gestión del agua a nivel nacional, y con el cambio del discurso oficial, la CONAGUA se ha dado a la tarea de medir el estado en que se encuentran los recursos hídricos, para lo cual es necesario hacer la descripción para todo el país y posteriormente para la Región Hidrológico Administrativa XIII, en donde se localiza la Ciudad de México. Esta información sirve para dar un panorama general de la situación en que está el agua en todo México, ya que de aquí surgen los argumentos que sustentan la política hídrica actual.

Para comenzar a explorar el diagnóstico oficial, se debe definir el concepto de disponibilidad media natural o agua renovable, que se refiere al volumen de agua subterránea y superficial que

hay en una región determinada y que es factible de ser explotada, ya que se renueva en el tiempo. Su cálculo se realiza a manera de balance hídrico, después de medir el escurrimiento natural medio, más la recarga de acuíferos y la importación, a estos elementos se les resta la exportación. Cuando se divide el total entre la población que habita un territorio dado, se obtiene en términos *per cápita* (Comisión Nacional del Agua, 2008; 2012a; 2014).

Tabla 3 Competencias para la gestión de agua por nivel de gobierno. [Fuente: Elaboración propia basada en Jiménez, et al., 2011 y Tiburcio, 2013]

Entidad	Responsabilidades	Planes y Programas
Organismo de Cuencas del Valle de México (CONAGUA)	Planificación, financiamiento, construcción y operación de obras hidráulicas. Autoridad fiscal Concentración y coordinación con otros niveles de gobierno	Programa Hídrico Regional "Aguas del Valle de México" (2003)
Sistema de Aguas de la Ciudad de México	Operación del sistema de abastecimiento de agua potable, drenaje y saneamiento	Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos Programa de Manejo Sustentable
Delegaciones políticas	Operación de las redes secundarias, mientras que el resto de actividades corresponde al SACMex (Jiménez, et al., 2011)	Plan de Desarrollo Urbano a cargo de la administración en turno.

Las fórmulas que se utilizan para estimar este indicador se encuentran en la NOM-011-CONAGUA-2015, en donde se define el escurrimiento natural: como la cantidad media anual de agua superficial que se capta en la red de drenaje de una cuenca hidrológica; mientras que la recarga es el volumen de agua que recibe un acuífero en un intervalo de tiempo específico (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015). Dada la naturaleza de las aguas superficiales y subterráneas, se tiene que medir la disponibilidad media anual para ambas, para que posteriormente se agrupen en un solo resultado. En las Estadísticas del Agua en México, publicadas por la Comisión Nacional del Agua (2008) se dan las siguientes definiciones:

- **Disponibilidad media anual de agua subterránea:** volumen medio anual de agua subterránea que puede ser concesionado para su extracción de una unidad hidrogeológica, definida como acuífero según la delimitación de la CONAGUA
- **Disponibilidad media anual de agua superficial:** es el valor que resulta de restar el volumen medio anual de escurrimiento aguas abajo en una cuenca del volumen comprometido agua abajo

Como se menciona en Tiburcio (2013), uno de los cambios importantes de la política hídrica del Estado mexicano, fue plantear a la cuenca como la unidad básica de gestión del agua. A su vez, en cada una de estas cuencas a lo largo del país, la cantidad de agua renovable se debe analizar tomando en cuenta las siguientes perspectivas, según Comisión Nacional del Agua (2008):

- **Distribución temporal:** es importante considerarla porque los patrones de precipitación presentan grandes variaciones a lo largo del año y en el territorio nacional.
- **Distribución espacial:** considera que existe diferenciación entre la cantidad de precipitación y la densidad poblacional, que ocurre de manera inversa en el país, de tal modo que viven más personas en donde hay menos precipitación.
- **Área de análisis:** sirve para evitar que los indicadores a gran escala minimicen las variaciones que existen de forma regional o en escalas más pequeñas.

A partir de la inclusión de estas dimensiones es posible visualizar las diferencias que hay de disponibilidad, para lo que también se establecieron las Regiones Hidrológico Administrativas como resultado de la aplicación del principio de gestión en cuenca, el cual permite organizar, administrar y preservar las aguas nacionales² con la participación de la sociedad para su uso sustentable. De ahí que la delimitación de estas regiones haya estado a cargo de la Comisión Nacional del Agua, quien tiene entre sus atribuciones: expedir títulos de concesión y asignación, así como la medición del agua renovable en todo el país, además de contar con la capacidad de declarar zonas de veda y las restricciones que éstas implican (Comisión Nacional del Agua, 2008; 2012a).

A partir de la información de la Tabla 4, que aparece en la siguiente página y que muestra una comparación en la disponibilidad media para los años 2003 y 2013, es posible ver cómo varía la disponibilidad de agua por persona en cada una de las diferentes regiones del país. Este indicador está compuesto por dos elementos que tienen una distribución espacial heterogénea, uno es la población y el otro el agua renovable media anual. Algo que se observa es la reducción de la cantidad de agua disponible para casi todas las RHA durante este periodo de 10 años (Comisión Nacional del Agua, 2014).

Esta tendencia en la reducción de la disponibilidad *per cápita*, se ha mantenido en el tiempo, algo que es evidente cuando se hace la comparación entre el año de 1950 y el 2013; en el primer caso había 25.82 millones de habitantes y la disponibilidad era de 18,035 m³/hab/día, mientras que en el segundo, la población ascendía a 118.40 millones de personas y el agua renovable era de 3,982 m³/hab/día (Comisión Nacional del Agua, 2014).

La medición del agua renovable media por persona, permite clasificar las cuencas según el Índice de Falkenmark, el cual establece que, cuando un área determinada tiene un valor menor a 1000 m³/hab/año se encuentra en escasez extrema. La RHA XIII es la que cuenta con menor disponibilidad natural *per cápita* en todo el país, además de que se encuentra en un grado de altísima escasez si se toma como referencia este umbral. De igual forma es importante comparar la disponibilidad media por persona de una manera espacial para cada una de las Regiones Hidrológico Administrativas y al mismo tiempo compararla con la cantidad de población y el

² Se refiere al término constitucional que aparece en el artículo 27 párrafo quinto y comprende las aguas superficiales que escurren en el territorio nacional, además de las subterráneas y los mares interiores donde ejerce jurisdicción el Estado mexicano. La Nación es la propietaria de estas aguas y las administra el gobierno federal a través de la Comisión Nacional del Agua.

Producto Interno Bruto que se genera en cada una. Por esta razón a continuación se presentan en la Figura 8 dos mapas con esta información (Comisión Nacional del Agua, 2008; 2011; Morales y Rodríguez, 2009).

Tabla 4 Comparación del agua renovable per cápita para los años 2003 y 2013. [Fuente Elaboración propia con datos de la Comisión Nacional del Agua, 2004; 2014]

Región Hidrológico Administrativa	Agua renovable per cápita 2003 (m ³ /hab/año)	Agua renovable per cápita 2013 (m ³ /hab/año)
RHA I Península de Baja California	1,336	1,165
RHA II Noroeste	3,236	3,011
RHA III Pacífico Norte	6,035	5,863
RHA IV Balsas	2,713	1,980
RHA V Pacífico Sur	7,963	6,488
RHA VI Río Bravo	1,324	1,063
RHA VII Cuencas Centrales del Norte	1,729	1,806
RHA VIII Lerma-Santiago-Pacífico	1,962	1,515
RHA IX Golfo Norte	4,685	5,421
RHA X Golfo Centro	10,604	9,149
RHA XI Frontera Sur	24,674	21,906
RHA XII Península de Yucatán	8,178	6,740
RHA XIII Aguas del Valle de México	182	152

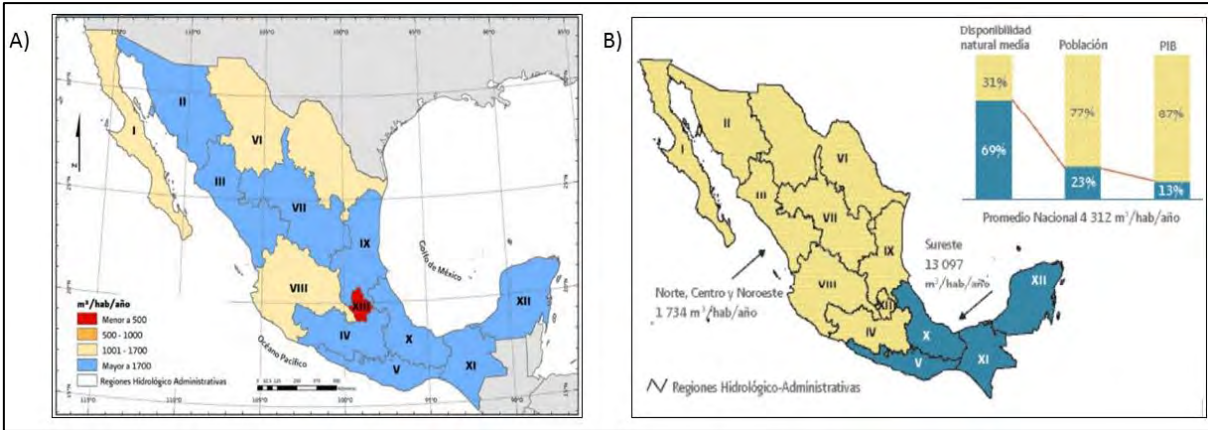


Figura 8 Distribución espacial de la disponibilidad media per cápita y de la disponibilidad natural media. [Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2008:16 y 2011:29]

A partir de los mapas presentados en la Figura 8, en la imagen A) se puede ver cómo la RHA XIII es la que tiene menor disponibilidad *per cápita*, mientras que en la imagen B) queda de manifiesto que, esta misma Región, es donde hay mayor cantidad de población y en donde se genera mayor PIB. Este es el contraste al que hacen referencia Perevochtchikova (2010) y

Tiburcio (2013) cuando mencionan las diferencias regionales que tienen los recursos hídricos en comparación con estos dos elementos socio-económicos.

Otra forma de clasificar la situación de escasez en una cuenca es mediante la determinación del grado de presión que se presenta en un área determinada. Este indicador se aplica a las actividades en las que se utiliza el agua, y su cálculo se obtiene al dividir el volumen concesionado correspondiente entre el agua renovable, para finalmente multiplicar el resultado por cien. Cuando la cifra es mayor al 40%, significa que existe una fuerte presión sobre el recurso hídrico en el sitio (Comisión Nacional del Agua, 2008; 2012a). En la Figura 9 se muestra la medición de este indicador para cada una de la RHA en todo el país.

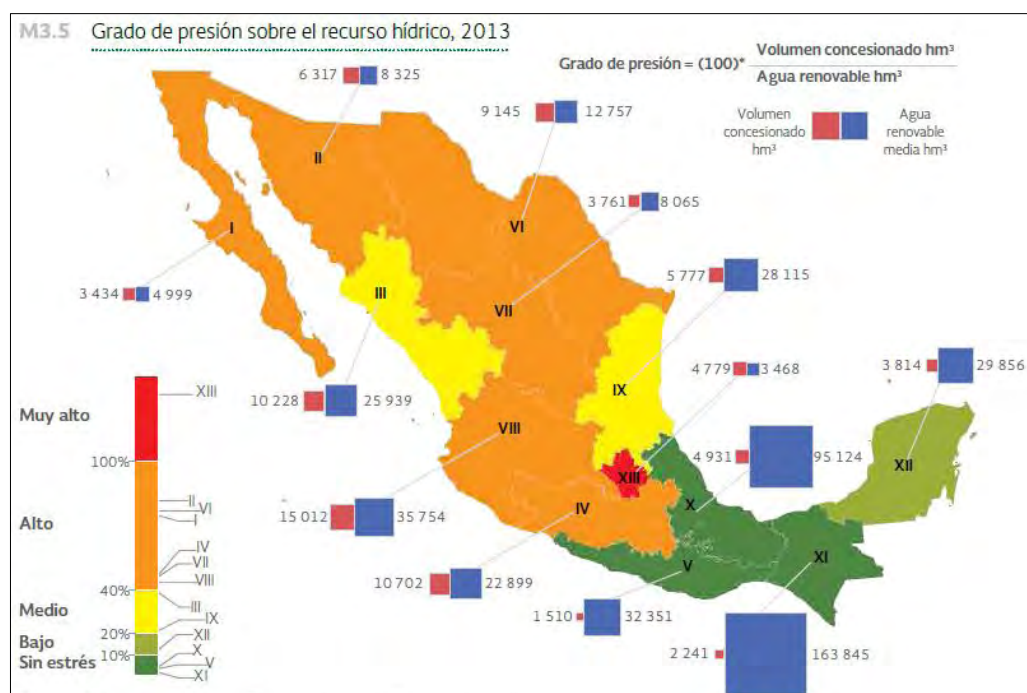


Figura 9 Grado de presión por Región Hidrológica Administrativa. [Fuente Comisión Nacional del Agua, 2014:74]

Nuevamente la Región XIII destaca como la única que tiene un grado de presión muy alto, sin embargo es preciso hacer algunas anotaciones al respecto. La naturaleza de esta medición está en función del volumen concesionado o asignado a los diferentes tipos de uso que se reconocen en la Ley de Aguas Nacionales. Estas cantidades de agua corresponden a lo que avalan los títulos correspondientes, sin embargo no representan forzosamente el volumen que se apropia para ser utilizado por los diversos usuarios, por lo que no es información real de la cantidad de agua extraída, lo que puede resultar en una descripción poco atinada de la realidad que ocurre en las Regiones Hidrológico-Administrativas.

Ante esta situación, la NOM-011-CONAGUA-2015 menciona que existen diversos factores que pueden influir en el volumen de agua que puede ser captada por los usuarios, lo cual puede resultar en que se extraiga menos o más agua de la que amparan los títulos, sin embargo la utilidad de este diagnóstico sirve para proporcionar un panorama general sobre la situación en que se encuentran la RHA, esto es porque los usuarios no deben exceder la reglamentación que

por Ley les fue concedida en un título, pero es necesario contar con datos de extracción real en el tiempo para contar con información más acertada que permita estudiar de mejor manera este fenómeno.

Otra precisión que es importante destacar, es el concepto de uso en el nivel de Organismo Operador y en el nivel político. En el primer capítulo y en la primera sección del segundo, se hace referencia al concepto de uso doméstico en el contexto de las actividades de las viviendas, además de la definición que da la Ley de Aguas del Distrito Federal y que es operativa para la estudiar la demanda de agua en la ciudad; sin embargo según la Ley de Aguas Nacionales, este concepto cuenta con otra definición y se refiere a la aplicación de agua nacional en una actividad que implique consumo parcial o total del agua. Desde este mandato jurídico se reconocen los siguientes tipos de uso: el agrícola, el ambiental o el de conservación ecológica, el consuntivo, el doméstico, el de acuacultura, el industrial, el pecuario y el público urbano (Comisión Nacional del Agua, 2009).

Este último tipo de uso es aquel que se destina para los centros poblacionales y asentamientos humanos por medio de la red municipal. Quienes están a cargo de proveer el servicio de agua potable en las ciudades poseen una asignación, que es el título que concede la CONAGUA a los usuarios del uso público urbano que son los Organismos Operadores, instituciones establecidas a nivel municipal o estatal, que se encargan de la prestación de los servicio hidráulicos para la población (Comisión Nacional del Agua, 2009).

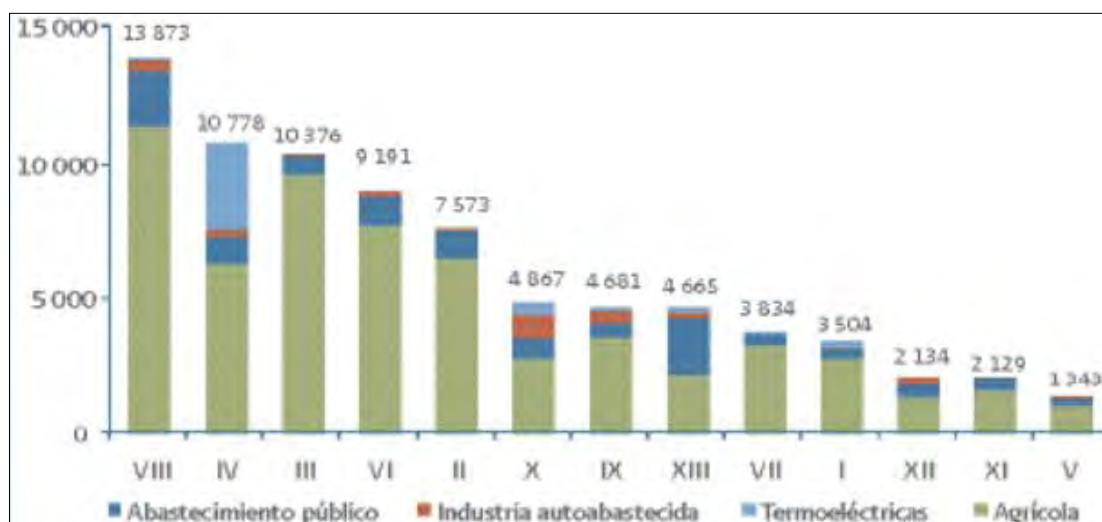
De esta forma surge otro vínculo entre ambos niveles del sistema socio-técnico, dado que el Sistema de Aguas de la Ciudad de México posee una asignación de uso público urbano por parte de la CONAGUA y es un usuario para esta institución federal. Por su parte, el SACMex considera tres tipos de uso para desempeñar sus funciones, son: el doméstico, no doméstico y el mixto. El primero corresponde a la demanda por uso doméstico que es el proceso que se estudia en esta investigación. A nivel nacional, como se muestra en la Tabla 5, el agua se distribuye de la siguiente manera según el tipo de actividad en que se emplea, desde las definiciones establecidas en la LAN.

Tabla 5 Usos del agua a nivel nacional. [Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2012a:36]

Uso	Origen		Volumen total	Porcentaje de extracción (%)
	Superficial	Subterráneo		
Agrícola	40.57	20.92	61.49	76.7
Abastecimiento público	4.33	7.11	11.44	14.3
Industria autoabastecida	1.47	1.73	3.20	4.0
Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad	3.63	0.44	4.08	5.1
TOTAL	50.01	30.20	80.21	100.0

A partir de esta información se aprecia que la agricultura es la actividad que utiliza mayor cantidad de agua y después se encuentra el abasto a las ciudades, seguido por la industria eléctrica y finalmente la industria autoabastecida. Las fuentes que sacian todas estas actividades tienen dos orígenes, el superficial y el subterráneo, éste último es mayoritario para el caso del uso público urbano, es decir que la mayor parte del agua que llega a las ciudades proviene del

subsuelo (Comisión Nacional del Agua, 2008; 2012a). En la Figura 10 se muestran los volúmenes utilizados según cada actividad por Región Hidrológico-Administrativa.



Gráfica 1 Volúmenes concesionados y asignados por RHA. [Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2008:56]

Con la información que se presenta en la Tabla 5 y de la Gráfica 1, se aprecia que en la RHA XIII la mayoría de los volúmenes asignados son para el uso público urbano, cuya procedencia puede ser subterránea. La Norma Oficial Mexicana 011 es la que contiene los criterios para la medición de la disponibilidad media anual, la cual se estima mediante la resta de la recarga total anual a la descarga natural comprometida y los volúmenes concesionados en el REPDA según las unidades hidrogeológicas, que corresponde a los 653 acuíferos que delimitó la CONAGUA en todo el país y que se encuentran dentro de las RHA (Comisión Nacional del Agua, 2008; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015).

Con la referencia que da la NOM-011-CONAGUA-2015 se determina la sobreexplotación de acuíferos, que más bien es el volumen sobre-concesionado o sobre-asignado en cada una de las Regiones y al igual que el grado de presión, no se trabaja con información empírica sino con la cantidad que amparan los títulos. Para el 31 de diciembre de 2013 se publicó la disponibilidad de todos los acuíferos del país en el Diario Oficial de la Federación, además de que se actualizaron las ya existentes. A partir de estos estudios se reportó que 106 acuíferos tienen problemas de déficit (Comisión Nacional del Agua, 2014).

La RHA XIII se encuentra dividida en dos subregiones, como se muestra en la Figura 10, que se muestra en la página siguiente; una es el Valle de México³ y la otra es la cuenca del Río Tula. En la primera se localiza la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), que es donde está el área de estudio de esta investigación. El acelerado crecimiento urbano, que se ha dado en esta zona, ha hecho que el área de metropolización de los municipios haya excedido los límites de la Cuenca de México y de la RHA, por lo que se han incorporado diferentes tipos de actores por la extensión que implica toda el área urbana. Para efectos de la administración de los

³ También nombrada como Cuenca de México o Cuenca del Valle de México, según la publicación de la que se trate

recursos hídricos, en toda la Región se han delimitado 14 acuíferos, la mitad está en una de las subregiones y el resto en la otra (Comisión Nacional del Agua, 2012b; Tiburcio, 2013).

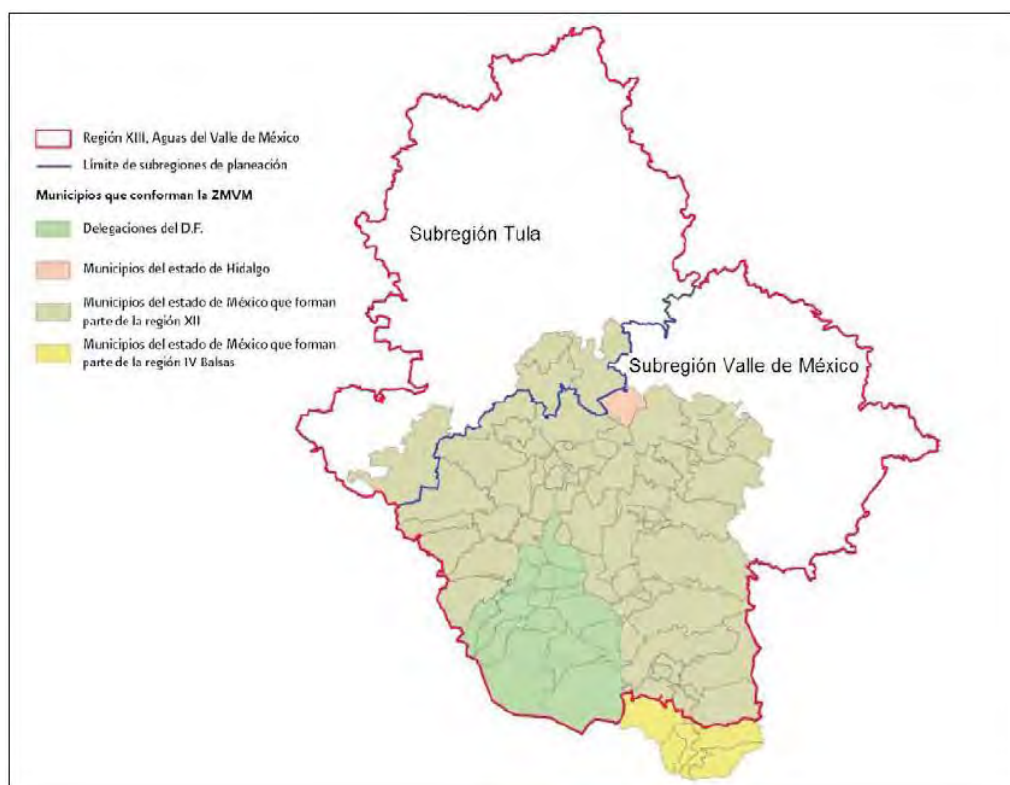


Figura 10 Subregiones que conforman la RHA XIII. [Fuente: Tiburcio, 2013: 99]

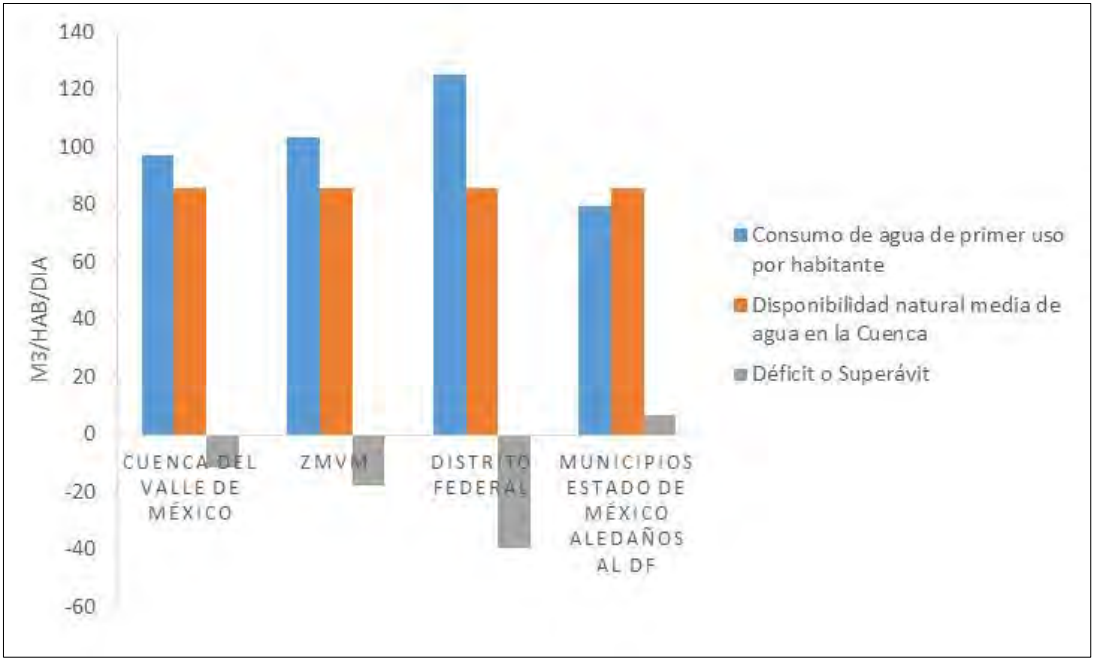
De acuerdo con Comisión Nacional del Agua, (2012b) el volumen asignado al uso público urbano es de 1911 hm³ anuales, de los cuales 371 vienen de fuentes superficiales y 1540 hm³ de agua subterránea, además de que existen cuatro acuíferos en situación de sobreexplotación en el Valle de México y otros dos en la cuenca del río Tula. Según la página web del Consejo de Cuenca del Valle de México (s/a), los datos que se presentan en la Tabla 6, que aparece en la próxima página, se obtuvieron de las publicaciones de disponibilidad del Diario Oficial de la Federación. Lo que muestra que esta sobreexplotación se relaciona con los volúmenes asignados para uso público urbano, además de que en esta Región se genera el 23.86% del PIB nacional y es el hogar de 22.82 millones de habitantes, que en su mayoría residen en la ZMCM (Comisión Nacional del Agua, 2014).

Al interior de la Cuenca de México existen contrastes entre las entidades que la componen, como se puede apreciar en la Gráfica 2, expuesta en la siguiente página. La principal diferencia ocurre entre la capital del país y su estado vecino. Con respecto a esta situación, Morales y Rodríguez (2009) exponen que, con base en el *Compendio básico del agua 2004* de la CONAGUA, la disponibilidad natural media de esta subregión de la RHA XIII fue de 85.8 m³/hab/día, mientras que el consumo fue de 97 m³/hab/día. En esta publicación se hace la comparación entre la cantidad consumida en general para toda la Cuenca, la ZMCM, la Ciudad de México y los municipios conurbados que la rodean.

Morales y Rodríguez (2009) no precisan el tipo de uso al que está destinada el agua, sin embargo apuntan entre sus fuentes el Registro Público de Derechos del Agua y los datos censales de 1990, 2000 y 2005, además de lo que reportó la CONAGUA en 2004. Es posible que los cálculos realizados se refieran a los volúmenes concesionados y asignados en el REPDA, divididos entre la población y comparados con la cantidad de agua renovable. Estos autores también mencionan se puso el mismo dato de disponibilidad para cada una de estas áreas, dado que se carece de la información que precise esta situación.

Tabla 6 Porcentaje de sobreexplotación en seis acuíferos de la RHA XIII. [Fuente: Consejo de Cuenca del Valle de México, s/a disponible en línea]

Subregión de Planeación	Nombre del Acuífero	% de sobreconcesión
Valle de México	Zona Metropolitana de la Ciudad de México	348%
	Chalco – Amecameca	23%
	Texcoco	90%
	Cuautitlán – Pachuca	20%
Tula	Actopan – Santiago de Anaya	2%
	Astillero	25%



Gráfica 2 Disponibilidad per cápita por área geográfica⁴. [Fuente: Morales y Rodríguez, 2009, p. 28]

⁴ Se utiliza el término Distrito Federal para denominar a la Ciudad de México, esta gráfica se reprodujo de su fuente original.

En general se observa, en la Gráfica 2, que prácticamente la cantidad de agua que requieren todas las entidades localizadas en la Cuenca de México exceden la disponibilidad natural y que en el caso de la capital, se tiene la brecha más grande. A partir de estos datos se plantea la existencia de un déficit de 7.01 m³/s para toda la Cuenca y de 10.24 m³/s, lo que sugiere la existencia de una crisis para el abasto de la Ciudad de México. Hace falta tener en claro si se trata de los volúmenes asignados o concesionados en la zona o si son observaciones reales de extracción y apropiación de los recursos hídricos que le den mayor precisión al diagnóstico local (Morales y Rodríguez, 2009).

La estructura que tiene el diagnóstico oficial a nivel nacional, regional y local se basa en la cantidad de población y en la demanda según el número de concesiones y asignaciones, lo cual pertenece al paradigma convencional de gestión del agua. Adicionalmente, como se menciona en Comisión Nacional del Agua (2008) las escalas grandes no permiten visualizar las diferencias de uso al interior de la ciudad y de las regiones, por lo que hacer mención de esta diagnóstico es útil para mostrar un panorama general, sin embargo es posible mejorarlo con el uso de información empírica a mayor detalle.

Una vez expuesta la conformación de la política hídrica actual y de los valores que la guían, además del diagnóstico oficial sobre la situación del agua en el país y de forma particular en el RHA XIII, se presentan la descripción y la conformación del Organismo Operador del área de estudio de este trabajo, el cual también ha sido influido por las modificaciones federales, que son procesos cuya injerencia directa tiene implicaciones en la manera en que se distribuye y ocupa el agua en la capital mexicana.

2.3 Nivel de Organismo Operador: Sistema de Aguas de la Ciudad de México

En este nivel se manifiestan y se concretan los procesos que ocurren en el nivel político, desde el cual se marcan las directrices que le dan forma al Organismo Operador, por lo que, en él se reflejan todos estos principios. De acuerdo con Krantz (2012), este nivel cuenta con dos dimensiones una es la que corresponde al arreglo institucional y la otra a la infraestructura. En la primera están las normas, las reglas y las políticas con las que se maneja el agua en la ciudad y en la segunda los componentes de infraestructura física para proveer los servicios hidráulicos a la población, incluyendo el manejo de desechos.

La Ciudad de México vive una gran paradoja, ha luchado alrededor de 400 años para evitar inundaciones, dado que se encuentra en una cuenca lacustre y originalmente endorréica, pero desde el siglo XX se ha padecido escasez del recurso hídrico, debido a la reducción en las fuentes para su abastecimiento. Esta forma de manejo ha vinculado artificialmente cuatro cuencas que son: la del río Cutzamala, la del Alto Lerma, la Cuenca de México y la del río Tula. Toda esta infraestructura ha sido llamada la Región Hidropolitana y su creación estuvo ligada en un principio al desarrollo de la ciudad capital, pero con el paso del tiempo fue incorporando más complejidad, tanto en el ámbito físico como institucional (Perló y González, 2009).

Esta forma de relación entre el agua y la ciudad comenzó cuando los españoles arribaron a la Cuenca de México. Según Alain Musset, citado en Perló y González (2009), la expulsión artificial del agua representó una forma de conquista territorial y civilizatoria desde una visión occidental, donde la prioridad que se dio fue mantener a la ciudad libre de inundaciones. A partir de este momento, el contrato hídrico-social establecido y la relación con el medio ambiente ha sido de constantes luchas y fricciones, que han caracterizado a la Ciudad de México como una ciudad drenada (Brown et al., 2008; Tiburcio y Perevochtchikova, 2012).

La construcción de la infraestructura hidráulica que compone la Región Hidropolítica, que se muestra en la Figura 11, se ha hecho en un ambiente de relaciones asimétricas entre el Distrito Federal⁵ y el Estado de México. Como un ejemplo de esta situación, se puede mencionar la construcción de los sistemas Lerma y Cutzamala, donde imperó la estructura centralista, presidencialista y autoritaria que favoreció a una entidad en detrimento de la otra; de igual manera se vieron afectados los municipios de donde se apropió el agua necesaria para la capital. Cuando tuvieron lugar las reformas que se hicieron en el sector hídrico y que se dio paso a la descentralización de los servicios de agua potable, la relación entre las entidades también se vio modificada (Perló y González, 2009).

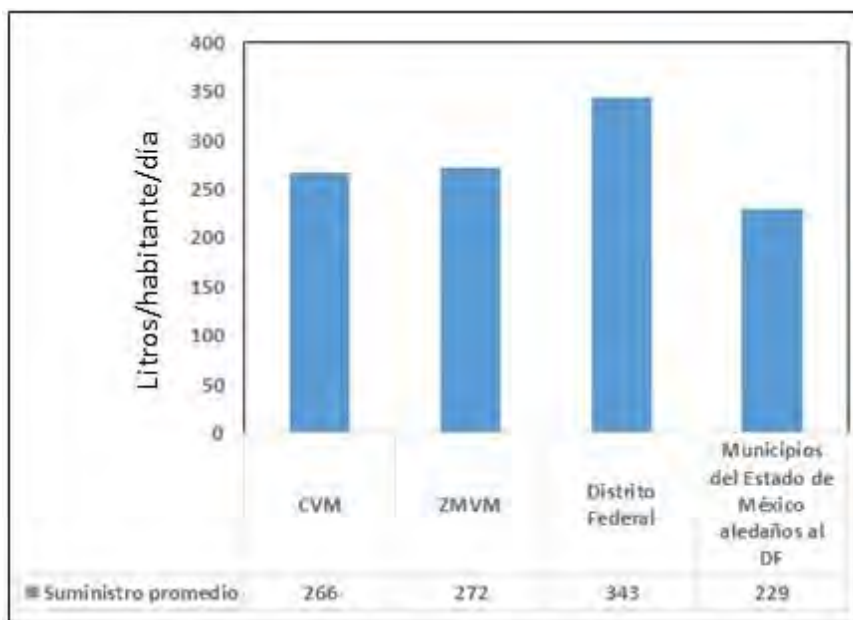


Figura 11 Región Hidropolítica. [Fuente: Perló y González, 2009:56]

A pesar de los cambios que han ocurrido, la Ciudad de México sigue estando favorecida con respecto al resto de la ZMCM; esto es un reflejo de la desigualdad que existe al interior de la Cuenca. Como lo mencionan Perló y González (2009), las decisiones que determinan aspectos como el abasto son de tipo político, lo que ha devenido en fricciones entre el Estado de México y el Distrito Federal, que incluso han ocasionado conflictos institucionales, además de los movimientos y disputas fuera del ámbito gubernamental, que han ido de la mano con los efectos

⁵ En Perló y González (2009) se utiliza el término Distrito Federal, el cual hasta antes de la reforma de 2016, era equivalente a Ciudad de México. Por lo que es necesario aclarar que cuando se le haga mención es porque así aparece en la publicación original.

ambientales que ha implicado abastecer la ZMCM. En la Gráfica 3, reproducida de Morales y Rodríguez (2009) se muestra la preferencia de la Ciudad de México, en comparación con el resto de las entidades que componen la Cuenca de México, al plasmar el suministro promedio de cada una, algo que constata el argumento que se mencionó al principio de este párrafo.



Gráfica 3 Suministro promedio por área geográfica en la CVM. [Fuente: Morales y Rodríguez, 2009, p. 34]

Las reformas implementadas en el sector hídrico y a nivel nacional, entre las que ocurrió la desaparición del Departamento del Distrito Federal (DDF), como una entidad del poder federal, y el surgimiento del Gobierno del Distrito Federal (GDF) hizo que se disminuyera el favoritismo especial con el que contaba la capital en comparación con el estado vecino (Perló y González, 2009).

Es por eso que Perló y González (2009) plantean que la Región Hidropolitana es un sistema con grandes diferencias entre las zonas de captación del agua y en las que se usa el recurso, además de que es una mega infraestructura que no solamente beneficia a la Ciudad de México, sino que también la utilizan los municipios conurbados y la ciudad de Toluca. Estos autores mencionan que, para abordar los problemas que ocurren en este sistema, se requiere de una visión amplia a partir de la cual se generen nuevos acuerdos de una manera integral, ya que la forma en que se lleva a cabo el ciclo urbano del agua no es sustentable.

Para abordar la parte institucional del Organismo Operador es necesario comprender el impacto que tienen los cambios desde la federación, que incurren en este nivel. También se deben entender los paradigmas que guían su estructura, así como los instrumentos mediante los que se hacen operativos para cumplir con sus funciones, por esta razón se aborda la forma en que se modificó la gestión hídrica en la ciudad durante los años 90 y luego se presenta una síntesis de dos programas rectores, cuyo mandato es sobre la infraestructura con la que se prestan los servicios hidráulicos para la población capitalina.

2.3.1 Funcionamiento del Organismo Operador

Ante el panorama de crisis hídrica, construido desde el discurso oficial, es necesario mencionar que la demanda de agua en la ciudad ha tendido a estabilizarse, al igual que los flujos migratorios de población que llegado durante la última década, sin embargo ha estado ocurriendo lo opuesto en el Estado de México, donde se ha registrado un incremento poblacional de mil nuevos habitantes por día, lo cual tiene un gran impacto en la demanda de agua. A pesar de este fenómeno, también se destaca que en la capital, la cantidad de agua utilizada por persona es mayor que en los municipios conurbados de la ZMCM, lo que hace necesario el estudio de esta desigualdad (Morales y Rodríguez, 2009; Perló y González, 2009).

La forma de administración del agua en la Ciudad de México, ha pasado por diferentes paradigmas rectores pero en ningún caso se ha logrado que alguno de ellos prevalezca sobre el resto, más bien han coexistido y en ocasiones han guiado decisiones contrapuestas. Estos son procesos que ocurren en este nivel y que también pueden estar vinculados o ser el resultado de las decisiones y cambios que vienen desde el nivel político. De acuerdo con Jiménez et al. (2011), se distinguen cuatro enfoques distintos:

- **Paradigma ofertista:** se basa en la construcción de obras hidráulicas para solucionar la creciente demanda de agua de la población, esta visión prevaleció a lo largo del siglo XX. Desde esta perspectiva no se generó una conciencia social sobre el valor del líquido ni se incluyó a la población en la generación de esquemas de corresponsabilidad en el cuidado del recurso
- **Paradigma del uso eficiente:** este esquema, introducido desde principios de la década de 1980, plantea cambios en la administración del agua y se centra en la gestión de la demanda, en contra posición al aumento de la oferta, por lo que introduce las tecnologías ahorradoras para lograr la eficiencia
- **Paradigma ambientalista:** plantea que el agua no debe ser únicamente gestionada desde criterios meramente hidráulicos, sino tomando una visión del desarrollo sustentable. Su institucionalización ocurrió al inicio de la década de 1990. A su vez también menciona que, para lograr que las ciudades tengan agua, es necesario respetar y proteger el ciclo que inicia y termina dentro y fuera de ellas
- **Paradigma de los Derechos Humanos:** surgió durante la década del 2000 y tuvo su origen con el reconocimiento legal del derecho que permite a todos los actores sociales exigir al Estado del servicio de agua potable para todos

A partir de estos enfoques se han definido los problemas públicos y la manera en que deben ser resueltos, además de que han sido la base para la construcción de las leyes, las normas y los demás instrumentos que conforman la política de gobierno. Para el caso capitalino, la racionalidad de todos estos paradigmas se ha implantado en las diferentes dependencias del GDF que están vinculadas con la política hídrica (Jiménez et al., 2011).

A continuación, en los siguientes diez párrafos, se hace un recuento de los cambios que hubo durante la década de 1990. Esta información se obtuvo de Martínez (2004), en donde se exponen los cambios que tuvieron lugar en la administración capitalina, en lo que concierne al sector hídrico, del cual se hace énfasis en la introducción de la iniciativa privada para la prestación de los servicios hidráulicos. Este fenómeno tuvo lugar en el sexenio de 1988 a 1994, cuando desde el gobierno local se tomó como prioridad la modernización y el aprovechamiento

integral de recursos, cuyo resultado fue la creación de un nuevo marco jurídico basado en la descentralización de la prestación de los servicios urbanos en las ciudades y el surgimiento de la gestión público-privada, basada en la delegación de responsabilidades y la subcontratación.

Como respuesta de la promoción que empezó a hacer la Comisión Nacional del Agua sobre el uso eficiente y la conservación de los recursos hídricos, así como la introducción de la iniciativa privada, el entonces DDF planteó una nueva estrategia para gestionar el agua en la ciudad, la cual tenía como objetivo alcanzar una administración integral, con la que se debía elevar la calidad del agua, fomentar una nueva cultura para su uso y abrir espacios para que los usuarios contaran con mayor participación en este proceso.

Para cumplir con los nuevos planteamientos hechos desde la política federal e implementarlos a nivel local, en el año de 1992 se creó la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF) como un organismo operador, desconcentrado, encargado de manejar los ingresos y los egresos públicos del sector hidráulico, así como de manejar el drenaje y el agua tratada, además del mantenimiento y la operación de la infraestructura. Estas acciones debían realizarse en coordinación con la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y las delegaciones políticas. Para 1994 la CADF fue adquiriendo más atribuciones y se convirtió en un organismo descentralizado.

La prioridad con la que se aplicó el nuevo marco legal se enfocó en el sistema de cobro; entre las acciones que se destacaron estuvieron: el aumento de la medición del agua utilizada, la rehabilitación de las redes de distribución y la participación de la iniciativa privada mediante subcontratación. Estas acciones se llevaron a cabo para equilibrar financieramente al gobierno de la ciudad, así como garantizar la continuidad y la eficiencia en la prestación del servicio; por esta razón se tomó el uso de la tecnología y el mejoramiento de las prácticas para ahorrar agua.

Con el fin de cumplir con todas estas metas se decidió contratar, mediante la CADF, a cuatro empresas que se hicieran cargo de algunas acciones del organismo operador como: la construcción de obras y la racionalización de la cantidad de agua usada. En todo momento la Comisión de Aguas quedó como administradora del servicio y del sistema. El contrato de los consorcios privados se hizo en 1993 con una duración por 10 años

Para llevar a cabo el nuevo esquema político, se llevaron a cabo tres etapas con diferentes acciones cada una; éstas fueron sintetizadas y se exponen en la Tabla 7 en la siguiente página. La ciudad se dividió en cuatro zonas con fines operativos y para lograr los objetivos planteados, se utilizó asesoría y tecnología extranjera, en tanto que el capital aportado fue de empresarios mexicanos. Se pasó de un esquema de cobro por cuota fija a uno basado en medición, con el fin de aumentar los ingresos percibidos por el gobierno local; de igual forma se comenzó a medir los indicadores de eficiencia física, de medición y de recaudación.

En esta época se midieron los siguientes indicadores: (1) eficiencia física, que se define como las condiciones de infraestructura y los volúmenes que se consumieron realmente; para lograrla se contemplaron acciones como la reparación de fugas. (2) La eficiencia de facturación, que se refiere a la cantidad de usuarios con medidor entre el total de usuarios registrados en el padrón; y finalmente la (3), en la que se midió la eficiencia de recaudación, que se centra en el monto recaudado y la emisión de boletas.

De 1997 al 2001, estos tres indicadores aumentaron su valor, sin embargo, de acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo, un organismo operador de agua que funcione de manera aceptable debe contar una eficiencia global de 45%; para el año 2001 en la Ciudad de México, este valor era de 51.82%, en tanto que la meta ideal se planteó como 70%. En general hubo cambios significativos durante las etapas 1 y 2, donde la participación de las empresas privadas tuvo injerencia en la actualización del padrón, la instalación de medidores, la emisión y recaudación y el pago de derechos. Por su parte, en la tercera etapa se involucró más a las delegaciones y la DGCOH, en comparación con la segunda, en la que prácticamente la CADF se encargó de todas las acciones que se realizaban. En la Tabla 8, que está en la siguiente página se muestra la comparación de los indicadores medidos para 1997 y 2001.

Tabla 7 Síntesis de la implementación de la nueva política del agua durante los años 90 en la Ciudad de México. [Fuente: Elaboración propia con información de Martínez, 2004]

Etapas	Periodo	Acciones realizadas
Primera	1994	Se hizo el levantamiento del padrón de usuarios a un total de 1,787,000 usuarios. Entre los años 1996 y 1997 se instaló el 90% de los medidores, de tal forma que en 2001 había 1,260,000 tomas con medidor.
Segunda	1995	El cobro medido para el uso doméstico se llevó a cabo para disminuir el volumen de agua para el abasto de la ciudad, de 35 m ³ /s a 25 m ³ /s; esta acción comenzó en 1995. Sin embargo no hubo coordinación suficiente entre la emisión de boletas y la existencia de tomas, dado que las acciones se implementaron de forma diferencial. A pesar de estos cambios no se cubre el costo real de abasto.
Tercera	1998	Durante esta última parte del contrato, las actividades se centraron en reducir las pérdidas de caudales, ya sea en la red, las tomas o por el desperdicio de los usuarios. Se repararon fugas para mejorar la distribución entre el poniente y el oriente de la ciudad, con el fin de disminuir la sobreexplotación de fuentes locales y también la dependencia de fuentes lejanas.

En la etapa 3 hubo falta de coordinación entre las delegaciones, la DGCOH, la CADF y las empresas, por lo que no hubo suficiente avance en la reparación de fugas ni en el mejoramiento del servicio entre distintas zonas de la ciudad. De acuerdo con la evaluación cualitativa que se expone en Martínez (2004), que se hizo a través de una revisión de notas hemerográficas, se apunta que se reportaron denuncias, quejas e inconformidades, principalmente en el oriente de la ciudad, además de que destaca el tema de la mala calidad del agua en las zonas periféricas de la urbe.

Con respecto a los cortes en el suministro, se presentaron denuncias en las delegaciones Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa y Venustiano Carranza. Ante esta situación, en Martínez (2004) se menciona que el agua se distribuye mediante pipas con costos

que van de 200 a 300 pesos, por lo que, las malas condiciones de abastecimiento se presentan en estas zonas están ligadas con el mercado informal, el cual ha persistido a pesar de las acciones que se implementaron en esta última etapa. Para el año de 1999 las quejas presentadas versaban sobre los mismos temas y también se incluyó que los mayores cobros se realizan en las zonas más pobres.

Tabla 8 Comparativo de la medición de eficiencias en el DF para 1997 y 2001. [Fuente: Elaboración propia con información de Martínez, 2004]

Indicador	Fórmula	1997	2001
Eficiencia física	$\frac{\text{Agua consumida}}{\text{Agua disponible}}$	67%	69.2%
Eficiencia de facturación	$\frac{\text{Boletas de consumo medido}}{\text{Total de boletas emitidas}}$	80%	90.13%
Eficiencia de recaudación	$\frac{\text{Monto recaudado}}{\text{Monto según boletas}}$	63.46%	83.1%

Como resultado de todos estos cambios, para el año 2003, se fundó el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, que fue la institución que asumió las atribuciones de la DGOH y de la CADF, que fueron integradas en un solo organismo operador encargado de la gestión del agua en toda la ciudad (Tiburcio, 2013). De acuerdo con la Ley de Aguas del Distrito Federal, el SACMEX es un organismo desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente local cuyo objetivo principal es: “la operación de la infraestructura hidráulica y la prestación del servicio público de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como el tratamiento y reuso de aguas residuales” (Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 2003:6).

Entre las atribuciones con las que cuenta el SACMEX están: la explotación, el uso y el aprovechamiento de las aguas, su distribución, control y preservación de su calidad y cantidad para contribuir al desarrollo integral y sustentable de la ciudad. En este mismo sentido, también se encarga de dictar y vigilar la aplicación de las políticas de extracción de las fuentes de abastecimiento y de recarga de acuíferos en el territorio que le corresponde a la entidad, además de definir y establecer las políticas que permitan el desarrollo sustentable, conforme a lo que establece la Ley Ambiental y la de Desarrollo Urbano (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

De acuerdo con el *Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Visión 20 años* (PGIRH), el objetivo estratégico del Sistema de Aguas, es la plena satisfacción de las necesidades de la población actual y de la futura, mediante la aplicación de políticas y normas para lograr la gestión integrada de los recursos hídricos, en conjunto con las acciones que contribuyan a la operación, mantenimiento y conservación de la infraestructura hidráulica para mejorar la eficiencia de los sistemas hidráulicos y también promover una cultura de uso racional entre la ciudadanía, que

vaya de la mano con la conservación y el pago justo y oportuno de los servicios que presta el Organismo, para que de esta forma se logre su autosuficiencia financiera.

Uno de los objetivos que tiene esta Institución, es lograr el balance entre las necesidades de inversión necesarias para mejorar la infraestructura, así como aumentar la eficiencia del sistema en general y los ingresos, con el propósito de brindar un mejor servicio. Para llevar a cabo estos puntos, es necesario hacer compatible la disponibilidad de agua con los recursos económicos y así alcanzar la sustentabilidad ambiental y reducir los riesgos vinculados con las inundaciones (Gobierno del Distrito Federal, 2012). En el PGIRH se apuntan los siguientes retos que debe abordar la institución:

- Mejoramiento de la calidad, la continuidad y la cobertura del suministro de agua potable
- Desalojo y tratamiento de las aguas residuales
- Desalojo oportuno de las aguas pluviales y atención de emergencias
- Entrega de agua a los sectores desfavorecidos de la población
- Aprovechamiento del agua de lluvia y de otras fuentes
- Mitigación de riesgos ante la variabilidad de las precipitaciones y el cambio climático
- Recuperación de espacios públicos relacionados con los cuerpos de agua
- Estructurar las tarifas de forma justa y asequible

Dentro de este listado se destaca la contraposición de paradigmas, ya que por un lado se menciona a la precipitación como un recurso y al mismo tiempo como una amenaza. También se pueden apreciar preceptos que surgen del enfoque de uso eficiente a la hora de mencionar que es necesario mejorar la prestación del servicio, el de derechos humanos cuando se expone la cuestión de las tarifas justas y asequibles, así como del ambiental al plantear la recuperación de espacios inherentes a los cuerpos de agua. A pesar de toda esta serie de ideas, las ideas más mencionadas corresponden a la gestión convencional. A continuación se desarrolla el contenido sobre temas de conservación del agua de dos programas rectores de la política hídrica local.

Durante el año 2007 se implementó el *Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México* (PMSACM), cuya acción corresponde al periodo de 2007 a 2012. Su estructura está configurada por cinco ejes rectores, que son: (1) Recarga del Acuífero y Protección del Suelo de Conservación; (2) Consumo de Agua Potable; (3) Detección y Supresión de Fugas, (4) Drenaje, Tratamiento y Reuso de Agua Residual Tratada; y (5) Parques Lacustres y Áreas de Alto Valor Ambiental. De estos ejes temáticos, sólo se desarrollan el número dos y el número tres en la Tabla 9 que aparece en la siguiente página; de la misma forma, los nueve párrafos subsecuentes se cita este Programa como (Gobierno del Distrito Federal, 2007).

En el PMSACM se menciona que la alta densidad de población en la Ciudad de México ha generado una fuerte demanda por el agua, de igual forma plantea que en los años venideros la cantidad requerida aumentará y la prestación de los servicios se volverá cada vez más deficiente. También se expone que esta problemática se ha agudizado por la insuficiencia de las fuentes locales, por lo que se ha tenido que importar el recurso hídrico de cuencas vecinas. En este contexto se enfatiza que, para reforzar el suministro, es necesario desarrollar nuevas fuentes y utilizar de forma eficiente las actuales.

Se destaca que el caudal utilizado en la última década, tomando como referencia el año de esta publicación, es de 33.8 m³/s, mientras que, también se menciona que de este volumen

solamente se entregó a los usuarios 22.3 m³/s, ya que el resto se perdió en fugas dentro del sistema, ya sea en la red de distribución, en tomas clandestinas y dentro de las redes intradomiciliarias. Este último sitio de pérdida de agua resulta de gran importancia, porque implica la relación entre el organismo operador y los usuarios domésticos, quienes representan un 89% del padrón actual. Ante esta situación, en el PMSACM se plantea que es necesario implementar nuevos esquemas de cobro que estén basados en la equidad y que a su vez incentiven la disminución de la demanda por uso doméstico de agua.

Tabla 9 Desglose de las acciones del PMSACM. [Fuente: Elaboración propia con la información de Gobierno del Distrito Federal, 2007]

Tema		Inversión en millones de pesos al 2012
Suelo de Conservación y Recarga del Acuífero		3,850.85
Consumo de Agua Potable	Potabilización de Agua	512.00
	Desarrollo de nuevas fuentes	2,028.50
	Apoyo al mantenimiento de la infraestructura hidráulica	250.00
	Campañas de uso eficiente	200.00
	Actualización del padrón de usuarios	352.00
	Instalación de medidores en tomas domiciliarias	900.00
	Mantenimiento al parque de medición	450.00
	Inversión para la mejora de la atención al público	54.00
Detección y Supresión de Fugas	Sectorización de la red de agua potable, operación y mantenimiento de los sectores	520.00
	Sustitución y rehabilitación de tuberías de agua potable	2,200.00
	Detección y supresión de fugas	250.00
Drenaje, Tratamiento Y Reuso de Agua Residual		10,124.17
Parques Lacustres y Áreas de Valor Ambiental		435.80
Total		22,127.32

El objetivo general del eje temático dos, que lleva por nombre “Consumo de Agua Potable”, es el de satisfacer la demanda futura con nuevas fuentes y también con la cantidad de agua resultante de la reducción de los consumos intradomiciliarios. En este segundo aspecto se pretende lograr mediante la promoción del uso eficiente, su reúso y un pago justo por la prestación del servicio, con el fin de impulsar un manejo integral y sustentable del recurso.

Entre los objetivos específicos con los que cuenta este eje rector, están: la reducción de pérdidas a nivel intradomiciliario para favorecer el ahorro en el uso de agua, además del desarrollo de nuevas fuentes, entre las que se contempla la Presa de Guadalupe y la de Madín, el sistema acuífero de Tula y la rehabilitación del Sistema Cutzamala; el propósito de estas obras, es contar con un caudal adicional de 10 m³/s para el año 2012. Sobre este punto, en el PGRIH *Visión 20 años* no se menciona que este volumen para la capital mexicana ya haya sido cubierto.

Para lograr la reducción de la demanda agua, se contempla la realización de dos campañas mediáticas. Esta acción es parte del eje temático de mejoramiento del sistema comercial, el cual se enfoca al número de cuentas registradas y la cantidad de medidores instalados. El objetivo que se pretende alcanzar, es contar con datos suficientes de uso real que sean útiles para la reducir la demanda, así como para identificar fugas en el sistema y llevar a cabo su reparación de manera oportuna.

A partir del diagnóstico relativo a la pérdida de caudales en fugas, en el apartado tres del PMSACM se plantea el proyecto de sectorización de la red, para que quede subdividida en 336 distritos hidrométricos y que sea posible delimitar la problemática de forma local, ya que cada unidad contaría con válvulas de seccionamiento y así es posible mejorar la eficiencia física antes que privilegiar el aumento de la oferta mediante la importación de agua. A través de estas acciones se pretenden recuperar 3 m³/s, que son útiles para mantener el abasto pero no para aumentarlo, además de que también se contempla un programa para sustituir las tuberías secundarias que presentan altos índices de fugas, por tuberías de polietileno que son resistentes a la mecánica del suelo lacustre.

Como meta en estos dos ejes temáticos de “Consumo de Agua” y “Detección y supresión de fugas”, en el caso del primero, se pretendía que para el año 2012: (1) el suministro contara con cloración al 100% dentro de los límites establecidos por las Normas de Potabilización; (2) se aumentara la oferta con un caudal adicional de abastecimiento de 10 m³/s; y (3) se redujera la demanda actual en un 10%, que son 2.2 m³/s. Entre las acciones que se plantean para alcanzar la meta de reducción están: la consolidación de una conciencia ciudadana de cultura del agua, la actualización del 100% del padrón de usuarios, la instalación de 600 mil nuevos medidores y el mantenimiento de otros 600 mil ya existentes; la simplificación de trámites para acceder a los servicios y contar con tarifas reales y equitativas.

En cuanto al otro eje, se tiene como meta: recuperar 2.5 m³/s como resultado de la sectorización de la red y la sustitución de las tuberías, además de 0.50 m³/s por la detección y la supresión de fugas. Entre las acciones que se planean están la operación y el mantenimiento de los 336 sectores hidrométricos, la revisión anual de 10,000 km de red y la sustitución de 2,000 km

Una vez que se llegó al año de referencia de los objetivos del PMSACM, se publicó en la Gaceta Oficial el *Programa de Gestión Integral de Recursos Hídricos. Visión 20 años*, que plantea estrategias de desarrollo a largo plazo con respecto a los retos que enfrenta la Ciudad de México, que atentan contra su sustentabilidad. Al mismo tiempo, también atiende las limitantes que existen en el sistema, por lo que tiene como objetivo: garantizar la prestación de los servicios de agua y saneamiento, como un derecho humano, en cantidad y calidad para todos los habitantes de la ciudad. En los siguientes ocho párrafos se mencionan algunos puntos correspondientes a este Programa bajo la cita de (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

Los fundamentos legales que sustentan el PGIRH son los artículos 6 y 20 de la Ley de Aguas del Distrito Federal, en ellos se plantean los principios que guían la política hídrica, que son los mismos que se establecieron en la Declaración de Dublín 1992. Desde este mandato jurídico, se pone a este Programa como el instrumento rector del gobierno local en materia de agua. Entre otras cuestiones que se exponen en la LADF con respecto de este ordenamiento, se menciona que debe estar vinculado con las políticas federales, el ordenamiento territorial y el *Programa General de Desarrollo Urbano*, por lo que este documento es una expresión para la aplicación

de la GIAU en la Ciudad de México, además de que liga a la política de desarrollo de la ciudad al enfoque de sustentabilidad, con las metas de conservación del agua en el corto, mediano y largo plazo (Sosa, 2009; Gobierno del Distrito Federal, 2012).

En la Tabla 10 se apunta la forma en la que el PGRH se vincula con el resto de ordenamientos ambientales y generales del gobierno de la ciudad, lo cual permite ver la forma en que se integra la gestión urbana del agua. En la última columna se anotaron las acciones que se proponen sobre la conservación del recurso hídrico, ya que debe quedar clara la manera en que se relaciona este proceso de demanda por uso doméstico de agua, con los elementos que estructuran el sistema socio-técnico y que van a tener incidencia en los usuarios.

Tabla 10 Integración del PGRH con los demás programas de gobierno. [Fuente: Elaboración propia con información de Gobierno del Distrito Federal, 2012]

Programa	Planteamiento general	Acciones en el PGRH relativas a la conservación del agua
Programa General de Desarrollo 2007-2012	Todas las dependencias del gobierno deben realizar planificación, programación y presupuestación. Contiene siete ejes.	Ejes 6 y 7, relativos a desarrollo sustentable y nuevo orden urbano. Entre las acciones del SACMEX en estos ejes están la reducción entre oferta y demanda de agua.
Programa Sectorial de Medio Ambiente 2007-2012	Incorporación del componente ambiental en la aplicación de políticas públicas; su eje rector es la sustentabilidad en servicios, desarrollo e infraestructura urbana.	Disminución gradual de la sobreexplotación del acuífero de la Ciudad de México. Ampliación del reúso intensivo de agua residual tratada.
Plan Verde	Rector de las políticas públicas en materia ambiental del GDF a mediano plazo. Busca encaminar a la Ciudad de México al desarrollo sustentable.	Lograr autosuficiencia hídrica de la ciudad y la gestión integral del agua. Cuenta con cinco estrategias; entre ellas la reducción del uso doméstico mediante mecanismos económicos, campañas de difusión, instalación de dispositivos ahorradores y sustitución de muebles sanitarios.
Programa de Acción Climática de la Ciudad de México	Articula las políticas y acciones de suministro y uso eficiente del agua con las de están orientadas a la atención de riesgos.	Tiene cuatro líneas de acción, entre ellas la de ahorro y reutilización del agua.
Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México	Integra acciones que guían la política del agua del DF para el periodo de 2007-2012 y se realizaron consultas, talleres y mesas redondas donde participaron diferentes tipos de actores.	Disminución de las fugas domiciliarias, campañas de comunicación y mejoramiento de la atención a usuarios.
Programa Especial del Agua. Visión 20 Años	Garantizar los servicios de agua y saneamiento como derecho humano en cantidad y calidad para todos los habitantes de la ciudad. Este instrumento sirve para orientar el presupuesto y la programación.	Cuenta con cinco objetivos estratégicos, entre ellos está el desincentivo al consumo excesivo del agua

La estructura interna del PGRH está compuesta por cuatro macroprocesos que son: (A) La Prestación de los servicios hidráulicos, (B) la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, (C) la Construcción y el mantenimiento de la Infraestructura y (D) el Fortalecimiento Institucional; estos ocurren en tres dimensiones: la población, el medio ambiente y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México. A continuación, en la Figura 12 se muestra el esquema que representa la visión integral del organismo operador.



Figura 12 Macroprocesos que conforman el PGIRH. [Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2012:15]

Cada uno de estos macroprocesos cuenta con una política general, un objetivo y un presupuesto programado para el periodo 2013-2032, además de que se desglosan en políticas y objetivos estratégicos, desde los que se desprenden varias líneas de acción. De acuerdo con una estimación hecha en 2011, el Programa en su totalidad requiere de 310,270 millones de pesos con un gasto medio anual de 15,513 millones de pesos.

Al igual que se hizo con el PMSACM, a continuación se presenta una tabla con el desglose de las acciones del PGIRH, donde se plantea la política general y el objetivo con el que cuenta cada uno de los macroprocesos que le dan estructura; también se anota el presupuesto que se destina a cada uno de los rubros considerados para el periodo de operación de este ordenamiento, el cual corresponde a los años de 2012 a 2032. Cabe destacar que las cantidades de presupuesto asignadas, pueden variar según los resultados de evaluación en el tiempo.

Dentro de las estrategias que se contemplan, hay algunas que conciernen a la conservación del agua, entre las que destacan acciones dentro de los ejes de: *Prestación de los servicios hidráulicos* y de *Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. Para el primer caso, en el apartado de Comunicación Social, se planteó la consolidación de una campaña permanente sobre cultura del agua, enfocada a los usuarios para optimizar el uso del recurso, con esta acción se pretende llevar a cabo mediante pláticas lúdico-didácticas, eventos de promoción, ferias, congresos y campañas publicitarias (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

Adicionalmente, en el eje de Administración del agua, aparecen las estrategias que corresponden al uso eficiente y al ahorro. Al respecto se menciona como fundamental controlar las malas prácticas de uso indiscriminado y la contaminación que generan los diferentes tipos de usuarios, por lo que es necesario reducir la demanda de la ciudad en 6 m³/s ante el panorama de merma en la disponibilidad tanto en cantidad como calidad. Esta reducción es vista como una posibilidad para brindar un servicio sostenible, además que se debe contar con la participación de la ciudadanía para su consecución (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

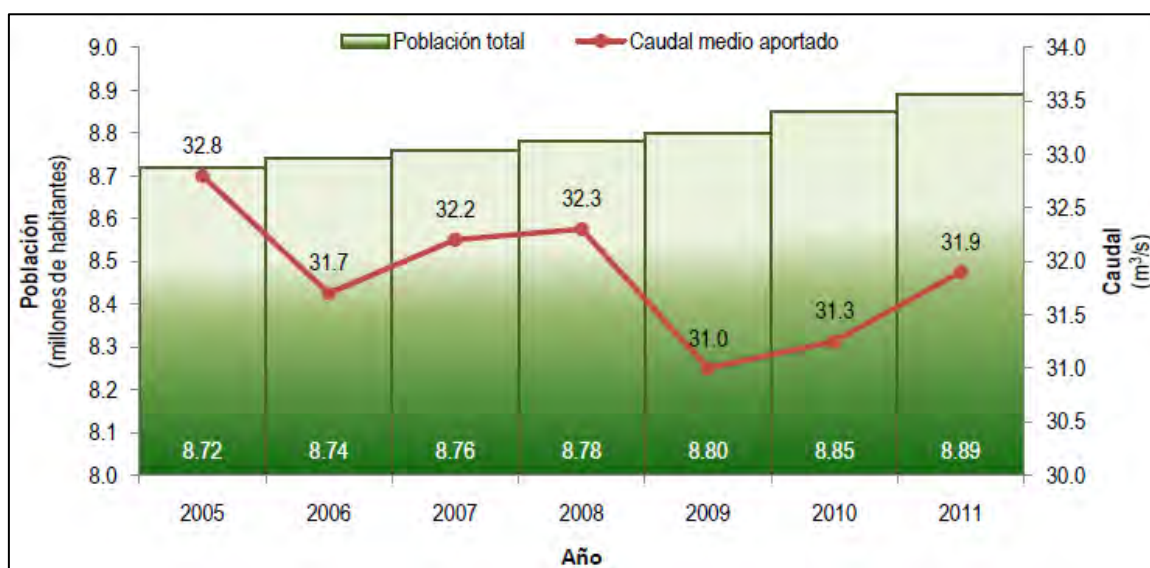
Con respecto al tema de la demanda de agua, en el PGIRH se le vincula únicamente con la cantidad de habitantes, por lo que se menciona que la cantidad requerida es grande, que ha crecido con el tiempo y que es necesario hacer uso racional sin hacer un diagnóstico particular para el tema, a diferencia de como sucede con otros como las fugas, el hundimiento y la calidad de agua asociada al abasto o incluso con el acceso al agua y la estructura tarifaria. También se expone que existen diferentes dotaciones en la ciudad debidas a la falta de infraestructura en ciertas zonas, ya que el crecimiento urbano ha ocurrido de forma más acelerada en comparación con la dotación de servicios (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

Tabla 11 Desglose de acciones del PGIRH. [Fuente: Elaboración propia con la información de Gobierno del Distrito Federal 2012]

Macroproceso	Política General	Objetivo General	Inversión 2013-2032 millones de pesos
Prestación de los servicios hidráulicos	Garantizar el suministro de agua potable, servicio, drenaje, saneamiento y reuso de agua residual tratada	Satisfacción plena de los habitantes del DF	118,744
Gestión Integrada de los Recursos Hídricos	Administrar y desarrollar los recursos hídricos, suelo y recursos relacionados bajo un enfoque integral	Mantener en balance la sustentabilidad de los ecosistemas	37,381
Construcción y mantenimiento de infraestructura	Implementación de acciones para el impulso y consecución de obras hidráulicas que coadyuven al desarrollo urbano, ambiental y al bienestar de los habitantes del DF	Maximizar el beneficio social de los habitantes del Distrito Federal	149,868
Fortalecimiento Institucional	Apoyar en el logro de los objetivos de los programas sustantivos. Lograr la autosuficiencia financiera	Plena satisfacción del cliente interno	4,278

Como resultado de la revisión que se hizo de la evaluación realizada por Martínez (2004) y de la síntesis que se presentó de los dos programas del gobierno de la ciudad, es posible ver cómo han concurrido varios paradigmas en la formulación de la política hídrica, además de que su implementación ha contribuido a que haya mejoras en términos de infraestructura, sin embargo aún hay temas pendientes en lo relativo al acceso al agua. Este nuevo esquema ha traído consigo la gestión integrada del agua urbana, que aparece de manera discursiva en ambos programas pero también está presente el paradigma ofertista en las acciones como el aumento de caudales, cuyo sustento es únicamente el aumento poblacional bruto y no el estudio de datos empíricos que permitan una planificación más atinada. En la Gráfica 4, reproducida del PGIRH, se muestra

una comparación entre el aumento poblacional y el caudal aportado para la ciudad en el periodo de 2005 a 2011.



Gráfica 4 Comparación del crecimiento población y abasto de agua en la Ciudad de México. [Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2012:31]

Hace falta estudiar la demanda por uso doméstico en la ciudad para entender cuáles son los factores que la determinan, y que así sea posible tener un diagnóstico al respecto, con el fin de plantear de forma congruente la implementación de campañas de uso racional y en general comprender todo el sistema socio-técnico en su conjunto. El estudio espacial de la demanda es útil para establecer acciones de conservación del agua que puedan ser medibles y cuya aplicación se haga de manera localizada, para que así sea posible establecer estrategias congruentes con las necesidades del sistema.

2.3.2 Descripción de la infraestructura del ciclo urbano del agua

Las normas y regulaciones que son parte de este nivel tienen su efecto, en primer lugar, en la infraestructura física que forma parte del sistema socio-técnico y posteriormente en los usuarios del agua, de ahí la importancia de hacer su descripción para el caso de la Ciudad de México. Cabe aclarar que no se desarrolla toda la Región Hidropolitana de la que forma parte esta ciudad, debido a que la escala de estudio se circunscribe únicamente a la jurisdicción del Organismo Operador. Según lo expuesto en Gobierno del Distrito Federal (2012), la infraestructura que opera SACMex está compuesta por tres tipos de elementos:

- **Los utilizados para el suministro de agua potable:** pozos, líneas de conducción y distribución, tanques de almacenamiento, plantas de bombeo y plantas potabilizadoras y de cloración
- **Los que corresponden al drenaje pluvial y sanitario:** las líneas de conducción primarias y secundarias; los pasos a desnivel; el drenaje profundo; las plantas de bombeo; los pozos de absorción; los tanques de tormenta; los accesorios pluviales; las presas, las lagunas, las barrancas y los cauces a cielo abierto, así como los que están entubados

- **Los que constituyen el tratamiento y reúso de las aguas residuales:** constan de las plantas de tratamiento, las líneas de conducción y las de distribución, los tanques de almacenamiento, las plantas de bombeo y los accesorios hidráulicos.

La demanda por uso doméstico de agua es un proceso de primer nivel que vincula otros dos de segundo, que son el suministro y el desalojo de aguas residuales. Todos estos procesos tienen lugar a través de la infraestructura, que es el elemento principal del segundo nivel y que está dividido en dos subsistemas el que corresponde al de abastecimiento y el de drenaje. Para el caso de esta investigación, sólo se desarrolla el primero para vincular al organismo operador con los usuarios a nivel de colonia. En la Tabla 12 se enumeran los elementos de ambos subsistemas.

Tabla 12 Componentes de infraestructura del organismo operador. [Fuente: Elaboración propia con información de Gobierno del Distrito Federal, 2012]

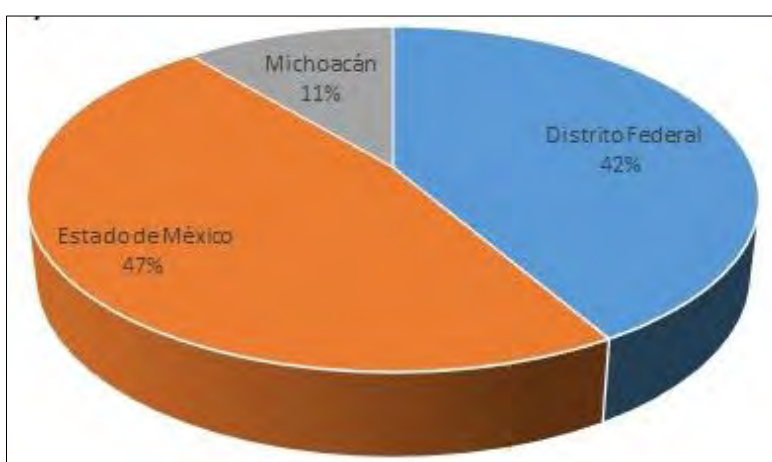
Sistema de abastecimiento de agua potable (subsistema)	Sistema de drenaje (subsistema)
567 kilómetros de acueductos	165 kilómetros de drenaje profundo
1,273 kilómetros de red primaria	2,368 kilómetros de red primaria
11,971 kilómetros de red secundaria	11,626 kilómetros de red secundaria
357 tanques de almacenamiento	145 kilómetros de colectores marginales
268 plantas de bombeo	198 plantas de bombeo y rebombeo
49 plantas potabilizadoras	78 estaciones para la medición en tiempo real de tirantes en componentes del sistema de drenaje
976 pozos	
69 manantiales	

La historia de este sistema socio-técnico, desde que su contrato hídrico-social ha implicado constantes luchas con el medio en el que subsiste la ciudad, comienza después de la construcción del primer túnel artificial para drenar los lagos de la Cuenca de México; de ahí en adelante se han concluido otros tres más y el quinto está aún en construcción. Por el lado del suministro, desde fines del siglo XIX se cavó el primer pozo y conforme se fue adentrando el siglo XX se cavaron cada vez, bajo el argumento de que los caudales superficiales no eran suficientes para saciar la sed de la urbe (Brown et al., 2008; Perló y González, 2009)

Durante la década de los años 50 se construyó el primer proyecto para la importación de agua, que fue el Sistema Lerma. El objetivo con el que se concretó esta obra fue el de reducir la subsidencia del suelo en el centro de la ciudad, y de igual forma para aumentar la oferta disponible. Bajo esta misma lógica, treinta años después se construyó la mega obra del Sistema Cutzamala, cuya meta principal fue la de abastecer a las crecientes Zonas Metropolitanas de México y de Toluca. A pesar de la adopción del paradigma ambientalista, en el PGRIH Visión 20 años se menciona que aún es necesario ampliar la oferta de agua con la idea de reducir la

sobreexplotación, este Programa, a diferencia del PMSACM, sigue tomando en cuenta fuentes lejanas como las cuenca de los ríos Tecolutla y Amacuzac (Perló y González, 2009; Gobierno del Distrito Federal, 2007; 2012).

El resultado ha sido que la Ciudad de México recibe en la actualidad agua de los estados de México y de Michoacán, como se muestra en la Gráfica 5. Perló y González (2009) mencionan que la Región Hidropolitana se ha consolidado de manera desigual entre todos los actores que la componen, lo que ha traído consigo situaciones como la que se puede apreciar en la en la Gráfica 3, reproducida de Morales y Rodríguez (2009). En ésta se expone la cantidad de agua otorgada a las entidades de la Cuenca de México, en donde la capital tiene un mayor suministro en comparación en el resto, cabe destacar que no se abordan los movientos sociales y tensiones instituciones que han tenido lugar con respecto de estas asimetrías.

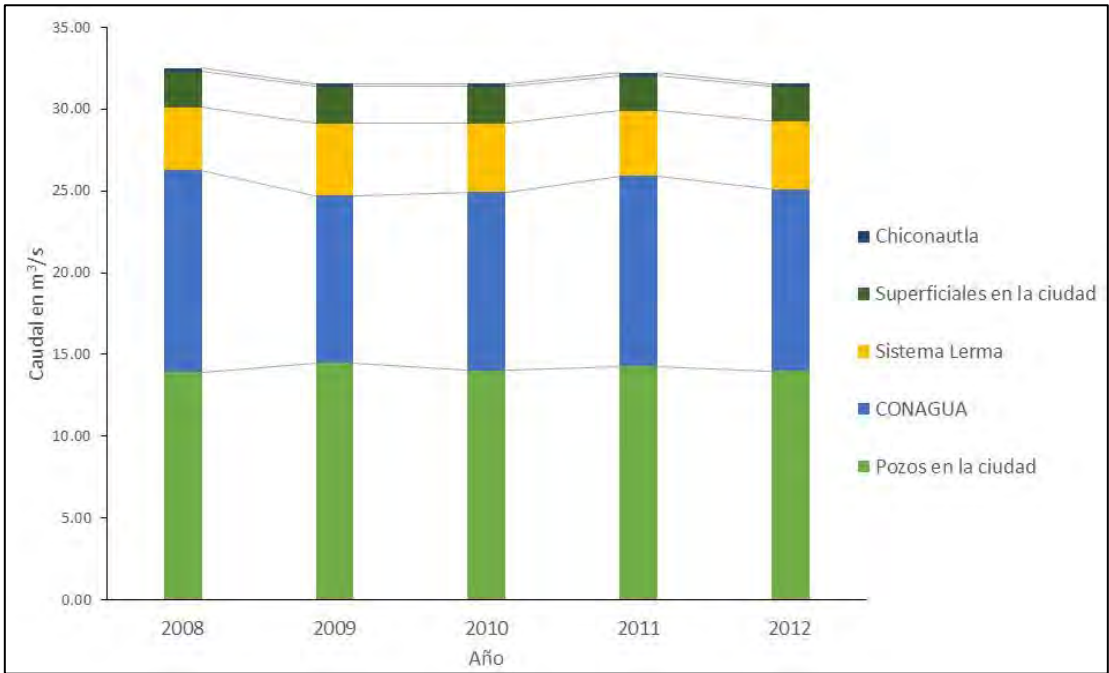


Gráfica 5 Entidad de procedencia de los caudales que llegan al DF en porcentaje. [Fuente: Perló y González, 2009:7]

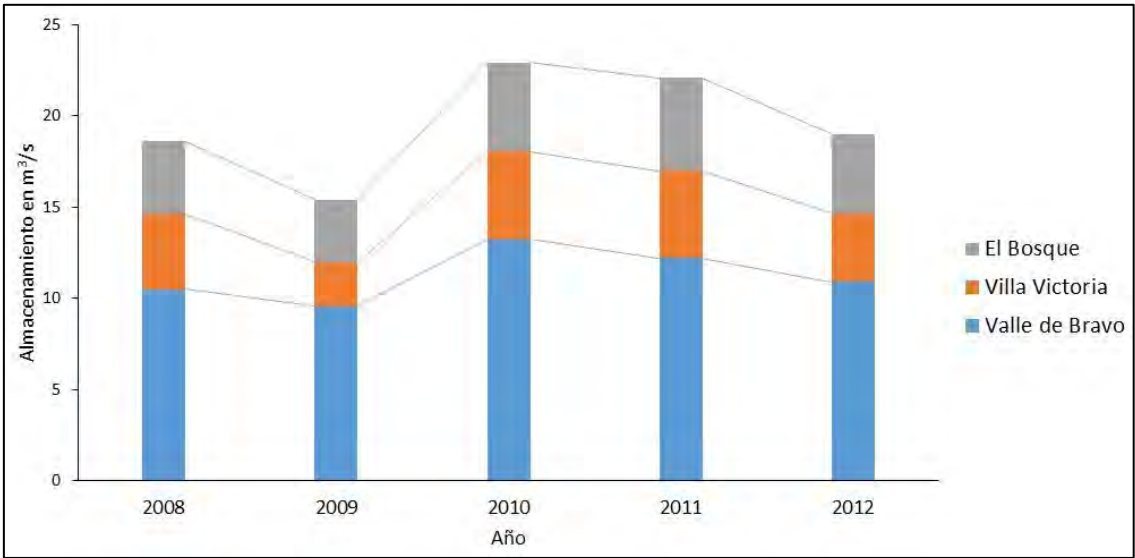
La principal fuente de agua que utiliza la ciudad es el agua de pozos que se localizan en su misma cuenca y que son operados por el SACMex, a diferencia del Sistema Cutzamala que lo administra la Comisión Nacional del Agua. El periodo de estudio en que se extiende esta investigación va del año 2008 al 2012, y en este periodo se le suministró a la Ciudad de México un caudal promedio $31.27 \text{ m}^3/\text{s}$. Estos datos se muestran en la Gráfica 6, que está en la siguiente página, en ella que se apuntan los volúmenes aportados por cada una de las fuentes que abastecen a la capital mexicana. Esta información fue provista por el Sistema de Aguas a través del portal de transparencia.

Aproximadamente la mitad del agua que se utiliza en la ciudad proviene de pozos localizados en su territorio, mientras que el resto del agua se importa de más allá de sus fronteras. Se puede observar que la cantidad de agua que aportan las fuentes subterráneas, tanto en los sistemas locales como en el Sistema Lerma, tiende a ser constante a diferencia de las que administra la CONAGUA. Durante el año 2009 se presentó una disminución del agua almacenada en las presas que conforman el Sistema Cutzamala, lo que representó que el suministro que recibió la capital fuera menor que en otros años, esta situación se puede observar en la Gráfica 7, en la que se

presenta el almacenamiento que hubo en las tres presas de este sistema para el periodo de 2008 a 2012.



Gráfica 6 Caudales de abasto para la Ciudad de México por fuente 2008-2012. [Fuente: Elaboración propia con datos del SACMex obtenidos vía transparencia]



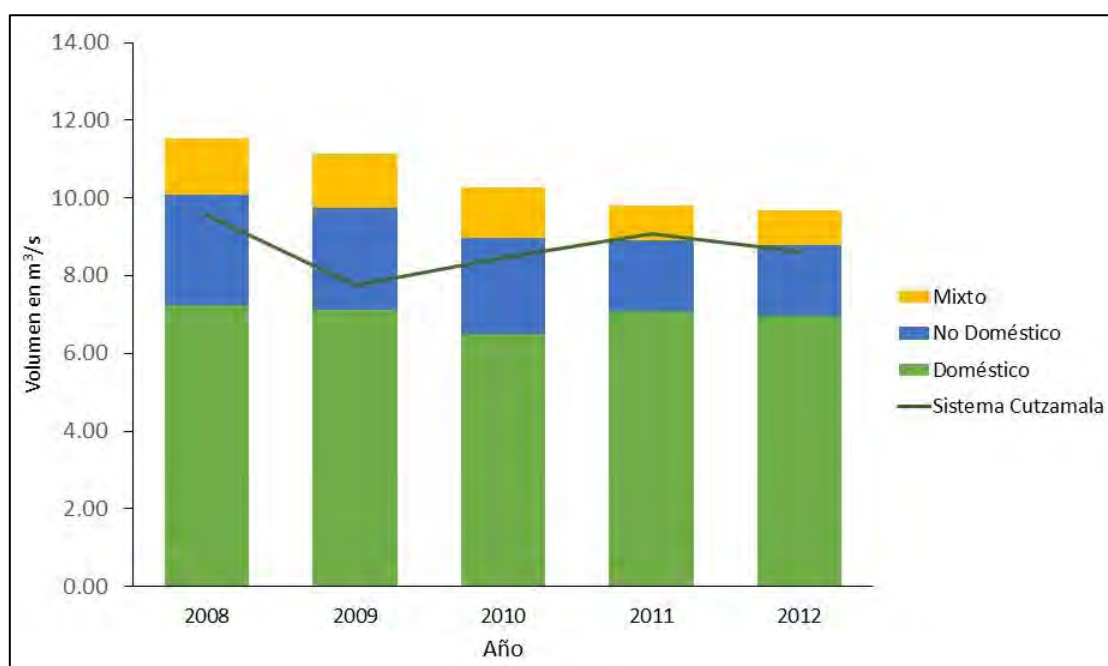
Gráfica 7 Almacenamiento en las presas del Sistema Cutzamala 2008-2012. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por la CONAGUA vía transparencia]

Esta situación crítica ocasionó que para el año 2010 se replanteara el esquema tarifario capitalino, con el fin de reorientar la asignación de los subsidios aplicados al pago por los

servicios hidráulicos que se prestan a la población; esta medida se llevó a cabo para lograr reducir la demanda de agua entre un 5 y 10%. De igual forma, esta acción se realizó para contar con recursos financieros y ampliar la cobertura, así como incrementar la calidad de atención a los usuarios; este nuevo esquema tarifario se basó en un índice que construyó la Secretaría de Finanzas, se llama *Índice de Desarrollo e Infraestructura* de la ciudad y se mide por manzana (Jiménez et al., 2011).

Este tipo de cambios en el sistema deben tener relación entre el proceso de suministro y el de demanda por uso doméstico de agua, ya que se debe comparar la dinámica que tienen ambos y así ver la manera en que se comportan en conjunto, esto es con el fin de contar con suficiente información sobre el funcionamiento del sistema socio-técnico, para así mejorar su resiliencia ante fenómenos que ocurren a escalas mayores pero que inciden en niveles de diferente jerarquía (García, 2006).

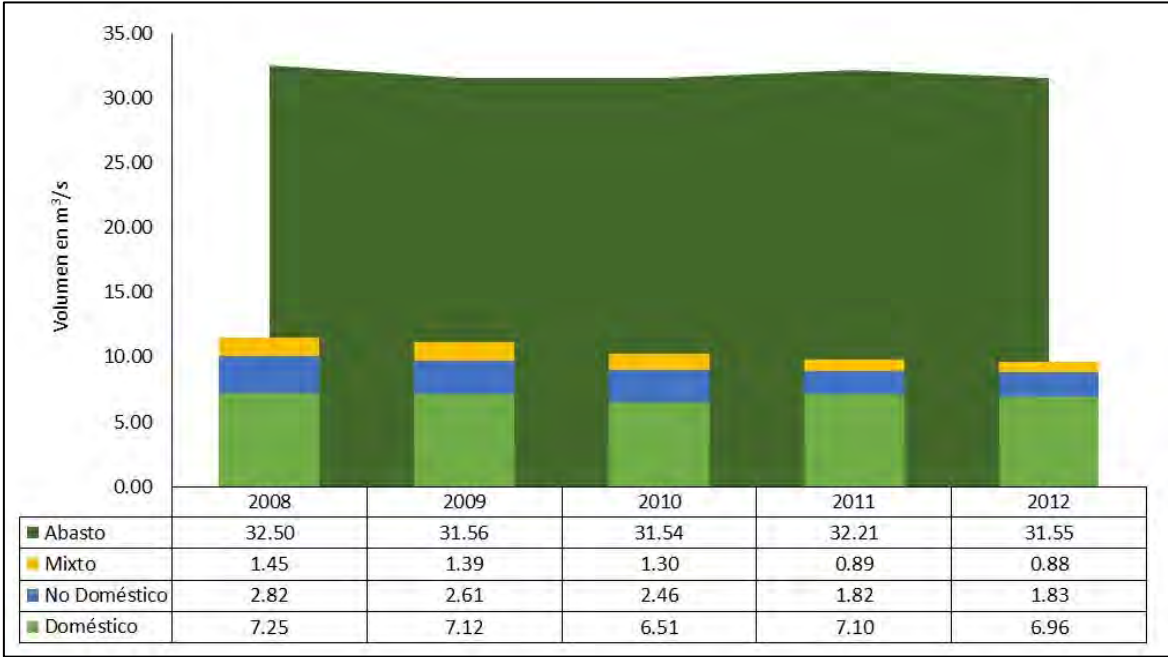
En la Gráfica 8 se puede apreciar que la demanda de agua capitalina, para todos los usos, se reduce del 2008 al 2012, pero en el caso del uso doméstico, tiende a mantenerse constante en el tiempo, excepto en el año 2010, que es cuando muestra una disminución. En lo que respecta a la comparación con el proceso de abastecimiento, resalta el 2009, que es el año crítico para el almacenamiento de agua en el Sistema Cutzamala. Es necesario mencionar que las cifras aportadas por el Organismo Operador corresponden únicamente a los usuarios que poseen medidor.



Gráfica 8 Comparación de la cantidad de almacenamiento en el Sistema Cutzamala y de la demanda de agua en la ciudad 2008-2012. [Fuente: Elaboración propia con datos de SACMex y CONAGUA obtenidos vía transparencia]

El mayor uso que se le da al agua en la Ciudad de México es de tipo doméstico y, como se muestra en la Gráfica 9, es posible observar que existe una gran brecha en la cantidad

suministrada, en comparación con la demandada; esto se debe a que los volúmenes perdidos en fugas que oscilan en un 40% de acuerdo con Perló y González (2009). A esto hay que agregar que, según los datos aportados por el portal de transparencia del Sistema de Aguas, el porcentaje promedio de usuarios domésticos con medidor, para el periodo de 2008 a 2012 fue de 64.23, según los datos que aportó el SACMex vía transparencia. Queda de manifiesta que las acciones de incremento en la medición aún están pendientes a pesar de la introducción del paradigma de uso eficiente, implementado en la década de 1990, como se reporta en Martínez (2004).



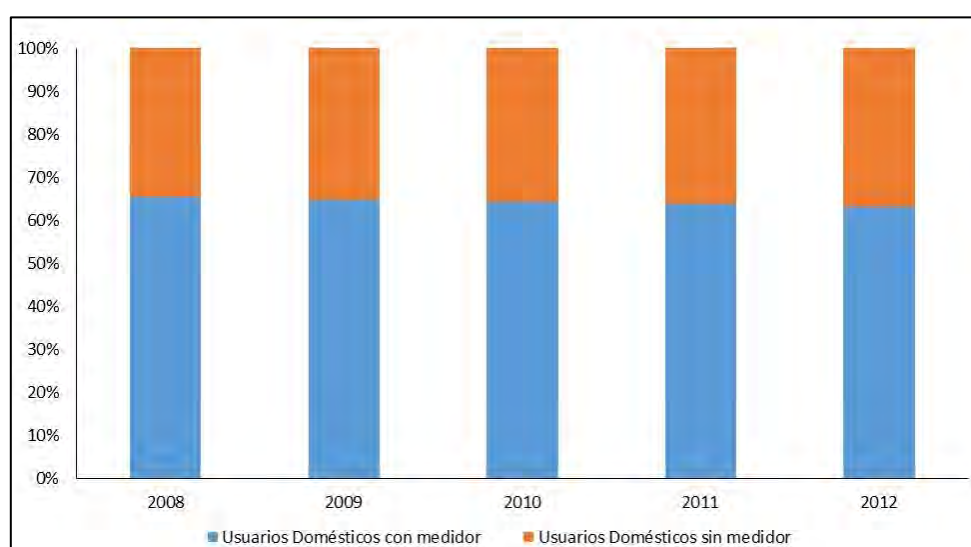
Gráfica 9 Comparación de los usos de agua con el abasto 2008-2012. [Fuente: Elaboración propia con datos de SACMex obtenidos vía transparencia]

Esta situación hace que el estudio de la demanda por uso doméstico de agua se vea restringida, ya que no se cuenta con el total de mediciones empíricas para toda la ciudad y es necesario hacer estimaciones por la falta de información. Una de las pautas importantes para abordar esta deficiencia, es el concimiento de la distribución espacial de los medidores, la cual está en la descripción del siguiente nivel de este sistema socio-técnico, de momento, en la Gráfica 10, que está en la siguiente página, sólo se muestra el porcentaje de usuarios con medidor para el periodo de estudio.

Tanto en Perló y González (2009) y en Gobierno del Distrito Federal (2012) se menciona que existe una dotación diferencial al interior de la ciudad; con respecto a este concepto no se precisa su definición, solamente se enuncia como litros por habitante al día (lt/hab/día). Estos dato pueden provenir de la cantidad de agua que se suministra a las delegaciones, dividido entre los habitantes que tiene cada una. Por otro lado, en Jiménez et al. (2011) se apunta que las dotaciones se han reducido entre los años 1997 y 2007. En esta publicación se menciona que el promedio para toda la ciudad fue de 379 litros por habitante al día y que descendió a 342

respectivamente, no queda claro si esto se debe a cambios en la población o la cantidad de agua suministrada. La distribución espacial de estos datos, se encuentra en la Figura 13 en la página siguiente.

Resulta difícil relacionar de forma sistémica el abastecimiento de agua con la demanda porque este proceso local no cuenta con el 100% de mediciones, además de que falta información precisa sobre la distribución de los caudales al interior de la ciudad, como se menciona en el oficio GDF-SEDEMA-SACMEX-DG-DSA-SMCR-UDAM1003940/2015, entregado por el SACMEX y que se puede consultar en el Anexo 1, en los trabajos de Perló y González (2009) y de Jiménez et al. (2011), se menciona que dentro de las delegaciones hay diferencias entre las colonias que las componen, de ahí la importancia para realizar un estudio exploratorio de carácter espacial y sistémico a pesar de estas deficiencias.



Gráfica 10 Porcentaje de usuarios domésticos con y sin medidor en la Ciudad de México 2008-2012. [Fuente: Elaboración propia con datos de SACMEX obtenidos vía transparencia]

En el *Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México*, se apunta que actualmente la prestación de los servicios hidráulicos es insuficiente e inadecuada la mayor parte del tiempo, en un contexto de fuerte sobreexplotación del acuífero, que obliga a importar grandes cantidades de agua de cuencas vecinas, lo que constituye una acción que es cada vez más complicado gestionar. Esta documento también menciona que la distribución del recurso y su costo son desiguales, de tal forma que las zonas populares son las que se ven mayormente afectadas y no se cuenta con un padrón actualizado, aundo a la existencia de tomas clandestinas (Gobierno del Distrito Federal, 2007).

Como resultado de estas situaciones, en el *Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos Visión 20 años* se realizó un diagnóstico para el año 2011, además se agregan tendencias para el 2025, en caso de no llevar a cabo las acciones necesarias. En dicho programa no se hace mención de la metodología ocupada para la construcción de los escenarios, sólo se expone que, para el 2011 el 71% del servicio que presta el SACMEX presenta calidad aceptable, mientras que

en la proyección resultó de 28%, como se aprecia en la Gráfica 11. La utilidad de esta información es para tener una síntesis del diagnóstico oficial por parte de las autoridades locales.

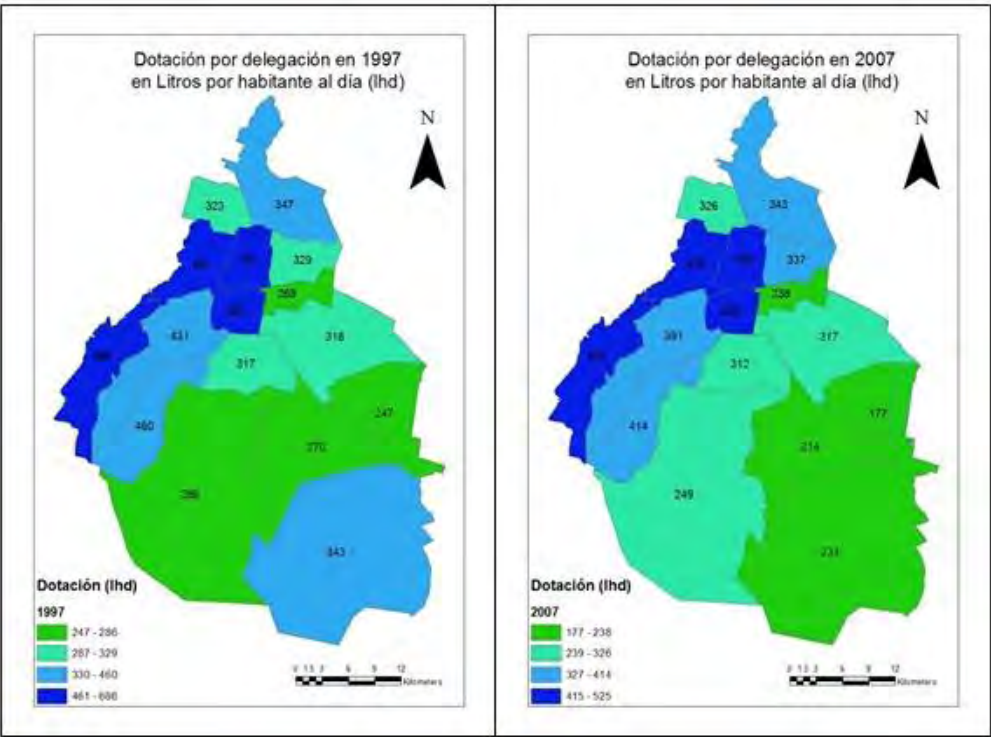
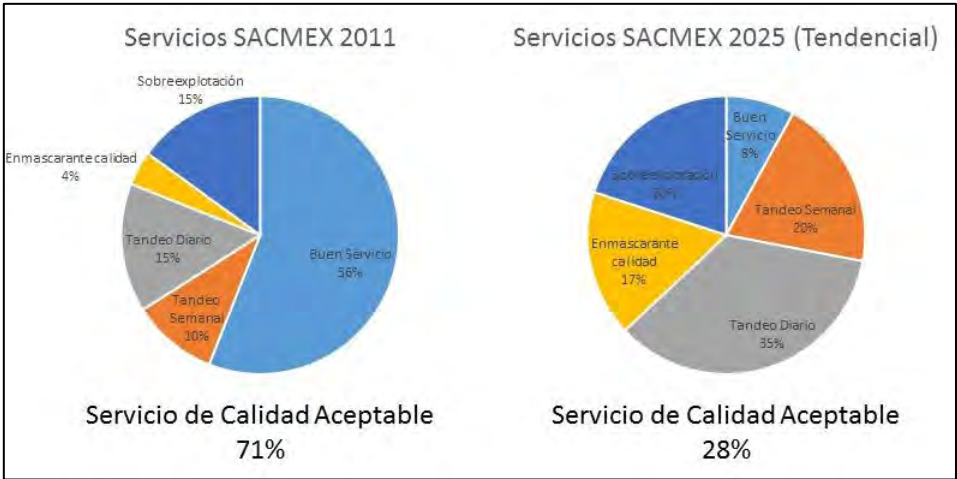


Figura 13 Comparación de dotaciones en litros/habitante/día a nivel delegación [Fuente: Jiménez, et al., 2011:54]



Gráfica 11 Comparación de escenarios para la prestación de servicios hidráulicos en la Ciudad de México. [Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2012: 67 y 69]

En esta misma sintonía, se menciona que el 70% de las colonias cuenta con abasto de agua todos los días. Aquí se liga el concepto de demanda de agua con el de acceso al agua, los cuales están relacionados, ya que uno puede determinar al otro. En Jiménez et al. (2011) se evaluó el acceso

a este servicio en la ciudad y se menciona que el concepto consiste en tres dimensiones: la forma de disponibilidad, la frecuencia en que se recibe el servicio y la calidad del agua que recibe la población, de tal modo que, un acceso ideal, está determinado por las viviendas que reciben agua en su interior, todos los días las 24 horas y con calidad suficiente para beber, algo que no es homogéneo para el caso de la capital mexicana.

2.4 Nivel de Vivienda: Usuarios domésticos de agua

Después de explorar los dos niveles anteriores del sistema socio-técnico de la Ciudad de México, en este apartado se desarrolla el de la vivienda, en donde residen los usuarios del agua. Según el esquema que se propone en Krantz (2012), los usuarios no han sido actores que estén muy involucrados en la estructura del organismo operador ni en el nivel político de todo el sistema, sin embargo su papel es fundamental, ya que pueden marcar pautas que incidan en procesos que se generan en cualquiera de los otros dos niveles, por lo que es importante tomar en cuenta las formas de retroalimentación que pueda haber entre sí. Las viviendas presentan dos dimensiones, por un lado están las características físicas de las que se componen y por el otro las sociales de las personas que en ellas habitan.

Para enfatizar la relación entre el segundo y tercer nivel, es necesario tomar en cuenta que, según Tiburcio (2013), a pesar de los cambios que han existido en la política y en la gestión del agua en México, los usuarios aún tiene participación limitada en la toma de decisiones, aunque ya ha habido apertura a que ellos tengan voz pero no voto.

En el mismo sentido del esquema de Krantz (2012), el INEGI menciona que la vivienda se caracteriza por ser un recinto físicamente ubicable, que está referido a un domicilio y es el lugar de residencia habitual de las personas, donde atienden sus necesidades básicas y funciones inmediatas. En términos de los eventos censales, se le considera como una unidad de observación y de análisis que refleja las condiciones de la población, por lo que se vuelve un elemento clave para la planificación (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011).

De acuerdo con esta Institución, la importancia de la vivienda se sustenta en las siguientes razones:

- Es un derecho universal y nacional, por lo que queda vinculada en la política pública para el desarrollo urbano, local y territorial sustentable
- Debe brindar las características necesarias para el desarrollo familiar e individual, a la vez que debe cubrir aspectos como espacio suficiente, servicios y sanidad que permitan la consecución de las funciones vitales y actividades domésticas, además de garantizar el desarrollo humano y la integración social
- Como un factor de desarrollo económico vincula diferentes tipos de actores como: los tres niveles de gobierno, asociaciones de la sociedad civil, la industria inmobiliaria, fabricantes de productos y las instituciones financieras

Con estas razones que expone el INEGI, el ámbito de la vivienda debe relacionarse con la prestación de los servicios hidráulicos, dado que estos permiten el desarrollo y la integridad de los individuos que residen en ellas; por eso es importante estudiar el papel que desempeñan las características habitacionales con la demanda de agua y más en un contexto como el de la Ciudad de México, que carece de un diagnóstico para este tema en particular, además de que subsiste con un esquema hidráulico deficiente, según lo mencionan las propias autoridades locales, sobre todo con la tendencia a empeorar.

Para vincular ambos temas, debido a que la información censal es manejada por una Institución a nivel nacional, y la demanda de agua por un Organismo Operador local, se deben dictar las siguientes definiciones:

- **Vivienda:** “Espacio delimitado generalmente por paredes y techos de cualquier material, con entrada independiente, que se construyó para la habitación de personas o que al momento del levantamiento censal se utilizaba para vivir” (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011:133).
- **Usuario doméstico:** es la persona física o moral que hace uso de los servicios hidráulicos destinados a las viviendas, riego de jardines, árboles de ornato y abrevadero de animales domésticos, siempre y cuando no constituya una actividad lucrativa. El tipo de tomas, destinadas a este uso, se instalan en inmuebles de tipo habitacional (Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 2003; Sistema de Aguas de la Ciudad de México, S/A).

Sobre el concepto de vivienda, el INEGI hace precisión sobre los siguientes aspectos. Se diferencian las viviendas habitadas de las deshabitadas, siendo las primeras aquéllas que estaban siendo utilizadas durante el levantamiento censal. Dentro de este rubro, se distinguen dos tipos, las particulares que alojan personas que forman hogares y las colectivas, que son las que están conformadas por personas que se someten a normas de convivencia y comportamiento, ya sea religioso, por el tipo de educación, por ejemplo conventos, internados, cárceles, etc. En cuanto a los hogares, se definen como una unidad formada por una o más personas unidas o no por parentesco, que residen o no en la misma vivienda (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011).

Las características que se miden en el Censo, para las viviendas particulares son: (1) constructivas; (2) tamaño y uso del espacio; (3) servicios básicos e instalaciones sanitarias; (4) combustible para cocinar; (5) tenencia y forma de adquisición; (6) bienes y tecnologías de la información y de la comunicación; y (7) equipamiento (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011). De acuerdo con lo que se plantea en Saurí (2013) sobre los factores estructurales y su relación con la conservación del agua, es importante retomar de forma conceptual los siguientes puntos que el INEGI midió en el Censo de Población del año 2010:

- Características constructivas de las viviendas particulares
- Tamaños y uso del espacio en las viviendas particulares
- Servicios básicos e instalaciones sanitarias

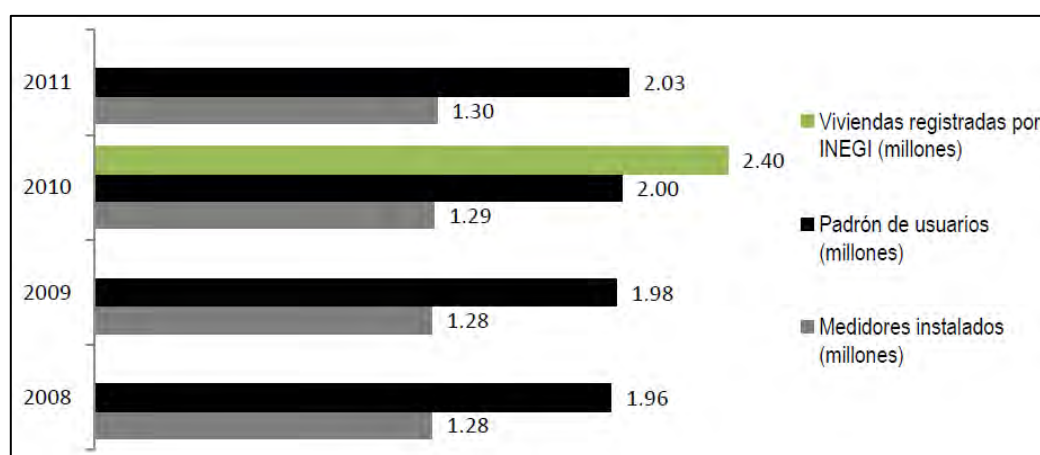
En el primer punto se hace referencia a las viviendas agrupadas según su clase como vivienda independiente, departamento en edificio, vivienda en vecindad, en cuarto de azotea, en un local no construido para habitación, vivienda móvil o refugio. Estas características permiten saber la independencia o agrupamiento de las viviendas, lo cual está relacionado con la densidad y la forma urbana de la ciudad, sobre todo cuando se mide en escalas espaciales finas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011; Saurí, 2013).

Con relación al tamaño y uso del espacio se incluyen variables como el número de cuartos, el de dormitorios y la disponibilidad de cocina. Las dos primeras variables son útiles para estimar la densidad habitacional y da información sobre el hacinamiento y la subocupación de las viviendas, además de ser insumos básicos para la medición multidimensional de la pobreza (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011). Con respecto a la demanda doméstica de agua, Fox et al. (2009) encontraron para el Reino Unido, que la cantidad de cuartos resultó ser explicativa; de ahí su importancia de medición.

También se miden características que corresponden a los servicios básicos e instalaciones sanitarias, que permiten a los residentes realizar sus actividades domésticas y personales, así como sus funciones vitales en condiciones de salubridad. Destacan dos variables, una es la disponibilidad de agua, que se refiere a la forma en que se abastecen las viviendas de agua y la otra es la dotación, que designa la frecuencia con la que las viviendas tienen acceso a este servicio hidráulico (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011).

Retomando el concepto de vivienda particular y el de usuario doméstico, tanto en Martínez, (2004) como en Dávila y Constantino (2007) y en Gobierno del Distrito Federal (2012), se menciona que existen inconsistencias en la información del padrón de usuarios, así como el de facturación. Tampoco hay coincidencia entre el número de tomas instaladas y la cantidad de medidores en operación, a tal grado que existen más viviendas en las que, durante el Censo de 2010, se declaró que contaban con una toma doméstica, en oposición a la cantidad de usuarios reportados por el SACMex. Este fenómeno se le atribuye a las tomas clandestinas y a la forma en que se desarrolló la Ciudad de México.

En la Gráfica 12 se muestra la magnitud en que difieren el número de usuarios con medidor y las viviendas registradas por el INEGI. A través de los primeros se obtiene la información sobre demanda por uso doméstico de agua, en tanto que el otro elemento de gráfica aporta los datos censales con los que este proceso se pretende explicar.



Gráfica 12 Comparación entre el padrón de usuarios con la cantidad de viviendas en la Ciudad de México. [Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2012: 35]

Como se mencionó en el apartado anterior, después de la disminución de volumen almacenado en las presas del Sistema Cutzamala en 2009, se replanteó el esquema tarifario de la capital, de tal manera que durante el año 2010 la asignación de subsidios se hizo con referencia al *Índice de Desarrollo e Infraestructura* (IDI) de la ciudad, que fue creado por la Secretaría de Finanzas. A través de este instrumento, es posible identificar las condiciones socio-económicas de los habitantes a nivel manzana y los subsidios se aplican de forma focalizada a quienes más lo necesitan. El índice mide tres indicadores y doce variables (Jiménez et al., 2011). En la Tabla 13 se muestran las variables que se consideran para el IDI, esta información aparecen en la siguiente página.

A partir de la medición de cada uno de los indicadores y usando la información censal disponible, se clasifican las manzanas en cuatro categorías, que son: popular, baja, media y alta. El subsidio por los servicios de agua, se otorga según la categoría que tenga la manzana donde se encuentre el usuario doméstico con la finalidad de redistribuirlo, además de incorporar variables socio-económicas. Estas medidas pretenden incentivar el uso racional del agua y disminuir la brecha entre tarifa y costo real (Jiménez et al., 2011). La clasificación de manzanas según el IDI se muestra en la Tabla 14.

Tabla 13 Variables que componen el Índice de Desarrollo e Infraestructura de la Ciudad. [Fuente: Jiménez, et al., 2011: 118]

Indicador	Variable
1. Indicador de Desarrollo	1.1 Población de 18 años o más sin educación media superior
	1.2 Hijos nacidos vivos de mujeres en edades de 12 a 19 años
	1.3 Población no derechohabiente a servicios de salud
	1.4 Viviendas particulares habitadas sin refrigerador
	1.5 Viviendas particulares habitadas sin lavadora
	1.6 Viviendas particulares habitadas que tienen piso sin algún recubrimiento
	1.7 Viviendas con un solo cuarto
	1.8 Nivel de hacinamiento (4 o más habitantes por dormitorio)
	1.9 Sanitario con descarga manual de agua
	1.10 Sin agua entubada dentro de la vivienda
2. Indicador de patrimonio	2.1 Valor catastral promedio de la vivienda por manzana
3. Indicador de Ingresos	3.1 Nivel de ingresos promedio de los hogares por manzana

Tabla 14 Número de manzanas por delegación según la clasificación del Índice de Desarrollo e Infraestructura de la Ciudad. [Fuente: Jiménez, et al., 2011: 125]

Delegación	Popular	Baja	Media	Alta
Álvaro Obregón	2,594	772	800	796
Azcapotzalco	426	784	900	76
Benito Juárez	168	129	120	1,270
Coyoacán	886	735	808	1,236
Cuajimalpa de Morelos	597	301	116	260
Cuauhtémoc	575	447	736	770
Gustavo A. Madero	2,633	1,949	2228	717
Iztacalco	476	691	744	172
Iztapalapa	4,565	3,777	1,315	123
Magdalena Contreras	546	180	421	370
Miguel Hidalgo	386	163	432	1,051
Milpa Alta	1,138	247	290	4
Tláhuac	849	370	889	321
Tlalpan	2,200	786	1,004	846
Venustiano Carranza	443	527	1,223	428
Xochimilco	1,741	210	678	441

Ante la limitación del índice de marginalidad para la aplicación de las políticas sociales en la Ciudad de México, surgió el *Índice de Desarrollo Social de las Unidades Territoriales* (IDS), aplicable para las delegaciones, las colonias y las manzanas. Este instrumento es diferente al Índice de Desarrollo en Infraestructura, que utilizan en conjunto el SACMex y la Secretaría de Finanzas. El concepto principal que manjea el IDS es el desarrollo social, que se define como un proceso de mejoramiento e igualación de condiciones generales de bienestar de la población, por lo que permite una mejor calidad de vida, que implica mayor igualdad de oportunidades y la consecución de los derechos humanos básicos, para que se reduzca la brecha existente en las dimensiones económica, social, ambiental, política y cultural; este y los siguientes seis párrafos corresponden a la cita de (Sánchez et al., 2011).

El logro del desarrollo social supone que la pobreza y la desigualdad disminuyan, por lo que también incluye la valoración de aspectos positivos y no únicamente de aquellos que destacan los rezagos sociales. A través de este índice se busca obtener un valor resumen de las diferentes variables que están en juego, que sirvan para indicar los avances y retrocesos en la materia, y que a la vez se pueda expresar de manera espacial para que sea posible cuantificar la desigualdad socioespacial y el cumplimiento de los derechos sociales, por lo que el Estado tiene un papel preponderante en la promoción de mecanismos para la redistribución de la riqueza.

Dado que los derechos sociales están comprendidos en el marco de los Derechos Humanos de segunda generación, según lo que establece el *Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales*, los Estados parte reconocen que toda persona tiene derecho a un nivel adecuado de vida para sí y su familia, por lo que estos deben tomar las medidas necesarias para asegurar el cumplimiento de este derecho; de ahí que en el año 2000 se haya promulgado la *Ley de Desarrollo Social del Distrito Federal*, desde la que se define y regula la política inherente para que, entre varios objetivos, se logre construir una ciudad con igualdad, equidad, alta cohesión e integración social, así como el acceso universal al conjunto de bienes y servicios públicos urbanos. Se manejan desde la Ley dos principios que son complementarios:

- **Universalidad:** plantea que la política social del gobierno capitalino está destinada a todos los habitantes, cuyo propósito es que todos tengan acceso al ejercicio de los derechos sociales, además del uso y disfrute de los bienes urbanos
- **Focalización:** se refiere al método que determina las prioridades de aplicación de los programas gubernamentales, a través de la selección de las unidades territoriales para beneficiar a los habitantes que más lo requieran.

Para la consecución de las metas que conciernen al desarrollo social, se facultó al Consejo de Evaluación de Desarrollo Social del Distrito Federal para la definición, la medición y la clasificación de este proceso, que tiene lugar en las manzanas, las colonias y las delegaciones que conforman la Ciudad de México. Esta institución se basó en dos métodos complementarios para la construcción del IDS: el primero es el de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), que permite la comparación de condiciones de desarrollo social entre unidades espaciales; y el otro es el de Medición Integrada de Pobreza (MMIP), que toma en cuenta todas las fuentes de bienestar y también identifica a las personas que se consideran pobres y determina qué características tienen.

Se reconocen las siguientes fuentes de bienestar: (1) ingreso corriente; (2) derechos de acceso a servicios o bienes gubernamentales, gratuitos o subsidiados; (3) propiedad o derechos de uso; (4) niveles educativos, habilidades y destrezas que brindan capacidad de entender y hacer; (5) tiempo disponible para la educación, recreación, descanso y demás actividades domésticas; y

(6) capacidad de endeudamiento del hogar. La evolución de la sociedad va a depender del nivel y la distribución de estas fuentes de bienestar entre sus habitantes. A partir de este marco conceptual se procedió a hacer los ajustes correspondientes con respecto a la información obtenida del Censo 2005, realizado por el INEGI.

A partir de los datos disponibles se evaluaron seis dimensiones, que fueron combinadas en un índice de pobreza por NBI y se utilizaron los ponderadores del MMIP como base, para integrar una medición según los pesos correspondientes para cada uno de los indicadores, los cuales sintetizan el grado de insatisfacción de las necesidades verificadas directamente en los hogares.

Se utilizó la cartografía georreferenciada elaborada por la SEDUVI y el INEGI para hacer las mediciones correspondientes de manera espacial, a nivel manzana, colonia y delegación. Para el caso de las primeras, se requirió limpiar la base de datos, tomando como referencia aquellas que pudieron ser localizadas y que contaron con información durante el Censo 2005; se suprimieron las unidades con datos confidenciales, de esta forma se pasó de un total de 62,602 manzanas a 59,672 que pudieron ser clasificadas.

Tabla 15 Componentes del IDS-DF y sus ponderadores. [Fuente: Sánchez, et al., 2011:39]

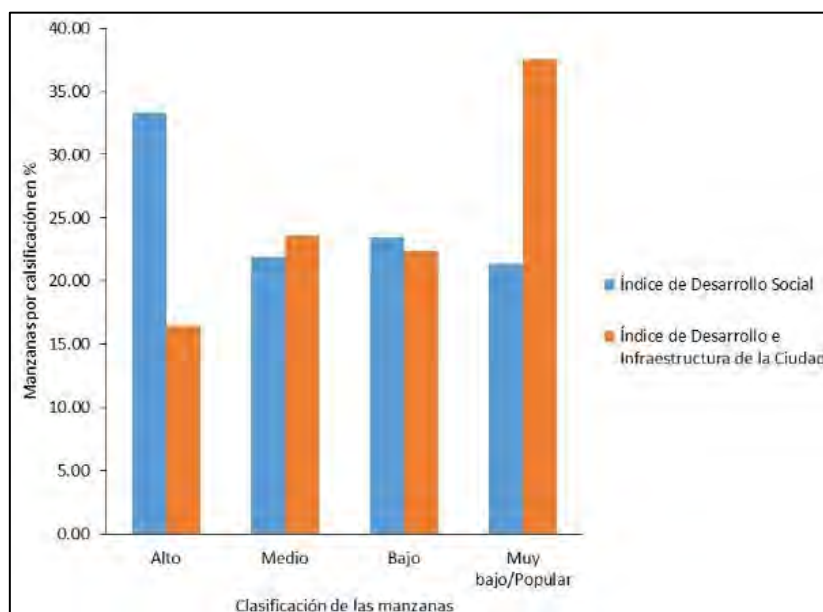
Componente	Ponderadores
Calidad y espacio de la vivienda	0.338
Acceso a Salud y Seguridad Social	0.291
Rezago educativo	0.244
Bienes Durables	0.060
Adecuación sanitaria	0.038
Adecuación energética	0.029
Suma	1.000

Es importante retomar que la asignación de los subsidios para el pago de servicios hidráulicos se hace mediante la clasificación del Índice de Desarrollo e Infraestructura de la Ciudad. Esto es importante porque, tanto esta medición como el Índice de Desarrollo Social, se realizan a nivel manzana, de ahí que es posible comparar la cantidad de unidades espaciales que se clasificaron mediante ambas mediciones.

Se pueden apreciar las diferencias que existen entre la clasificación de las manzanas según el Índice de Desarrollo Social, en comparación con las del Índice de Desarrollo e Infraestructura de la Ciudad; en la Gráfica 13 aparece el porcentaje de la cantidad de manzanas, según la categoría de cada uno. Dado que ambos poseen cuatro categorías, se conjuntaron según el rango que establecen y en el caso de “Muy bajo” y “Popular” se asumieron como la misma, ya que designa el grado más bajo de ambas clasificaciones.

Las mediciones con las que se generan estos dos índices y el propósito con el que se hicieron es diferente, sin embargo la unidad espacial que clasifican es la manzana, lo que hace posible compararlos; es así como se puede plantear que el planteamiento de la GIAU sobre la integración de políticas, no se cumple en el caso de la Ciudad de México, ya que, el instrumento a través del cual se consolidan las políticas sociales, no es el mismo que se utiliza en la gestión

del agua a pesar de que el desarrollo social incluye el acceso a los servicios urbanos y la política hídrica, de forma discursiva, se ha concebido como integral.



Gráfica 13 Porcentaje de manzanas clasificadas según dos índices del gobierno local. [Fuente: Elaboración propia con base en Jiménez et al. (2011) Y los datos obtenidos del sitio web de EVALÚA DF]⁶

Sobre el uso del Índice de Desarrollo de Infraestructura de la Ciudad, en Jiménez et al. (2011) se apunta que es necesario transparentar el procedimiento para su medición. Una variable que no contempla es la cantidad de agua utilizada por los usuarios, lo que puede limitar su uso como acción para la conservación del recurso. En cuanto al IDS, su metodología y los criterios que se utilizaron para su construcción se explican en Sánchez et al. (2011); en este documento también se expone el marco conceptual que lo sustenta, por estas dos razones, en esta investigación se utiliza el IDS en oposición al IDI, ya que es un índice más completo y se presenta como una mejor opción para comprender la demanda por uso doméstico en términos sistémicos e integrales.

Otro aspecto que es importante tomar en cuenta, son las dos formas en que el Sistema de Aguas cobra por la prestación de los servicios hidráulicos. Una está basada en los registros de los medidores, mientras que la otra se realiza mediante la asignación de cuota fija cuando los usuarios habitan en colonias que posean menos del 70% de tomas con medidor (Sistema de Aguas de la Ciudad de México, S/A). En la Figura 14, que aparece en la siguiente página, se muestra la distribución espacial de este fenómeno.

Las colonias que cuenta con más del 70% de medidores instalados son un poco más de la mitad, ya que, la mediana de este aspecto, en la unidad espacial que corresponde a las colonias, es el 77%. Este porcentaje fue calculado con la información provista por el Sistema de Aguas mediante su portal de transparencia. Es interesante observar que al centro de la ciudad se localizan las colonias cuyos usuarios tienen menos cantidad de medidores, al igual que en la periferia, lo cual puede ser resultado de la forma histórica en que se fue consolidando la ciudad, que en un principio, bajo el paradigma ofertista, no era importante contar con la medición del

⁶ La liga para descargar la información utilizada en la construcción de la Figura 25 es <http://www.sideso.df.gob.mx/index.php?id=551>

uso doméstico de agua, a diferencia del desarrollo urbano posterior; con esta forma en que ocurre la distribución espacial, también cabe el argumento que se señala en el PGIRH sobre la expansión urbana más rápida en comparación con la dotación de servicios urbanos, lo que podría explicar la consolidación de la baja medición en la periferia.

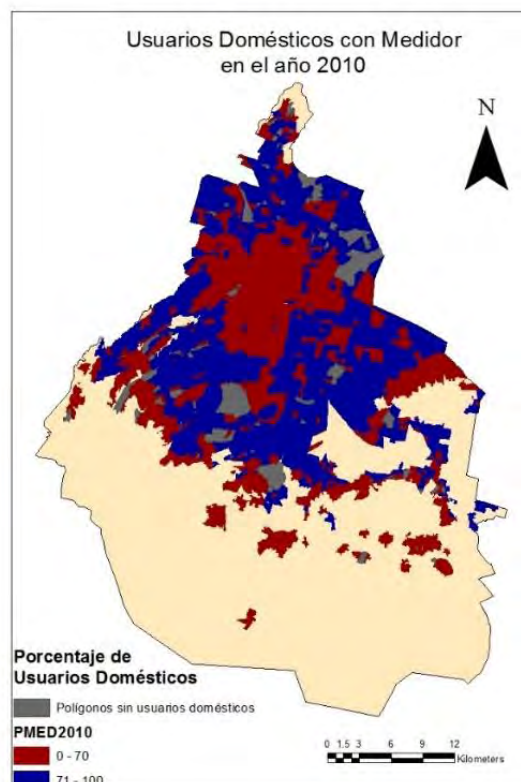


Figura 14 Distribución espacial por colonia del porcentaje de usuarios domésticos con medidor.
[Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000028614]

Siguiendo con estos argumentos, a partir de los años 80 se comenzó a dar la estabilización del crecimiento poblacional en el DF, por lo que a partir de esta década, la entidad se caracterizó por expulsar población en lugar de recibirla. Por otro lado, la dinámica urbana y la de asentamiento de la población se han ido caracterizando por asentarse en la periferia, en tanto que el centro se ha ido deshabitando. Esta fue la forma en que se dio la expansión urbana durante los años 90, que se ha extendido de manera metropolitana (Dávila y Constantino, 2007).

Para el caso particular del agua, en Dávila y Constantino (2007) se comentan que el uso medio por habitante, a nivel delegación, tiene un alto grado de heterogeneidad; los casos extremos están representados por las delegaciones Tlhuac y Miguel Hidalgo, cuyos usos oscilan entre los 103.25 litros por habitante al día y 340.17 respectivamente. Estos autores consideran que la gestión debe enfocarse en disminuir este tipo de patrones. También mencionan que en el *Plan Maestro de Agua Potable 1997-2000*, editado por la DGOH, se expone que un uso confortable es de 180 litros *per cápita* al día.

En la publicación de Dávila y Constantino (2007) se muestran datos de uso doméstico de agua a nivel delegacional, los cuales fueron obtenidos a través de la Unidad Departamental de Planes Maestros del SACMEX, para el año 2004. Esta información fue puesta en un mapa delegacional

de la Ciudad de México, como se muestra en la Figura 15; en ella aparecen las delegaciones que están por encima del “uso confortable” en color azul, según el estándar planteado por la DGCOH.

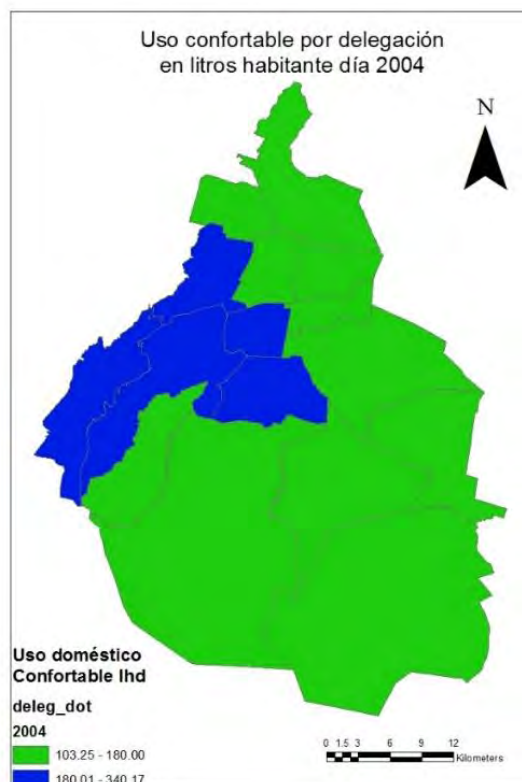


Figura 15 Delegaciones que cuentan un uso doméstico confortable. [Fuente: Elaboración propia con los datos publicados en Montesillo, 2004]

Sólo cinco de las 16 delegaciones son las que están por encima del uso doméstico confortable, y éstas se encuentran al poniente de la ciudad. Con estos datos, Dávila y Constantino (2007) hicieron una correlación de esta variable con un índice de marginalidad. El resultado fue de -0.510, lo que implica que entre mayor sea el valor del índice, la demanda doméstica va a disminuir; con respecto de éste último, los autores sólo mencionan que se basa en variables censales como nivel educativo, el ingreso y las condiciones de vida, que se agruparon mediante el método de componentes principales, sin embargo no queda clara la forma en que se construyó o la institución encargada de su medición, lo que representa una limitación para explicar la demanda, incluso el resultado sólo expone la forma en que se da la relación y no abunda más en ello.

Además de la publicación de Dávila y Constantino (2007), en la de Montesillo (2004)⁷, también se trabajó con datos de demanda y no sólo de dotación; el objetivo que se abordó fue el de analizar la estructura tarifaria de la Ciudad de México, por lo que se hizo un análisis económico a nivel delegación donde se incluyeron variables como: el PIB *per cápita*, el número de habitantes por vivienda, el volumen de agua suministrado, la población, el índice de desarrollo humano y el consumo. Se obtuvieron los siguientes resultados:

⁷ En este trabajo se designa como consumo de agua al concepto que se ha venido denominando como demanda por uso doméstico de agua

- La cantidad de población y el consumo como porcentaje dieron una correlación de 0.80, lo que indica que a mayor población, mayor consumo
- La correlación entre el PIB delegacional y el consumo *per cápita* se mostró positiva con valor de 0.575, lo que indica una relación moderada
- La relación entre PIB *per cápita* y ocupantes por vivienda, tuvo un valor de -0.75, lo que quiere decir que a mayor PIB menor cantidad de habitantes en la vivienda. A la hora de relacionar el PIB *per cápita* y el consumo como litros por habitante al día, se obtuvo un valor de -0.14, que puede ocurrir porque un valor puede repetirse en dos delegaciones. Con los resultados anteriores, se puede inferir que entre menos ocupantes más consumo
- Finalmente la relación entre el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y el consumo de agua tuvo un valor de 0.45, lo que muestra que entre mayor sea IDH así también lo será el consumo

La importancia de mencionar los trabajos de Montesillo (2004) y de Dávila y Constantino (2007) es que, en ambos se ocuparon datos que corresponden a la demanda por uso doméstico de agua y no únicamente con dotaciones basadas en el suministro y la cantidad de población. A partir de los resultados que exponen, es posible ver que existe relación entre la demanda de agua y la situación económica y de marginalidad de los usuarios. Cabe destacar que la localización del uso confortable al poniente de la ciudad, sin embargo los métodos utilizados por estos autores no son predictivos, por lo cual es necesario hacer uso de la estadística multivariada junto con su aplicación espacial. Cabe recordar que en Jiménez, et al. (2011) se menciona que en las delegaciones aún hay diferencias sustanciales dentro de sus territorios, por lo que es necesario bajar al siguiente nivel de agregación que es la colonia.

Capítulo 3. Revisión de literatura y Marco metodológico

3.1 Revisión de estudios que abordan la demanda por uso doméstico de agua

Las limitaciones que ha presentado el paradigma convencional para abastecer de agua a las ciudades, desde las dimensiones ambiental, social y económica, ha vislumbrado la necesidad de cambiar este tipo de esquemas basados en la ampliación de la oferta, para centrarse en las propuestas de la gestión de la demanda de agua urbana, las cuales implican que se disminuya la cantidad requerida, así como la implementación de otras estrategias que se centren en balancear la oferta y la demanda (Baumann et al., 1998; Gleick, 2003; Mitchell, 2006).

En este mismo sentido, Shandas y Parandvash (2010) mencionan que hace falta vincular la planificación del desarrollo urbano con el uso doméstico que se le da al agua, sobre todo a la luz de procesos como el incremento poblacional, el cual conlleva mantener la prestación de los servicios hidráulicos para un creciente número de personas que se asientan en las urbes; este proceso ejerce presión sobre los recursos hídricos porque, la población urbana, requiere ser abastecida con agua suficiente y con buena calidad. Al mismo tiempo, también es necesario tomar en cuenta que existen otros tipos de usuarios humanos y no humanos.

Ante este panorama, para lograr que las ciudades transiten hacia la sustentabilidad, es necesario comprender la manera en que se utiliza el agua en su interior, como una herramienta para generar planes que incidan en su administración. Para lograr este objetivo, se puede realizar el análisis socio-espacial y generar cartografía temática, para clasificar y caracterizar a los usuarios domésticos y a sus viviendas; es así como se cuenta con el conocimiento suficiente para el desarrollo de nuevas áreas urbanas, o bien para aquellas que ya habían sido desarrolladas, siempre y cuando se busque reducir la cantidad de recursos hídricos requerida para satisfacer las necesidades de las urbes (Troy y Holloway, 2004).

En el caso particular de la Ciudad de México, no existe un diagnóstico oficial de la demanda urbana de agua, solamente se encontraron dos estudios que hablan al respecto, el de Montesillo (2004) y el de Dávila y Constantino (2007). Estos autores estudiaron el tema a nivel delegacional, sin embargo, tomando en cuenta el argumento que se plantea en Jiménez et al. (2011), sobre la heterogeneidad al interior de las delegaciones, surge la necesidad de aumentar la resolución espacial de estudio del proceso local que constituye la demanda por uso doméstico de agua, es por esta razón que en la presente investigación se propone como unidad geográfica de análisis la colonia.

En general, un estudio de este tipo, de carácter exploratorio, sirve como una herramienta para la aplicación de los principios de la GIAU, en el contexto que han marcado los cambios que ha experimentado la política hídrica mexicana, tanto a nivel nacional como en la ciudad. De igual manera, es una aproximación para conocer el funcionamiento de este sistema socio-técnico, en el cual es necesario generar información para guiar las acciones de conservación del agua, así como, contar con un instrumento para alcanzar las metas de integración y de sustentabilidad expuestas en los ordenamientos jurídicos locales y en los planes sectoriales del gobierno capitalino.

Para cumplir con las metas de sustentabilidad y también para generar estrategias de conservación del agua, es necesario comprender las interacciones complejas que han surgido entre los seres humanos y el ambiente biofísico, ya que, este tipo de relaciones se han

caracterizado por generar diversas formas de impacto, que se han originado porque las escalas espaciales y las temporales de la gestión de los recursos no coinciden con las de los procesos naturales que las sustentan, esto es algo que ha estado ocurriendo con el abasto de agua para las ciudades. Es importante tener en cuenta que, en la actualidad, la mitad de la población mundial reside en estas áreas, en tanto que, para el año 2050, se prevé que esta cifra se incremente al 70% (Shandas y Parandvash, 2010; House-Peters y Chang, 2011; Newton y Meyer, 2012).

A pesar de esta situación, es necesario destacar que se ha estudiado poco sobre la manera en que las ciudades afectan y son afectadas por los sistemas naturales, por esta razón es importante conocer el papel que juegan los patrones de desarrollo urbano con respecto al uso y consumo de recursos. Para comenzar a explorar este tema, se presentan las síntesis de los estudios realizados por Alberti (1999) y por Holden y Norland (2005); en el primero se abordan temáticas generales sobre el tema, mientras que en el segundo, se analizó el consumo energético. Por su parte, en los siguientes dos apartados se exponen las investigaciones referentes a la demanda urbana de agua.

Para mostrar un panorama general, en Alberti (1999), se realizó una revisión de la evidencia empírica publicada en la literatura científica sobre los patrones de desarrollo urbano y su relación con el medio ambiente, esto se hizo con la finalidad de caracterizar las ciudades desde la perspectiva del uso y consumo de recursos. La información obtenida se sintetizó según cuatro factores urbanos, cuatro ambientales y cuatro tipos de interacción, que sirvieron como guía para seleccionar los estudios en cuestión, los cuales, debían incluir al menos una variable ambiental. Se encontró que no se ha planteado una relación causal entre la forma que presentan los patrones urbanos con los procesos ambientales, además de que hace falta una comprensión sistemática que sea útil para determinar umbrales de cambio.

Por su parte, el estudio que hicieron Holden y Norland (2005), se centró en la relación que existe entre el consumo energético de las viviendas y los viajes que se hacen dentro y fuera de la ciudad de Oslo. Se realizó un análisis bivariado y uno multivariado. El primero mostró diferencias significativas en el consumo *per cápita* de energía en los distritos estudiados, sin tomar en cuenta diferencias socio-económicas y demográficas. Con el segundo análisis se encontró que la densificación en las ciudades se correlaciona con un mayor uso energético para viajar fuera de la ciudad, lo cual se reduce en las zonas que poseen jardín privado. Se concluye que en términos energéticos es conveniente la forma urbana compacta pero, también se tiene que tomar en cuenta que los viajes de placer aumentan en las zonas que tienen densidad alta.

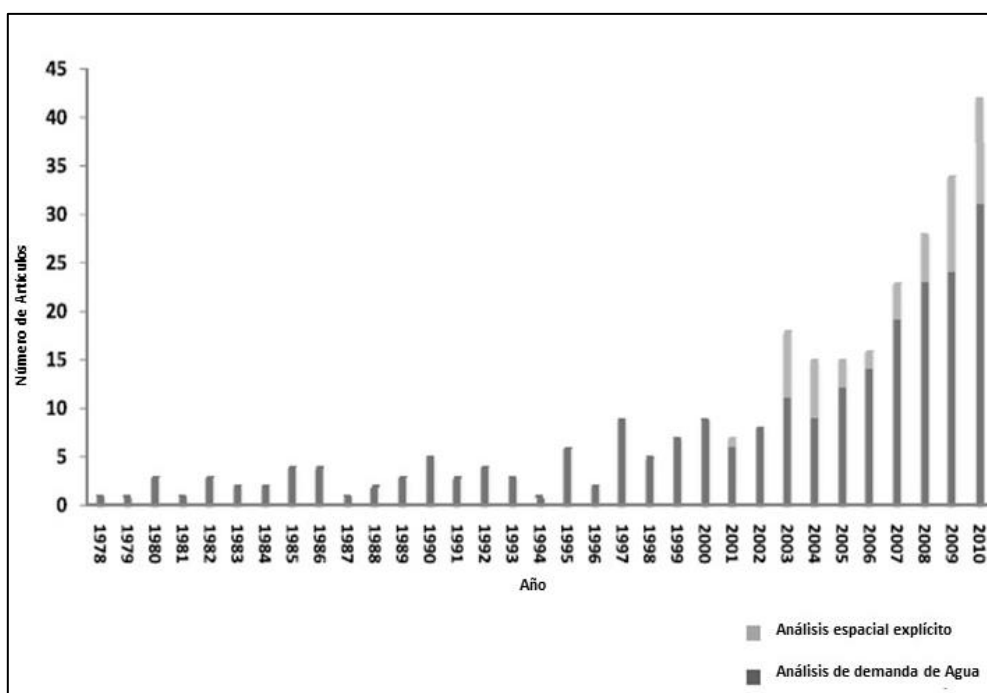
A pesar de que en el estudio de Alberti (1999) se revisaron algunas investigaciones que trataron sobre el agua, no es el tema central del que trata el artículo; de igual forma, en el de Holden y Norland (2005) únicamente se estudió el consumo energético. La importancia de mencionar estas dos publicaciones, radica en la forma en que se vincula el uso de recursos con la forma urbana que presentan las ciudades.

En cuanto a la demanda urbana de agua, este proceso puede estudiarse desde dos dimensiones, la temporal y la espacial, ambas se han mostrado como importantes para su comprensión, pero su estudio y su análisis, requiere lidiar con retos como: la recolección de datos y la generación de inventarios, la diferencia entre las áreas de estudio y las de atención de los organismos

operadores; la agregación de los datos a escalas mayores a la vivienda por confidencialidad y las dificultades para comparar las ciudades de diferentes zonas, esto ocurre cuando la prestación de los servicios hidráulicos está a cargo de varios organismo operadores en un mismo sitio (House-Peters y Chang, 2011).

A partir de los años ochenta, este tema ha ido tomando relevancia, sin embargo se le ha abordado, en la mayoría de los casos, únicamente desde una perspectiva económica o desde aspectos climáticos, además de los basados en el cobro por el servicio de abasto y los ingresos de los hogares, por lo que no se han abarcado otras dimensiones como la espacial, ni tampoco se han explorado aspectos como la heterogeneidad que tiene este proceso al interior de las urbes en el contexto de las viviendas (House-Peters y Chang, 2011).

En House-Peters y Chang (2011) se expone una gráfica que muestra un total de 304 investigaciones que estos autores revisaron, la referencia más antigua corresponde al año de 1978 y las más reciente al 2010. A partir del año 2001 en adelante, aparecen investigaciones que utilizan la dimensión espacial de manera explícita como un factor explicativo. Del total de artículos que fueron revisados por estos autores, en 46 casos se incluyó al espacio como una variable explicativa. La Gráfica 14 se reprodujo del artículo que se cita en este párrafo con el fin de mostrar el incremento de investigaciones sobre la demanda del agua en las ciudades.



Gráfica 14 Publicaciones sobre Demanda Urbana de Agua (1978-2010). [Fuente: House-Peters y Chang, 2011:2]

Tanto en Krantz (2012) como en De Sherbin et. al. (2007), citados estos últimos en March y Saurí (2009), se considera que la unidad de análisis más atinada para estudiar las relaciones entre la población y el uso de recursos es la vivienda, aunque se presentan dificultades para realizar análisis en esta escala, debido a que la información puede estar agregada en unidades

superiores o que se encuentre restringida por confidencialidad. En este nivel es posible explorar aspectos conductuales, factores estructurales y tipos de hábitos que están relacionados en la forma en que los habitantes utilizan el agua, así como el volumen que requieren.

En cuanto a la dimensión temporal, para predecir, modelar y analizar la demanda por uso doméstico de agua, existen dos enfoques: uno es el de largo plazo y el otro es el de corto plazo. El primero sirve para la planificación y el diseño de la infraestructura, además de que está influenciado por los cambios poblacionales y las variaciones en el ingreso. Por su parte, el otro enfoque, sirve para la gestión y la operación del sistema, por lo que es importante tomar en cuenta los factores climáticos, a los cuales la demanda tiende a ser sensible, sobre todo en lo que se refiere a los usos externos (House-Peters y Chang, 2011).

En este mismo sentido, de acuerdo con la Tabla 16, reproducida de Billings y Jones (2008), se reconocen cuatro plazos para el estudio de la demanda por uso doméstico de agua. En el caso de los primeros plazos, se puede apreciar que se conjuntan acciones para mejorar y realizar estrategias que conciernen a la infraestructura y su diseño, en tanto que los otros dos están vinculados con el tipo de procesos que se llevan a cabo dentro del organismo operador. En esta investigación, a pesar de que se toma el periodo de estudio de 2008 a 2012, se hace énfasis en el 2010, debido a que en ese año se llevó a cabo el Censo de Población y Vivienda, a cargo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y se tienen datos para las características de las viviendas, por esta razón, la presente investigación es de naturaleza exploratoria y de corto plazo.

Tabla 16 Aplicaciones del estudio de la demanda doméstica de agua, según plazos de estudio.
[Fuente: Billings y Jones 2008:7]

Tipo de predicción	Horizonte de predicción	Aplicaciones
Largo plazo	Décadas, de 10 a 50 años	Dimensionamiento del sistema, suministro bruto de agua
Mediano plazo	Años a década, de 7 a 10 años	Dimensionamiento, generar etapas de tratamiento y de distribución en el sistema, mejoras, inversiones, establecimiento de tarifas
Corto plazo	Años, 1 o 2 años	Asignación de presupuesto, seguimiento de programas y evaluación, predicción de ingresos
Muy corto plazo	Horas, días, semanas, hasta dos semanas	Optimización, manejo y operación del sistema, extracción de agua

El uso de metodologías espaciales permite analizar el efecto que tienen las diferentes variables en múltiples escalas, de esta forma es posible determinar diferentes tipos de patrones en esta dimensión y también es posible entender los procesos que se generan en torno a la demanda de agua, por lo que, el uso de los SIG, permite que sea posible estudiar información de alta resolución siempre y cuando, se puedan hacer coincidir las áreas de los organismos operadores

y las unidades censales o tener bases suficientes para comparar las ciudades entre sí (House-Peters y Chang, 2011).

La inclusión de la dimensión espacial, permite explorar distintos patrones como el agrupamiento o la dispersión de los usuarios, además de que sirve para conocer la manera en que se distribuye la demanda de agua y saber en dónde es más alta o más baja. También es posible determinar los sitios en donde hay mayor o menor sensibilidad a las variaciones climáticas, en comparación con el promedio del uso del recurso en una ciudad. La utilización de este tipo de métodos son un primer paso para abordar la combinación entre variables sociales y naturales (House-Peters y Chang, 2011).

En March y Saurí (2009) se exponen el tipo de factores con los que se puede explicar la demanda por uso doméstico de agua; estos autores los clasificaron en cuatro tipos:

- **Factores económicos:** se basan en concebir al agua como un bien económico, con la idea de que, al incrementar la tarifa por la prestación de los servicios hidráulicos se va a reducir la demanda, pero como su comportamiento tiende a ser inelástico, esta manera no es la única útil para explicarla. Según House-Peters y Chang (2011) esto ocurre porque los esquemas tarifarios en ocasiones son escalonados, sin embargo para caso de los usos externos, se presenta una mayor sensibilidad a las variaciones que tenga el precio
- **Factores demográficos:** según Liu et. al (2003) citados en March y Saurí (2009), la vivienda es la unidad básica para entender el uso de los recursos y sus impactos ambientales, de ahí la importancia por conocer el número de personas que habitan en ellas, al igual que sus características. En un principio, a mayor cantidad de personas en una vivienda, el uso del recurso será más ineficiente, pero al mismo tiempo, se debe hacer la distinción entre los usos interiores y los exteriores, que a fin de cuentas puede resultar en un principio poco aplicable para varias situaciones en general
- **Factores urbanos:** el consumo de los recursos está relacionado con la forma en que están configuradas las ciudades; desde esta perspectiva ha surgido el debate entre la ciudad compacta y la ciudad dispersa, la segunda implica un aumento en la cantidad utilizada de recursos, ya sean energéticos, de transporte, espacio y agua (Alberti, 1999; Domene, et al., 2005; Holden y Norland, 2005; Newton y Meyer, 2012)
- **Factores climáticos:** de acuerdo con Cubillo e Ibañez (2003) citados por March y Saurí (2009) la demanda por uso doméstico varía de acuerdo con el clima, donde tiene efecto la precipitación, que reduce el riego de jardines. Por el lado contrario, cuando aumenta la temperatura se muestra un incremento en los usos externos de agua

Estos factores son útiles para explorar el proceso de demanda por uso doméstico y también llevar a cabo el análisis socio-espacial con el fin de estudiar su distribución, las relaciones que tienen entre sí las variables y finalmente obtener una explicación desde el paradigma de la Geografía Global mediante la aplicación de los principios de la GIAU dentro de un sistema socio-técnico estructurado en tres niveles (Buzai y Baxendale, 2011; Krantz, 2012).

El concepto de forma urbana se define como la configuración de las ciudades, resultante de los tipos de edificación, el tejido urbano, la traza, el paisaje y la zonificación de las actividades, de las cuales destacan dos: la compacta y la dispersa. En el primer caso se refiere al tipo de

desarrollo urbano centrípeto con crecimiento regulado y ordenado en densidades altas y medias, que favorece los usos mixtos de suelo para que la ciudad pueda ser habitable de forma peatonal y se fomente el uso del transporte público (López, 2010).

En cuanto a la ciudad dispersa, se caracteriza por un crecimiento centrífugo a manera de suburbanización y dispersión urbana en las periferias, por lo que su establecimiento se vincula con el uso del transporte privado, la vivienda unifamiliar de baja densidad, que en ocasiones también incluye la posesión de jardines y de albercas particulares. Esta forma urbana puede manifestarse como: (1) unidades habitacionales que albergan gran cantidad de personas; (2) desarrollos habitacionales junto a centros comerciales y de oficinas localizados al borde de las autopistas; (3) viviendas en pleno campo y como comunidades privadas, en donde los residentes se asocian bajo ciertas restricciones y condiciones de hábitat comunitario y seguridad (López, 2010).

Sobre estas dos maneras de desarrollar las ciudades en el espacio, en Alberti (1999) se menciona que hay estudios que muestran que el consumo de energía, el acceso al transporte y sus emisiones están relacionados con la variación de las áreas, según sus densidades residenciales y laborales, sin embargo también se hace referencia a que hay pocas investigaciones que hayan utilizado la forma urbana como un buen predictor del desempeño ambiental.

En los siguientes dos apartados se dan a conocer los tipos de variables utilizadas en la literatura internacional, en los que se han relacionado las viviendas con la cantidad de agua que utilizan; en el primer apartado sólo se sintetizaron estudios cuantitativos al respecto, mientras que en el segundo están aquéllos que incluyen el análisis socio-espacial. El fin con el que se presentan estos estudios de caso, es para seleccionar las variables que sean útiles para explicar la demanda por uso doméstico de agua dentro de un sistema socio-técnico que toma como escala las colonias que conforman la Ciudad de México. Se revisaron diferentes experiencias en Australia, China, Estados Unidos, España y el Reino Unido.

3.1.1 Estudios no espaciales sobre la demanda por uso doméstico de agua

Una de las formas para modelar la demanda por uso doméstico de agua es mediante el análisis de cruce de datos, que consiste en obtener información relativa a la cantidad de agua que se utiliza y relacionarla con aquella de los usuarios, para que de este modo sea posible hacer clasificaciones e incluso entender su distribución espacial y los patrones que manifiesta. Entre las herramientas útiles para esta forma de estudio, están los métodos multivariados (Billings y Jones, 2008).

En esta sintonía, se muestran cinco estudios que abordan la relación que tiene el proceso local de demanda doméstica de agua, con otras características que presentan las viviendas urbanas. Esta es una manera de comprender y modelar la demanda de agua como un proceso sistémico, ya que las formas de desarrollo urbano, tienen implicación en los principios de sustentabilidad relacionados con el uso y consumo de los recursos. Para el caso del transporte y la energía, Rueda (1995) citado en Saurí (2003), menciona que la ciudad compacta tiende a hacerlos más eficientes en comparación con la ciudad dispersa.

Troy y Holloway (2004) exponen que el uso doméstico de agua no ha recibido mucha atención al respecto, por eso no se cuenta con muchos estudios sobre la relación que guarda este proceso con los patrones de desarrollo urbano. Entre las investigaciones que han abordado este tema, están las de Domene y Saurí (2003; 2006), en ambas se expone el caso del riego de los jardines en la Región Metropolitana de Barcelona (RMB), en donde se han realizado acciones para la

gestión de la demanda del agua, cuyo enfoque se ha dirigido mayormente para la ciudad compacta en comparación con la dispersa, en ésta última, el recurso tiende a ser mayor porque el agua se ocupa en actividades exteriores; por eso es necesario estudiar el papel que juega la suburbanización, para localizar los sitios en los que deben aplicarse las medidas y políticas de conservación necesarias.

En Domene y Saurí (2003) se presentó una metodología para medir algunas características de los jardines particulares, las cuales fueron relacionadas con la cantidad de agua utilizada y la renta de las viviendas, en seis municipios periféricos de la RMB. Se generaron datos empíricos, obtenidos de 120 entrevistas domiciliarias. El artículo no menciona que la muestra seleccionada sea representativa, por lo que no se cuenta con la información suficiente para generalizar en toda el área de estudio. Se encontró que el riego es mayor durante el verano y que la mayoría de las viviendas utiliza el agua de la red municipal para esta actividad, además de que la renta está fuertemente correlacionada con el tipo de jardín. En el caso de las viviendas con renta alta predomina el pasto.

Por su parte, en Australia, Asknew y McGuirk (2004) analizaron variables de tipo socio-cultural asociadas con la presencia de los jardines suburbanos y su relación con el patrón de consumo del agua, esta información la obtuvieron mediante la aplicación de una encuesta y de entrevistas con los residentes y con los desarrolladores de un área suburbana en la región de Hunter. El argumento que se plantea es que este tipo de jardines juega un papel importante en el estatus y en la acumulación de capital, que tienen implicaciones para el uso doméstico de agua. Se encontró que los residentes tienen una noción general sobre la distinción social asociada al sitio en que habitan y también de la importancia sobre la conservación del agua, sin embargo el diseño de sus jardines se basa más en su utilidad para el ocio que en criterios para la conservación.

Los usos interiores tienden a ser relativamente más estables en comparación con los exteriores, por esta razón, en Gatersleben et al. 2002 y en Kallis 1999, se menciona que los factores relevantes para estudiar la relación entre demanda doméstica y la forma urbana están: el ingreso, el tipo de vivienda, los habitantes por vivienda, el tamaño de la ciudad y los estilos de vida, sin embargo las variables que se relacionan con las actividades de los residentes y sus hábitos hacia la conservación del agua no son tan explicativas como el resto (Saurí, 2003; Domene y Saurí, 2006; House-Peters y Chang, 2011).

En la investigación de Zhang y Brown (2005), se apunta que este proceso está determinado por variables políticas, además del precio y las tarifas de cobro por la provisión de los servicios hidráulicos, así como por las características económicas, físicas y tecnológicas de las viviendas, por ejemplo si cuentan con medidores o si hay dispositivos ahorradores. Este tipo de variables se han utilizado en investigaciones empíricas y en estudios analíticos realizados en los países industrializados, que a diferencia de los que están en desarrollo, que se caracterizan por no contar con una medición universal, el acceso al agua, es un factor que tiene bastante incidencia en la explicación de la demanda, ya que es desigual entre los habitantes.

El objetivo que se planteó en Zhang y Brown (2005) fue el de entender y explicar el uso doméstico del agua en las ciudades chinas de Pekín y Tianjin; para lograrlo, realizaron una encuesta que se centró en algunos aspectos característicos de los usuarios domésticos, que están ligados a su conducta y percepción al momento de hacer uso del vital líquido. Por otro

lado se clasificaron las viviendas en cuatro tipos diferentes para ambas ciudades, y se obtuvo una muestra representativa para seleccionar el número de viviendas dentro del área de estudio.

Se realizaron dos análisis de regresión multivariada generales para los dos casos y también particulares para cada tipo de vivienda, dando un total de ocho modelos, los cuales no tuvieron un valor alto de R^2 , lo que significa que las variables elegidas explican poco del fenómeno estudiado; sin embargo con los resultados que se obtuvieron de F, los modelos resultaron significativos. Entre los factores seleccionados estuvieron la tarifa eléctrica y la frecuencia de baño durante el invierno. Los autores mencionan que es necesario recopilar más datos y series de tiempo (Zhang y Brown, 2005).

Por su parte, en Domene y Saurí (2006) también se examinó la relación entre el uso doméstico de agua con los hábitos que se hacen al interior de la casa. En esta ocasión se llevó a cabo un muestreo estratificado basado en la población de 22 municipios de la RMB, por lo que se seleccionó un total de 525 viviendas, a las que se les aplicó una encuesta vía telefónica. Se clasificaron las viviendas en tres tipos según su densidad. Cuando se trata de alta densidad no se cuenta con jardín, mientras que en el resto si están presentes, ya sea compartidos o privados. Mediante un modelo de regresión múltiple, se obtuvo que los factores demográficos y de vivienda pueden ser significativos para explicar el uso doméstico, en tanto que este tipo de uso no es constante entre los diferentes estratos de ingreso.

Domene y Saurí (2006) seleccionaron ocho variables independientes: (1) ingreso familiar mensual; (2) costo promedio del agua; (3) tipo de vivienda; (4) tamaño del hogar; (5) tamaño de la vivienda; (6) tamaño del jardín; (7) agua requerida por el jardín; (8) posesión de alberca; y (9) el índice de conducta del consumidor para explicar la demanda de agua *per cápita* al día. Con el modelo de regresión lineal multivariada, se logró explicar el 36.7% del fenómeno bajo estudio. Las variables de tamaño de la vivienda y el índice de conducta resultaron significativas con signo negativo, mientras que las necesidades del jardín, el ingreso, las viviendas de baja densidad y la presencia de alberca, resultaron significativas con signo positivo.

Finalmente en Fox et al. (2009) se expone que la demanda por uso doméstico está en función de la relación compleja entre las características socio-económicas, socio-demográficas y físicas, por lo que hacen una propuesta para simplificar todos estos factores y sólo contemplan el estudio de las características físicas de las viviendas para realizar modelaciones y predicciones. También consideran que es útil realizar este tipo de estudios para la planificación del desarrollo urbano futuro, con el fin de reducir la cantidad de agua requerida para las ciudades como resultado de un diseño eficiente.

En la publicación de Fox et al. (2009) se utilizó información de gabinete y no únicamente datos obtenidos de encuestas, para realizar una clasificación de las viviendas según sus características físicas con el fin de predecir la demanda de agua. Estos autores también se centraron en la creación de modelos, por esta razón estudiaron aspectos como: el número de cuartos, el tipo de arquitectura y la presencia de jardines, el área de estudio fue la ciudad Stevenage, en el Reino Unido.

Se obtuvieron datos provistos por el organismo operador local, que cuenta con registros diarios dentro de su área de jurisdicción para un total de 1,555 viviendas. El análisis que se realizó fue de junio de 2001 al mismo mes pero en el año 2003. Las variables se seleccionaron de acuerdo

a la literatura y fueron aquellas cuya relación con la demanda de agua ya ha sido demostrada. Se determinaron tres grupos de variables: el número de cuartos (tamaño), el tipo de arquitectura y la presencia de jardines. Estos autores definen el tipo de arquitectura de la siguiente manera:

- **Viviendas agrupadas:** son las propiedades que están pegadas a otras, ya sea por la parte trasera o la pared del garage
- **Viviendas separadas:** son aquellas que no están pegadas a otras. Incluye las que tienen garage contiguo
- **Departamentos:** son las viviendas que están en edificios o las que se encuentran en conjuntos, incluyendo aquellas construcciones que tienen dos
- **Viviendas semiseparadas:** son las que están unidas por paredes externas a otras propiedades
- **Viviendas en conjunto:** comparten paredes por ambos lados de la construcción con otras similares

Fox et al. (2009) realizaron la limpieza de la base de datos y trabajaron con un total de 566 viviendas, esto es porque quitaron las observaciones que estaban incompletas. Se estudió la demanda de la siguiente forma: mensual; promedio diaria; diaria promedio y pico durante el verano; así como la diaria promedio y pico durante el invierno; los últimos cuatro componentes fueron analizados de manera univariada según las características físicas de la propiedad. Posteriormente, estos autores clasificaron la demanda según las múltiples características que estudiaron de las propiedades en un análisis multivariado.

Los resultados que se encontraron fueron: las propiedades con más cuartos presentan una demanda significativamente mayor en todos los componentes, excepto en las viviendas con uno y dos cuartos para la demanda pico de verano. Las viviendas que cuentan con jardín tienen una demanda de agua significativamente mayor para los cuatro componentes. Cuando se clasificaron las viviendas de forma multivariada, según el número de cuartos, la arquitectura y la presencia de jardines, los cambios de la demanda son graduales de un grupo a otro excepto en aquellas propiedades que cuentan con jardines (Fox et al., 2009).

Los estudios de Domene y Saurí (2003) y de Askew y McGuirk (2004) son útiles para conocer el papel que juegan los jardines en el proceso de uso doméstico de agua, los cuales aumentan la demanda tanto de la vivienda, así como del área donde se localizan. Un punto importante que se señala es que hay relación entre los ingresos de los residentes, el tipo de jardín y el imaginario ideal, con el que se construyen más allá que con los principios de conservación del agua, a pesar de existir políticas y conciencia al respecto. Estos dos estudios, a pesar de no presentar resultados generalizables, dejan de manifiesto una forma de interacción importante entre los factores urbanos y los tipos de conducta asociados al uso del agua.

Por su parte, en las investigaciones de Domene y Saurí (2006) y de Fox et al. (2009), se muestra el efecto que tienen los jardines desde una visión cuantitativa, sobre todo en el caso de la ciudad de Stevenage, en donde tuvieron un efecto importante. Estos dos estudios se corresponden entre sí, ya que en ambos, la baja densidad urbana generó un aumento en la demanda de agua y de igual forma, lo que implica la importancia de destacar los usos interiores y exteriores en función de los factores de tipo urbano. En la Tabla 17 se sintetizan los estudios revisados.

Tabla 17 Síntesis de los estudios sobre demanda de agua sin el enfoque espacial

Autores	Área de Estudio	Metodología	Variables	Resultados
Asknew y McGuirk (2004)	Hunter, Australia	Se aplicó un cuestionario con tres secciones: (1) frecuencia de uso del agua; (2) consideraciones socioculturales; (3) actitudes asociadas a la conservación. Se aplicó en 150 hogares. Los datos se analizaron de forma descriptiva	Aspectos estudiados: (1) estrategias de mantenimiento del jardín; (2) factores en el diseño del jardín; (3) importancia del uso externo del agua	Existe la noción de distinción asociada al suburbio, por parte de los residentes. También se destaca la importancia de la conservación del agua y la conciencia ambiental, sin embargo el ocio y la decoración tienen mayor peso en el diseño de los jardines en comparación con los factores ambientales
Zhang y Brown (2005)	Pekín y Tianjin, China	Se aplicó un cuestionario de 52 preguntas a 806 viviendas en ambas ciudades, que fueron seleccionadas aleatoriamente. Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple	Dependiente: demanda doméstica promedio mensual (m^3 /mes) Independientes: Cuatro tipos de viviendas, además de aspectos como: (1) ambiente de la vivienda; (2) datos socioeconómicos; (3) dispositivos hidráulicos y muebles de baño; (4) hábitos y percepción del uso de agua; (5) actitud ambiental	Se encontró que entre los factores explicativos estuvieron la tarifa eléctrica y la frecuencia de baño durante el invierno, pero los modelos tuvieron valores de bajos R^2 , por lo que resultaron ser poco explicativos, lo que hace necesario que se recopilen más datos
Domene y Saurí (2006)	Región Metropolitana de Barcelona, España	Se realizó un muestreo estratificado, según la población de 22 municipalidades de la RMB, a través del cual se seleccionó una muestra de 532 viviendas, a las que se les aplicó un cuestionario vía telefónica. Se hizo un análisis de regresión lineal múltiple	Dependiente: demanda doméstica <i>per cápita</i> al día (litros/habitante/día) Independientes: (1) ingreso familiar mensual; (2) costo promedio del agua; (3) tipo de vivienda; (4) tamaño del hogar; (5) tamaño de la vivienda; (6) tamaño del jardín; (7) agua requerida para el jardín; (8) posesión de alberca; y (9) índice de conducta del consumidor	Las variables que resultaron significativas fueron: el ingreso familiar, las viviendas de baja densidad, el tamaño del hogar, las necesidades de agua para los jardines, la presencia de alberca y el índice de conducta del consumidor. Se hicieron tres modelos de regresión para todo el año, el verano y el invierno, sus valores de R^2 fueron de 0.36, 0.39 y 0.19 respectivamente
Fox et al. (2009)	Stevenage, Reino Unido	Se conjuntó información del organismo operador y se realizaron dos tipos de análisis, uno bivariado y otro multivariado.	Dependiente: demanda doméstica como metros cúbicos por propiedad (m^3 /propiedad) Independientes: (1) número de cuartos; (2) tipos de propiedad; (3) Presencia de jardín	El número de cuartos resultó significativo en la explicación de la demanda en todos sus componentes, excepto en las viviendas con uno y dos cuartos para la demanda pico de verano. Las viviendas que cuentan con jardín, tienen una demanda de agua significativamente mayor para los cuatro componentes

[Fuente: Elaboración propia con base en: Asknew y McGuirk (2004), Zhang y Brown (2005), Domene y Saurí (2006), Fox et al. (2009)]

El tamaño de la vivienda, es otra variable importante para tomar en cuenta, a pesar que en el caso de Barcelona, según los resultados de Domene y Saurí (2006) no tuvo significatividad, en la ciudad de Stevenage Fox et al. (2009) encontraron que el número de cuartos tienen relación significativa. La diferencia entre estos dos resultados se puede deber a las escalas de trabajo, ya que en el caso español se trabajó en términos *per cápita* y en el británico por domicilio. Por otro lado, en el primer estudio se generó un modelo de regresión para explicar y predecir a partir de ciertas variables, en tanto que el segundo se centró en estudiar la relación de la demanda según los diferentes tipos de vivienda. Ambos dan claves importantes sobre factores que deben ser estudiados en la capital mexicana.

Un punto importante que se debe destacar, sobre todo ante resultados como los de Domene y Saurí (2003) y Asknew y McGuirk (2004), es que las políticas de conservación de agua deben orientarse a las zonas de baja densidad. De manera complementaria, con la información que aportan Domene y Saurí (2006) y Fox et al. (2009), es importante considerar el factor de forma urbana, enfocado hacia la gestión de la demanda por uso doméstico de agua, así como el tamaño de las viviendas.

La revisión de estas investigaciones da pautas generales para la selección de variables, sin embargo para lograr orientar acciones que se centren en la conservación de los recursos hídricos en las ciudades, es necesario incluir el enfoque socio-espacial en la explicación de la demanda de agua. A continuación se presentan cuatro estudios en los que, el espacio, fue incluido entre las variables explicativas.

3.1.2 Estudios espaciales sobre la demanda por uso doméstico de agua

La inclusión de la dimensión espacial en el estudio de distintos fenómenos, hace necesario que se defina el concepto de autocorrelación espacial, el cual se basa en la afirmación que plantea la Ley de Tobler (1970), la cual expone lo siguiente: los espacios que están más cercanos, tiene mayor relación entre sí en comparación con aquellos que se encuentran más alejados. De esta forma se examina el comportamiento de una variable consigo misma, cuando se trata de una autocorrelación espacial univariada o de una bivariada cuando se analiza espacialmente la relación entre dos variables. Este análisis toma como base los valores que presentan una distribución espacial, según la localización de las unidades bajo estudio, en relación con las que están contiguas a ellas, por lo que es una perspectiva corológica (Buzai y Baxendale, 2012).

Para medir y detectar los patrones en una distribución espacial, se calcula el índice de la I de Moran, que es una medición de carácter general cuyo propósito es comparar los valores de cada localización con sus vecinos, puede tener tres resultados que van de 1 a -1; en el primer caso, los valores positivos indican que las observaciones tienden a ser similares entre sí. En el segundo, cuando se obtiene un resultado negativo, quiere decir que en las unidades espaciales hay valores que son diferentes entre sí. El valor de cero indica la inexistencia de un patrón espacial. Se plantean pruebas de hipótesis para determinar si los fenómenos bajo estudio están determinados por el azar o no, para lo que se establece un nivel de significancia que se compara con un *p-valor* de probabilidad de ocurrencia (O'Sullivan y Unwin, 2010; Buzai y Baxendale, 2012).

De manera adicional, para identificar las asociaciones espaciales en un mapa, se utiliza el cálculo de LISA (*Local Indicators of Spatial Association*); esta medición permite desglosar los resultados de la I de Moran y así es posible saber cuánto contribuyen los valores de cada unidad espacial

para conformar el valor global. También se muestra la significancia de las agrupaciones formadas por valores similares o contrapuestos que demarcan los *hot* y *cold spots*, que son las distribuciones espaciales de la agrupación de valores altos y bajos respectivamente (Buzai y Baxendale, 2012).

Siguiendo con planteamiento sobre la forma de desarrollo urbano, las características de las viviendas y su relación con el uso doméstico de agua, se revisaron dos investigaciones realizadas en la ciudad de Phoenix y otras dos que se llevaron a cabo en la ciudad de Portland, ambas en Estados Unidos. La importancia de incluir estos cuatro estudios, es porque en ellos se aplicó un análisis cuantitativo cuyo eje principal es la variable espacial, además de que aportan sustento metodológico para esta investigación sobre la Ciudad de México.

Wentz y Gober (2007), para analizar la demanda por uso doméstico en la ciudad de Phoenix, hicieron una revisión de literatura en la que citaron a Mayer et al. (1999), quienes obtuvieron como resultado, tras analizar 1,188 viviendas en doce ciudades de Estados Unidos, que el uso interior del agua se relaciona con el número de habitantes por vivienda, así como con el área de los predios en donde se asientan las viviendas; ambas variables sirven como sustitutas del ingreso. Otras características que resultaron importantes, según esta misma fuente, son: el número de baños y la edad de los miembros de la vivienda, además de que el uso exterior está determinado por la presencia de albercas.

Con este contexto como referencia, Wentz y Gober (2007) estudiaron la demanda doméstica de agua en las unidades censales que corresponden a la ciudad Phoenix, donde se agregó toda la información de interés correspondiente al año 2000. Estas autoras se centraron en la demanda de las viviendas unifamiliares y su relación con los siguientes factores explicativos:

- El número de habitantes por vivienda
- El tamaño promedio de los lotes de las viviendas
- El porcentaje de viviendas con albercas
- El porcentaje de área con jardines dentro de cada unidad censal

La información catastral que usaron Wentz y Gober (2007) correspondió al año de 1998, en tanto que los datos de la demanda de agua son del 2000. Para realizar las mediciones de las áreas con jardín, estas autoras trabajaron con imágenes Landsat del 2003 y trabajaron bajo el supuesto de que no hay muchos cambios en la ciudad durante periodos cortos de tiempo. Se excluyó la medición del ingreso para evitar cuestiones de multicolinealidad con las demás variables explicativas, según lo expuesto en la revisión de literatura de esta publicación.

Para encontrar los factores explicativos de la demanda por uso doméstico, Wentz y Gober, (2007) realizaron dos modelos de análisis, el primero fue una regresión de mínimos cuadrados y el otro, incluyó la dimensión espacial, por lo que hicieron una regresión geográficamente ajustada. El supuesto del que parte este segundo método, es que la variación de la demanda se explica en los términos espaciales de la variable dependiente y de las independientes, por lo que se calculan los coeficientes correspondientes, el error estándar, los valores de t y R^2 para cada una de las unidades bajo estudio, de esta forma se determina y así determinar su significatividad y su poder explicativo local. En este caso, se hicieron las ponderaciones con respecto a la distancia adaptativa kernel.

El modelo de regresión de mínimos cuadrados explicó un 64% de la varianza, mientras que con la regresión geográficamente ajustada, se obtuvo una explicación promedio de 85%. En el primer caso, las variables más significativas fueron: el tamaño promedio del lote y el porcentaje de albercas, mientras que, con la regresión geográficamente ajustada hubo significancia espacial para el porcentaje de albercas y el número de habitantes por vivienda, que también presentaron variación espacial significativa, según la prueba de Monte Carlo, a diferencia del tamaño del lote y del jardín (Wentz y Gober, 2007).

Por la parte del estudio de Turner e Ibes (2011), también en la ciudad de Phoenix, se planteó el objetivo de realizar una comparación cuantitativa de la demanda doméstica de agua, medida como uso anual, de los residentes que viven dentro y fuera de los condominios (denominados en inglés como *homeowner association*). La intención por la cual se aborda esta cuestión, tiene su origen en que este tipo de forma residencial no se ha tomado en cuenta como un actor de la gestión ambiental, además de que, en el caso de esta ciudad, administran el 64% del total de agua utilizada; de ahí la importancia para analizar este proceso local en comparación de las viviendas que no pertenece a este esquema administrativo.

El tipo de condominios a los que se hace referencia en el artículo de Turner e Ibes (2011), lo describen Odum (1982) y Cooper et al. (2007), citados por estos autores, como áreas residenciales creadas por las élites para proteger los valores de la propiedad; en este tipo de zonas se administran recursos municipales, entre ellos, el agua. Estos condominios en su generalidad se asientan en las periferias de las ciudades y tienden a ser habitados por miembros ricos, blancos, no hispanicos que viven en casas nuevas con alberca. Dado que estas formas de habitación no poseen una agenda colectiva sobre la reducción del uso de recursos, es posible que tengan un efecto en escalas más grandes.

Con esta descripción expuesta en Turner e Ibes, (2011), se muestra que estos condominios son una manifestación del patrón de desarrollo urbano disperso, en donde es posible que se encuentren patrones similares a los resultados de las investigaciones de Domene y Saurí (2003) y Asknew y McGuirk (2004) para Barcelona y Australia respectivamente, pero en el caso de esta investigación realizada en Phoenix, sólo se abordan los jardines de forma cuantitativa, por medio del estudio de imágenes satelitales Landsat.

Turner e Ibes (2011) utilizaron la información digitalizada, obtenida del condado de Maricopa, que posteriormente incluyeron en el Sistema de Información Geográfica. La demanda de agua en las viviendas unifamiliares se definió como la variable dependiente y se midió como un promedio anual agregado en unidades censales para el año 2006. Por su parte, las variables independientes que se seleccionaron fueron:

- El porcentaje de condominios por unidad censal
- El Número de habitantes por vivienda en promedio
- El Ingreso promedio por vivienda
- El NDVI (Índice Normalizado de Vegetación) promedio a partir de imágenes Landsat TM
- La Edad promedio por vivienda
- El Tamaño de lote promedio
- El porcentaje de albercas
- El porcentaje de personas hispanas

- El porcentaje de personas blancas

En cuanto al análisis de los datos, Turner e Ibes (2011) realizaron una regresión multivariada para determinar la capacidad predictiva de las variables seleccionadas, por lo que primero quitaron la multicolinealidad, por medio de relaciones bivariadas y un análisis de factores. Posteriormente se calculó la I de Moran para conocer la autocorrelación de la distribución espacial de los condominios en unidades censales, la cual no resultó significativa, además de que su correlación con la demanda por uso doméstico fue débil, en tanto que con el NDVI no hubo significatividad. Por su parte, el análisis de regresión explicó el 65% de la varianza.

A pesar de que existe correlación entre el ingreso y los condominios, además del ingreso y la demanda de agua, este factor explica un alto porcentaje de la varianza, en tanto que los condominios no tuvieron una relación fuerte ni significativa con la demanda, por lo que es posible ver que este proceso se explica más en función de la riqueza que con la localización de una determinada forma de residencia, por lo que su agregación no altera necesariamente el uso doméstico en comparación con las comunidades que carecen de ellos (Turner e Ibes, 2011).

Shandas y Parandvash (2010) en la ciudad de Portland, se centraron en cuantificar la influencia específica de los distintos tipos de uso de suelo y las características urbanas con la demanda por uso doméstico, con el fin de generar estrategias que integren el desarrollo de la ciudad y que promuevan la conservación del agua. Estos autores mencionan que las variables que explican este proceso local son de corte político, socio-económico, ambiental y demográfico, de ahí la importancia de su estudio en el contexto del desarrollo urbano.

Para integrar toda esta serie de elementos y su capacidad explicativa, Shandas y Parandvash (2010) definieron la forma urbana como la cantidad de área construida en un paisaje dado, la cual fue medida en términos de desarrollos individuales de acuerdo con los atributos estructurales de 122,550 manzanas, que se asociaron de forma estadística. A nivel vecindario se encuentran diferentes tipos de edificaciones, así como usos de suelo. Las variables que se midieron fueron:

- El área de viviendas unifamiliares en acres
- El área de viviendas multifamiliares en acres
- El área comercial-industrial en acres
- El área vacante en acres
- El área total construida en pies cuadrados divididos entre cien
- Las viviendas unifamiliares por área de SFR⁸ como número por acre
- El ingreso medio en dólares por 1000 personas
- El total de personas con educación universitaria

En esta área de estudio, Shandas y Parandvash (2010) abordaron la demanda de agua en viviendas multifamiliares, unifamiliares, zonas comerciales e industriales a nivel manzana, agrupadas en bloques censales. Las manzanas permiten comparar los usos múltiples que se le da al recurso, además de ser nivel más desagregado en el que se pueden aplicar las regulaciones

⁸ Se refiere a las viviendas unifamiliares que en el artículo se nombran *Single Family Residential*

e introducir políticas de uso de suelo, en las que es posible reconocer los efectos que generan estos cambios.

La información que analizaron Shandas y Parandvash (2010) provino de un sistema de información regional que aportó el gobierno Metropolitano de la ciudad de Portland. Estos datos contienen las direcciones, atributos estructurales y el tipo de uso de suelo. Esta información está disponible desde 1999 y se seleccionó el periodo de 2002 a 2005, pero se omitieron los años de 2001 y de 2002. El organismo operador proveyó los registros medidos de agua a nivel manzana, los cuales fueron georeferenciados y después se hizo la suma correspondiente para obtener el uso anual. Se llevaron a cabo tres modelos de regresión múltiple, que tuvieron la misma variable dependiente pero en cada uno se cambiaron las independientes.

- **Primer modelo:** examinó la relación entre el uso doméstico anual de agua y las distintas zonificaciones
- **Segundo modelo:** analizó el rol del área construida según el tipo de uso suelo y su relación con la demanda de agua para todos los años de estudio
- **Tercer modelo:** se centró en los atributos de las viviendas unifamiliares y su impacto en la demanda por uso doméstico de agua

Con el primer modelo, se encontró que en 1999 los usos de las viviendas unifamiliares y el industrial-comercial tuvieron una R^2 de 0.74. Para el periodo de 2002 a 2005 las viviendas unifamiliares, las zonas industriales y las comerciales, así como las viviendas multifamiliares, resultaron ser significativas y explicaron del 55% al 64% de la variable dependiente, para el caso de los lotes vacantes hay una relación negativa que sólo fue significativa para los años 2004 y 2005 (Shandas y Parandvash, 2010).

El segundo modelo mostró que el total del área construida, para cada uno de los tipos de uso de suelo, explicó una mayor proporción que aquellas zonas que únicamente cuentan con un solo tipo de uso de suelo. Los valores de R^2 variaron de 78% a 92% y en este caso, los lotes baldíos resultaron no ser significativos para ningún año. Con respecto al total de área construida, las viviendas multifamiliares son las que consumen más agua en términos brutos, sin embargo en una base *per cápita*, son las viviendas unifamiliares las que tienen mayor influencia en la demanda de agua (Shandas y Parandvash, 2010).

Finalmente, Shandas y Parandvash (2010) apuntan en los resultados del tercer modelo, que los factores sociodemográficos y la forma urbana contribuyen significativamente en explicar la demanda por uso doméstico de agua, mientras que el ingreso y la educación universitaria, también sirvieron para dar explicación en el contexto de las viviendas unifamiliares en la demanda para el año 2005. De esta manera, los autores sugieren que las condiciones físicas de las áreas urbanas son un medio ventajoso para incrementar la conservación del agua, por lo que es importante tener en cuenta la incidencia que pueden tener las modificaciones de los patrones físicos del desarrollo urbano.

El otro estudio que se llevó a cabo en la ciudad de Portland, lo realizaron Chang et al. (2010) y tuvo como objetivo explicar la variación de la demanda por uso doméstico de agua con base en características físicas, de densidad y socio-económicas de las viviendas unifamiliares, agrupadas en unidades censales. En esta publicación se destacó la importancia de la estructura espacial en la comprensión de los patrones de demanda doméstica, por lo que los autores llevaron a cabo

tres técnicas diferentes de regresión con información obtenida de la Oficina de Agua de Portland (PWB), que es el organismo operador operador local. El resto de los datos se obtuvieron del catastro municipal y de la Oficina del Censo.

Con esta información, Chang et al. (2010), decidieron excluir el centro de la ciudad y las áreas comerciales, porque en estos sitios se presenta una alta concentración de residencias multifamiliares; a su vez, utilizaron el mismo criterio cuando se encontraron unidades censales con menos del 25% de áreas residenciales o con menos de 40 residencias en el sitio. Las variables independientes que se seleccionaron fueron:

- El tamaño promedio del lote de las viviendas
- El tamaño promedio
- La densidad de las viviendas
- La antigüedad promedio de las viviendas
- El número promedio de cuartos
- El ingreso
- El porcentaje de personas con educación universitaria
- La edad promedio de los habitantes por vivienda

Esta información se estandarizó por el número de viviendas, para que todas las variables fueran comparables entre sí, y también buscaron correlaciones significativas entre las variables independientes y la dependiente para conocer su magnitud y dirección. Solamente el número promedio de habitantes por vivienda resultó poco significativo, mientras que el resto de factores mostraron asociaciones altas. Por la parte de la densidad de viviendas y la edad promedio, ambas tuvieron una relación negativa, en tanto que el resto se correlacionaron positivamente (Chang et al., 2010).

Para encontrar la explicación de la demanda por uso doméstico de agua, Chang et al. (2010), en primer lugar, realizaron un modelo de regresión lineal de mínimos cuadrados, en donde también fue necesario quitar la redundancia de la medición entre los factores explicativos. Posteriormente se llevó a cabo un modelo de regresión lineal *piecewise* para tener una mejor estimación del efecto que tienen estas variables sobre la dependiente. En cuanto a la dimensión espacial, se hizo un análisis de I de Moran para medir la autocorrelación espacial y se aplicó el modelo de *Spatial Lag*, con contigüidad de Rook, para corregir los sesgos espaciales. Finalmente, se compararon los resultados de todos estos modelos para evaluar cuál predice de forma más precisa el uso doméstico de agua.

La regresión múltiple mostró una fuerte relación entre el tamaño de los edificios y la demanda de agua, pero cuando se trata de densidad, se encontró una relación negativa y significativa, de menor magnitud que la anterior. Con el modelo *piecewise* de regresión lineal, se encontró que el coeficiente para edificios menores de 150 m² es significativo, por lo que el aumento en un metro cuadrado, incrementa en 194 litros por vivienda al día, mientras que en las viviendas menores a 150 m² la relación es más significativa y el incremento es de 899 litros por cada metros cuadrado que aumenta. Por otro lado, cuando hay mayor densidad ocurre una reducción de 34,320 litros por cada vivienda, en tanto que fue posible establecer las cuatro viviendas por acre como un umbral de cambio (Chang et al., 2010). En la Tabla 18 se muestra una síntesis de los estudios descritos en este apartado.

Tabla 18 Síntesis de los estudios sobre demanda de agua con el enfoque espacial

Autores	Área de Estudio	Metodología	Variables	Resultados
Wentz y Gober (2007)		Se realizaron dos modelos de análisis: una regresión de mínimos cuadrados y unidades censales, para el año 2000. una regresión geográficamente ajustada con distancia adaptativa kernel	Dependiente: demanda de agua doméstica anual promedio en viviendas unifamiliares, agrupadas en unidades censales, para el año 2000. Independientes: (1) número de habitantes por vivienda; (2) tamaño promedio de los lotes de las viviendas; (3) porcentaje de viviendas con alberca; y (4) porcentaje de área ajardinada	La regresión de mínimos cuadrados explicó 64% de la varianza y las variables más significativas fueron: el tamaño promedio del lote y el porcentaje de albercas. Con la regresión geográficamente ajustada, se obtuvo una explicación promedio de 85% y tuvieron significancia espacial el porcentaje de albercas y el número de habitantes por vivienda.
Turner e Ibés (2011)	Phoenix, Arizona	Regresión multivariada y medición de la autocorrelación espacial mediante la I de Morán.	Dependiente: demanda doméstica de agua promedio utilizada en viviendas unifamiliares por unidades censales, para el año 2006. Independientes: (1) porcentaje de condominios; (2) habitantes por vivienda en promedio; (3) Ingreso promedio por vivienda; (4) NDVI promedio; (5) edad promedio por vivienda; (6) tamaño promedio del lote; (6) porcentaje de albercas; (7) porcentaje de personas hispanas; y (8) porcentaje de personas blancas.	Se logró explicar el 65% de la varianza, en donde el ingreso tuvo un papel importante, mientras que los condominios no tuvieron una relación fuerte, ni tampoco significativa con la demanda de agua. Este proceso se explica más en función de la riqueza que con la localización de una determinada forma de residencia.
Shandas y Parandvash (2010)	Portland, Oregon	El primer modelo, abordó la relación de la demanda de agua con las distintas zonificaciones. El segundo modelo, analizó cómo se vincula el área construida con la demanda de agua con los distintos tipos de uso de suelo. El tercer modelo: se centró en los atributos de las viviendas unifamiliares y su capacidad para explicar la demanda de agua	Dependiente: demanda doméstica de agua, medida como pie-acre (1.24 millones de litros), a nivel manzana. Independientes: (1) área de viviendas unifamiliares; (2) área de viviendas multifamiliares; (3) área comercial-industrial; (4) área vacante; (5) área total construida; (6) viviendas unifamiliares por área de SFR; (7) ingreso medio; y (8) personas con educación universitaria	El primer modelo, en 1999 las viviendas unifamiliares y las áreas industrial-comercial tuvieron una R ² de 0.74. Para el 2002 al 2005 todos los usos de suelo, menos las áreas vacantes, resultaron ser significativas y explicaron del 55% al 64% de la variable demanda. El segundo modelo mostró que el total del área construida, para cada uno de los tipos de uso de suelo, explicó una mayor proporción que aquellas zonas que únicamente cuentan con sólo tipo de uso de suelo. La explicación de la varianza osciló entre 78% y 92%. Con el tercer modelo, se encontró que los factores sociodemográficos y la forma urbana contribuyen significativamente en explicar la demanda por uso doméstico de agua
Chang et al. (2010)		Se utilizó un modelo de regresión lineal de mínimos cuadrados y luego uno de regresión lineal <i>piecewise</i> . Se calculó la I de Morán, además se hizo una regresión que incorpora la dependencia espacial a partir del modelo de <i>Spatial Lag</i>	Dependiente: demanda doméstica anual de agua en viviendas unifamiliares, agrupada en unidades censales. Independientes: (1) tamaño promedio del lote de las viviendas; (2) tamaño promedio general (3) densidad de las viviendas; (4) antigüedad promedio; (5) número promedio de cuartos; (6) el ingreso; (7) porcentaje de personas con educación universitaria (8) edad promedio de los habitantes	Las variables que explican mayormente la demanda por uso doméstico de agua en las viviendas unifamiliares son: el tamaño de la vivienda, la densidad construida y su antigüedad. Estas variables están correlacionadas con el ingreso y la educación, por lo que las variables estructurales dan buena aproximación a la situación socio-económica.

[Fuente: Elaboración propia con base en Wentz y Gober (2007), Turner e Ibés (2011), Shandas y Parandvash (2010) y Chang, et al. (2010)]

La demanda de agua mostró un valor de I de Moran de 0.54, lo que sugiere que el patrón de distribución espacial no está dado por cuestiones de azar en toda el área de estudio, lo que indica que entre las unidades espaciales se presenta agrupación de los valores. Con el análisis LISA (*Local Indicators of Spatial Association*) se detectó que existe una correlación fuerte y positiva entre la variable dependiente y el tamaño de las viviendas con un valor de 0.73; también con la densidad de las viviendas que tuvieron un valor 0.74 y en el caso de la antigüedad de los edificios, fue de 0.76. Los valores de las variables se estandarizaron para que tuvieran media cero y varianza uno (Chang et al., 2010).

El análisis de regresión es un método cuyo objetivo es predecir los valores de una variable bajo estudio a partir de una o un conjunto de variables independientes, que permiten saber cuánto se explica del fenómeno a través de su medición. En el caso de la demanda por uso doméstico, se ha utilizado para explorar la respuesta que tiene este proceso ante los cambios que se manifiestan en diferentes factores sociales y ambientales que tienen lugar en un sistema socio-técnico, por lo que es una forma de hacer cruces de datos y así se conocen las interacciones entre niveles (Billings y Jones, 2008; Buzai y Baxendale, 2012; Krantz, 2012).

La inclusión de la dimensión espacial en las investigaciones que se revisaron, en primer lugar son el resultado de localizar la información en unidades censales. En todas ellas se utilizó la regresión múltiple, además de métodos espacialmente explícitos que mejoraron los resultados en comparación de los que no contemplan esta dimensión.

Entre las variables que han sido útiles para explicar este proceso local están el tamaño del lote, el porcentaje de albercas, así como los factores sociodemográficos asociados a las características de las viviendas. La ventaja que presentan los estudios de Wentz y Gober (2007), Chang, et al. (2010), Shandas y Parandvash (2010) y Turner e Ibes (2011), es que dan una perspectiva útil para comprender de forma sistémica la demanda de agua urbana en su generalidad y que, gracias al trabajo de gabinete, no es necesario llevar a cabo encuestas.

3.2 Selección de métodos y conformación de la base de datos

Con la revisión de estudios, que se presentó en los dos apartados anteriores, quedó de manifiesto cómo los patrones de desarrollo urbano están ligados a la cantidad de agua que utilizan las viviendas; situación similar a la que ocurre con el ingreso que se recibe en ellas, ya sea que se mida de forma directa o indirecta. Tomando como base la síntesis que se hizo de estas investigaciones, es posible seleccionar variables de interés para explicar la demanda por uso doméstico de agua en el caso de la Ciudad de México, para contar con la información que permita aplicar el paradigma Geotecnológico en un contexto de la Geografía Global.

Para generar los inventarios de información que se analizaron, se realizaron tres solicitudes de información pública a la oficina de transparencia del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMex). Se pidieron los siguientes datos: uso doméstico⁹ por bimestre; número de usuarios con y sin medidor; y total de la recaudación percibida por el Sistema de Aguas. En todos los casos se entregaron las bases de datos a nivel colonia con código postal, para que fuera posible vincularla, en el ambiente del Sistema de Información Geográfica, con una capa *shape file* que cuenta con 1,509 polígonos y que fue aportada por la Secretaría de Vivienda y Desarrollo Urbano (SEDUVI).

⁹ Según la definición de la Ley de Aguas del Distrito Federal

Una de las ventajas de esta capa *shape*, es que las colonias cuentan con la clave que les brinda el INEGI, la cual es única. Se conformó en el *software* Excel una base de datos general con los tres tópicos que se solicitaron al SACMex, pero estos datos tuvieron que ser limpiados, ya que, algunas de las observaciones carecían de un nombre atribuible para la colonia a la que pertenecían. Dado que la base de recaudación estaba completa, se retroalimentaron las otras dos siguiendo el patrón que seguían los códigos postales, de este modo se asignaron todos los nombres correspondientes.

Posteriormente, se comparó la lista de las colonias por nombre con la tabla de atributos de la capa provista por la SEDUVI, para que así, fuera posible desplegar la demanda por uso doméstico de agua de forma espacial. Para concretar esta acción, se utilizó la información del Servicio Postal Mexicano (SEPOMEX), la cual fue descargada del sitio web: <http://www.correosdemexico.gob.mx/ServiciosLinea/Paginas/DescargaCP.aspx>. En caso de que alguna colonia no pudiera ser encontrada en las listas de la SEDUVI y del SEPOMEX, y por ende localizada, se utilizó la cartografía de Guía Roji, disponible en esta página de internet: <http://www.guiaroji.com.mx/>.

Los datos provistos por el SACMex, se utilizaron para analizar la demanda de forma bimestral en el periodo de 2008 a 2012, y también de manera anual, en términos brutos y *per cápita*, para el 2010. Se eligió este año en particular, ya que, fue cuando se llevó a cabo el Censo de Población y Vivienda a cargo del INEGI; es así como obtuvo la información necesaria para determinar cuáles son los factores explicativos de la demanda. Se siguió la precisión metodológica que apuntan Fox et al. (2009), sobre quitar las observaciones incompletas o con datos en blanco, por lo que, para el primer análisis se estudió un total de 1,228 polígonos, mientras que en el segundo caso, se contó con un área de 1,323 unidades espaciales. En la Figura 16 se presenta una imagen de la base de datos creada:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	CLAVE	ANUAL20	TVI	VIVUR	VIVDEP	VIVIC	VIV2CT	VIV3CT	VIVC	OCU	MZ	I	THK			
1	0901200010160	0.00	219.00	211.00	8.00	0.00	5.00	214.00	217.00	711.00	3.00	0.96	3.14			
2	0901300010034	0.00	865.00	865.00	0.00	101.00	186.00	570.00	8.00	3391.00	15.00	0.65	3.85			
3	0901500010032	0.00	8060.00	118.00	7942.00	16.00	249.00	7736.00	7933.00	22278.00	0.00	0.96	2.75			
4	0900500010251	21.68	44.00	44.00	0.00	3.00	12.00	29.00	44.00	171.00	1.00	0.67	3.69			
5	0900800010049	28.37	553.00	550.00	3.00	79.00	127.00	347.00	553.00	2250.00	13.00	0.70	3.93			
6	0901200010152	32.85	1070.00	1060.00	10.00	127.00	208.00	733.00	1042.00	4264.00	35.00	0.67	4.02			
7	09009000360004	34.01	455.00	455.00	0.00	57.00	95.00	301.00	431.00	1867.00	19.00	0.64	4.05			
8	0901300010076	35.30	267.00	267.00	0.00	66.00	50.00	147.00	219.00	1091.00	6.00	0.58	4.24			
9	09009000360003	57.95	685.00	684.00	1.00	74.00	137.00	472.00	677.00	2791.00	17.00	0.64	4.12			
10	0901200010209	72.00	609.00	603.00	6.00	72.00	125.00	408.00	594.00	2510.00	15.00	0.65	4.23			
11	0900800010031	79.62	618.00	615.00	3.00	43.00	100.00	473.00	615.00	2385.00	15.00	0.77	3.97			
12	0900200010065	83.30	7294.00	2510.00	4784.00	28.00	181.00	7059.00	7219.00	28049.00	85.00	0.90	3.84			
13	0900700010152	91.34	2251.00	2250.00	1.00	324.00	554.00	1363.00	2243.00	8702.00	22.00	0.62	3.81			
14	0900700010247	115.89	530.00	530.00	0.00	79.00	136.00	312.00	528.00	2114.00	19.00	0.60	4.04			
15	0900700010183	145.85	5432.00	5208.00	224.00	397.00	971.00	4047.00	5393.00	21649.00	113.00	0.71	3.99			
16	0900200010112	174.68	432.00	336.00	96.00	19.00	64.00	349.00	423.00	1532.00	9.00	0.85	3.64			
17	0901200010136	195.25	955.00	954.00	1.00	147.00	205.00	599.00	665.00	4943.00	28.00	0.53	4.53			
18	0901300010060	220.17	348.00	348.00	0.00	43.00	69.00	232.00	302.00	1422.00	11.00	0.62	4.04			
19	0901300010127	221.61	292.00	292.00	0.00	35.00	52.00	202.00	283.00	1250.00	4.00	0.68	4.20			
20	0901200010029	270.54	358.00	350.00	8.00	30.00	77.00	251.00	353.00	1351.00	14.00	0.74	3.80			
21	0900800010006	304.79	919.00	914.00	5.00	112.00	206.00	597.00	917.00	3596.00	16.00	0.70	3.91			
22	0901300010092	337.85	38.00	38.00	0.00	3.00	7.00	27.00	38.00	175.00	1.00	0.78	4.61			

Figura 16 Esquema de la base de datos creada con las variables explicativas. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

La información censal está contenida en Áreas Geostadísticas Básicas y manzanas, las primeras no coinciden con la delimitación de las colonias, que son la unidad de análisis de esta investigación; por esta razón, fue necesario agregar todos estos datos a partir de los resultados disponibles a nivel de manzana urbana, de acuerdo con los siguientes pasos:

1. Se descargó del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) del INEGI, la capa de 63,151 manzanas urbanas con su información correspondiente. Se utilizó el *software* libre QGIS 2.14.0, en donde se abrió este archivo en formato *shape file* y se obtuvo el área de cada manzana en metros cuadrados
2. Se intersecaron las capas de las colonias de según la SEDUVI y las manzanas, con la finalidad de que cada una de ellas tuviera la clave de la colonia a la que pertenecen, con lo que quedó un total de 62,542, posteriormente se obtuvo el área de cada una de las manzanas
3. Se obtuvo la proporción del área de las manzanas localizadas en las colonias con respecto de la total, para detectar aquéllas que pertenecen a más de una colonia simultáneamente, por esta razón se quitaron 2,076 manzanas
4. De las 41 variables¹⁰ que se encuentran disponibles en el SCINCE, se seleccionaron las de Viviendas particulares habitadas, ocupantes en las viviendas, viviendas con uno, dos, tres o más cuartos, así como aquéllas con y sin toma de agua en su interior. Esta selección se hizo de acuerdo con la revisión de literatura que se expuso en la primera sección de este capítulo.
5. A la capa de 60,466 manzanas, que sólo se localizan en una sola colonia, se le quitaron aquellas que no cuentan con viviendas particulares, que fueron un total de 3,015.
6. De las 57,451 manzanas restantes, algunas presentan datos confidenciales, a las que se les tuvo que reducir en cantidad, por esta razón, cada una de las variables censales se restaron entre sí con respecto del total. Solamente en 4,942 manzanas no fue posible quitar los datos confidenciales.
7. Quedó un total 52,509 manzanas útiles para el análisis. Adicionalmente se utilizó otro producto del INEGI llamado *Infraestructura y características del entorno urbano*, que se descargó del sitio web: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/microdatos/default_urbano.aspx. Esta base de datos también se generó durante el evento censal y contiene otras dos variables de utilidad, las viviendas en departamento y las manzanas con árboles en sus lados. Fue necesario localizar las unidades espaciales que no cuentan con esta información, para eliminarlas; por lo que quedó un total de 52,425.
8. También se usó en este nivel de desagregación el valor del Índice de Desarrollo Social, que utiliza el Gobierno de la Ciudad de México y que fue descrito en la tercera sección del segundo capítulo. Esta información se descargó del sitio web <http://www.sideso.df.gob.mx/index.php?id=551>. Para agregar esta variable no fue necesario quitar más manzanas.
9. Dado que cada una de las 52,425 manzanas cuenta con la clave de la colonia en la que se localizan, se agregó toda esta información en una tabla dinámica de Excel, para mostrarla en las colonias y que fuera posible relacionarla con el uso doméstico de agua anual para el año 2010.
10. Una vez que quedó conformada toda la base de datos, se exportó *software* QGIS 2.14.0 para unirla con la capa *shape file* con las colonias según la SEDUVI. Se trabajó con un

¹⁰ La lista completa de variables censales está en el Anexo 1, después de la Bibliografía

total de 1,323 colonias de 1,509 y con 48,446 manzanas localizadas dentro del área de estudio. Los 187 polígonos que se excluyeron, corresponden a colonias con información incompleta, las que no se pudieron localizar y las zonas que no poseen usuarios domésticos, por ejemplo el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, entre otros.

Retomando el tipo de análisis y de modelación que Billings y Jones (2008) nombran como cruce de datos por tipo de demanda, es posible apreciar que los estudios revisados en los apartados anteriores pertenecen a este forma de estudio. Una ventaja que tienen las publicaciones de Zhang y Brown (2005), Domene y Saurí (2006), Wentz y Gober (2007), Fox et al. (2009), Chang, et al. (2010), Shandas y Parandvash (2010), y Turner e Ibes (2011) es que cuentan con datos de demanda por tipo de vivienda, algo que no se tiene para el caso de la Ciudad de México, por lo que el análisis que se presenta en esta investigación es de tipo exploratorio y tiene como objetivo determinar las variables que mejor explican la demanda por uso doméstico de agua.

Se llevaron a cabo dos análisis cuyas metodologías se describen en los siguientes apartados. Uno correspondió al periodo 2008-2012, en el que se evaluó el comportamiento bimestral de la demanda, así como su relación con una de la fuentes de las que se abastece de agua la ciudad, que es el Sistema Cutzamala. Las tendencias bimestrales también fueron analizadas espacialmente como proporciones promedio con respecto del total para el periodo de estudio, en cada una de las unidades espaciales, como lo proponen Billings y Jones (2008).

El segundo análisis abordó los factores explicativos de la demanda por uso doméstico de agua, según la ecuación que se expone en Billings y Jones (2008), la cual se aplicó para la demanda en términos brutos, como metros cúbicos anuales, y froma *per cápita* como litros por habitante al día. Se hizo la comparación de tres modelos para determinar las variables que mejor la explican: (1) una regresión lineal múltiple, (2) el modelo de *Spatial Lag* y (3) el de *Spatial Error*, estos dos últimos son espacialmente explícitos. En este caso el inventario de información utilizado corresponde al año 2010 en 1,323 colonias.

En estos análisis se midió la autocorrelación espacial, con el cálculo de la I de Moran para determinar la presencia de patrones espaciales, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{n \sum_i (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})}{(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde n representa el número de unidades espaciales, x_i el valor de la unidad espacial i , x_j es el valor de la variable en la locación contigua, $\bar{x}$ es la media de la variable y w_{ij} es la ponderación que indica la contigüidad espacial entre las unidades i - j (Buzai y Baxendale, 2012).

Para medir la autocorrelación, es necesario capturar los pares de localizaciones dentro de una matriz espacial, con la que se ponderan los valores que contiene cada unidad. Un concepto relevante para este tipo de análisis es el de adyacencia, que ocurre cuando dos polígonos comparten bordes entre sí o también se le puede plantear en función de la distancia fija entre dos unidades. El uso de esta relación es la que hace especial al análisis de tipo espacial (O'Sullivan y Unwin, 2010).

La composición de la matriz para ponderar los datos, está estructurada de la siguiente manera: la primera fila contiene la relación entre la primera localización y el resto, en tanto que el valor

que está en la primera fila y la segunda columna, contiene la relación entre la primera y la segunda unidad y así sucesivamente. La manera más sencilla de representar la vecindad de forma binaria, es mediante la asignación del valor de 1 cuando la hay, y el de cero en caso contrario; es así como se puede abordar de dos maneras, el caso de *Rook*, que considera adyacentes aquellos polígonos que comparten un borde, mientras que en el caso de *Queen*, sólo es necesario que comparta una esquina o vertex (O'Sullivan y Unwin, 2010). Ambos ejemplos se muestran en la Figura 17.

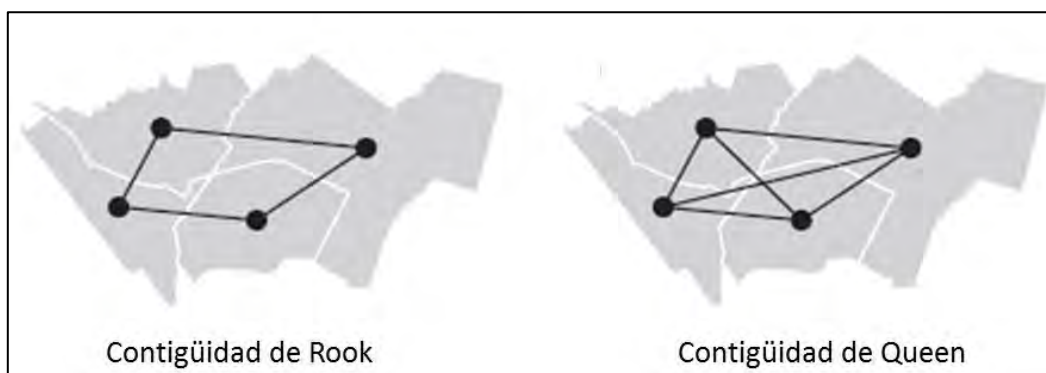


Figura 17 Contigüidades según los criterios de Rook y Queen. [Fuente: O'Sullivan y Unwin, 2010:201]

Para todos los análisis de autocorrelación espacial que se hicieron de la demanda por uso doméstico, así como la creación de las matrices espaciales que se utilizaron en los modelos de *Spatial Lag* y *Spatial Error*, en las colonias de la Ciudad de México, se utilizó el criterio de *Queen* con un orden de contigüidad entre los polígonos. Todos estos procedimientos se llevaron a cabo en el *software* GeoDa 1.16.0. Con estos análisis se buscó determinar la existencia de patrones espaciales en las áreas de análisis, para saber qué tan inusual puede resultar su ocurrencia.

3.2.1 Análisis temporal de la demanda por uso doméstico de agua en base bimestral

El área de estudio se delimitó en función de las colonias que contaron con datos bimestrales completos para el periodo de 2008 a 2012; por esta razón se incluyeron 1,228 polígonos de los 1,509 originales de la capa *shape file* aportada por la SEDUVI. De igual manera, se excluyeron los sitios donde no hay usuarios domésticos.

Se realizaron dos análisis de varianza de un factor, el primero correspondió a la demanda por uso doméstico bimestral para toda la ciudad, agregada de forma anual en metros cúbicos por segundo, con el fin de detectar si algún año fue diferente con respecto al resto, durante el periodo de 2008 a 2012. En el segundo se incorporó la cantidad de agua almacenada en el Sistema Cutzamala, en una base bimestral, que se obtuvo a través del portal de transparencia de la Comisión Nacional del Agua; en este caso se sumaron los valores de las tres prese que componen el sistema y estas cantidades se expresaron como metros cúbicos por segundo.

En ambos casos se realizó la prueba de *Tukey* para determinar los años que resultaron significativamente diferentes. El procedimiento que se realizó, consistió en restar las medias de cada uno de los grupos por pares, las cuales se pusieron en una matriz para ambos análisis de ANOVA. Posteriormente se compararon con el valor honestamente significativo para la prueba,

calculado para un 95% de probabilidad. Los casos en los que, el resultado de la resta por pares fue mayor que el referencia de la prueba, se determinaron como significativamente diferentes.

Se realizó un análisis de regresión lineal para relacionar la demanda por uso doméstico de agua, en base bimestral, con una de sus fuentes, el Sistema Cutzamala. Este procedimiento se realizó para abordar la relación entre el organismo operador y la vivienda, que según lo expone Krantz, (2012), es la más importante de todo el sistema socio-técnico. Otro punto importante, es que, como lo reportaron Jiménez et al. (2011), durante el año 2009 hubo disminución en los caudales disponibles para la Ciudad de México provenientes del Sistema Cutzamala, de ahí la importancia de conocer la medida en que están vinculados los procesos de demanda y de abasto. Estos métodos se siguieron están expuestos en Burt, et al. (2009).

House-Peters y Chang (2011) exponen que los factores climáticos tienen una influencia de tipo estacional en la demanda de agua urbana, en la cual los usos domésticos exteriores tienden a ser más sensibles a este tipo de cambios, en comparación con los usos interiores. Para conocer el efecto que tiene este fenómeno sobre la demanda, Billings y Jones (2008) exponen un método cuyo fin es calcular las proporciones típicas mensuales, con respecto al total anual en tendencias interanuales, de esta forma se tiene una aproximación robusta a los patrones estacionales.

Billings y Jones (2008) mencionan que estudiar este proceso local, de forma estacional, sirve para evaluar el impacto de las políticas y los programas del organismo operador en la demanda de agua. De forma complementaria, desde el punto de vista espacial, es posible ubicar las zonas de la ciudad en donde es conveniente aplicar las estrategias de conservación y el alcance de objetivos que tengan un impacto sistémico, así como lo argumentan Domene et al. (2005), al igual que Baumann et al. (1998).

Se necesita información de varios años desagregados de manera mensual, pero Billings y Jones, (2008) mencionan que las proporciones tienden a estabilizarse después de tres o cuatro años. El procedimiento que se describe en esta publicación, consiste en agrupar los datos en una tabla, donde las columnas corresponden a los años y las filas a los meses. Para calcular las proporciones, se divide la cantidad de agua utilizada en cada mes, entre el total para ese año correspondiente. Finalmente se obtiene el promedio para cada uno de los meses de todos los años bajo estudio. Este resultado se puede multiplicar por cien para obtener el porcentaje promedio que representa la demanda de agua mensual en el periodo de análisis.

La aplicación de este método para el caso de la capital mexicana, debe tener en cuenta las siguientes consideraciones, con respecto al tipo de información solicitada, así como de las características propias de la ciudad:

- El periodo de estudio corresponde a los años de 2008 al 2012, que está muy cercano al mínimo que mencionan Billings y Jones (2008), en que ocurre la estabilización de las proporciones mensuales.
- Los datos analizados son los registros del agua que utilizan los usuarios que cuentan con medidor, que son alrededor del 65% del total del padrón.
- La información solicitada se encuentra de manera bimestral y no mensual, sin embargo sirve como aproximación al comportamiento temporal del proceso.

Un punto importante es que el método presentado por Billings y Jones (2008) no incluye la dimensión espacial; sin embargo en esta investigación se utilizó este procedimientos para

calcular las proporciones de la demanda de agua en cada una de las colonias de la Ciudad de México, con respecto a su total anual. Después se obtuvo el promedio por cada una de las unidades espaciales, de forma bimestral, para el periodo de 2008 a 2012. Estos resultados se multiplicaron por cien, por lo que se construyó una base de datos con el porcentaje promedio que representa la demanda en cada uno de los seis bimestre por colonia, como se muestra en la Figura 18 en la siguiente página.

Las proporciones de la demanda se compararon con los datos de precipitación que aparecen en Comisión Nacional del Agua (2008:148), los cuales fueron puestos en base bimestral. Es necesario mencionar que la información presentada en esta publicación, proviene de *World Climate* y corresponde hasta junio de 2008, a la vez que no se especifica el total de años incluidos de análisis, por lo que, su inclusión en esta investigación es sólo sugestiva, ya que son necesarios datos de temperatura y precipitación, que pertenezcan al mismo periodo de estudio para establecer una relación entre los patrones espaciales de tipo estacional y estos factores ambientales.

CLAVE	BIM01	BIM02	BIM03	BIM04	BIM05	BIM06
0901200270001	23.422	15.375	16.644	14.304	16.193	14.063
0900901520001	11.451	14.096	16.680	29.043	15.393	13.338
0901200150001	24.215	20.766	18.024	14.982	10.284	11.725
0901300010076	15.535	14.748	14.215	17.051	19.076	19.376
0901200010138	33.639	9.935	26.598	7.453	9.767	12.608
0901000010019	13.405	14.507	15.652	20.367	17.388	16.682
0900900360001	16.154	17.089	19.081	17.046	16.436	14.195
0900500010221	15.754	16.572	16.722	13.851	18.122	18.979
0900900360002	17.062	17.347	17.812	16.544	16.263	14.972
0900700010215	17.818	17.775	18.405	18.742	17.817	9.443
0901000010004	16.084	16.442	16.546	16.769	16.962	17.197
0901100010085	17.773	17.682	17.372	17.375	15.966	13.832
0900900240001	16.995	17.273	17.925	17.742	16.136	13.930
0900500010132	18.657	19.727	18.672	14.799	14.097	14.048
0900700010077	17.145	16.465	15.684	15.711	17.669	17.327
0900700010226	18.910	19.052	19.972	13.623	12.257	16.185
0900700010225	16.748	17.505	18.198	17.474	15.169	14.906
0900900010002	22.151	14.959	17.783	16.573	15.493	13.042
0901300010126	17.278	17.718	18.024	17.009	14.812	15.158
0901300010085	16.889	19.137	17.432	16.457	14.480	15.605
0900900240002	16.198	17.211	17.155	17.547	16.487	15.402
0900900330001	17.767	17.356	17.508	16.269	15.637	15.463

Figura 18 Base de datos de las proporciones bimestrales de la demanda por uso doméstico de agua (2008-2012). [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

Se les hizo un análisis de varianza de un factor, como se plantea en Burt et al. (2009), con los datos de la demanda por uso doméstico de agua en forma de proporciones bimestrales del periodo 2008-2012. Se realizó este método para detectar diferencias significativas entre estos seis grupos; por lo que se planteó una hipótesis nula que sugiere que las medias grupales son iguales entre sí, en contraposición de la hipótesis alternativa, que sustenta la existencia de diferencias entre ellos. Se procedió a hacer la prueba de *Tukey* para comparar los valores resultantes de la diferencia entre las medias bimestrales, con respecto del valor de diferencia honestamente significativas calculado con la prueba.

Para incluir el comportamiento espacial de la demanda por uso doméstico como proporciones bimestrales, se unió esta información a la capa *shapefile* de las colonias, aportada por la SEDUVI. Posteriormente se utilizó el *software* GeoDa 1.16.0 para medir la autocorrelación espacial, mediante la I de Moran, de este proceso local. Se utilizó el procedimiento que se menciona en Buzai y Baxendale (2012). Los resultados fueron seis diagramas de dispersión, que muestran la magnitud de este índice y que aparecen en el Anexo 2. De igual manera, se realizó el análisis de LISA, con el que se generaron seis mapas que muestran la localización de valores agrupados espacialmente, cuyo ocurrencia está asociada a una probabilidad obtenida con una aleatorización 999 permutaciones.

Se comparó el porcentaje de colonias que presentaron patrones espaciales con la precipitación, según los datos expuestos en Comisión Nacional del Agua (2008:148). A pesar de la limitación que se mencionó en los párrafos anteriores, este procedimiento sirve para mostrar, al menos de manera visual, la relación entre este factor ambiental y la variación de la demanda en las colonias, con lo que se cubren las dimensiones espacial y temporal.

3.2.2 Análisis socio-espacial con factores explicativos para la demanda por uso doméstico de agua

El área con la que se trabajó el análisis de factores explicativos de la demanda por uso doméstico de agua para el año 2010, se conformó por 1,323 colonias en las que hubo información completa, se excluyeron los polígonos sin usuarios domésticos y los sitios que no pudieron ser ubicados. Esta cantidad también se delimitó en función de las 48,446 manzanas que contaron con información útil. Este análisis cuenta con tres características: (1) es de corto plazo porque sólo abarca un año de estudio; (2) es un análisis de cruce de datos, porque se utilizaron datos censales sobre las viviendas de la Ciudad de México para explicar la demanda por uso doméstico y (3) se presenta un análisis socio-espacial a nivel colonia.

La variable dependiente bajo estudio es la demanda por uso doméstico de agua, que se midió de dos formas, una en términos brutos como metros cúbicos anuales para el año 2010, según el inventario de información que aportó el SACMex y la otra de manera *per cápita* en litros por habitante al día (lt/hab/día). Esta forma de medición de la demanda, se obtuvo mediante la división de los datos brutos entre la población de cada una de las colonias y posteriormente se estandarizó entre los días del año. Cabe destacar que la información corresponde al 65% de usuarios domésticos que cuentan con medidor.

Dada la naturaleza exploratoria de este estudio, se escogieron nueve variables explicativas según la revisión de la literatura que se expuso en la primera sección de este capítulo, siguiendo la clasificación que se expone en March y Saurí (2009) de la siguiente forma:

- **Factores económicos:** incluye la medida del Índice de Desarrollo Social, que entre las variables que sintetiza está la capacidad de endeudamiento del hogar, a la vez que es útil como un acercamiento indirecto a la realidad socio-económica de las viviendas; de igual forma, en esta categoría están las viviendas que cuentan con una toma de agua en su interior, que sirve para abordar una dimensión de las tres que conforman el acceso al agua
- **Factores demográficos:** se contempló el tamaño del hogar promedio por colonia como un factor de hacinamiento que puede dar información sobre los sitios en los que hay poca gente y se utiliza mucha agua o por el contrario, que tenga lugar la situación de alto consumo y alto número de personas por vivienda. Por otro lado, el hacinamiento

se puede abodar desde el número de cuartos en las viviendas, como lo hicieron Fox, et al. (2009) en el Reino Unido

- **Factores urbanos:** se incluyó la variable de manzanas con árboles en sus lados por colonia, así como las viviendas en departamento y unifamiliares, con la finalidad de abordar el debate sobre la ciudad dispersa y la compacta

Como fuentes de información, se utilizaron los resultados del Censo de Población y Vivienda a nivel manzana, disponibles en el SCINCE y en el sitio web del INEGI, así como la medición del Índice de Desarrollo Social, descargable del sitio web de EvaluaDF, en esta misma unidad espacial. A continuación, en la Tabla 19 aparece el listado de las nueve variables independientes seleccionadas para explicar la demanda por uso doméstico de agua en las colonias de la Ciudad de México.

Tabla 19 Medición de las variables independientes seleccionadas

Clave de la Variable	Variable	Forma de medición
VIVDEPTO	Viviendas particulares en departamento	Número de viviendas por colonia, según su agrupamiento. Estas variables se escogieron para captar el efecto de los modelos urbanos de ciudad densa y ciudad dispersa, de acuerdo con los argumentos de Alberti (1999), Domene y Saurí (2003), Domene, et al. (2005) y Holden y Norland (2005)
VIVUNIF	Viviendas particulares unifamiliares	
VIV1CTO	Viviendas particulares con un cuarto	
VIV2CTOS	Viviendas particulares con dos cuartos	Número de viviendas por colonia, según la cantidad de cuartos que tiene cada una. Estas características se incorporaron para captar el tamaño de las viviendas, retomando los ejemplos de, Wentz y Gober (2007), Fox et al. (2009), Chang et al. (2010) y Turner e Ibes (2011), aunque no se hizo la medición del tamaño de los lotes
VIV3CTOS	Viviendas particulares con tres cuartos o más	
VIVCTA	Viviendas particulares con toma de agua al interior	Número de viviendas por colonia que cuentan con una toma de agua en su interior. La importancia de medir esta variable, radica en tener acercamiento a la situación de acceso al agua
MZAR	Manzanas con árboles y plantas de ornato	Número de manzanas por colonia que tienen árboles en todos sus lados o en alguna de las vialidades que las rodean. Se agregó esta variable para describir una característica urbana en la unidad de análisis, además de las viviendas, como se sugiere en (Shandas y Parandvash (2010)
THOG	Tamaño del hogar	Número de personas por vivienda en promedio, agrupadas por colonia. Es un factor demográfico que también se midió en Domene y Saurí (2006) y en Wentz y Gober (2007)
IDS	Índice de Desarrollo Social	Valor promedio del Índice por colonia. Se incluyó esta medición por su carácter sintético de tipo socio-económica y también porque es un pilar de la integración entre las políticas sociales e hídricas de la ciudad

[Fuente: Elaboración propia, con base en Alberti (1999), Domene y Saurí (2003), Domene et al. (2005), Holden y Norland (2005), Domene y Saurí (2006), Wentz y Gober (2007), Fox et al. (2009), Chang et al. (2010), Shandas y Parandvash (2010) y Turner e Ibes, (2011)]

Con respecto a estas variables independientes, es necesario mencionar que según el marco conceptual del Censo de Población y Vivienda, las viviendas particulares son aquéllas en las que se constituye un hogar, a diferencia de las colectivas. Según la manera en que están agrupadas, hay siete categorías que son: casa independiente, en edificio o departamento, en vecindad, en cuarto de azotea, en local no construido para habitación, vivienda móvil y refugio (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011).

De todas éstas, en el SCINCE están disponibles el total de viviendas particulares y las que están en departamento, por lo que, las viviendas unifamiliares, se obtuvieron de restar el total de

viviendas menos las que están en departamento. En cuanto a la medición del número de cuartos, se menciona que su inclusión para el evento censal, se hizo porque brinda una aproximación a las actividades y funciones domésticas, además de que permite estimar la densidad habitacional. En este contexto, el cuarto queda definido como un espacio delimitado por paredes fijas, indistintamente del material del que esté construido, en donde se realizan actividades cotidianas y no se consideran los baños ni pasillos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011).

La medición de las viviendas que cuentan con una toma en su interior, tiene como fin evidenciar las condiciones de salubridad y calidad de vida de la población, ya que su carencia constituye una situación de riesgo para la salud de la población. Esta información también es utilizada por los organismos operadores para estimar la cobertura de los servicios hidráulicos y así sustentar programas para la dotación de infraestructura. Adicionalmente, se mide la regularidad con que se dispone de agua dentro de la vivienda, sin embargo esta variable no está disponible en el SCINCE (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011).

Con la información publicada en *“Resultados sobre la infraestructura y características del entorno urbano”*, el INEGI contabilizó una serie de atributos para clasificar las manzanas, entre ellos está la presencia de árboles y plantas de ornato cuando: se encuentran en todas las vialidades, en alguna de ellas, en ninguna, no especificado y conjunto habitacional¹¹. Para incluir este aspecto en los modelos explicativos, se sumaron las dos primeras categorías con el fin de contar el número de manzanas que tienen esta característica, la cual es útil para tomar en cuenta dado que en la ciudad ocurre el hábito de regar la vegetación con agua proveniente del interior de la vivienda.

El tamaño del hogar promedio se obtuvo al dividir los ocupantes en viviendas particulares, entre el total de éstas a nivel manzana, posteriormente se promediaron los resultados por manzana a nivel colonia. Se procedió de manera similar con el Índice de Desarrollo Social, cuyo cálculo para el año 2010, lo realizaron y publicaron Sánchez et al. (2011), con la información disponible en el Censo de Población y Vivienda de 2005, a cargo del INEGI. El objetivo de esta medición, es para sintetizar varios aspectos que atañen al desarrollo social, a cargo del gobierno local. La base de datos de los factores explicativos y la variable dependiente, se conjuntó en el *software* QGIS 2.14.0, como se muestra en la Figura 19.

El modelo que se utilizó para explicar la demanda por uso doméstico de agua en la Ciudad de México, fue el propuesto por Billings y Jones (2008), que consiste en una ecuación de regresión logarítmica de las variables, se aplicó para ambos casos, en términos brutos y *per cápita*:

$$\ln(Q_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(X_1) + \beta_2 \ln(X_2) + \beta_3 \ln(X_3) + \beta_4 \ln(X_4) + \beta_5 \ln(X_5)$$

La ecuación que muestran Billings y Jones (2008:258), corresponde a un ejemplo donde se muestra su aplicación en un caso particular, por lo que en lugar de X se pone el nombre de las variables que se midieron. En esta investigación se apunta la forma general de la ecuación con base en la que se encuentra en la página 254, de la misma publicación, pero en su forma logarítmica. Este cambio, según los autores, se hace cuando hay distribuciones sesgadas y sirve para minimizar el efecto multiplicativo, por esta razón, todos los datos de la Ciudad de México se transformaron a esta base para ambos casos.

¹¹ Esta categoría corresponde con las unidades habitacionales, como se puede observar en el sitio web: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/> del INEGI, cuando se utiliza un nivel de zoom de 14

Burt et al. (2009), mencionan que el total de combinaciones que se pueden hacer entre las variables explicativas está dado por 2^k , por lo que en este caso hay un total de 512 posibilidades. Se llevó a cabo una regresión *stepwise*, la cual, según estos autores, se utiliza para determinar la relación más fuerte entre los factores explicativos que se estudian, pero que en ocasiones su elección queda basada en el sustento teórico del tema. Este procedimiento se aplicó a las nueve variables presentadas en la Tabla 19 para estudiar las más útiles.

area_estudio_in: Objetos totales: 1323, filtrados: 1323, seleccionados: 0

	CVEASEN	GEOGRAFICO	FECHAACT	GEOMETRIA	NOMASEN	ANUAL2010	TUPM	VIVUNF	VIVDEPTO	VIVICTO	VIVACTOS	VIV3CTOS	VIVCTA
1	0900300010214	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	ZONA ESCOLAR	13.05799	8.18535	8.09132	5.77455	5.39816	6.30079	7.94307	8.18804
2	0900300010210	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	VILLA HERMOZA	10.52675	5.02995	5.02000	1.09061	2.70805	4.02535	5.50725	5.01711
3	0901300010018	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	SAN MARCOS	11.50322	7.16935	7.08339	4.87283	4.06044	4.97673	6.99485	7.16007
4	0901300010010	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	SAN PEDRO	10.85679	6.31355	6.15608	4.38203	3.61052	4.02535	6.12905	6.30810
5	0901000010147	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	MERCEDES GÓMEZ	12.56824	7.71244	7.16781	6.84482	4.17439	5.33754	7.57907	7.70391
6	0901300010010	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	LA GUADALUPE	10.46407	5.81064	5.83481	0.69315	3.66356	3.58352	5.57973	5.82305
7	0901300010011	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	EL ROSARIO	9.34232	5.15329	5.04343	2.89037	2.56495	3.25810	4.89784	5.14749
8	0901300010012	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	SAN ANTONIO	10.67671	6.07074	6.01127	3.21888	3.33220	4.09434	5.84354	6.06146
9	0901300010013	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	SAN CRISTÓBAL	10.87996	6.50578	6.50429	0.00000	4.15888	4.39445	6.23383	6.48768
10	0901300010014	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	SAN DIEGO	10.31399	5.78383	5.77455	1.09861	2.56495	3.63799	5.61313	5.76519
11	0901300010015	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	SAN ESTEBAN	10.59451	5.95842	5.95842	0.00000	2.62906	3.49651	5.82008	5.94942
12	0901300010016	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	SAN JUAN	11.10316	6.10702	6.09582	1.60944	3.46574	3.95124	5.89990	6.10479
13	0901300010017	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	SAN LORENZO	9.74762	6.18415	6.16752	2.07944	4.26268	4.45435	5.70690	6.16121
14	0901400010022	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	INDEPENDENCIA	12.57052	8.03560	6.91473	7.64108	3.68858	5.34711	7.94556	8.02126
15	0901400010023	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	INGURGENTES M...	12.30025	7.30317	5.74300	7.06732	3.17905	4.41084	7.22548	7.29777
16	0901400010020	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	GENERAL PEDRO	12.30928	7.63530	6.18826	7.36708	3.55535	3.68888	7.59589	7.62754
17	0901400010026	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	JOSÉFA ORTIZ D...	10.67070	6.05209	4.89704	5.67322	3.43299	3.13549	5.08322	5.91090
18	0901400010027	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	LETRÁN VALLE	12.99394	7.96137	7.06133	7.49956	3.76120	4.61512	7.90802	7.95050
19	0901400010024	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	INGURGENTES S...	11.09219	5.43908	5.24175	3.71257	0.00000	1.79176	5.41165	5.42052
20	0901400010025	ASENTAMIENTO	12/20/10	ÁREA	ITZACCHILITL	11.48442	6.77651	6.15060	6.01127	2.56485	3.33220	6.72383	6.76619

Mostrar todos los objetos especiales

Figura 19 Base de datos de los factores explicativos para la demanda por uso doméstico de agua en el año 2010. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

Se midió la autocorrelación espacial univariada, según lo mencionan Buzai y Baxendale (2012), de la variable dependiente en sus dos formas. Se procedió de igual manera con las variables independiente seleccionadas según los resultados de la regresión *stepwise*. En todos los casos se hizo el análisis de LISA correspondiente, para localizar la agrupación de los valores altos y bajos en la dimensión espacial.

El proceso local de demanda por uso doméstico de agua, se analizó en su forma bruta y *per cápita*, a través de tres modelos. El primero que se realizó fue el de regresión lineal múltiple, que en este caso sus observaciones corresponden a cada una de las unidades espaciales analizadas. Por otro lado, los otros dos modelos utilizados, incluyen la dimensión espacial de manera explícita y son el *Spatial Lag* y de *Spatial Error*. Estos tres se compararon entre sí, de manera similar a como se hizo en Chang et al. (2010). Se utilizaron las mediciones que se mencionan en Aselin (2005), y que se exponen en esta sección, para determinar el modelo que presenta mejor ajuste en el estudio de la demanda por uso doméstico de agua.

Buzai y Baxendale (2012) mencionan que la regresión lineal múltiple tiene como objetivo explicar un fenómeno a partir de un conjunto de variables independientes, por lo que es un modelo causal-estructural, que describe aspectos esenciales de la manera en que se comporta el mundo. Estos autores, así como Billings y Jones (2008) exponen que la información de diagnóstico, con la que se evalúa una regresión está dada por:

- **Valor de F:** indica la significatividad del modelo en su generalidad
- **El estadístico t:** muestra los coeficientes significativos según un umbral de probabilidad
- **Valor de R²:** muestra el porcentaje de explicación de la varianza, debida a los factores incluidos en el modelo
- **Error estándar:** es la diferencia que hay entre las predicciones generadas por la regresión y las observaciones que se analizan

El modelo de regresión lineal múltiple, de acuerdo con Buzai y Baxendale (2012) cuenta con los siguientes supuestos:

- **Exactitud en las mediciones:** se considera que las mediciones están exentas de error, por lo que es posible medir los residuos en el sentido del eje Y
- **Normalidad de residuos:** la diferencia que hay entre las mediciones tomadas para la variable dependiente, con respecto a una posición en la independiente, formarán una distribución normal
- **Homocedasticidad:** las varianzas de las distribuciones deben ser iguales para la relación entre variables
- **Aleatoriedad espacial de residuos:** la representación cartográfica de los residuos no debe presentar autocorrelación espacial
- **Multicolinealidad:** las variables independientes no deben tener altas correlaciones entre ellas. Según Aselin (2005), esta medición debe estar por debajo de 30

La ecuación de la regresión lineal múltiple está dada para el análisis de demanda doméstica de agua, según Billings y Jones (2008:254) como:

$$Q = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + E$$

En este caso, la Q es la cantidad de agua utilizada en un periodo de tiempo; β_0 es la constante del modelo; en tanto que $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ son las constantes de los coeficientes y X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 son las variables independientes. Finalmente el término E es el error residual del estimado. Este modelo representa una relación estrictamente lineal, además de que su aparición en la publicación de Billings y Jones (2008) se da para toda una ciudad en general; en esta investigación se aplica esta ecuación para cada una de las unidades espaciales bajo estudio, que fungen como observaciones y se interpreta en su generalidad.

De forma exploratoria, se utilizó una matriz espacial de ponderaciones creada con el criterio de *Queen*, con un orden espacial de contigüidad, para llevar a cabo los modelos de *Spatial Lag* y de *Spatial Error*, así como en los análisis de *Local Indicators of Spatial Association* (LISA) para medir las autocorrelaciones espaciales bivariadas entre la variable dependiente y las independientes que se analizaron con estos tres modelos.

Un punto importante que resaltan Burt et al. (2009), es que la presencia de la autocorrelación espacial, que indica la relación de una variable en una localización en particular con respecto de sus vecinas, genera violación a algunos supuestos clave de la regresión, por ejemplo que las observaciones sean independientes; en consecuencia los errores están correlacionados, lo que genera sesgo e ineficiencia en la estimación de los coeficientes. Para abordar esta situación, la autocorrelación espacial puede ser incluida en la ecuación de la regresión de dos formas generales, mediante los modelos de *Spatial Lag* y de *Spatial Error*.

El modelo de *Spatial Lag*, para incluir la variación de la intensidad de un fenómeno bajo estudio en el espacio, captura la autocorrelación espacial a través de agregar una variable independiente,

la cual es un *spatial lag* de la variable X en la localización i , que se define como el valor promedio que tiene X en las localizaciones j que son vecinas al área i . Este modelo multilíneal sólo puede utilizarse con las contigüidades de *Rook* y de *Queen*, en tanto que la ecuación resultante se describe de la siguiente manera (Aselin, 2005; Burt et al., 2009):

$$y = X\beta + \rho Wy + \varepsilon$$

Para este caso y es el vector de observaciones en la variable dependiente, W es la matriz espacial, según el tipo de contigüidad en cuestión, en tanto que el término ρ es el coeficiente parcial de regresión para la variable de *spatial lag*. La X son las variables bajo estudio y el término ε es el error. Tanto β como ρ son parámetros (Aselin, 2005; Burt et al., 2009).

En cuanto al modelo de *Spatial Error*, se utiliza cuando los errores de un modelo de regresión lineal múltiple muestran autocorrelación espacial, esto resulta de la influencia de variables que están ausentes del análisis en cuestión y que pueden tener efecto sobre la que se está estudiando. El modelo se enuncia de la siguiente manera (Aselin, 2005; Burt et al., 2009):

$$y = X\beta + \varepsilon \text{ con } \varepsilon = \lambda W\varepsilon + U$$

En donde y es el vector de observaciones en la variable dependiente, W es la matriz que contiene las ponderaciones espaciales y X la de las observaciones de las variables explicativas de las observaciones. Por su parte λ es un vector de los errores espacialmente autocorrelacionados; mientras que el U es un vector de errores que cuenta con los supuestos de las propiedades normales, en tanto que β y ρ son parámetros (Aselin, 2005; Burt et al., 2009).

Para los tres casos se ocuparon los datos en su base logarítmica como lo sugieren Billings y Jones (2008), para minimizar el efecto multiplicativo, tanto en términos de demanda por uso doméstico bruta como *per cápita*. En Aselin (2005) se menciona que el cálculo de la R^2 , en los modelos que incluyen la dimensión espacial, se trata de una *pseudo- R^2* que no es directamente comparable con la de la regresión lineal múltiple, por lo que, se utilizan tres medidas de ajuste que son: *log-likelihood*, *Akaike information criterion* y *Schwarz criterion*. Para el caso de la primera, entre más grande sea el número, el modelo tiene mejor ajuste, mientras que en las otras dos se busca lo opuesto. Estos análisis se llevaron a cabo con el software *GeoDa 1.6.0*.

Una vez obtenidos los resultados de los tres modelos, se midió la I de Moran en forma univariada, de los residuales generados por los tres modelos con el fin de determinar su ajuste espacial, este procedimiento se menciona en Aselin (2005). En el siguiente capítulo se muestran los resultados de esta propuesta metodológica, que aborda la demanda por uso doméstico de agua, en términos espaciales, temporales y de una forma integral, que es el resultado de abordar variables propuestas desde la literatura internacional y cuya medición fue ajustada para el caso de la Ciudad de México.

Capítulo 4. Análisis y resultados

4.1 Resultados del análisis temporal de la demanda por uso doméstico de agua en base bimestral

En esta sección se muestran los resultados del análisis en la dimensión temporal y espacial de la demanda por uso doméstico de agua. En el primero está el análisis temporal para toda la Ciudad de México y para el Sistema Cutzamala, sin incluir el componente espacial; está compuesto por dos análisis de varianza y uno de regresión lineal. En el segundo se aborda la demanda a nivel colonia, como proporciones bimestrales con respecto del promedio anual para el periodo 2008-2012, el objetivo con el que se procedió, fue para detectar patrones estacionales y su distribución espacial a nivel colonia.

En la Tabla 20 se muestran los datos descriptivos para la demanda por uso doméstico de agua en su forma bimestral en toda la ciudad, para el periodo 2008-2012. Los datos están expresados en metros cúbicos sobre segundo.

Tabla 20 Datos descriptivos de la demanda por uso doméstico de agua en forma bimestral 2008-2012. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

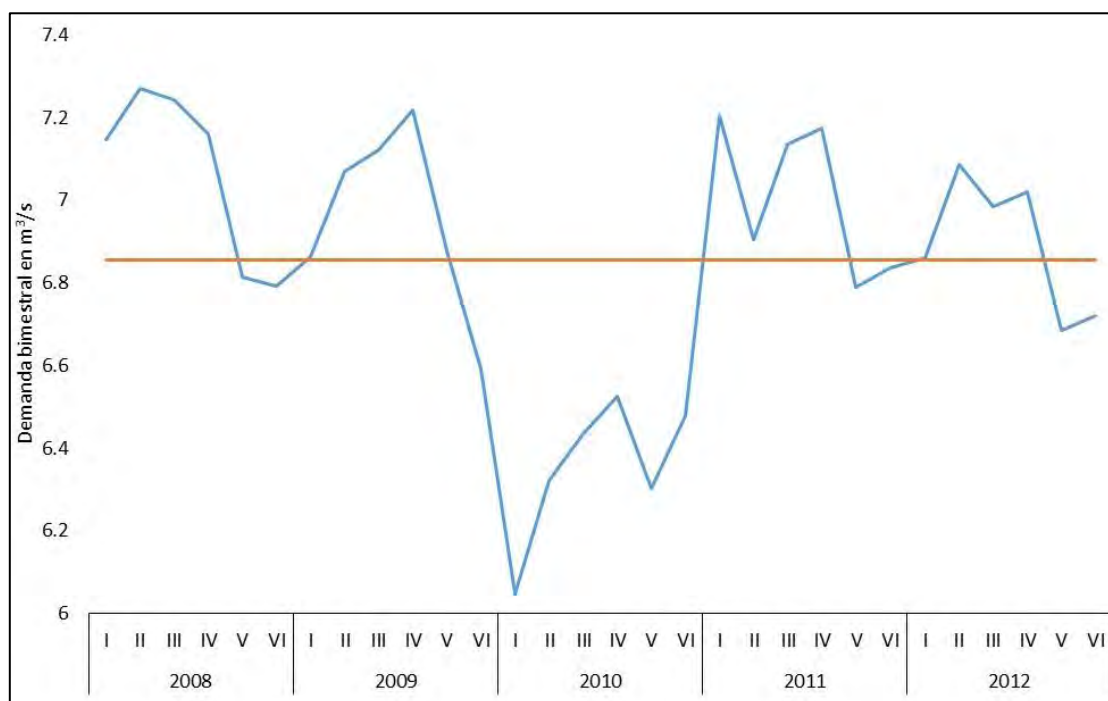
	2008	2009	2010	2011	2012
Primer bimestre	7.15	6.86	6.05	7.20	6.86
Segundo bimestre	7.27	7.07	6.32	6.91	7.09
Tercer bimestre	7.24	7.12	6.43	7.14	6.98
Cuarto bimestre	7.16	7.22	6.52	7.17	7.02
Quinto bimestre	6.81	6.88	6.30	6.79	6.68
Sexto bimestre	6.79	6.59	6.48	6.84	6.72
Promedio	7.07	6.96	6.35	7.01	6.89
Varianza	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03
Máximo	7.27	7.22	6.52	7.20	7.09
Mínimo	6.79	6.59	6.05	6.79	6.68

Algo que destaca de esta información, es que ningún bimestre se presenta un valor pico de demanda alta, mientras que los valores bajos ocurren al final y al principio del año. Estos datos se graficaron, como aparece en la Gráfica 15, que está en la siguiente página; en ella también está el promedio interbimestral del periodo, para analizar el comportamiento que presenta la demanda por uso doméstico de agua.

Destaca, como se aprecia en la Gráfica 15, que la demanda se redujo del cuarto bimestre del 2009 hasta el primero del 2010, cuando mostró su valor más bajo para todo el periodo; posteriormente va aumentando paulatinamente hasta el cuarto bimestre de este año y para el siguiente vuelve a bajar pero no de una manera estrepitosa. De este punto en adelante, la demanda va en aumento y durante el primer bimestre del 2011 se alcanzó un nivel similar al que tenía en el 2009. Cabe destacar que todas las observaciones del año 2010 están por debajo

del periodo interbimestral, en tanto que los valores altos no volvieron a alcanzar los mostrados en 2008, al principio del periodo.

A partir del comportamiento de estos datos se hizo un análisis de varianza de un factor, en donde los grupos correspondieron a los años y al interior de estos los bimestres. Se planteó un valor de α de 95%, para determinar la probabilidad con la que es posible rechazar o no la hipótesis nula, la cual plantea que entre las medias de los grupos y a su interior no se presentan diferencias significativas.



Gráfica 15 Comportamiento bimestral de la demanda por uso doméstico de la Ciudad de México para el periodo 2008-2012 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

En la Tabla 21, que aparece en la siguiente página, se muestran los resultados del análisis de varianza de un factor para la demanda por uso doméstico de agua en su forma bimestral, en ella se aprecia que el valor de F calculada (13.37) fue mayor que el de F crítica (2.76), en tanto que la probabilidad de ocurrencia es menor a 0.05. Con este resultado es posible rechazar la hipótesis nula, lo que indica la existencia de una diferencia significativa entre los grupos analizados.

Se realizó la prueba de *Tukey* para determinar cuál de los grupos es significativamente diferente del resto, para ello se calculó el promedio de cada uno y se restaron en pares; los resultados de este procedimiento se compararon con el del valor de la diferencia honestamente significativa que establece la prueba. La matriz que aparece en la Figura 20 en la siguiente página, muestra este resultado.

El valor de la diferencia honestamente significativa, mencionada en el párrafo anterior, fue de 0.1237; sirvió para comparar el resultado de la resta de los promedios en pares de cada uno de los grupos en cuestión. Aquéllos que fueron menores a esta referencia, se determinaron como

significativamente diferentes entre sí, con lo que se constató que los bimestres del año 2010 presentan diferencias significativas con un 95% de probabilidad. Es importante destacar que el periodo en que la demanda disminuyó, coincide con la reducción del suministro a la ciudad, en el año 2009, como consecuencia del descenso de agua proveniente del Sistema Cutzamala como se menciona en Jiménez et al. (2011).

Tabla 21 Resultados del análisis de varianza de la demanda por uso doméstico bimestral 2008-2012. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

Análisis de varianza de un factor de la demanda por uso doméstico bimestral 2008-2012						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
2008	6	42.43	7.07	0.05		
2009	6	41.75	6.96	0.05		
2010	6	38.11	6.35	0.03		
2011	6	42.05	7.01	0.03		
2012	6	41.36	6.89	0.03		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2.01	4	0.50	13.37	0.00000587	2.76
Dentro de los grupos	0.94	25	0.04			
Total	2.96	29				

	2008	2009	2010	2011	2012
2008		0.11	0.72	0.06	0.18
2009			0.61	-0.05	0.06
2010				-0.66	-0.54
2011					0.12
2012					

Figura 20 Prueba de Tukey para la demanda por uso doméstico bimestral 2008-2012. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

Para indagar sobre el efecto que tuvo la disminución de abasto para la Ciudad de México, se analizaron los datos de almacenamiento de agua, aportados por la CONAGUA, en las presas de El Bosque, Valle de Bravo y Villa Victoria que en su conjunto conforman el Sistema Cutzamala. Los datos descriptivos para esta fuente de agua, se exponen en la Tabla 22 en metros cúbicos sobre segundo.

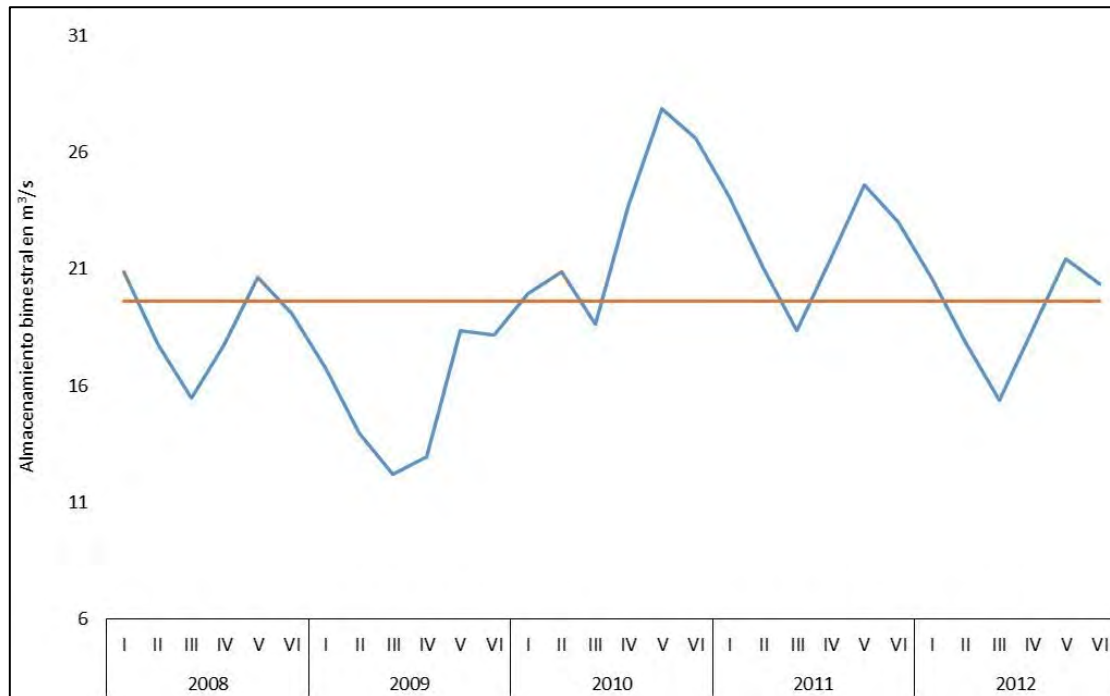
Se aprecia que durante el 2009, en todos sus bimestres, se redujo la cantidad de agua almacenada en comparación con el resto de los años, mientras que, del 2010 al 2011 es cuando se presentó un incremento de este volumen, de tal manera que en el quinto bimestre del 2010 es cuando hubo el mayor almacenamiento para todo el periodo estudiado. Cabe destacar que, salvo en el año 2008, en el resto la mayor cantidad de agua disponible tiene lugar en el quinto bimestre, en tanto que en el tercero es cuando hay menos volumen que puede ser utilizado.

Todos los bimestres del año 2009 se encuentran por debajo del promedio interbimestral, como se puede apreciar en la Gráfica 16, algo que es similar al comportamiento de la demanda de agua capitalina durante el año 2010. En Jiménez et al. (2011) se apunta que este fenómeno se debió a que disminuyó la precipitación en la zona del Sistema Cutzamala, por lo que hubo menos posibilidad para abastecer al año siguiente, a la Zona Metropolitana del Valle de México, así como a la ciudad de Toluca.

Tabla 22 Datos bimestrales de almacenamiento de agua en el Sistema Cutzamala 2008-2012.

[Fuente: Elaboración propia con datos aportados por la CONAGUA en la solicitud 1610100249514]

	2008	2009	2010	2011	2012
Primer bimestre	20.88	16.75	19.96	24.09	20.57
Segundo bimestre	17.80	13.98	20.85	21.04	17.86
Tercer bimestre	15.44	12.18	18.63	18.37	15.39
Cuarto bimestre	17.73	12.95	23.68	21.41	18.38
Quinto bimestre	20.65	18.35	27.87	24.58	21.45
Sexto bimestre	19.12	18.18	26.60	23.02	20.35
Promedio	18.60	15.40	22.93	22.09	19.00
Varianza	4.21	7.32	14.03	5.30	5.01
Máximo	20.88	18.35	27.87	24.58	21.45
Mínimo	15.44	12.18	18.63	18.37	15.39



Gráfica 16 Comportamiento bimestral del almacenamiento de agua en el Sistema Cutzamala, para el periodo 2008-2012 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por la CONAGUA en la solicitud 1610100249514]

El segundo análisis de varianza de un factor, tuvo como hipótesis nula que el almacenamiento de agua en el Sistema Cutzamala fue igual para todos los años. Nuevamente, los grupos que se establecieron fueron los años del 2008 al 2012 y a su interior se encontraron los bimestres correspondientes, el valor de α fue de 95%. En la Tabla 23 aparecen los resultados generados de este análisis.

El valor de la F calculada (7.59) resultó mayor que el de la F crítica (2.76), además de que la probabilidad de ocurrencia de este análisis es menor que el valor de 0.05 de α , por lo que se rechazó la hipótesis nula en virtud de la existencia de al menos un grupo que es significativamente diferente con respecto de los otros. De la misma forma que se hizo con la demanda por uso doméstico, se realizó la prueba de *Tukey* con un valor de diferencia honestamente significativa de 4.071, con éste se comparó la diferencia de los promedios grupales en parejas, como se muestra en la Figura 21. El almacenamiento registrado durante el año 2009 resultó ser diferente en comparación con el de los años 2010 y 2011.

Tabla 23 Resultados del análisis de varianza, almacenamiento bimestral en el Sistema Cutzamala.
[Fuente: Elaboración propia con datos aportados por la CONAGUA en la solicitud 1610100249514]

Análisis de varianza de un factor del agua almacenada en las presas del Sistema Cutzamala, por bimestre 2008-2012

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
2008	6	111.63	18.60	4.21
2009	6	92.39	15.40	7.32
2010	6	137.59	22.93	14.03
2011	6	132.51	22.09	5.30
2012	6	114.00	19.00	5.01

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	217.68	4	54.42	7.59	0.00038049	2.76
Dentro de los grupos	179.31	25	7.17			
Total	396.99	29				

	2008	2009	2010	2011	2012
2008		3.21	-4.33	-3.48	-0.40
2009			-7.53	-6.69	-3.60
2010				0.85	3.93
2011					3.09
2012					

Figura 21 Prueba de Tukey, almacenamiento bimestral de las presas del Sistema Cutzamala.
[Fuente: Elaboración propia con datos aportados por la CONAGUA en la solicitud 1610100249514]

Se llevó a cabo un análisis de regresión lineal para vincular los procesos de demanda y de abastecimiento, con el fin de evaluar la relación que existe entre la demanda, como variable dependiente, y una de las fuentes que abastece a la Ciudad de México. Por esta razón, el volumen almacenado en las presas que conforman el Sistema Cutzamala, fungió como variable

independiente, para así saber qué tanto explica la cantidad de agua disponible en relación con la utilizada, de forma bimestral en la ciudad. Se estableció un valor de α de 0.05 y se utilizaron los datos de ambos caudales como metros cúbicos por segundo. En la Tabla 24 se muestran los resultados de la regresión lineal.

Tabla 24 Resultados del análisis de regresión lineal, demanda bimestral-Sistema Cutzamala.

[Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913 y por la CONAGUA en la solicitud 1610100249514]

Resumen								
Estadísticas de la regresión								
Coefficiente de correlación múltiple	0.50							
Coefficiente de determinación R^2	0.25							
R^2 ajustado	0.22							
Error típico	0.28							
Observaciones	30							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	1	0.73	0.73	9.25	0.00507194			
Residuos	28	2.22	0.08					
Total	29	2.96						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	7.70	0.28	27.31	0.00	7.12	8.28	7.12	8.28
Almacenamiento	-0.04	0.01	-3.04	0.01	-0.07	-0.01	-0.07	-0.01

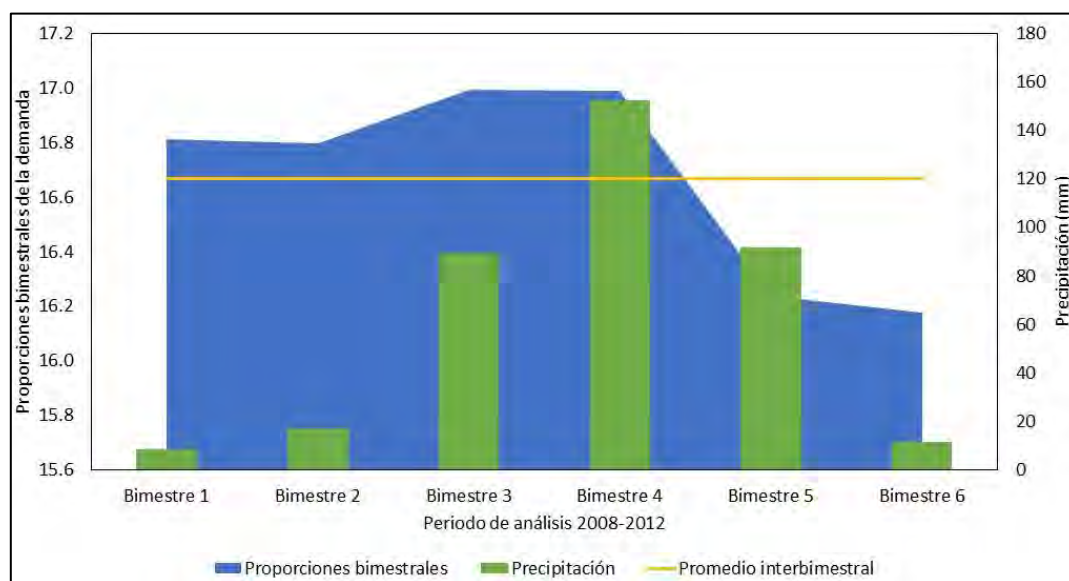
Se aprecia que el almacenamiento bimestral de agua, que proviene del Sistema Cutzamala, explica un 22% de la demanda bimestral por uso doméstico. Aunque este porcentaje no es muy grande, debe destacarse que sí es significativo, ya que el valor de F calculado (9.25) resultó mayor que el de F crítica, además de que la variable independiente también tuvo una probabilidad menor al valor de α , con lo que es significativa y su coeficiente presenta un signo negativo, lo que constituye un resultado esperado.

Con la metodología expuesta en Billings y Jones (2008) se estudió el comportamiento espacial de la demanda por uso doméstico de agua, a manera de proporciones con respecto de promedio anual para el periodo 2008-2012; el objetivo de este procedimiento es para abordar los patrones estacionales, de una manera robusta desde la comprensión de su distribución espacial. En la Tabla 25 están los datos descriptivos de las proporciones calculadas por bimestre para toda el área de estudio.

Tabla 25 Porcentaje promedio bimestral de demanda por uso doméstico. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

	Bimestre 01	Bimestre 02	Bimestre 03	Bimestre 04	Bimestre 05	Bimestre 06
Promedio	16.81	16.80	16.99	16.99	16.24	16.18
Mediana	16.58	16.88	16.99	17.03	16.30	16.17
Varianza	3.08	0.76	0.59	0.73	0.68	1.11
Máximo	50.00	27.66	26.60	29.04	20.41	23.38
Mínimo	11.45	9.93	10.44	7.45	9.35	8.96

Se observa que los promedios y las medianas de cada uno de los bimestres son muy similares, lo que sugiere que las distribuciones de los datos tienen un comportamiento simétrico, algo que se puede observar en los histogramas que se encuentran en el Anexo 2. En general los promedios bimestrales corresponden a que el uso doméstico representa 16% del total anual promedio para el periodo de 2008 a 2012. El valor máximo corresponde a la colonia Fuentes de Tepepan y el mínimo a San Miguel Xicalco, ambas en la delegación Tlalpan. La Gráfica 17 muestra la demanda en proporción en comparación con la precipitación, según los datos que aparecen en Comisión Nacional del Agua (2008).



Gráfica 17 Proporciones bimestrales promedio de la demanda por uso doméstico 2008-2012.

[Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913 y expuestos en Comisión Nacional del Agua, 2008]

El análisis de varianza de un factor, con las proporciones de la demanda por uso doméstico de agua, con respecto del promedio anual para el periodo 2008-2012, tuvo como resultado un valor de F calculada de 143.16, que es mayor en comparación con el de F crítica (2.22). La probabilidad de ocurrencia, de este último, fue menor que el α de 0.05, con lo que se rechazó la hipótesis nula en virtud de la existencia de diferencias significativas entre los grupos, como se aprecia en la Tabla 26.

Se realizó la prueba de *Tukey*, en la que se obtuvo un valor de diferencia honestamente significativa de 0.1237, con el que se comparó el resultado de la resta entre las medias de los bimestres. Los resultados aparecen en la Figura 22 en la siguiente página. En ella se muestra que el primer y el segundo bimestre son diferentes del tercero, cuarto, quinto y sexto. Por su parte, el tercero y el cuarto difieren del quinto y el sexto. Finalmente el quinto y sexto no son distintos entre sí.

Se midió autocorrelación espacial de la demanda como proporciones bimestrales en las colonias, dentro del ambiente del SIG, y se hizo el análisis de LISA para detectar patrones espaciales. Este índice mostró valores positivos para la I de Moran en todos los casos, lo que indica la existencia de agrupamientos de la demanda en el espacio. En todos los bimestres hubo valores de p menores a 0.05 y a 0.01 al realizar las aleatorizaciones correspondientes con 999 permutaciones,

este resultado muestra que los patrones encontrados no se deben al azar. Los diagramas de dispersión se pueden consultar en el Anexo 2.

Tabla 26 Resultados del análisis de varianza de las proporciones bimestrales. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

Análisis de varianza de un factor de las proporciones bimestrales de demanda, 2008-2012						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Bimestre 01	1228	20642.74	16.81	3.08		
Bimestre 02	1228	20624.71	16.80	0.76		
Bimestre 03	1228	20867.40	16.99	0.59		
Bimestre 04	1228	20863.34	16.99	0.73		
Bimestre 05	1228	19938.90	16.24	0.68		
Bimestre 06	1228	19862.91	16.18	1.11		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	828.15	5	165.63	143.16	2.0559E-145	2.22
Dentro de los grupos	8517.46	7362	1.16			
Total	9345.61	7367				

	Bimestre 01	Bimestre 02	Bimestre 03	Bimestre 04	Bimestre 05	Bimestre 06
Bimestre 01		0.01	-0.18	-0.18	0.57	0.64
Bimestre 02			-0.20	-0.19	0.56	0.62
Bimestre 03				0.00	0.76	0.82
Bimestre 04					0.75	0.81
Bimestre 05						0.06
Bimestre 06						

Figura 22 Prueba de Tukey para el análisis de las proporciones bimestrales. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

Como parte de los resultados del análisis de LISA para cada uno de los bimestres, se generaron los mapas correspondientes en los que se muestran los patrones de agrupamiento encontrados en cada caso. Es importante mencionar que, aquellos que aparecen en color rojo representan valores altos de la demanda por uso doméstico de agua en su forma proporcional, en tanto que, en color azul aparecen los valores bajos de este proceso local. Las categorías que están en rosa y en azul claro son aquellos valores que tienden a ser altos y bajos respectivamente. Las Figuras 23, 24, 25, 26, 27 y 28 se describen y aparecen las siguientes cuatro páginas.

En el caso del primer bimestre, cuyos resultados aparecen en la Figura 23, en la siguiente página, se observa un valor para la I de Moran de 0.08, que representa un patrón espacial de agrupamiento de valores, que tiene una magnitud muy baja, pero que es significativa. Del total de colonias estudiadas, el 15.31% presentan un patrón. Se destacan dos conjuntos de valores agrupados, un en la delegación Miguel Hidalgo y el otro en la delegación Iztapalapa. En el primer caso, corresponden a valores bajos, mientras que en el segundo son valores altos.

Para el segundo bimestre, mostrado en la Figura 24 en la página subsecuente, se presentó un aumento del valor de la I de Moran, que ascendió a 0.15, en tanto que el 19.79% de las colonias presentaron un patrón espacial. Destacan las colonias de la delegación Gustavo A. Madero con valores altos en color rojo, así como los que están al poniente de la delegación Iztapalapa,

mientras que al sur de esta delegación hay valores bajos, al igual que en el caso de las colonias de la delegación Miguel Hidalgo.

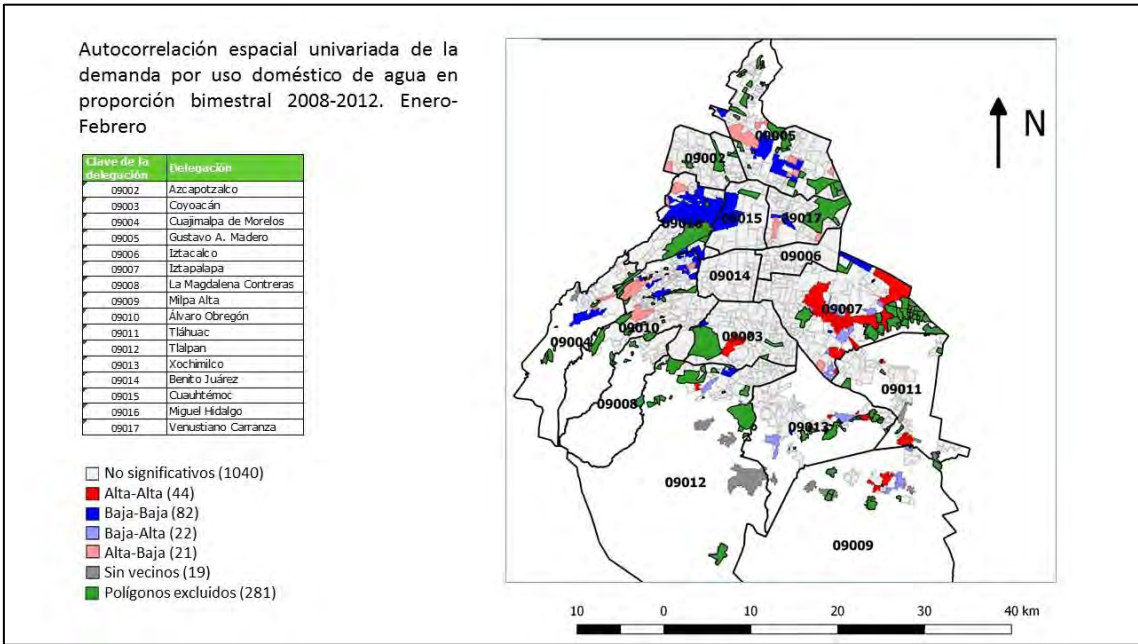


Figura 23 Distribución espacial de las proporciones de la demanda por uso doméstico para el primer bimestre (periodo 2008-2012). [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913]

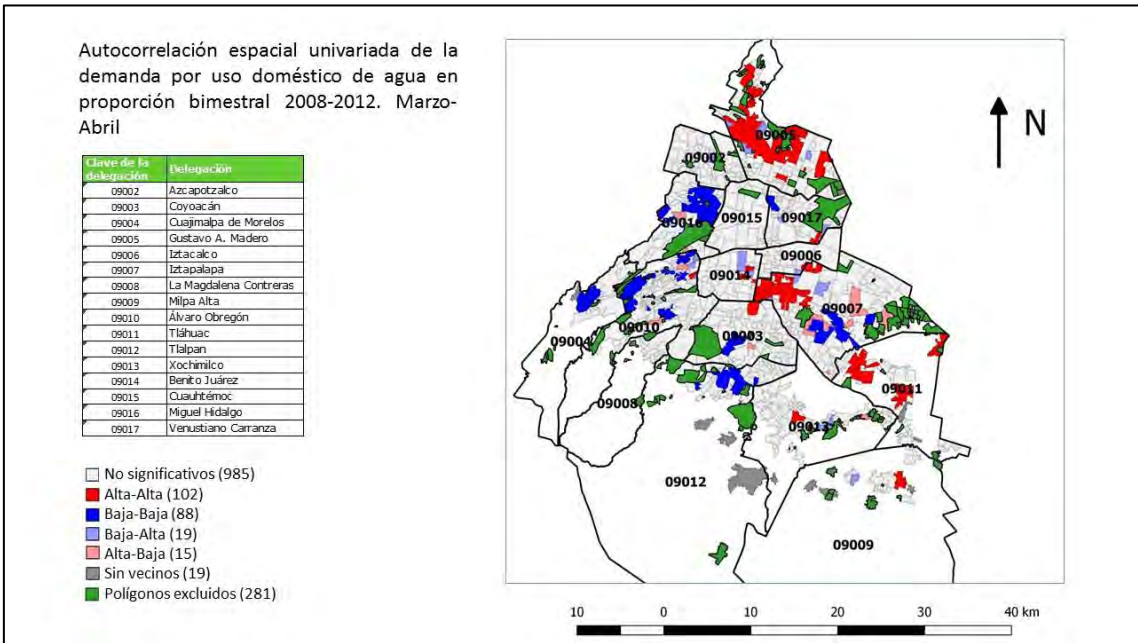


Figura 24 Distribución espacial de las proporciones de la demanda por uso doméstico para el segundo bimestre 2008-2012. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913]

En el tercer bimestre la I de Moran fue de 0.20, mayor que en los dos anteriores, al igual que el 21.25% de las colonias mostró patrón espacial, como se puede ver en la Figura 25, en la siguiente página. Aparecen valores altos en las colonias de las delegaciones Gustavo A. Madero, Tláhuac, Xochimilco, Milpa Alta y en menor medida Tlalpan y Coyoacán. En el caso de las colonias ubicadas en Miguel Hidalgo, Cuajimalpa y Álvaro Obregón, aparecen tanto valores altos como bajos, mientras que en Iztapalapa y Venustiano Carranza sólo se localizan valores bajos.

El cuarto bimestre, que se muestra en la Figura 26 en la siguiente página, tuvo un valor para la I de Moran de 0.12, lo que muestra un cambio con la tendencia que había presentado este índice en los bimestres anteriores, ya que iba en aumento. Por su parte, 14.74% de las colonias presentó un patrón espacial, lo que muestra un descenso en comparación el bimestre anterior. Resaltan los casos de las colonias en las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Miguel Hidalgo que presentaron valores altos, en tanto que los valores bajos se localizaron en Iztapalapa.

Para el quinto bimestre, que aparece en la Figura 27 en la página subsecuente, volvió a incrementarse el valor de la I de Moran a 0.22, así como el total de colonias con patrones, que en esta caso fue de 21.52%. Destacan los valores altos en la zona norte de la ciudad, en las delegaciones Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Gustavo A. Madero, mientras que en el sur se localizan los valores bajos. Es importante hacer énfasis en el caso de las colonias del sur de la delegación Miguel Hidalgo, que en los dos bimestres anteriores se habían caracterizados por valores altos y en este bimestre muestran valores bajos.

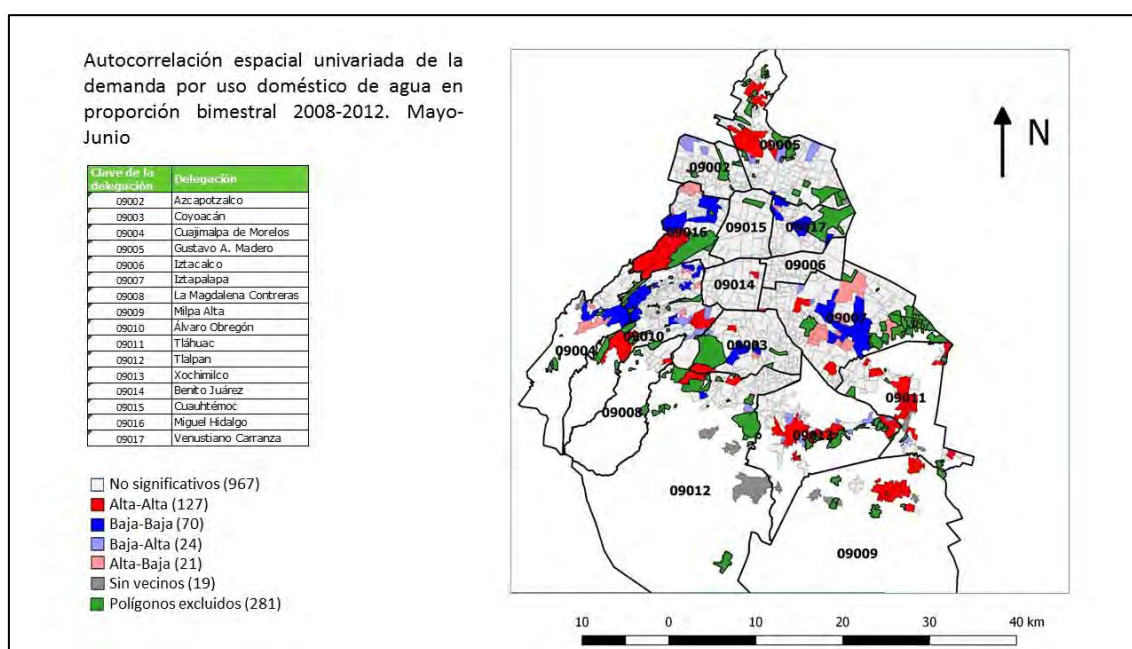


Figura 25 Distribución espacial de las proporciones de la demanda por uso doméstico para el tercer bimestre (periodo 2008-2012) [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

Finalmente, el sexto bimestre, que aparece en la Figura 28 dos páginas adelante, presentó el valor de I de Moran más alto, que fue de 0.26, en tanto que las colonias que presentaron un patrón espacial fue de 18.81%. Destacan los valores altos en la zona poniente de la ciudad,

principalmente en la delegación Miguel Hidalgo, que coincide con el mismo sitio que durante el primer bimestre tuvo valores bajos. De la misma forma, aparecen valores altos en las delegaciones Cuauhtémoc y Álvaro Obregón. Por su parte, en el oriente, en las delegaciones Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta, a parecen valores bajos de demanda.

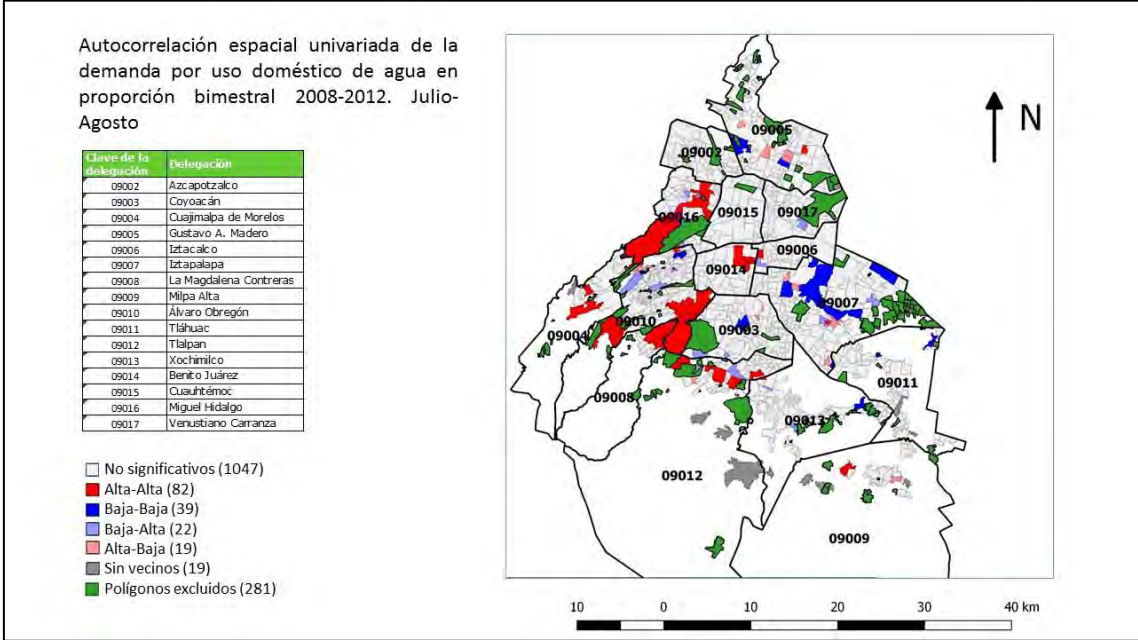


Figura 26 Distribución espacial de las proporciones de la demanda por uso doméstico para el cuarto bimestre (periodo 2008-2012) [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

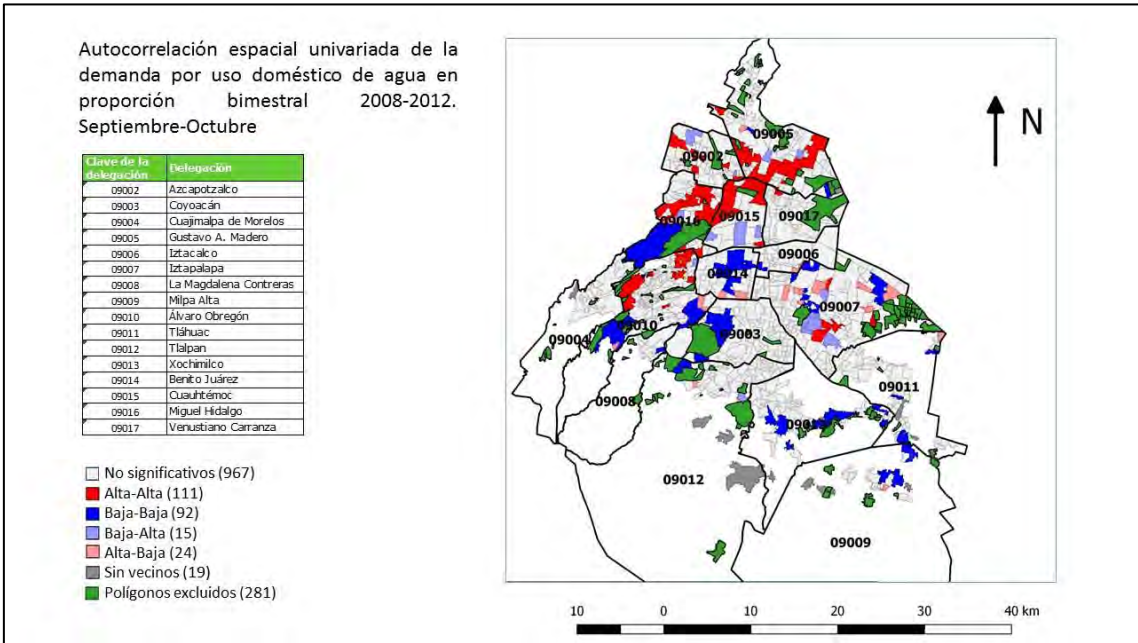


Figura 27 Distribución espacial de las proporciones de la demanda por uso doméstico para el quinto bimestre (periodo 2008-2012) [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

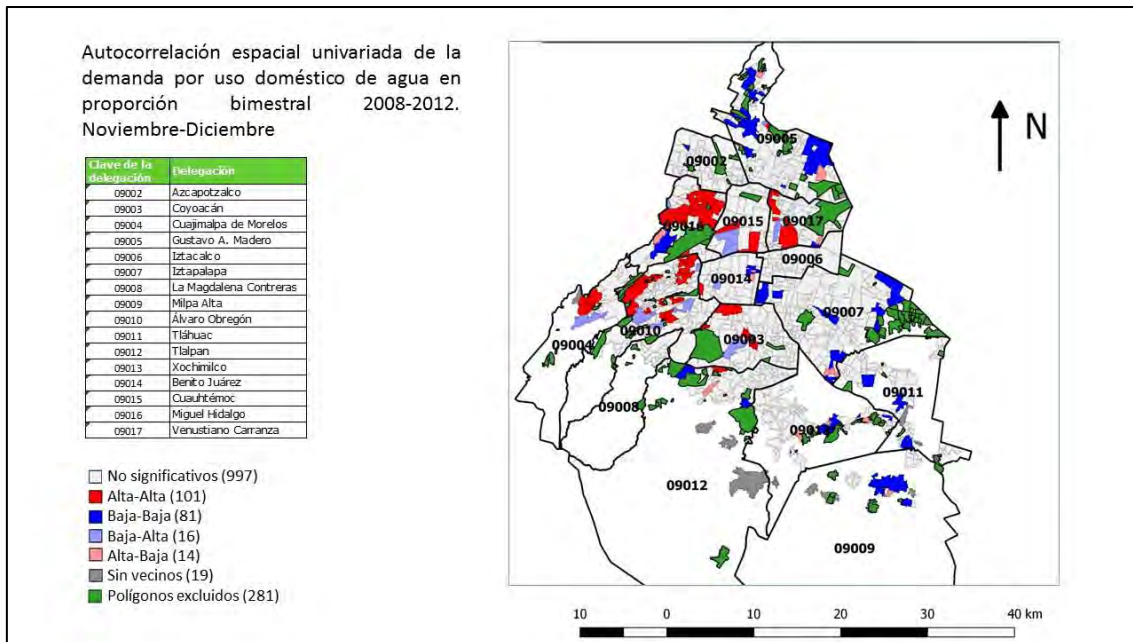
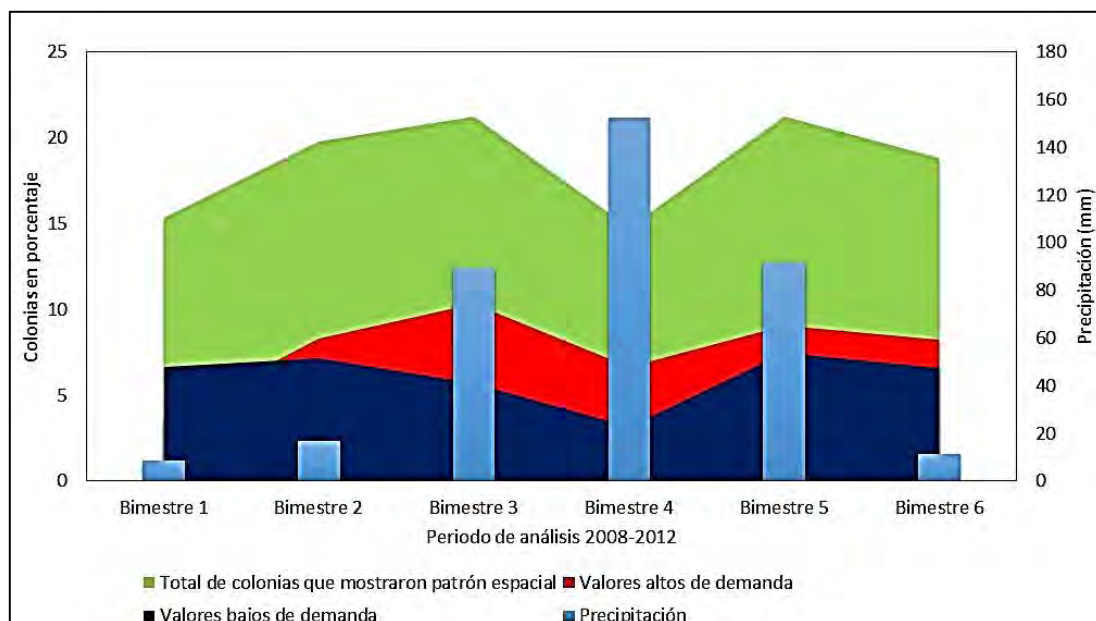


Figura 28 Distribución espacial de las proporciones de la demanda por uso doméstico para el sexto bimestre (periodo 2008-2012) [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913]

En la Gráfica 18 se muestra el porcentaje de colonias que presentaron patrones espaciales con la precipitación, según los datos que aparecen en Comisión Nacional del Agua (2008). Se hace énfasis en las colonias que tuvieron valores altos y valores bajos en comparación con todas, con el fin de aterrizar la ocurrencia de patrones estacionales de la demanda por uso doméstico de agua.



Gráfica 18 Comparación del porcentaje de colonias que presentaron patrón espacial para el periodo 2008-2012 con la precipitación. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913 y en Comisión Nacional del Agua, 2008]

Se aprecia que la cantidad de colonias que presentan patrones espaciales van en aumento al mismo tiempo que lo hace la precipitación, hasta el tercer bimestre. En cuanto al cuarto bimestre, cuando incrementa la precipitación, se reducen las colonias con patrones espaciales

de agrupamiento altos y bajos. El quinto y el sexto muestran decrecimiento al igual que la precipitación.

4.2 Resultados del análisis socio-espacial con factores explicativos para la demanda por uso doméstico de agua

Para este análisis se estableció como la variable dependiente a la demanda por uso doméstico de agua, en su forma bruta y en términos *per cápita* para el año 2010. De forma paralela, con base en la revisión de literatura internacional, expuesta en los dos apartados de la Sección 3.1 del capítulo anterior, se seleccionaron nueve variables independientes.

En la Tabla 27 se muestran los datos descriptivos de las variables analizadas para el área de estudio y para toda la ciudad. Se aprecia que los promedios difieren de las medianas en todas las variables, excepto en los casos del Índice de Desarrollo Social (IDS) y del tamaño del hogar. Del mismo modo se observa que, a excepción de estas dos variables, las demás muestran varianzas muy grandes, lo que sugiere que las distribuciones no se comportan de manera simétrica, como también se puede constatar en los histogramas que están en el Anexo 3.

Tabla 27 Datos descriptivos de los factores explicativos y área de estudio. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

Variable	Ciudad de México	Área de análisis	Promedio	Mediana	Varianza	Máximo	Mínimo
Demanda por uso doméstico metros cúbicos anuales	203,698,186	203,006,954	153444.4	81087.5	50000325097	2719994.5	0
Viviendas particulares habitadas	2,453,031	1,987,284	1502.1	877	4145934.08	22834	7
Viviendas particulares unifamiliares	1,748,242	1,361,181	1028.86	567	2098954.28	21771	0
Viviendas particulares en departamento	704,789	626,103	473.24	81	1201567.25	11774	0
Viviendas particulares con un cuarto	137,775	105,511	79.75	33	23777.74	2930	0
Viviendas particulares con dos cuartos	287,658	232,152	175.47	84	80414.99	4398	0
Viviendas particulares con tres cuartos o más	1,945,806	1,639,849	1239.49	710	2845165.37	17757	7
Viviendas particulares con toma de agua al interior	2,085,363	1,952,307	1475.67	864	4016075.74	22562	2
Ocupantes en viviendas particulares	8,788,621	7,071,870	5345.33	3035	52350141.12	88017	22
Manzanas con árboles y plantas de ornato	46,664	35,489	26.82	16	1125.19	336	0
Índice de Desarrollo Social	0.81	0.82	0.82	0.82	0.01	1	0.51
Tamaño del Hogar	3.58	3.67	3.67	3.7	0.21	5.67	1.8
Colonias	1,509	1,323					

Ante la situación descrita en el párrafo anterior, se calculó el logaritmo natural de las variables que se estudiaron, ya que, como lo sustentan Billings y Jones (2008), ésta es una manera de minimizar el efecto multiplicativo en las variables. En la Tabla 28 se muestra el resultado de estas modificaciones, en ella se puede apreciar que los datos muestran un comportamiento más simétrico, esto se puede constatar con que, en casi todos los casos, los promedios y las medianas tienen valores similares, a excepción de las viviendas particulares en departamento, esta

variable fue la que presentó una varianza más grande en comparación con el resto. Los histogramas para cada una de las variables se pueden consultar en el Anexo 3.

Tabla 28 Datos descriptivos de las variables transformadas en logaritmos naturales. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

Variable	Promedio	Mediana	Varianza	Máximo	Mínimo
Demanda por uso doméstico metros cúbicos anuales	11.09	11.30	2.65	14.82	0.00
Demanda por uso doméstico per cápita (lt/hab/día)	4.13	4.35	1.87	8.95	-7.12
Viviendas particulares habitadas	6.68	6.78	1.46	10.04	1.95
Viviendas particulares unifamiliares	6.29	6.34	1.56	9.99	0.00
Viviendas particulares en departamento	3.96	4.39	6.82	9.37	0.00
Viviendas particulares con un cuarto	3.28	3.50	2.83	7.98	0.00
Viviendas particulares con dos cuartos	4.24	4.43	2.48	8.39	0.00
Viviendas particulares con tres cuartos o más	6.47	6.57	1.50	9.78	1.95
Viviendas particulares con toma de agua al interior	6.66	6.76	1.50	10.02	0.69
Ocupantes en viviendas particulares	7.97	8.02	1.41	11.39	3.09
Manzanas con árboles y plantas de ornato	2.71	2.77	1.30	5.82	0.00
Índice de Desarrollo Social	-0.21	-0.20	0.02	0.00	-0.68
Tamaño del Hogar	1.29	1.31	0.02	1.74	0.59

Como resultado de la regresión *stepwise*, se obtuvo que las variables que dan mejor explicación son: las viviendas con toma de agua en su interior, el Índice de Desarrollo Social promedio por colonia, las manzanas que tienen árboles y plantas de ornato en sus lados, así como el tamaño del hogar promedio; el resto de las variables quedaron fuera del análisis. En la Tabla 29, que se encuentra en la siguiente página, aparecen los resultados de la regresión *stepwise*, con ella se seleccionó el cuarto modelo, el cual está referenciado con la letra “d” y es el que cuenta con mayor R^2 de todos los que se incluyeron.

La medición de la autocorrelación espacial univariada para la demanda anual por uso doméstico de agua, en términos brutos como metros cúbicos anuales, a nivel colonia y en base logarítmica, tuvo un valor para la I de Moran de 0.31. Este resultado se obtuvo con una aleatorización de 999 permutaciones, en las que el valor de *pseudo-p* fue menor que el de α de 0.05, lo que muestra la existencia de un patrón espacial significativo que no se debe al azar. En la Figura 29, que aparece en la siguiente página, se muestra que los valores altos, identificados en color rojo, se localizan, principalmente en las colonias de la delegación Cuauhtémoc y Benito Juárez y en menor medida en las de Iztapalapa, Miguel Hidalgo, Iztacalco, Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Álvaro Obregón y Magdalena Contreras. Los valores bajos, en color azul, están en la periferia sur.

Tabla 29 Resultados de la regresión stepwise para la selección de variables explicativas. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvalúaDF]

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.615 ^a	.378	.377	1.284
2	.697 ^b	.485	.485	1.168
3	.709 ^c	.503	.502	1.148
4	.711 ^d	.505	.503	1.146

a. Predictors: (Constant), Viviendas con toma de agua al interior
b. Predictors: (Constant), Viviendas con toma de agua al interior, Índice de Desarrollo Social
c. Predictors: (Constant), Viviendas con toma de agua al interior, Índice de Desarrollo Social, Manzanas con árboles en sus lados
d. Predictors: (Constant), Viviendas con toma de agua al interior, Índice de Desarrollo Social, Manzanas con árboles en sus lados, Tamaño del hogar

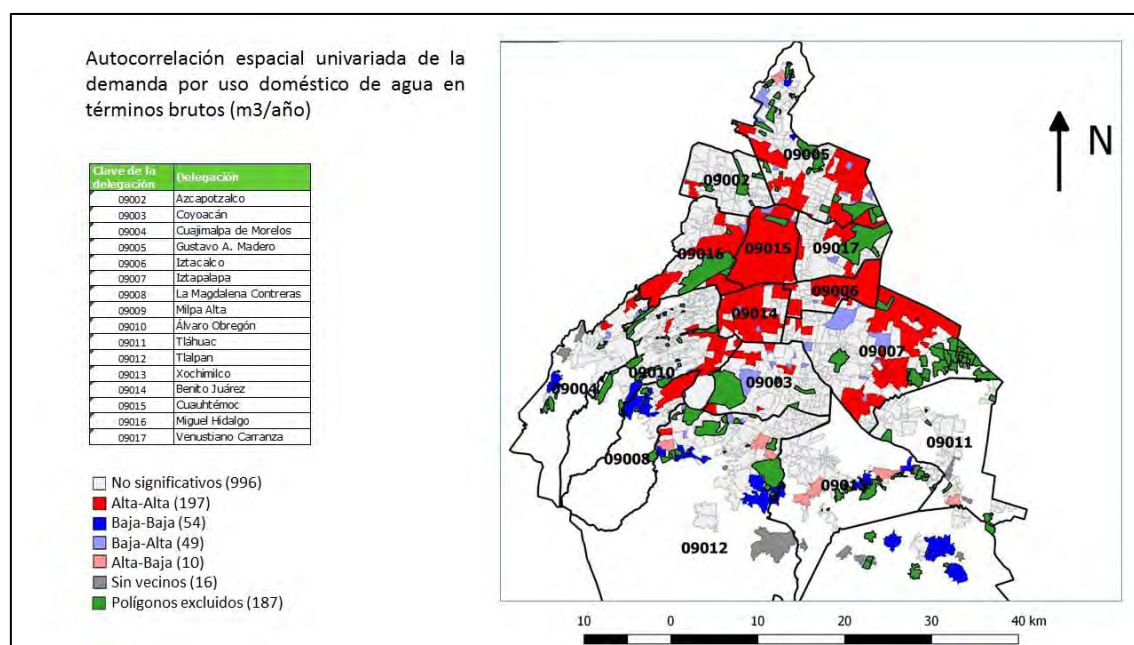


Figura 29 Distribución espacial de la demanda por uso doméstico de agua en metros cúbicos por segundo 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913]

La medición de la I de Moran para la demanda por uso doméstico de agua, en términos *per cápita*, tuvo un valor de 0.35, obtenido con una aleatorización de 999 permutaciones. En la Figura 30, que está en la siguiente página, se muestra la distribución espacial de los patrones encontrados con el análisis de LISA, con el cual, se puede apreciar que los valores altos tiene lugar al poniente de la ciudad, en las colonias de las delegaciones Miguel Hidalgo, Cuajimalpa, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Álvaro Obregón, Coyoacán, así como el nororiente de la delegación Tlalpan, mientras que los valores bajos se localizan en la zona sur de la ciudad, en menor medida en el norte y al oriente de la delegación Iztapalapa.

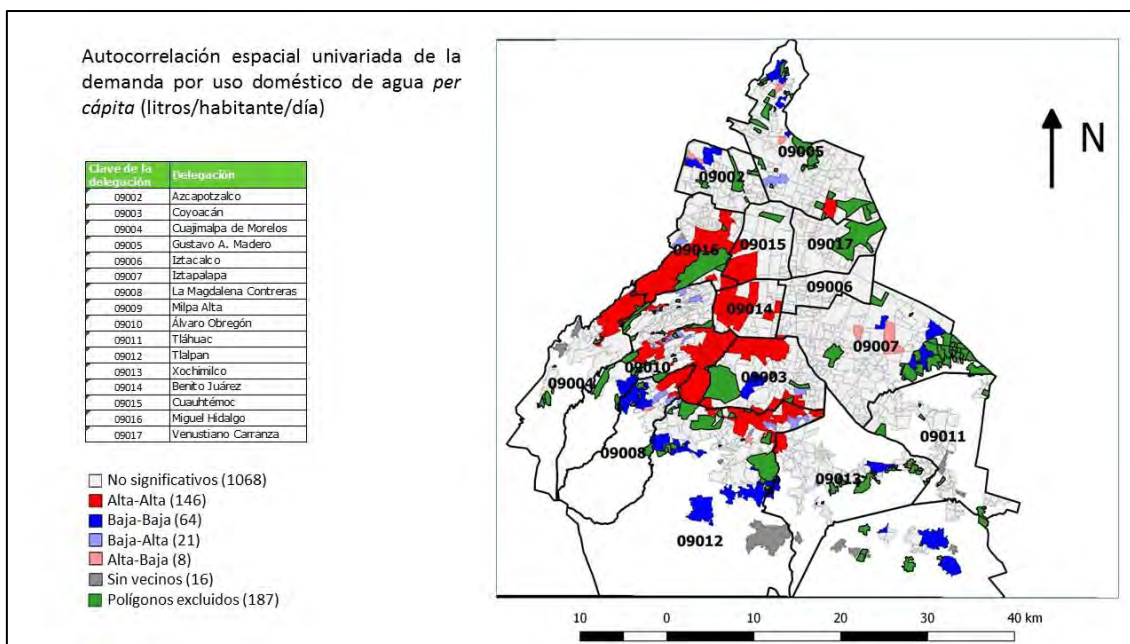


Figura 30 Distribución espacial de la demanda por uso doméstico de agua per cápita 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI]

Los mapas que se presentan a continuación en las Figuras 31, 32, 33 y 34, que aparecen en las siguientes dos páginas, corresponden al análisis de LISA realizado para las variables independientes que se estudiaron. Se presentan las autocorrelaciones espaciales medidas con una aleatorización de 999 permutaciones, usada para determinar la significancia de los patrones espaciales encontrados. En todos los casos, los patrones encontrados resultaron significativos, ya que mostraron valores *pseudo-p* menores que la referencia de α de 0.05.

En la Figura 31 aparece la distribución espacial de las viviendas que tienen toma de agua en su interior, esta variable se incluyó porque es una de las dimensiones de acceso al agua, como los mencionan Jiménez et al. (2011). En este caso, el valor de la *I* de Moran fue 0.28 y los valores altos para esta variable se encuentran principalmente en las colonias de la delegación Iztapalapa y Cuauhtémoc, así como en las que pertenecen a las delegaciones Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Benito Juárez y un grupo destacable en Coyoacán. Los valores bajos tienen a localizarse en la periferia sur de la ciudad, en las colonias de las delegaciones Cuajimalpa, parte de Álvaro Obregón, Tlalpan, Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta.

En cuanto a las manzanas con árboles en todos sus lados, son una variable que se agregó debido al hábito que hay en la ciudad, que consiste en regar las jardineras públicas con agua proveniente de una casa. En la Figura 32 se muestra el patrón espacial de autocorrelación que tiene esta variable, la cual tuvo un valor de *I* de Moran de 0.25. Destacan los valores altos en las colonias de la delegación Iztapalapa, así como en las que están en Cuauhtémoc, Benito Juárez, Iztacalco y Gustavo A. Madero; también hay este patrón en algunas colonias de Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Tlalpan y Coyoacán. Por su parte, los valores bajos están en la delegación Cuajimalpa y en su generalidad al sur de la ciudad.

En la Figura 33 aparece la distribución espacial de los patrones resultantes de la autocorrelación que tienen el Índice de Desarrollo Social en esta dimensión, cuyo valor para la *I* de Moran fue de 0.62. Destacan todas colonias de la delegación Benito Juárez, varias de Coyoacán y Miguel

Higaldo, así como de Álvaro Obregón, Cuauhtémoc y Gustavo A. Madero, en donde se localizan los valores altos de esta variable. Por su parte, los valores bajos se localizan en la periferia del lado sur, en las delegaciones Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuca, en el oriente destacan las colonias de la delegación Iztapalapa y en la parte norte de la ciudad, algunas colonias de Gustavo A. Madero.

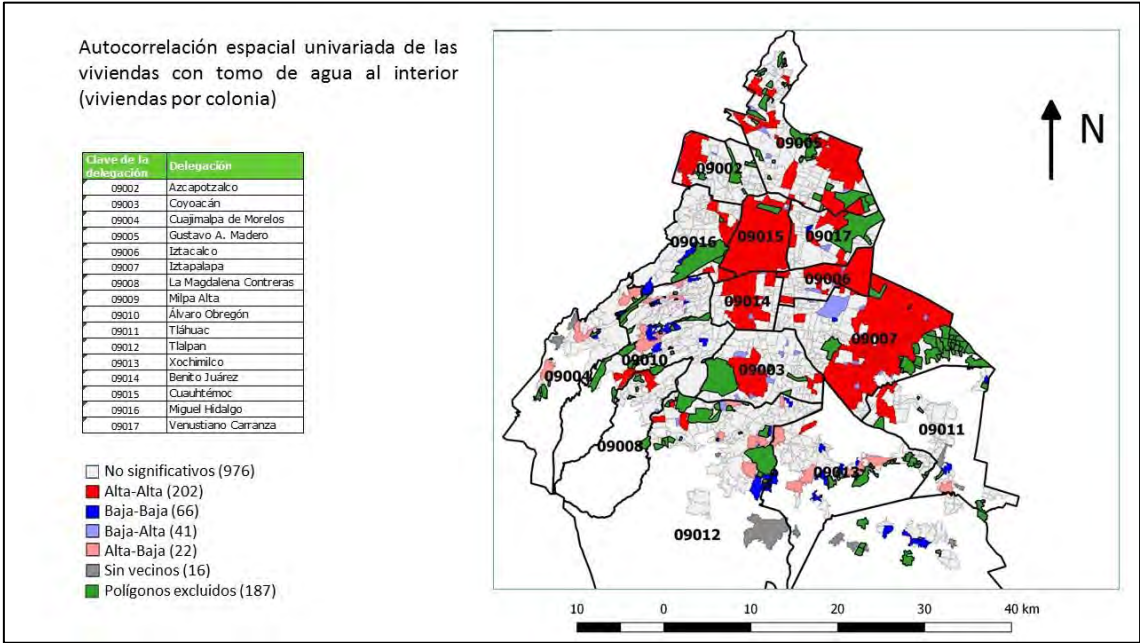


Figura 31 Distribución espacial de las viviendas con toma de agua al interior 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos descargados del sitio web del INEGI]

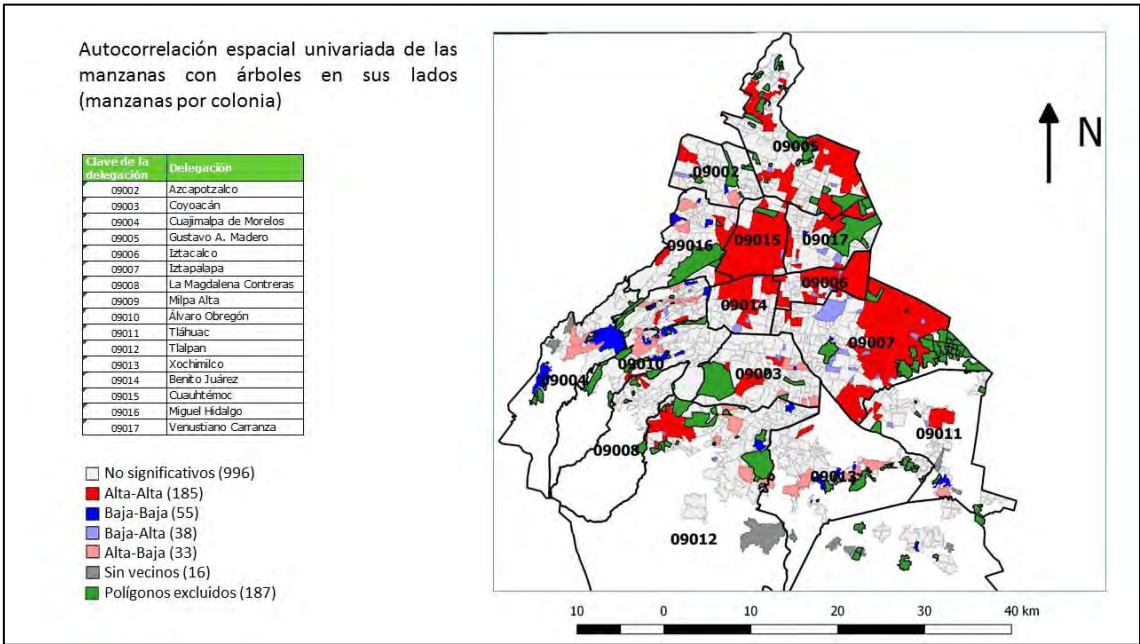


Figura 32 Distribución espacial de las manzanas con árboles en sus lados 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos descargados del sitio web del INEGI]

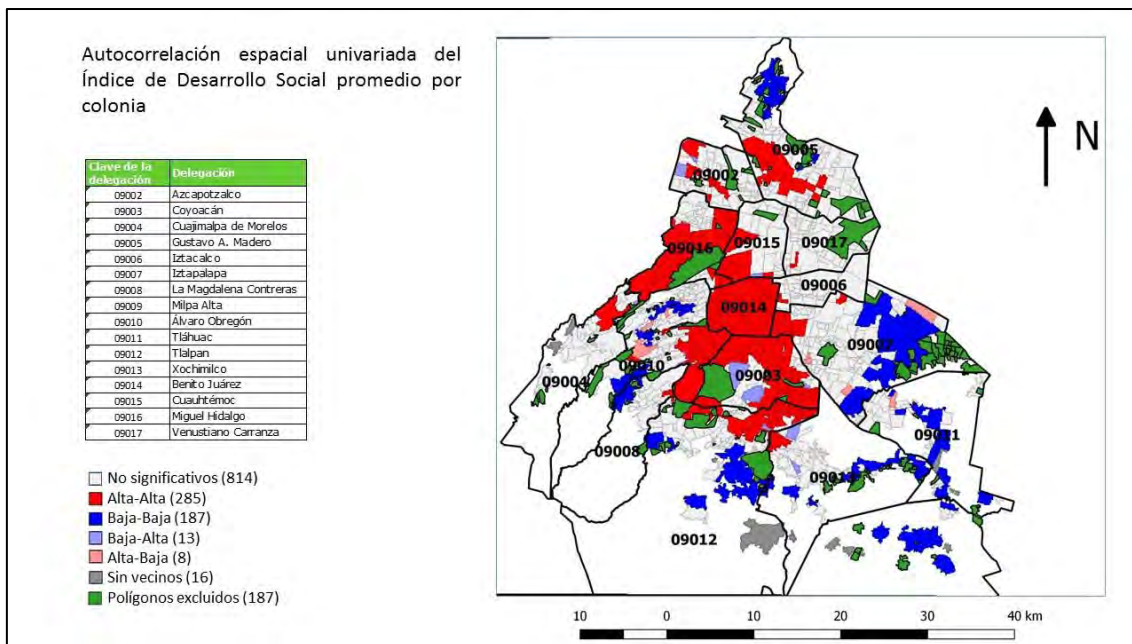


Figura 33 Distribución espacial del Índice de Desarrollo Social promedio 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos descargados del sitio web de EvaluaDF]

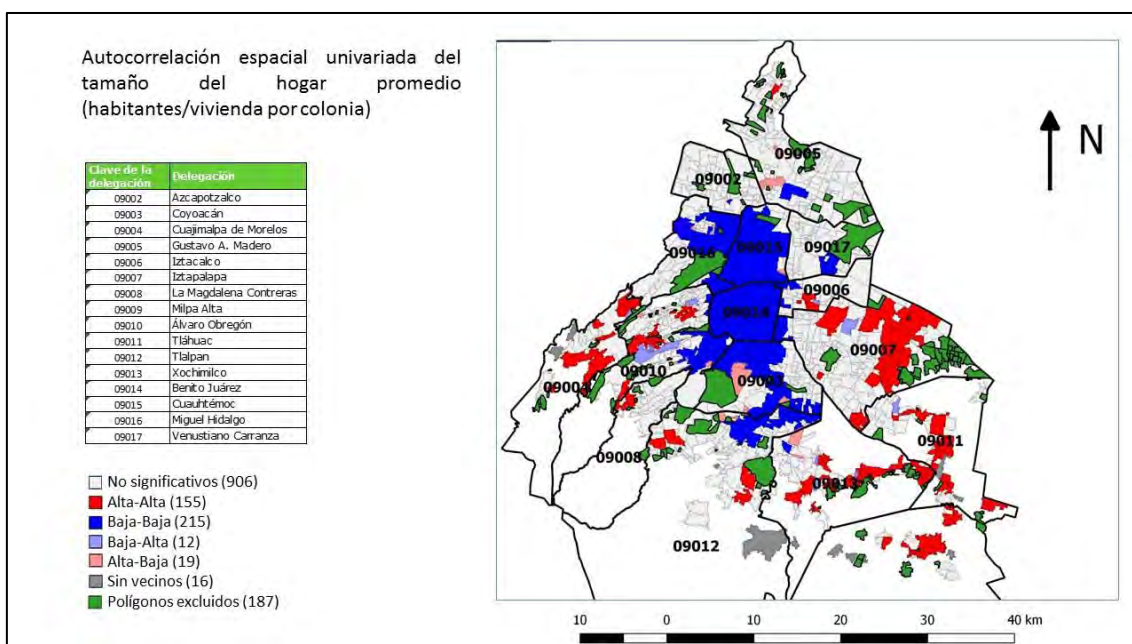


Figura 34 Distribución espacial del tamaño del hogar promedio 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos descargados del sitio web del INEGI]

Como muestra la Figura 34, el tamaño del hogar promedio se incluyó por ser un aspecto de tipo demográfico. El valor de la I de Moran que tuvo esta variable fue de 0.57. Destacan los valores bajos de la variable en todas las colonias de la delegación Benito Juárez, en varias de Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Coyoacán, Tlalpan y Álvaro Obregón. Por su parte, las colonias que están en Cuajimalpa, Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac e Iztapalapa, es donde se presentan los valores altos, sobre todo las colonias que están en ésta última.

Para comparar los modelos explicativos que se utilizaron en esta investigación, se abordaron las medidas de ajuste que se mencionan en Aselin (2005), éstas son: (1) Log likelihood, (2) Akaike criterion, (3) Schwartz criterion. En la Tabla 30, aparecen los resultados para la demanda por uso doméstico en términos brutos. Adicionalmente se incluyen los resultados de la medición de la I de Moran para los residuales que se obtuvieron de cada uno de los modelos; también se muestra el p valor asociado a la aleatorización de 999 permutaciones para cada uno de los casos, con lo que se puede ver que los dos primeros modelos no muestran un buen ajuste espacial.

Tabla 30 Medidas de ajuste para los modelos explicativos de la demanda por uso doméstico en términos brutos. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

Medidas de ajuste	Regresión lineal múltiple	Modelo <i>Spatial</i> <i>Lag</i>	Modelo <i>Spatial</i> <i>Error</i>
R-squared	0.5	0.54	0.55
Log likelihood	-2055.54	-2006.31	-2004.36
Akaike info criterion	4121.09	4024.62	4018.72
Schwartz criterion	4147.02	4055.74	4044.66
Moran's I residuales	0.199	0.083	-0.016
Pseudo p-value	0.001	0.001	0.187

De acuerdo con Aselin (2005), entre mayor sea el número de *Log likelihood* es mejor el ajuste que presenta el modelo. Ocurre lo opuesto para los casos del *Akaike info criterion* y el *Schwartz criterion*. De estos tres modelos, el de *Spatial Error* es el que explica mayor cantidad de la varianza, sus residuales no presentan autocorrelación espacial, además que en las otras tres medidas muestra un mejor resultado que los otros dos modelos, con lo que es el que tiene un mejor ajuste de los tres. En la Tabla 31, que aparece en la siguiente página, se presentan los coeficientes y las variables que resultaron significativas para el caso de los tres modelos utilizados para explicar la demanda por uso doméstico de agua.

Estos resultados muestran que, en el caso de los modelos de *Spatial Lag* y *Spatial Error*, las variables espaciales incluidas a través de una matriz de contigüidad de *Queen*, son significativas, con lo que la dimensión espacial tiene importancia en la explicación de la demanda en términos brutos. Con respecto al resto de las variables, los mejores predictores son el Índice de Desarrollo Social, las viviendas con toma de agua al interior y las manzanas con árboles, en tanto que el tamaño del hogar mostró baja significancia y con el modelo de *Spatial Error* no resultó significativa.

A continuación, en las siguientes tres páginas se describen y aparecen las Figuras 35, 36, 37 y 38. En ellas se muestra una serie de mapas en los que se exponen los resultados del análisis LISA para las autocorrelaciones espaciales bivariadas entre la variable dependiente, en este caso la demanda por uso doméstico de agua en términos brutos, en su forma logarítmica, con las demás variables explicativas que se analizaron los modelos de regresión lineal múltiple, *Spatial Lag* y

Spatial Error. Se presentan estos mapas para detectar la localización en la que ocurren los agrupamientos espaciales para estas relaciones.

Tabla 31 Variables utilizadas en los modelos explicativos para la demanda por uso doméstico de agua en términos brutos. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

Coeficientes de las variables explicativas de la demanda por uso doméstico de agua en términos brutos (m³/anuales)				
Regresión lineal múltiple				
Variable	Coeficiente	Error estándar	t-Statistic	Probabilidad
CONSTANT	6.73	0.51	13.25	0.00
Viviendas con toma de agua al interior	0.54	0.05	11.60	0.00
Manzanas con árboles en sus lados	0.31	0.05	6.31	0.00
Índice de Desarrollo Social	5.12	0.36	14.34	0.00
Tamaño del hogar	0.79	0.35	2.25	0.02
Modelo Spatial Lag				
Variable	Coeficiente	Error estándar	z-value	Probabilidad
W_ANUAL2010	0.20	0.02	9.95	0.00
CONSTANT	4.60	0.53	8.69	0.00
Viviendas con toma de agua al interior	0.49	0.04	11.12	0.00
Manzanas con árboles en sus lados	0.29	0.05	6.30	0.00
Índice de Desarrollo Social	4.12	0.35	11.68	0.00
Tamaño del hogar	0.81	0.34	2.41	0.02
Modelo Spatial Error				
Variable	Coeficiente	Error estándar	z-value	Probabilidad
CONSTANT	6.88	0.54	12.78	0.00
Viviendas con toma de agua al interior	0.54	0.05	11.62	0.00
Manzanas con árboles en sus lados	0.31	0.05	6.46	0.00
Índice de Desarrollo Social	4.34	0.39	11.01	0.00
Tamaño del hogar	0.51	0.38	1.34	0.18
LAMBDA	0.36	0.03	10.62	0.00

Para el caso del *Spatial Lag* y de la regresión lineal múltiple, el IDS fue el factor que tuvo mayor significancia, en tanto que en el tercer modelo, quedó en segundo lugar. Como se muestra en la Figura 35, los valores en donde ambas variables son altas, mostradas en color rojo y se localizan en la zona central de la ciudad, en las delegaciones Miguel Hidalgo, Benito Juárez y Cuauhtémoc. En el lado oriente se aprecian las colonias caracterizadas por alta demanda y bajo IDS, en donde destaca la delegación Iztapalapa, en tanto que en la periferia están las colonias en donde ambas variables presentan valores bajos en color azul. La I de Moran para esta autocorrelación espacial bivariada fue de 0.27 con una aleatorización de 999 permutaciones.

El otro factor importante para explicar la demanda por uso doméstico de agua, son las viviendas con una toma de agua en su interior, esta variable tuvo la mayor significancia en el modelo de *Spatial Error*. La autocorrelación espacial bivariada, se muestra en la Figura 36, en la que se puede apreciar que los valores altos para ambas tienen lugar en la zona central y en el este, lo que significa en estas zonas hay colonias con muchas viviendas que tienen toma de agua, así como demanda alta; es importante mencionar que algunos de estos polígonos, principalmente en el este, se corresponden con aquellos que tienen bajos valores de IDS; hace falta medir otros aspectos de acceso al agua como la calidad y la frecuencia de cobertura del servicio. El valor para la I de Moran fue de 0.17 con una aleatorización de 999 permutaciones.

Para el caso del tercer factor más importante, que es el número de manzanas que tienen árboles y plantas de ornato y que aparecen en la Figura 37. Se muestra que la autocorrelación espacial bivariada tiene valores altos para las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez, Miguel Hidalgo, Iztacalco e Iztapalapa. . El valor de la I de Moran fue de 0.13 con una aleatorización de 999 permutaciones.

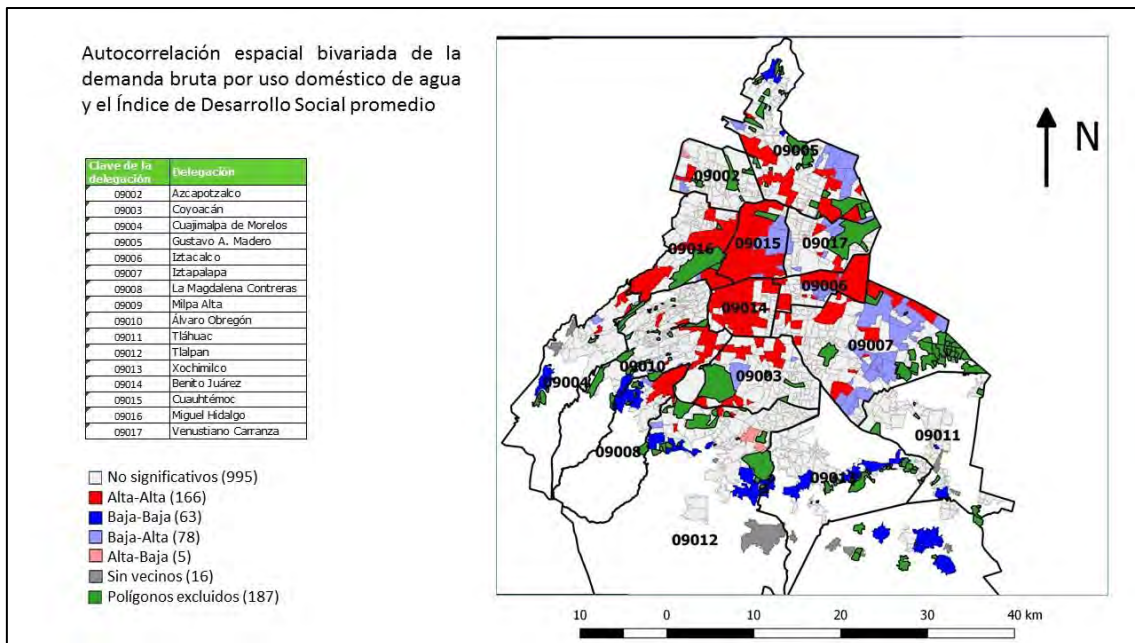


Figura 35 Distribución espacial de la relación entre la demanda por uso doméstico de agua, en términos brutos y el Índice de Desarrollo Social promedio 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web de EvaluaDF]

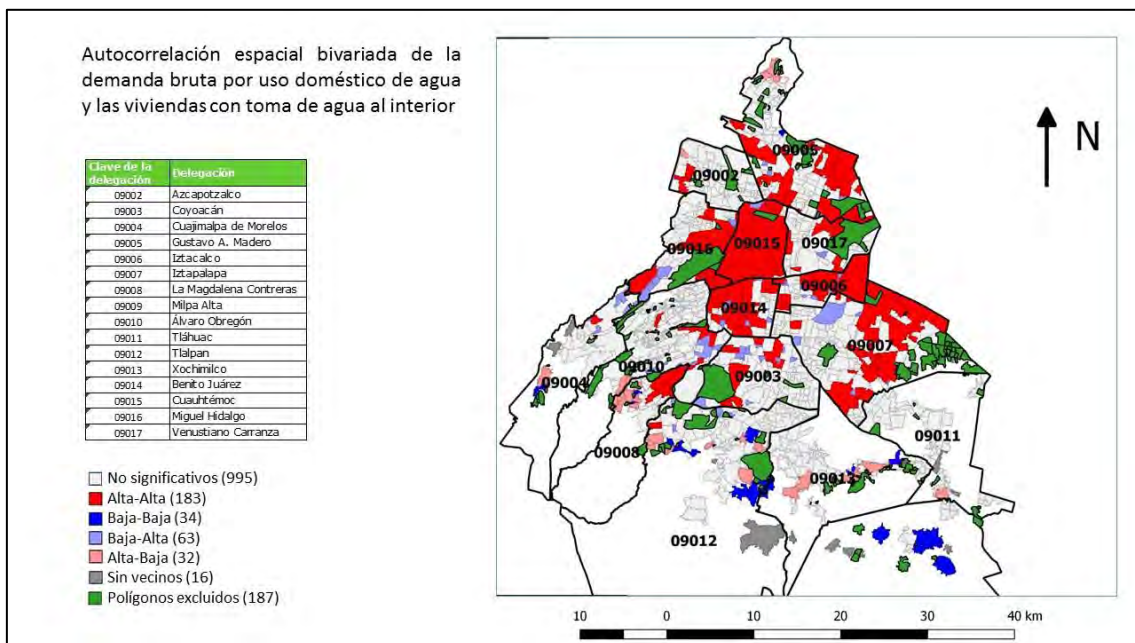


Figura 36 Distribución espacial de la relación entre la demanda por uso doméstico de agua, en términos brutos y las viviendas con toma de agua al interior 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI]

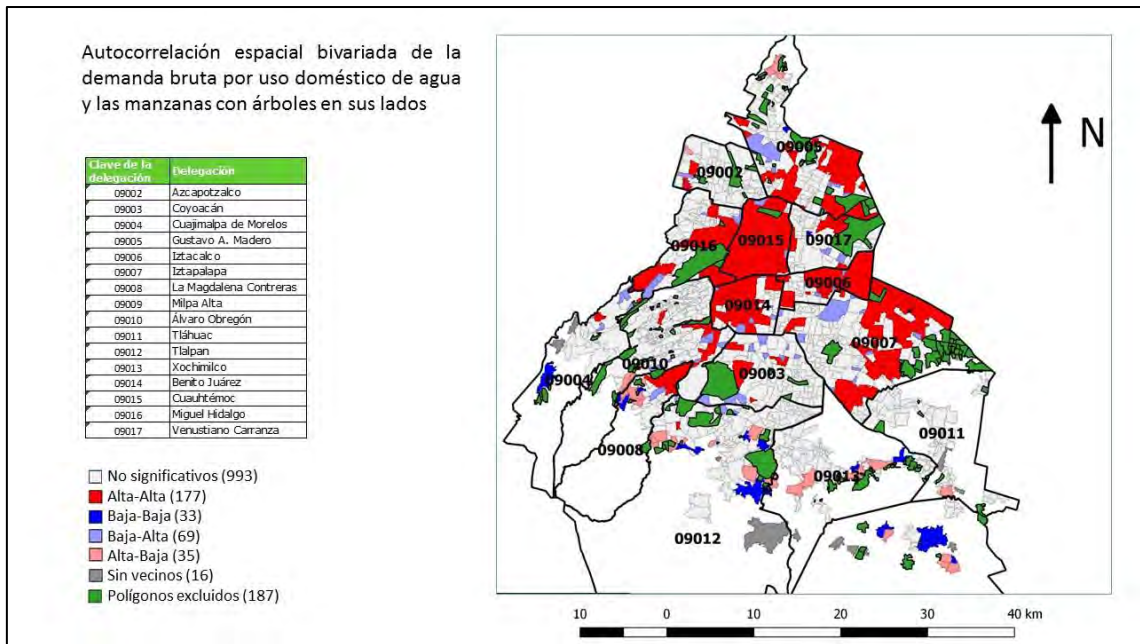


Figura 37 Distribución espacial de la relación entre la demanda por uso doméstico de agua, en términos brutos y las manzanas con árboles en su interior 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI]

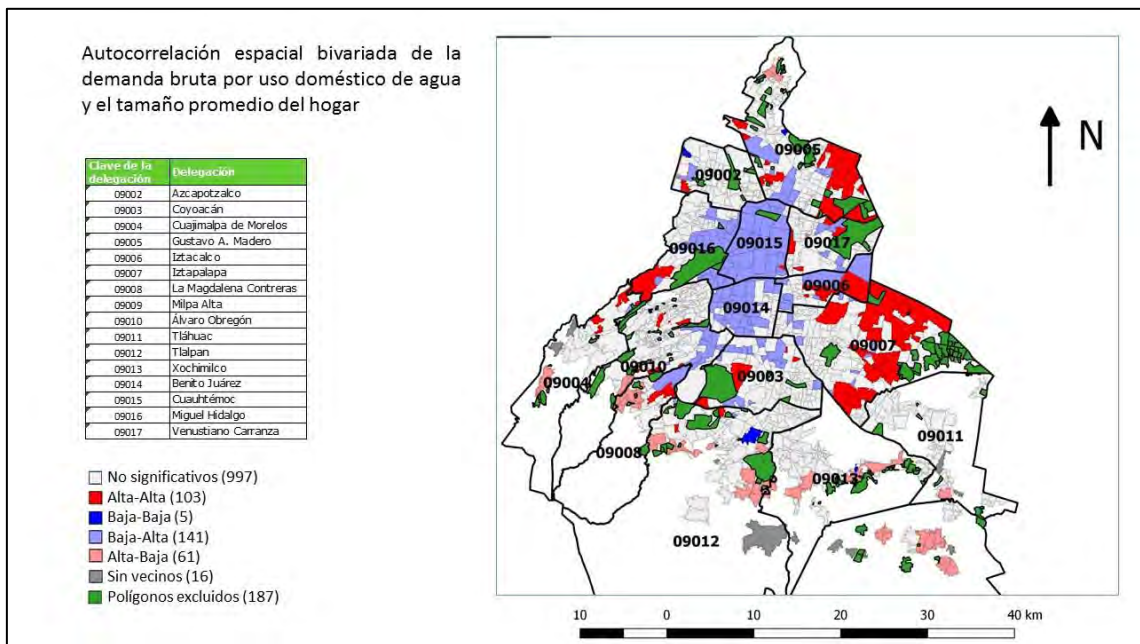


Figura 38 Distribución espacial de la relación entre la demanda por uso doméstico de agua, en términos brutos y el tamaño del hogar promedio 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI]

En la Figura 38 aparece la última variable incluida en los modelos fue el tamaño del hogar promedio, el cual fue significativo para la regresión lineal múltiple y el modelo de *Spatial Lag*, en tanto que en el de *Spatial Error* no mostró significancia. Este factor muestra una relación inversa con la demanda, mostrada en azul claro, en donde destacan las colonias de la delegación

Cuauhtémoc, Benito Juárez y Miguel Hidalgo, mientras que los valores altos están en Gustavo A. Madero e Iztapalapa. En la periferia al sur, se localiza el patrón de tamaño del hogar grande y demanda baja. El valor para la I de Moran fue de -0.23 con una aleatorización de 999 permutaciones.

Se utilizaron los mismos tres modelos de regresión lineal múltiple, *Spatial Lag* y *Spatial Error* para explicar la demanda por uso doméstico de agua en forma *per cápita* como litros por habitante al día. Los cálculos se hicieron en la forma logarítmica de todas las variables y al igual que en el caso de la demanda en términos brutos, se compararon las medidas de ajuste de *Log likelihood*, *Akaike info criterion* y el *Schwartz criterion*, cuyo resultados se muestran en la Tabla 32, además de la medición de la autocorrelación espacial de los residuales generados por los tres modelos.

Tabla 32 Medidas de ajuste para los modelos explicativos de la demanda por uso doméstico en términos per cápita. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

Medidas de ajuste	Regresión lineal múltiple	Modelo <i>Spatial Lag</i>	Modelo <i>Spatial Error</i>
R-squared	0.25	0.36	0.34
Log likelihood	-2098.1	-2010.14	-2034.49
Akaike info criterion	4206.21	4032.28	4078.98
Schwartz criterion	4232.14	4063.4	4104.92
Moran's I residuales	0.202	-0.020	-0.016
Pseudo p-value	0.001	0.129	0.198

Para el caso de la demanda por uso doméstico de agua en términos *per cápita*, el modelo que muestra mejor ajuste es el de *Spatial Lag* en comparación de los otros dos; por otro lado, tanto este modelo como el de *Spatial Error* no muestran autocorrelación espacial lo que indica su ajuste espacial en comparación con la regresión lineal múltiple. En la Tabla 33, que aparece en la siguiente página, se muestran los coeficientes y la probabilidad de ocurrencia para cada una de las variables utilizadas en los modelos. Cabe destacar que para el caso de los dos modelos que incluyen la dimensión espacial, ésta resultó significativa en ambos casos.

Se observa que el Índice de Desarrollo Social promedio fue la variable que tuvo mayor efecto explicativo para la demanda por uso doméstico de agua en términos *per cápita*, esta variable fue seguida de las viviendas que cuentan con una toma de agua en su interior, la cual mostró un signo negativo; a esta variable la siguieron las manzanas con árboles en todos sus lados y finalmente el tamaño del hogar, el cual no resultó significativo en la explicación de la variable dependiente.

A continuación, en las siguientes tres páginas se describen y aparecen las Figuras 39, 40, 41 y 42. En ellas están los resultados del análisis LISA de las autocorrelaciones bivariadas entre la variable pendiente, que es la demanda por uso doméstico de agua en términos *per cápita* y las demás variables explicativas que se abordaron en este estudio. La razón por la que se agregan estos

mapas es para mostrar el comportamiento que tienen estas relaciones en el espacio, en donde es posible localizar los valores altos y los valores bajos de cada una.

La Figura 39 muestra la autocorrelación bivariada de la demanda por uso doméstico de agua en su forma *per cápita* con el Índice de Desarrollo Social, la cual mostró un valor para la I de Moran, con una aleatorización de 999 permutaciones, de 0.32 y su resultado fue significativo. Los valores altos se encuentran agregados en el poniente de la ciudad y destacan las colonias en las delegaciones Cuajimalpa, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Coyoacán, Álvaro Obregón y parte de Tlalpan. Los valores bajos de la relación entre estas dos variables, se ubican en la periferia sur de la ciudad, así como al oriente en la delegación Iztapalapa.

Tabla 33 Variables utilizadas en los modelos explicativos para la demanda por uso doméstico de agua en términos per cápita. [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMex en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

Coeficientes de las variables explicativas de la demanda por uso doméstico de agua en términos per cápita (lt/hab/día)				
Regresión lineal múltiple				
Variable	Coeficiente	Error estándar	t-Statistic	Probabilidad
CONSTANT	7.01	0.52	13.36	0.00
Viviendas con toma de agua al interior	-0.40	0.05	-8.34	0.00
Manzanas con árboles en sus lados	0.26	0.05	5.10	0.00
Índice de Desarrollo Social	5.52	0.37	14.97	0.00
Tamaño del hogar	0.17	0.36	0.46	0.65
Modelo <i>Spatial Lag</i>				
Variable	Coeficiente	Error estándar	z-value	Probabilidad
W_LHD_REALln	0.40	0.03	14.01	0.00
CONSTANT	5.02	0.51	9.91	0.00
Viviendas con toma de agua al interior	-0.38	0.04	-8.56	0.00
Manzanas con árboles en sus lados	0.24	0.05	5.32	0.00
Índice de Desarrollo Social	3.69	0.36	10.32	0.00
Tamaño del hogar	0.04	0.33	0.13	0.90
Modelo <i>Spatial Error</i>				
Variable	Coeficiente	Error estándar	z-value	Probabilidad
CONSTANT	7.33	0.55	13.23	0.00
Viviendas con toma de agua al interior	-0.42	0.05	-8.93	0.00
Manzanas con árboles en sus lados	0.28	0.05	5.65	0.00
Índice de Desarrollo Social	4.52	0.41	11.07	0.00
Tamaño del hogar	-0.21	0.39	-0.55	0.58
LAMBDA	0.40	0.03	12.21	0.00

En la Figura 40 aparece la distribución espacial que tienen las viviendas con una toma de agua en su interior y la demanda por uso doméstico de forma *per cápita*; en este caso el valor de la I de Moran fue de -0.013, lo que indica la inexistencia de patrones de agrupación, además de que, con una aleatorización de 999 permutaciones, el *pseudo-p* valor fue de 0.173, que es mayor que la referencia de α de 0.05, con lo que queda establecido que los patrones que se muestran pueden deberse al azar.

Una situación similar ocurre con la distribución espacial de la relación entre la variable dependiente y las manzanas con árboles en todos sus lados, que se muestran en la Figura 41 y que tuvieron un valor de I de Moran de -0.02 y un *pseudo-p* valor fue de 0.02 con una aleatorización de 999 permutaciones, este resultado presenta poca significatividad además de ser un patrón espacial prácticamente inexistente, por estas razones no se abunda en la descripción de las colonias que están en estas dos Figuras, a pesar de que ambas variables resultaron significativas en los modelos explicativos.

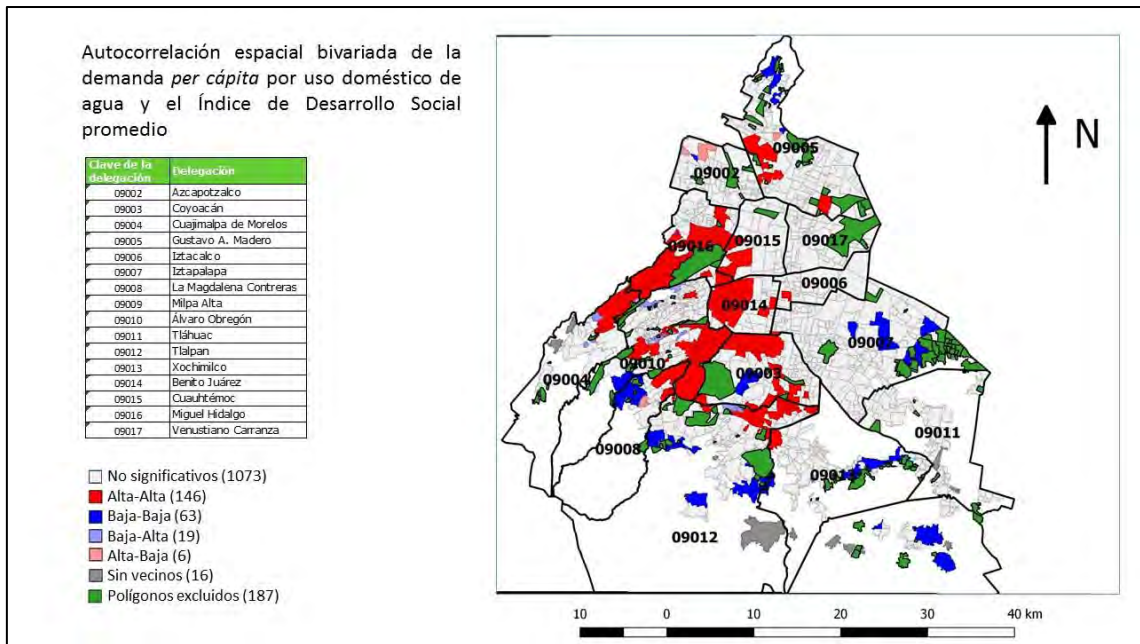


Figura 39 Distribución espacial de la relación entre la demanda por uso doméstico de agua, en términos *per cápita* y el Índice de Desarrollo Social promedio 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

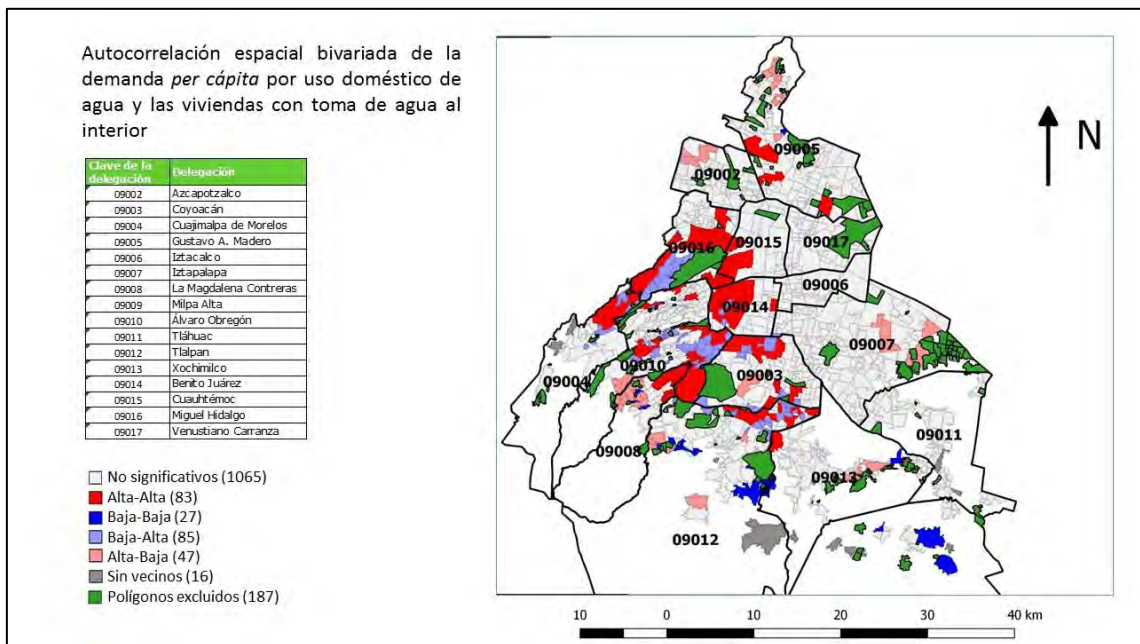


Figura 40 Distribución espacial de la relación entre la demanda por uso doméstico de agua, en términos *per cápita* y las viviendas con toma de agua en su interior 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

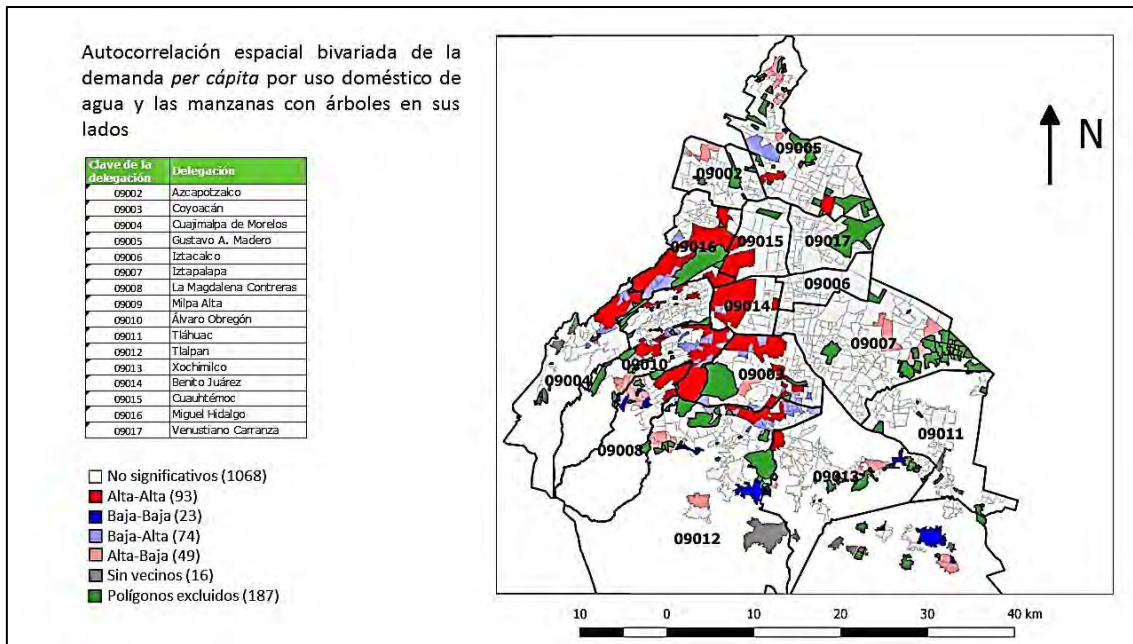


Figura 41 Distribución espacial de la relación entre la demanda por uso doméstico de agua, en términos *per cápita* y las manzanas con árboles en todos sus lados 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

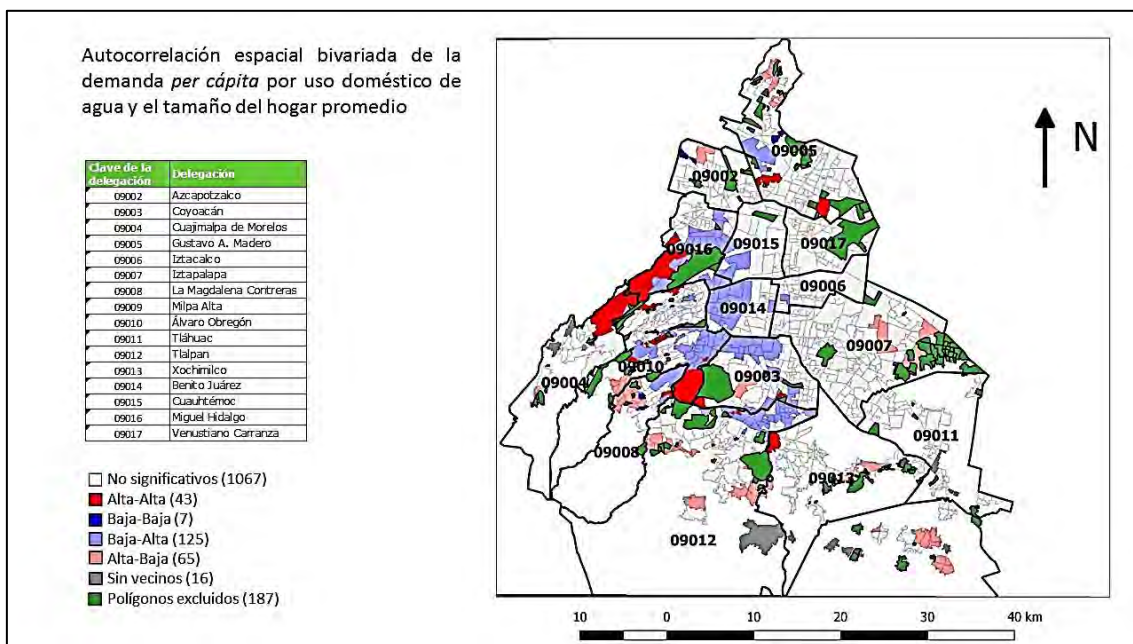


Figura 42 Distribución espacial de la relación entre la demanda por uso doméstico de agua, en términos *per cápita* y el tamaño del hogar promedio 2010 [Fuente: Elaboración propia con datos aportados por el SACMEX en la solicitud 0324000071913, descargados del sitio web del INEGI y del de EvaluaDF]

Finalmente, en la Figura 42, en la siguiente página, se muestra la distribución espacial de la relación entre la demanda por uso doméstico en forma *per cápita* y el tamaño del hogar. En este caso, a pesar de ser una variable que no resultó significativa en los modelos explicativos, la relación tuvo un valor para la *I* de Moran de -0.21 y su *pseudo-p* valor fue menor que la referencia

de α de 0.05. Destacan las colonias de las delegaciones Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Álvaro Obregón, Coyoacán y Tlalpan, en donde la demanda per cápita es alta y el tamaño del hogar es bajo; solamente en el poniente de la delegación Miguel Hidalgo y al norte de Cuajimalpa hay valores altos para las dos variables. A partir de la cartografía y de los resultados de los modelos explicativos y en conjunto con el análisis temporal, se presentan las conclusiones de la presente investigación.

Discusión y Conclusiones

A partir de los datos descriptivos para la demanda por uso doméstico de agua en su forma bimestral, mostrados en la Gráfica 15, y los del almacenamiento del agua en el Sistema Cutzamla, en la misma escala temporal y que aparecen en la Gráfica 16, se observa que en el primer caso los bimestres del año 2010 están por debajo del promedio interbimestral, así como los del 2009 para el Sistema Cutzamala. Estos resultados muestran la necesidad de vincular los procesos de abastecimiento con el de demanda, que respectivamente pertenecen a los niveles de Organismo Operador y de las viviendas dentro del sistema socio-técnico.

La importancia de enfatizar este punto para el caso de la Ciudad de México, es la forma en que se modificó el esquema tarifario de la capital ante la situación de reducción en la cantidad de suministro de agua, como se expone en Jiménez et al. (2011), por lo que es importante establecer la manera en que se relacionan los dos niveles, ya que, según en Krantz (2012) entre ambos tiene lugar la relación más importante del sistema socio-técnico, que a su vez tiene el potencial suficiente de retroalimentar el nivel político.

Con los resultados de los análisis de varianza de un factor, tanto para la demanda como para el almacenamiento de agua en el Sistema Cutzamala, se tiene que en el primer caso el año 2010 es significativamente diferente del resto, mientras que en el segundo, el 2009 presenta diferencias significativas en comparación del 2010 y del 2011. Esto sugiere que la disminución de la demanda por uso doméstico de agua para el año 2010, puede deberse a que hubo menor disponibilidad desde esta fuente, sin embargo la demanda, como se puede ver en la Gráfica 15, tiende a disminuir en comparación con los primeros dos años del periodo 2008-2012, con lo que se puede argumentar que el cambio en las tarifas, puede fungir como una medida de conservación del recurso.

Para indagar la relación entre la demanda por uso doméstico bimestral con la disponibilidad desde una de las fuentes que abastece a la ciudad, se realizó un análisis de regresión lineal que mostró que, la demanda queda explicada en un 22% con la cantidad de agua que se encuentra en el Sistema Cutzamala; esta relación resultó ser significativa aunque hace falta incluir más factores que aumente el porcentaje de explicación del fenómeno bajo estudio, como por ejemplo la cantidad recaudada por el SACMex.

A partir de los datos que aparecen en la Tabla 24, en donde se muestran los resultados de este análisis de regresión lineal, se observa que el coeficiente β tiene signo negativo y magnitud pequeña. El signo que presenta este coeficiente tiene explicación en el sentido que, entre más aumente la demanda, la disponibilidad de esta fuente va reducirse, pero también es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

- El periodo de estudio solamente cubre cinco años, por lo que es necesaria más información para detectar tendencias útiles para la conservación del agua, como lo mencionan Billings y Jones (2008), que sugieren un inventario mensual de 30 o 40 años, con el que sea posible generar estrategias desde el nivel político y desde del Organismo Operador
- Los datos de demanda por uso doméstico de agua corresponden al 65% de usuarios que cuentan con medidor; esta puede ser la razón por la que, como aparece en la Tabla 20, no se detecte un bimestre pico de demanda alta, sin embargo el uso de esta información sirve para mostrar la manera en que se relacionan dos de los niveles que conforman el sistema socio-técnico.

- El Sistema Cutzamala, además de abastecer a la capital mexicana, es una fuente para los municipios conurbados del Valle de México y la ciudad de Toluca, por lo que es necesario determinar el caudal correspondiente para cada una de las entidades. Esta situación puede ser la que explique que el coeficiente β tenga una magnitud pequeña.
- Es necesario agregar todas las fuentes que suministran a la ciudad, para determinar un balance entre la oferta y la demanda, que permita agregar la dinámica de cada una al análisis, sobre todo que se trata de fuentes subterráneas y superficiales que abastecen a la Ciudad de México, de este modo quedarían vinculados los sistemas naturales y los humanos como lo sugieren House-Peters y Chang (2011).

Para explorar la ocurrencia de la demanda por uso doméstico de agua, en la dimensión temporal y espacial para el periodo 2008-2012, se calcularon las proporciones de agua utilizada con respecto del total anual promedio del periodo, de esta forma se abordó de manera robusta la ocurrencia estacional. De acuerdo con Billings y Jones (2008), el análisis de proporciones de la demanda es útil si se cuenta con un inventario de datos que conjunte de tres a cuatro años de información mensual. En el caso de esta investigación, se cuenta con información para cinco años pero está en forma bimestral, que es la escala mínima temporal en que el SACMex tiene disponible su información, con lo que es un acercamiento robusto.

A partir de la Gráfica 18, en la que se muestra el porcentaje de colonias que presentaron agrupamiento espacial y la ocurrencia de la precipitación, se muestra el comportamiento estacional que tienen la demanda por uso doméstico de agua a manera de proporciones. La información que aporta esta gráfica es que, se debe abundar en la relación entre demanda y precipitación dentro de la Cuenca de México, ya que, los datos que se utilizaron para representar la precipitación, tomados de Comisión Nacional del Agua (2008:148), no corresponden al periodo de estudio de 2008-2012 pero da información en la que se puede abundar sobre el tema.

Es importante destacar que la magnitud de las autocorrelaciones espaciales univariadas, de la demanda por uso doméstico de agua en forma de proporciones, va en aumento conforme lo va haciendo la precipitación, hasta que ésta llega a su máximo el valor para la I de Moran baja y posteriormente la tendencia vuelve a continuar, hasta llegar a su máximo en el sexto bimestre. Esto indica que los requerimientos de agua que utilizan los usuarios domésticos van variando a lo largo del año y que siguen cierto patrón estacional cuya expresión espacial va variando.

Un caso interesante, que se muestra en las Figuras 23, 24, 25, 26, 27 y 28 son las colonias que conforman la delegación Miguel Hidalgo, en donde durante el primer bimestre aparecen valores bajos al norte de la delegación pero decrece el número de colonias en esta situación para el segundo. En el tercer bimestre, en el sur aparecen valores altos que se mantienen para el cuarto y justo estos mismos, durante el quinto bimestre se muestran como bajos, en tanto, que en el lado norte de la delegación aparecen valores altos que se mantienen durante el último bimestre. Es posible que en estas colonias se caractericen por usos exteriores que estén relacionados con los factores ambientales de temperatura y de precipitación.

Como se aprecia en la Gráfica 18, el tercer bimestre es el que cuenta con más colonias que mostraron patrones espaciales, en especial aquellas que muestran proporciones de demanda alta. Es importante mencionar este punto porque, como se observa en la Tabla 22, en este bimestre ocurre el pico bajo de almacenamiento y dado que existe una relación significativa entre ambos componentes, es necesario poner atención en las 124 colonias con patrones altos y en las 70 con valores bajos que aparecen en la Figura 25.

También es importante mencionar que, en la Gráfica 18 aparece que el cuarto bimestre, cuando la precipitación llega a su máximo, es cuando la dimensión espacial muestra menos colonias con patrones significativos de autocorrelación univariada, lo cuales, según la Figura 26, son de 82 colonias para los valores altos, localizados al poniente de la ciudad y de 39 para los valores bajos, que están al otro extremo de la urbe. Con este resultado, se sugiere realizar un análisis que incluya la distribución espacial de la precipitación y que a su vez se establezca la autocorrelación espacial bivariada con la demanda por uso doméstico, para localizar los sitios potenciales para aprovechar el agua de lluvia.

La utilidad de un análisis como el que se menciona en el párrafo anterior, es para tomar la precipitación como una fuente alterna, como lo mencionan los principios de la GIAU que aparecen en la Tabla 1, que es un cuadro comparativo de los paradigmas de la gestión del agua, que aparece en Pinkham y Scholar (1999), Mitchell (2006), Bahir (2012) y Tiburcio y Perevochtchikova (2012). A su vez, este análisis es útil para abordar de forma precisa uno de los retos que se plantean en el *Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Visión 20 años*, que es el de aprovechar el agua pluvial, en lugar de solamente desalojarla como se menciona en las acciones que plantea este mismo ordenamiento. De esta forma se generaría un incentivo para modificar el contrato hídrico-social para que la Ciudad de México deje de ser una urbe drenada.

Por su parte, nuevamente con referencia a la Gráfica 18, el quinto bimestre se caracteriza por un aumento en el número de colonias que presentaron autocorrelación espacial univariada, en tanto que la precipitación vuelve a descender; en este caso, según la Figura 27, los valores altos se presentaron en 111 colonias al norte de la ciudad, mientras que los bajos tuvieron lugar en 92 colonias al sur. Cabe destacar que, según la Tabla 22, en este bimestre el almacenamiento en el Sistema Cutzamala presentó mayor cantidad de agua en sus presas, sin embargo hacen falta los datos sobre las colonias que utilizan esta fuente, como lo indica el oficio GDF-SMA-SACMEX-DG-DSA-1165-13, en el que el SACMEX afirma no contar con esa información. En el Anexo 1 se puede consultar dicha respuesta.

La importancia de vincular la dinámica de los procesos de suministro y de la demanda de agua, desde una visión estacional, además de incluir los factores ambientales que inciden en el ciclo urbano del agua, tiene la utilidad de generar estrategias centradas en cómo utilizar las fuentes de abastecimiento de manera eficiente desde la comprensión espacial de los requerimientos de agua que hay en la ciudad, para así evitar que futuras crisis vulneren la posibilidad de abastecer a esta megalópolis.

El primer análisis puede ser complementado con la inclusión de variables como la cantidad de agua subterránea que extrae el SACMEX de forma bimestral y la cantidad de recursos económicos percibidos por esta Institución bimestralmente, con la finalidad de conocer el factor que mejor explica la demanda en su forma bimestral, en un modelo de regresión lineal múltiple. Contemplando estos factores se busca incrementar el 22% de explicación de la varianza que se obtuvo en esta investigación, además de contar con información útil para evaluar la pertinencia de las medidas de conservación del agua, sobre todo en referencia al nuevo esquema tarifario de la ciudad.

En cuanto al segundo análisis, que aborda conjuntamente la dimensión temporal y la espacial, es necesario introducir las variables ambientales de precipitación y de temperatura que sirvan para marcar pautas de su relación con la demanda de manera bimestral, de igual forma se puede incluir la medición del NDVI promedio para detectar los sitios en donde hay jardines y que

tengan mayores requerimientos de agua. Un análisis de este tipo sirve para mejorar la distribución de agua en función de la disponibilidad de las fuentes, así como aprovechar alternativas de acuerdo a la localización de la demanda, incluso se conocen los sitios en donde llevar a cabo acciones para su reducción o para mejorar el acceso.

El análisis socio-espacial consistió en la comparación del modelo de regresión lineal múltiple, con los de *Spatial Lag* y de *Spatial Error* para encontrar los factores que son significativos para explicar la demanda por uso doméstico de agua en la Ciudad de México tanto en su forma bruta como *per cápita*. Se incluyeron nueve variables cuya selección se relacionó con la revisión de literatura internacional de otras ciudades en donde ya se ha estudiado la demanda de agua, tanto de manera espacialmente explícita como sin incluir esta dimensión. Este análisis solamente se realizó para el año censal de 2010, que es el que cuenta con información para las viviendas, y constituyó otra manera de relacionar este nivel con el del Organismo Operador del sistema socio-técnico que se definió.

Como se aprecia en la Tabla 30, el modelo de *Spatial Error* fue el que mostró mejor ajuste para explicar la demanda por uso doméstico de agua en términos brutos. Esto se sustenta en que, como se expone en Aselin (2005), la medida de Log likelihood fue la que resultó más grande en comparación con la de los otros dos modelos y por su parte, el Akaike criterion y el Schwartz criterion tuvieron los valores más bajos. Cabe mencionar que, con respecto a la Tabla 31 la presencia de la dimensión espacial resultó significativa, aunque sólo agrega un 5% de explicación para la variable dependiente en comparación con el modelo de regresión lineal múltiple.

Con respecto a la demanda por uso doméstico de agua, en términos *per cápita*, como se aprecia en la Tabla 32, el modelo de *Spatial Lag* fue el que tuvo mejor ajuste, ya que sus medidas de ajuste de Log likelihood, Akaike criterion y Schwartz criterion, resultaron ser la más grande y las más chicas respectivamente, además que, como aparece en la Tabla 33, la dimensión espacial tuvo un resultado significativo y en este caso aumentó la explicación de la varianza en un 11% con respecto del modelo de regresión lineal múltiple. La importancia de analizar la demanda de esta forma, es para contar con una visión más amplia del fenómeno.

Los valores de R^2 , para los dos modelos que tuvieron mejor ajuste, fueron de 0.55 y 0.36 para la demanda por uso doméstico de agua en términos brutos y en forma *per cápita* respectivamente. Con respecto a estos resultados, en Billings y Jones (2008) se comenta que los valores típicos para este tipo de análisis tienden a estar entre 0.2 y 0.5 debido al efecto de las variables que no se contemplaron dentro del modelo explicativo. A continuación se abordan de las variables que mostraron significancia en relación con los resultados de las autocorrelaciones bivariadas y la distribución espacial que presentan.

En el caso de la demanda por uso doméstico de agua, en términos brutos, el Índice de Desarrollo Social promedio fue el segundo factor más importante, mientras que de forma *per cápita*, quedó en primer lugar, como se puede apreciar en las Tablas 31 y 33 respectivamente. En cuanto al valor para la I de Moran, en la autocorrelación bivariada con la variable dependiente, en ambos casos fue el más alto con 0.27 para la demanda bruta y 0.32 para la *per cápita*. Esta variable fue la única variable que, para las dos formas en que se analizó la demanda por uso doméstico de agua, mostró significancia tanto en los modelos explicativos como en los análisis de LISA, por lo que resulta útil para generar estrategias localizadas y con metas sociales.

Las viviendas que cuentan con una toma al interior, resultaron ser la variable significativa con mayor magnitud para la demanda en términos brutos, mientras que en el caso *per cápita* quedó

en segundo lugar y mostró un signo negativo. Estos resultados indican que en el primer caso la relación se debe a la presencia de valores altos para las dos variables, mientras que en con la demanda en términos *per cápita*, el signo negativo indica que cuando crece la variable independiente la dependiente decrece, es decir que, cuando hay mayor número de viviendas la demanda *per cápita* decrece.

Con respecto a esta variable es importante apuntar lo siguiente, como mencionan Jiménez et al. (2011), este factor sólo es una de las dimensiones que componen el acceso al agua, por lo que, no es posible establecer si efectivamente la población dispone del servicio de agua potable en su vivienda. Esta situación sugiere tomar con precaución el resultado que se muestra en la Figura 36, ya que en ella aparecen las colonias en donde relacionan valores altos de demanda con los sitios en donde hay muchas viviendas que tiene una toma en su interior, sin embargo cabe destacar que en términos *per cápita* esta relación no mostró un patrón espacial significativo, con lo que queda de manifiesto que no deben dejarse del lado las otras dos dimensiones del abasto, a partir de las que es posible contar con un resultado diferente.

La relación inversa entre las viviendas con una toma de agua en su interior, con respecto a su relación con la demanda por uso doméstico en forma *per cápita*, sugiere que las colonias que tienen muchas viviendas con esta característica tienen utilizan menos cantidad de agua. Estas dos características se pueden apreciar en las Figuras 30 y 32, en donde se destaca que, la demanda alta como litros por habitante al día se localiza en la zona poniente y las colonias con muchas viviendas están principalmente al oriente, aquí es necesario abordar la frecuencia con la que reciben el agua las viviendas. Esta variable se midió durante el evento censal de 2010, como se puede constatar en Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011), sin embargo no está disponible para su descarga en el SCINCE.

Para el caso del tercer factor explicativo, según su orden de magnitud, ocurrió una situación similar a las viviendas con toma de agua en su interior; como se observa en las Figuras 31 y 33, la variable resultó significativa pero, la relación espacial que tiene con la demanda, en términos brutos, sí mostró un patrón significativo, en tanto que, para el caso *per cápita*, el patrón resultante presenta una significatividad muy baja, así como su valor para la I de Moran. Para mejorar la forma de abordar esta característica urbana, así como el efecto de los jardines, se puede hacer la medición del NDVI como lo hicieron Turner e Ibes (2011) en el caso de la ciudad de Phoenix, Arizona.

La cuarta variable incluida en los modelos explicativos fue el tamaño del hogar promedio, la cual resultó no ser significativa para ambas formas en que se estudió la demanda, sin embargo es importante resaltar que en la relación entre la demanda y este factor, como se aprecia en las Figuras 38 y 42, aparece una relación inversa que sugiere que las colonias con alta demanda tienen un tamaño del hogar pequeño. Por otro lado, si se compara, al menos visualmente, la Figura 33 y la Figura 34, es posible apreciar que las distribuciones espaciales de las colonias con valores altos para el IDS tienen a coincidir con las de valores bajos para el tamaño del hogar, y que en general se localizan en centro y el poniente de la ciudad, mientras que en el oriente, principalmente en la delegación Iztapalapa ocurre la situación inversa en donde el IDS es bajo y el tamaño del hogar grande.

El Índice de Desarrollo Social promedio, a nivel colonia, es el mejor factor para explicar la demanda por uso doméstico de agua tanto en términos brutos como en forma *per cápita*. La ventaja que presenta este factor, es su utilidad para fortalecer el paradigma de gestión del agua en derechos humanos, nombrado así por Jiménez et al. (2011). Esta acción es porque entre las variables que sintetiza, están las que conciernen a los derechos sociales de la población.

Por otro lado, es un elemento que resulta útil para generar un esquema tarifario, ya que, resultó significativo en los modelos explicativos y también en su relación espacial con la demanda de agua; a la vez que, según Sánchez et al. (2011), se incluye la capacidad de pago de los hogares y es el instrumento mediante el cual se focaliza la aplicación de programas sociales. De esta manera es posible contar con una herramienta que sirva para establecer tarifas asequibles, que puedan ser localizadas y cuyo propósito se base en disminuir la demanda.

Es importante tener en mente que, las colonias con tamaño del hogar bajo presentan una distribución espacial que coincide con las de IDS alto, dado que esta última variable está relacionada, de forma espacial y significativa, con la demanda por uso doméstico de agua tanto en términos brutos y *per cápita*, se infiere que las colonias con estas características son las que mayor demanda generan y su localización, de acuerdo con las Figuras 35 y 39, se concentra en el área central y en el poniente de la ciudad.

Con respecto a la situación que se menciona en el *Programa de Gestión de los Recursos Hídricos. Visión 20 años*, sobre las inconsistencias entre la información del padrón del SACMex y el número de viviendas que cuentan con una toma de agua al interior, es posible mencionar que esta circunstancia no es una limitante para estimar la demanda por uso doméstico de agua, al contrario, fue un factor significativo que incluso da información sobre las diferencias entre la demanda del oriente y del poniente de la ciudad cuya explicación puede deberse al acceso diferencial al agua entre estas dos zonas.

A partir del uso de los Sistemas de Información Geográfica y de la posibilidad que aporta la Geografía, desde su explosión disciplinaria, con la que, se convirtió en Global, es posible superar la deficiencia de falta de diagnóstico para la demanda de agua de la ciudad, que se presenta tanto en el *Programa para el Manejo Sustentable del Agua en la Ciudad de México*, como en el *Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Visión 20 años*. Esto es gracias a la inclusión del espacio como una dimensión sintetizadora que, a la hora de convertirse en un modelo digital, permitió la comprensión de la demanda por uso doméstico en la Ciudad de México.

Recomendaciones

1. Un punto importante que se debe destacar es la comparación de la demanda por uso doméstico de agua, antes y después de la introducción del cambio tarifario local que se realizó durante el año 2010, esto es con el fin de comprender la utilidad que tuvo la medida para moderarla, además de determinar si ha sido una medida útil de conservación del agua o si solamente tuvo un efecto pasajero.
2. Es necesario hacer una estimación de la demanda bimestral para relacionarla con todas las fuentes de las que se abastece la Ciudad de México, para mejorar la comprensión de su comportamiento estacional y espacial para utilizar las fuentes de manera más eficiente según el requerimiento de cada sitio. Esta información también permite plantear estrategias de conservación a largo plazo.
3. Dada la relación sugestiva que se mostró entre la demanda y la precipitación, la realización de un estudio que relacione de forma espacial ambos componentes del sistema socio-técnico, abre la posibilidad de localizar los sitios en los que esta fuente alterna se puede aprovechar
4. Otra forma de complementar el análisis estacional y temporal, es mediante la relación de la demanda con la precipitación, la temperatura y la medición del NDVI, para localizar la presencia de jardines, para estructurar las campañas de concientización o incluso mecanismos económicos para moderarla, sobre todo si coincide con la reducción del abasto por parte de una de las fuentes.
5. Una forma para fomentar la integración y los paradigmas de derechos humanos, uso eficiente y ambiental, es mediante la creación de un esquema tarifaria basado en el Índice de Desarrollo Social, ya que, resultó ser un factor significativo para la demanda tanto en términos brutos como *per cápita*. La importancia de esta medición, es su utilización espacial, que tiene el potencial para construir regiones de cobro según las características socio-económicas de la población, de igual modo se pueden establecer objetivos de sustentabilidad.
6. Es importante abundar en relacionar el tema de acceso al agua y su relación con la demanda. Es necesario estudiar la frecuencia con la que las viviendas reciben agua, esto se puede hacer desde la variable censal que mide el INEGI o desde las colonias que se reportan en la Gaceta oficial del gobierno de la ciudad, en donde aparecen las colonias que son abastecidas por tandeo.
7. La Ciudad de México a nivel discursivo está tendiendo a modificar su contrato hídrico-social para pasar de una ciudad drenada a una de aguas corrientes; este cambio se puede constatar con la priorización de acciones diferentes a la construcción de nueva infraestructura, como aquellas que abarcan el mejoramiento del sistema comercial y la implementación de estrategias para promover el buen uso del agua, para las que el análisis socio-espacial se vuelve un buen insumo.

Bibliografía

- Aboites, L., 2009. *La decadencia del agua de la nación. Estudio contemporáneo sobre desigualdad social y cambio político en México. Segunda mitad del siglo XX*. México, DF: El Colegio de México.
- Alberti, M., 1999. Urban Patterns and Environmental Performance: What Do We Know?. *Journal of Planning Education and Research*, Volumen 19, pp. 151-163.
- Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 2003. *Ley de Aguas del Distrito Federal*. México, DF: Gobierno del Distrito Federal.
- Asknew, L. y McGuirk, P., 2004. Watering the Suburbs: distinction, conformity and suburban garden. *Australian Geographer*, 35(1), pp. 17-37.
- Bahir, A., 2012. *Integrated Urban Water Management*, Estocolomo, Suecia: Global Water Partnership.
- Baumann, D., Boland, J. y Hanemann, M., 1998. *Urban Water Demand Management and Planning*. Nueva York: Mc Graw Hill.
- Billings, R. y Jones, C., 2008. *Forecasting Urban Water Demand*. 2 ed. Denver: American Water Works Association.
- Brown, R., Keath, N. y Wong, T., 2008. *Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States*. [En línea] Available at: [http://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/11th International Conference on Urban Drainage CD/ICUD08/pdfs/618.pdf](http://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/11th_International_Conference_on_Urban_Drainage_CD/ICUD08/pdfs/618.pdf) [Último acceso: 1 Diciembre 2014].
- Burt, J., Barber, G. y Rigby, D., 2009. *Elementary statistics for geographers*. Tercera edición ed. Nueva York: Guilford.
- Buzai, G., 1999. *Geografía Global. El Paradigma Geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del mundo del siglo XXI*. Lugar ed. Buenos Aires: s.n.
- Buzai, G., 2001. Paradigma Geotecnológico, Geografía Global y CiberGeografía, la gran explosión de un universo digital en expansión. *GeoFocus (Artículos)*, Issue 1, pp. 24-48.
- Buzai, G., 2006. Geografía y Sistemas de Información Geográfica. En: A. Lindón y D. Hiernaux, edits. *Tratado de Geografía Humana..* México, DF: Anthopos-UAM, pp. 582-600.
- Buzai, G., 2014a. *Mapas sociales urbanos*. 2 ed. Buenos Aires: Lugar.
- Buzai, G., 2014b. Neogeografía y sociedad de la información geográfica una nueva etapa en la historia de la geografía. *Boletín del Colegio de Geógrafos del Perú*, Volumen 1, pp. 1-11.
- Buzai, G. y Baxendale, C., 2011. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica: perspectiva científica: temáticas de base raster*. Buenos Aires: Lugar.
- Buzai, G. y Baxendale, C., 2012. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Ordenamiento territorial. Temáticas de base vectorial*. Buenos Aires: Lugar.
- Capel, H., 1988. *Filosofía y ciencia en la geografía contemporánea: Una introducción a la Geografía*. 3 ed. Barcelona: Barcanova.

- Chang, H., Hossein, G. y Shandas, V., 2010. Spatial variation of Single-Family Residential water consumption in Portland, Oregon. *Urban Geography*, 31(7), pp. 953-972.
- Comisión Nacional del Agua, 2004. *Estadísticas del Agua 2004*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua, 2008. *Estadísticas del Agua en México 2008*. México, DF: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua, 2009. *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. Segunda ed. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua, 2011. *Atlas del agua en México 2011*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua, 2012a. *Estadísticas del Agua en México 2012*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua, 2012b. *Programa Hídrico Regional 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua, 2014. *Estadísticas del Agua en México 2014*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Consejo de Cuenca del Valle de México, s/a. *Acuíferos*. [En línea] Available at: <http://cuencavalledemexico.com/informacion/cuenca-del-valle-de-mexico/situacion-del-recurso-hidrico-2/acuiferos/> [Último acceso: 15 Noviembre 2015].
- Dasch, E., 2003. *Water: science and issues*. Nueva York: Macmillan Reference.
- Dávila, H. y Constantino, R., 2007. Sistema de uso de derechos de agua potable en el Distrito Federal. En: *Economía del Agua. Escasez del Agua y su demanda doméstica e industrial en áreas urbanas*. México, DF: Cámara de Diputados-Porrúa-UAM, pp. 149-179.
- Domene, E. y Saurí, D., 2003. Modelos urbanos y consumo de agua. El riego de jardines privados en la Región Metropolitana de Barcelona. *Investigaciones Geográficas*, Volumen 32, pp. 5-17.
- Domene, E. y Saurí, D., 2006. Urbanisation and water consumption: Influencing factors in the metropolitan region of Barcelona. *Urban Studies*, Volumen 43, pp. 1605-1623.
- Domene, E., Saurí, D. y Parés, M., 2005. Urbanization and sustainable resource use: The case of garden watering in the Metropolitan Region of Barcelona. *Urban Geography*, 26(6), pp. 520-535.
- Fox, C., McIntosh, B. y Jeffrey, P., 2009. Classifying households for water demand forecasting using physical property characteristics. *Land Use Policy*, Volumen 26, pp. 558-568.
- García, R., 2006. *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Primera reimpresión ed. Barcelona, España: Gedisa.
- Gleick, P., 2003. Water Use. *Annual Review of Environment and Resources*, Volumen 28, pp. 275-314.

Gobierno del Distrito Federal, 2007. *Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México*, Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente, Secretaría de Obras y Servicios, Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

Gobierno del Distrito Federal, 2012. *Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Visión 20 Años*, Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente, Sistemas de Agua de la Ciudad de México.

Holden, E. y Norland, I., 2005. Three Challenges for the Compact City as a Sustainable Urban Form: Household Consumption of Energy and Transport in Eight Residential Areas in the Greater Oslo Region. *Urban Studies*, 42(12), pp. 2145-2166.

House-Peters, L. y Chang, H., 2011. Urban water demand modeling: Review of concepts, method and organizing principales. *Urban Water Research*, 47(15).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011. *Marco Conceptual del Censo de Población y Vivienda 2010*, Aguascalientes: INEGI.

Jiménez, B., Gutiérrez, R., Marañón, B. y González, A., 2011. *Evaluación de la política de acceso al agua potable en el Distrito Federal*. México: Evalúa DF-PUEC-UNAM.

Kayaga, S., 2011. Introduction to Water Demand Management. En: S. Kayaga y I. Smout, edits. *Water Demand Management in the City of the Future*. Leicestershire: WEDC, pp. 9-23.

Kayaga, S. y Smout, I., 2011. Integrated Roseources Planning Approach. En: S. Kayaga y I. Smout, edits. *Water Demand Management in the City of the Future*. Leicestershire: WEDC, pp. 25-60.

Krantz, H., 2012. Water Systems Meeting Everyday Life: A Conceptual Model of Household Use of Urban Water and Sanitation Systems. *Public Works Management and Policy*, 17(1), pp. 103-119.

López, L., 2010. *Diccionario de términos sobre la ciudad y lo urbano*. Madrid: Biblioteca Nueva.

Maheepala, S., 2010. *Towards the Adoption of Integrated Urban Water Management for Planning*. [En línea] Available at: <http://www.iemss.org/iemss2010/papers/S0/S.0.07.Towards%20the%20Adoption%20of%20Integrated%20Urban%20Water%20Management%20for%20Planning%20-%20SHIROMA%20MAHEEPALA.pdf>

[Último acceso: 15 Noviembre 2013].

March, H. y Saurí, D., 2009. What lies behind domestic water use? A review essey on the drivers of domestic water consumption. *Boletín de la A.G.E.*, Volumen 50, pp. 297-314.

Martínez, M., 2004. La participación de la empresa privada en la gestión de servicios de agua en el Distrito Federal. En: *Gestión del agua en el Distrito Federal retos y propuestas*. México, DF: PUEC-UNAM, pp. 15-57.

Mitchell, G., 2006. Applying Integrated Urban Water Management Concepts: A Review of Australian Experience. *Environmental Management*, 37(5), pp. 589-605.

Montesillo, J., 2004. Estructura tarifaria. Análisis económico de la estructura tarifaria del servicio de agua potable en el Distrito Federal. En: *Gestión del agua en el Distrito Federal. Retos y propuestas*. México, DF: PUEC-UNAM, pp. 101-149.

- Morales, J. y Rodríguez, L., 2009. Política hídrica en la Zona Metropolitana del Valle de México y riesgos para suministrar agua al uso doméstico e industrial. En: D. Montero, E. Gómez, G. Carrillo y L. Rodríguez, eds. *Innovación tecnológica, cultura y gestión del agua. Nuevos retos del agua en el Valle de México*. México: Porrúa-UAM-Cámara de Diputados, pp. 21-53.
- Newton, P. y Meyer, D., 2012. The Determinants of Urban Resource Consumption. *Environment and Behavior*, 44(1), pp. 107-135.
- Ortega, J., 2000. *Los horizontes de la geografía*. Barcelona: Ariel.
- O'Sullivan, D. y Unwin, D., 2010. *Geographic Information Analysis*. Segunda edición ed. Nueva Jersey: Hoboken.
- Perevochtchikova, M., 2010. La problemática del agua: revisión de la situación desde una perspectiva ambiental. En: *Los grandes problemas de México, IV Medio Ambiente*. México: El Colegio de México, pp. 61-104.
- Perevochtchikova, M. y Martínez, S., 2010. Integrated Urban Water Management, tools and applications. En: *Ecology and Hydrometeorology in Big Cities and Industrial Zones (Mexico-Russia)*. Rusia: RSHU, pp. 98-118.
- Perló, M. y González, A., 2009. *¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Fderal y el Estado de México*. 2a ed. México: PUEC-UNAM.
- Sánchez, A., Boltvinik, J., Ruiz, F. y Figueroa, H., 2011. *Índice de Desarrollo Social de las Unidades Territoriales del Distrito Federal. Delegación, colonia y manzana*, México, DF: EVALÚA DF. Consejo de Evaluación del Desarrollo Social del Distrito Federal.
- Sandoval, R., 2004. No más planes al agua: hacia una gestión hídrica planificada y eficaz en México. En: C. Tortojada, V. Guerrero y R. Sandoval, eds. *Hacia una gestión integral del agua en México: retos y alternativas*. México, DF: Porrúa-Cámara de Diputados, pp. 47-91.
- Saurí, D., 2003. Lights and Shadows of urban Water Demand Management: The Case of the Metropolitan Region of Barcelona. *European Planning Studies*, 11(3), pp. 229-243.
- Saurí, D., 2013. Water Conservation: Theory and Evidence in Urban Areas of the Developed World. *Annual Review of Environment and Resources*, Volumen 38, pp. 227-248.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015. Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 Conservación del recurso agua. *Diario Oficial de la Federación*, 27 Marzo, pp. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/NOM-011-CONAGUA-2015.pdf>.
- Shandas, V. y Parandvash, G., 2010. Integrating urban form and demographics in water-demand managment: an empirical case study of Portland, Oregon. *Environment and Planning B: Planning and Desing*, Volumen 37, pp. 112-128.
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México, S/A. *Consulta. Los tipos de usos y su terminología*. [En línea]
Available at: <http://www.sacmex.df.gob.mx/sacmex/index.php/atencion-a-usuarios/tipos-de-uso>
[Último acceso: 24 Enero 2016].

Sosa, F., 2009. *La eficacia en la prestación de los servicios de agua y drenaje en el Distrito Federal: propuesta de un modelo de evaluación de riesgos*. México: Tesis de doctorado, Estudios Urbanos y Ambientales COLMEX.

Tiburcio, A., 2013. *Desarrollo de un marco de indicadores para la gestión del agua urbana. El caso de la Ciudad de México*. México, DF: Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Tiburcio, A. y Perevochtchikova, M., 2012. Indicadores ambientales en la gestión del agua urbana. En: *Cultura del agua en México. Conceptualización y vulnerabilidad social*. México: UNAM-Porrúa, pp. 377-399.

Torregrosa, M., Paré, L., Kloster, K. y Vera, J., 2010. La Administración del Agua en México. En: *El agua en México: cauces y encauces*. México, DF: Academia Mexicana de las Ciencias-CONAGUA, pp. 595-624.

Troy, P. y Holloway, D., 2004. The Use of Residential Water Consumption as an Urban Planning Tool: A Pilot Study in Adelaide. *Journal of Environmental Planning and Management*, 47(1), pp. 97-114.

Turner, V. y Ibes, D., 2011. The impact of homeowners associations on residential water demand management in Phoenix, Arizona. *Urban Geography*, 32(8), pp. 1167-1188.

Wentz, A. y Gober, P., 2007. Determinants of Small-Area Water Consumption for the City of Phoenix, Arizona. *Water Resources Management*, Volumen 21, pp. 1849-1863.

Zhang, H. y Brown, D., 2005. Understanding urban residential water use in Beijing and Tianjin, China. *Habitat International*, Volumen 29, pp. 469-491.

Anexo 1 Solicitudes realizadas vía los portales de transparencia



**SISTEMA DE AGUAS
DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

México, D.F., miércoles, 21 de enero de 2015

Oficio Número: GDF-SEDEMA-SACMEX-DG-DSA-SMCR-UDAM1003940/2015
Asunto: Dotación de agua a la Ciudad de México de 2008 A 2013

ING. GERARDO E. GONZÁLEZ RIVERO
RESPONSABLE DE LA OFICINA DE
INFORMACIÓN PÚBLICA
P R E S E N T E

En atención al oficio SACMEX-OIP/03240000105214/2014 de fecha 15 del presente, Solicitud de Acceso a la Información Pública emitida por el C. Arturo Ramos Bueno; anexo el volumen total de agua suministrada a la Ciudad de México para los años 2008 al 2013, así mismo le comento que no contamos con información sobre la distribución de agua en las delegaciones y tampoco contamos con metodología para su cálculo.

AÑO	DOTACION	AÑO	DOTACION
2008	1'024,072,701 m ³	2009	975'266,436 m ³
2010	985'041,527 m ³	2011	1'014,227,333 m ³
2012	982'143,208 m ³	2013	945'836,061 m ³

Le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE
DIRECTOR DE SECTORIZACIÓN
Y AUTOMATIZACIÓN


M. en I. JOSÉ ÁNGEL RUIZ APARICIO



Copias:
Ing. Ramón Aguirre Díaz - Director General - SACMEX
Dr. Humberto Martiñón García - Subdirector de Macromedición y Control de Redes - SACMEX
Ing. Luis Ricardo Abela Gisbert - Jefe de la Unidad Departamental de Automatización y Medición - SACMEX
Ing. Jaime Roque Botello - Jefe de la Oficina de Macromedición- SACMEX
DSA: 073/2015 en atención a los volantes 9 y 12/2015
HMG/LRAG/JRB/rvnm



Nezahualcóyotl, No. 109, 4° Piso, Colonia Centro, C.P. 06080
Delegación Cuauhtémoc México Distrito Federal
Tel. 51-30-44-44 Ext. 1415-1651

df.gob.mx
sacmex.df.gob.mx

Figura 43 Oficio de respuesta a la solicitud 03240000105214, realizada al Sistema de Aguas de la Ciudad de México



ORGANISMO DE CUENCA AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO
COORDINACIÓN DE ATENCIÓN A ORGANISMOS FISCALIZADORES Y PROGRAMAS ESPECIALES
OFICIO 800.801.00.2-001-15
Página número 1

México, D.F. a 7 de enero de 2015
Asunto: Respuesta a solicitud de acceso a la información.
Modalidad: Entrega de información en medio electrónico.

ESTIMABLE SOLICITANTE
PRESENTE:

Me refiero a la solicitud de acceso a la información ingresada a esta Comisión Nacional del Agua el 16 de diciembre de 2014, y registrada en el Sistema Infomex a cargo del Gobierno Federal conforme a lo siguiente:

Folio INFOMEX: 1610100249514

Modalidad preferente de entrega de información: Entrega por Internet en el INFOMEX.

Descripción de la solicitud: "Volúmenes de agua almacenados en todas las presas del Sistema Cutzamala, desagregados por mes, para los años 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013."

Derivado de lo anterior, me permito informar a usted, que de acuerdo con las atribuciones conferidas por el artículo 80 del Reglamento Interior de la Comisión Nacional del Agua, la presente solicitud de información fue enviada para su atención a la Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento de este Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, quien presentó la siguiente respuesta:

Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento:

Anexo al presente, sírvase encontrar archivo electrónico en Excel con la información que solicita.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente
Coordinador de Atención a Organismos Fiscalizadores y Programas Especiales


Ing. Salvador Hernández Cárdenas.

C.c.p. **Ing. Fernando González Cáñez**, Director del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México;
Ing. José Luis Jardines Moreno, Director de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

Figura 44 Oficio de respuesta a la solicitud 1610100249514, realizada a la Comisión Nacional del Agua




SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

5222

"2013; AÑO DE BELISARIO DOMINGUEZ"

México, D.F., a 12 de noviembre de 2013
GDF-SMA-SACMEX-DG-DEO-DAPP-13
Asunto: Se envía información.

Oficina de Información Pública

FECHA 12/11/2013 19:35

RECIBO

ING. GERARDO ENRIQUE GONZALEZ RIVERO
RESPONSABLE DE LA OFICINA DE
INFORMACION PUBLICA.
P R E S E N T E

En atención a su similar SACMEX/OIP/0324000072013-2/2013 referente a la Solicitud de Acceso a la Oficina de Información Pública 0324000072013-2 mediante la cual requiere diversa información, comunico a usted lo siguiente:

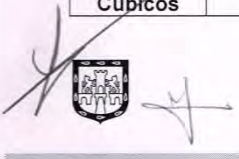
- 1) Cartografía de los sectores hidrométricos del sistema hidráulico del Distrito Federal.

R= No se puede proporcionar esta información, ya que es de acceso restringido en su modalidad de reservada de acuerdo a los Artículos 36 y 37 Fracción XIV de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública aplicable en el Distrito Federal.

- 2) Información sobre la distribución y cantidad de agua de las diferentes fuentes que abastecen a las Colonias del Distrito Federal.

R=No se dispone de medición para cuantificar la cantidad de agua potable que se abastece a cada una de las Colonias. Las fuentes de abastecimiento y cantidad de caudal que se suministra al Distrito Federal para abastecer a todas sus Colonias es el siguiente:

Fuente	Sistema Lerma	Sistema Cutzamala	Pozos D. F.	Pozos CONAGUA	Manantiales	Total
Metros Cúbicos	4.144	8.662	15.75	3.07	0.741	32.367




Nezahualcóyotl, No109, 10º. Piso, Colonia Centro, C.P. 06080
Delegación Cuauhtémoc México Distrito Federal
Tel. 51-30-44-44 Ext. 1135-1136

df.gob.mx
sacmex.df.gob.mx

Figura 45 Oficio de respuesta a la solicitud 0324000072013, realizada al Sistema de Aguas de la Ciudad de México

A continuación se muestra la respuesta a la solicitud que se hizo para obtener las bases de datos de la demanda por uso doméstico de agua. De manera adicional, se muestra un ejemplo del archivo en pdf que fue enviado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México. En este caso no hubo un oficio de respuesta, por esta razón se presenta la respuesta enviada por correo electrónico.

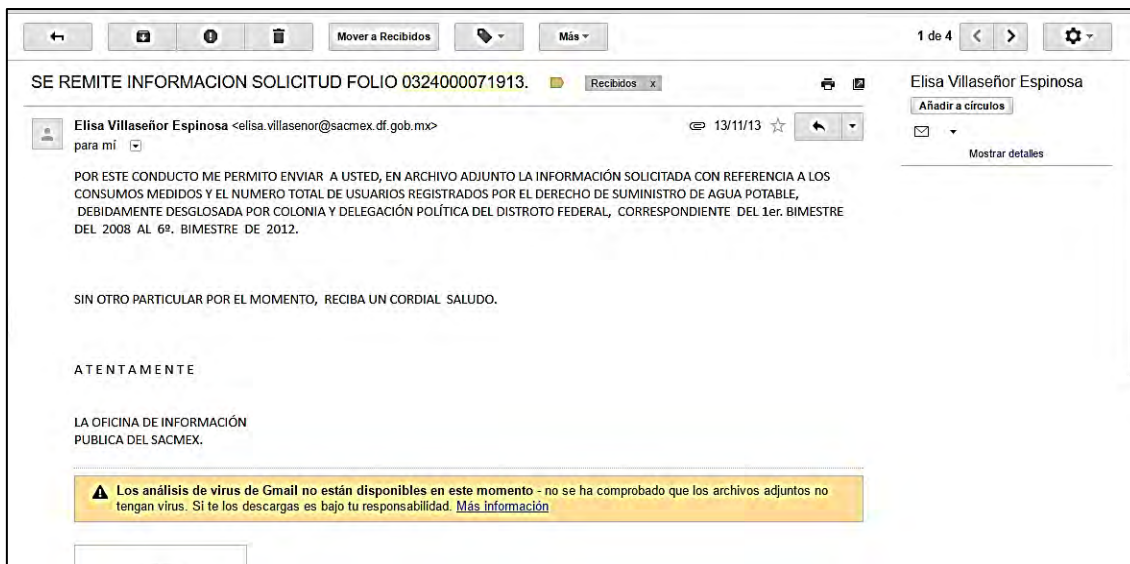


Figura 46 Respuesta del SACMEX otorgada vía correo electrónico para la solicitud 0324000071913

  SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO				
CONSUMO MEDIDO POR EL DERECHO DE SUMINISTRO DE AGUA Y NÚMERO DE USUARIOS DE LAS COLONIAS QUE INTEGRAN LA DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN				
COLONIA	AÑO	BIMESTRE	NÚMERO DE USUARIOS	CONSUMO
19 DE MAYO	2008	1	83	2,697.37
		2	81	2,842.19
		3	110	3,988.48
		4	120	4,151.41
		5	115	3,906.45
		6	130	4,565.25
	2009	1	136	4,784.91
		2	141	5,069.74
		3	149	5,011.20
		4	149	5,121.20
		5	150	4,877.58
		6	152	4,805.61
	2010	1	153	4,429.15
		2	148	4,365.15
		3	145	4,609.77
		4	143	4,543.38
		5	146	4,427.41
		6	148	4,649.45
	2011	1	150	4,586.10
		2	124	4,279.18
		3	131	4,453.64
		4	138	4,653.72
		5	144	4,558.54
		6	140	4,441.44
	2012	1	133	4,154.40
		2	142	4,203.51
		3	144	4,478.02
		4	149	4,692.80
		5	147	4,367.88
		6	146	4,585.04
1A. AMPL. PRESIDENTES	2008	1	356	17,163.62
		2	350	18,249.95
		3	345	18,520.09
		4	345	17,363.83
		5	345	16,850.85
		6	346	16,799.67
	2009	1	346	16,346.53
		2	348	17,067.53
		3	352	16,997.23
		4	361	17,573.92
		5	360	16,388.02
		6	358	15,627.08
	2010	1	365	15,306.30
		2	366	15,959.72
		3	368	16,063.16
		4	364	16,169.59

Figura 47 Ejemplo de la base de datos aportada por el SACMEX para la solicitud 0324000071913

A continuación se presenta la respuesta a la solicitud con la que se hizo el mapa que se presenta en la Figura 14. En este caso, la información fue colocada en el portal de transparencia del sistema info mex de la Ciudad de México.

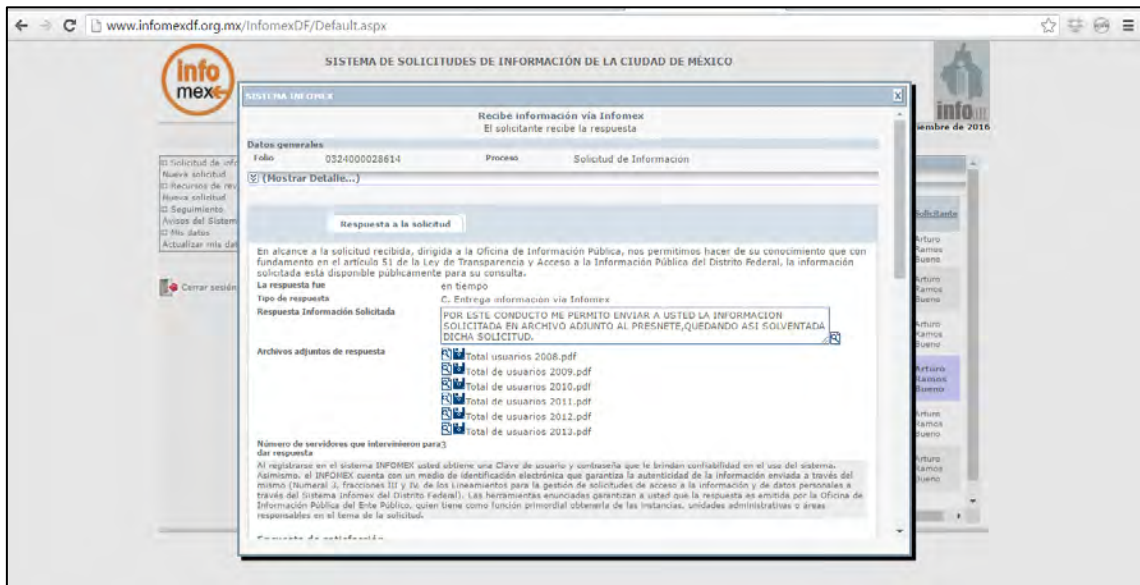


Figura 48 Respuesta del SACMex otorgada vía correo electrónico para la solicitud 0324000028614

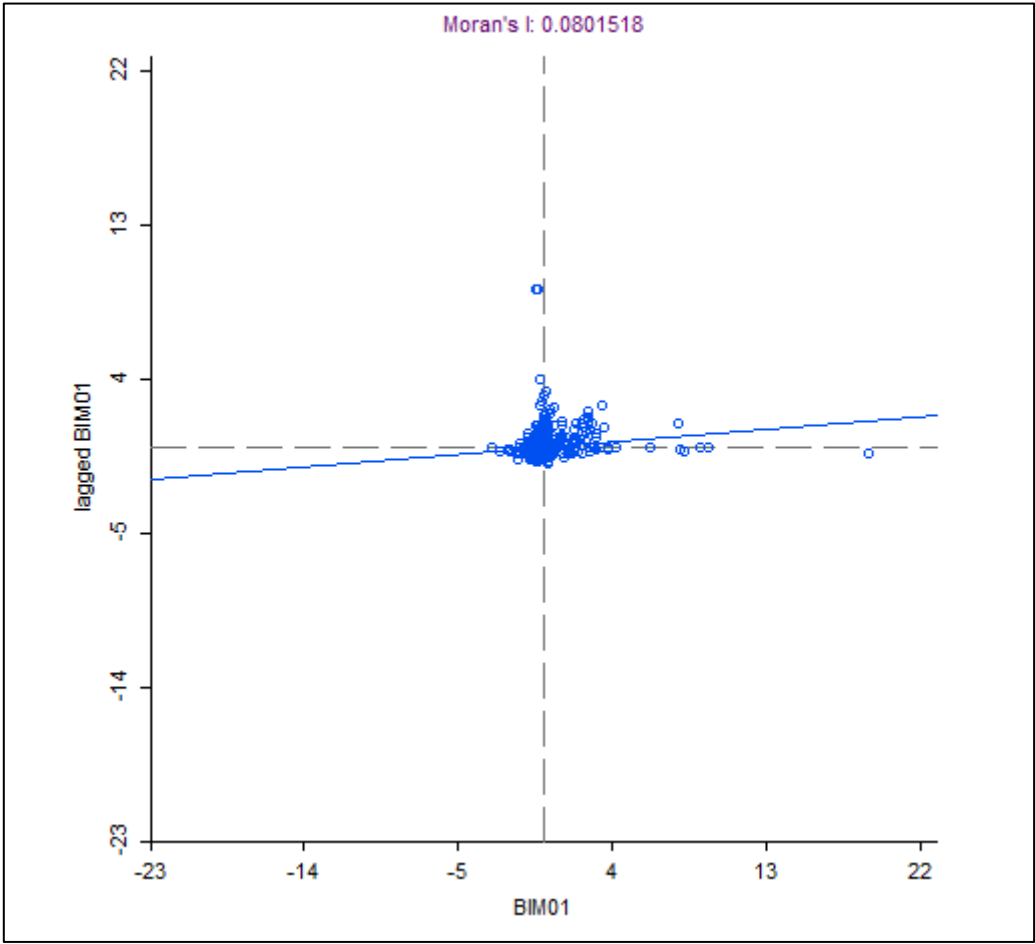
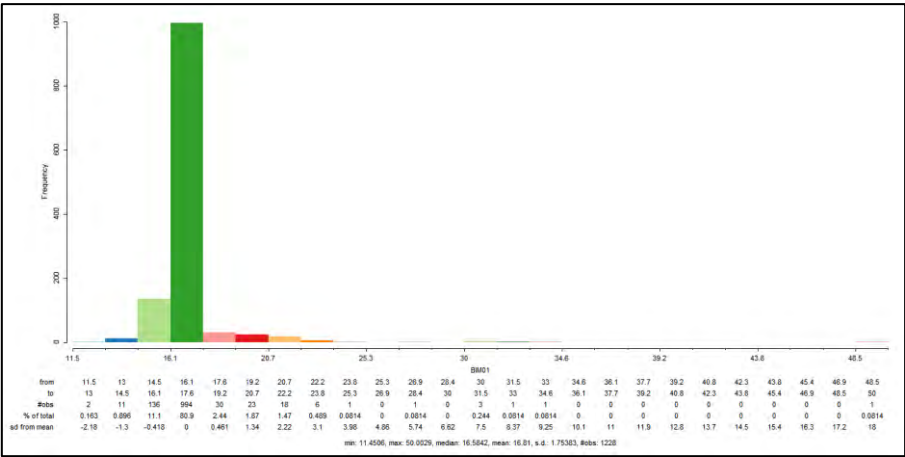
SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MEXICO

Total de usuarios registrados durante el ejercicio 2008

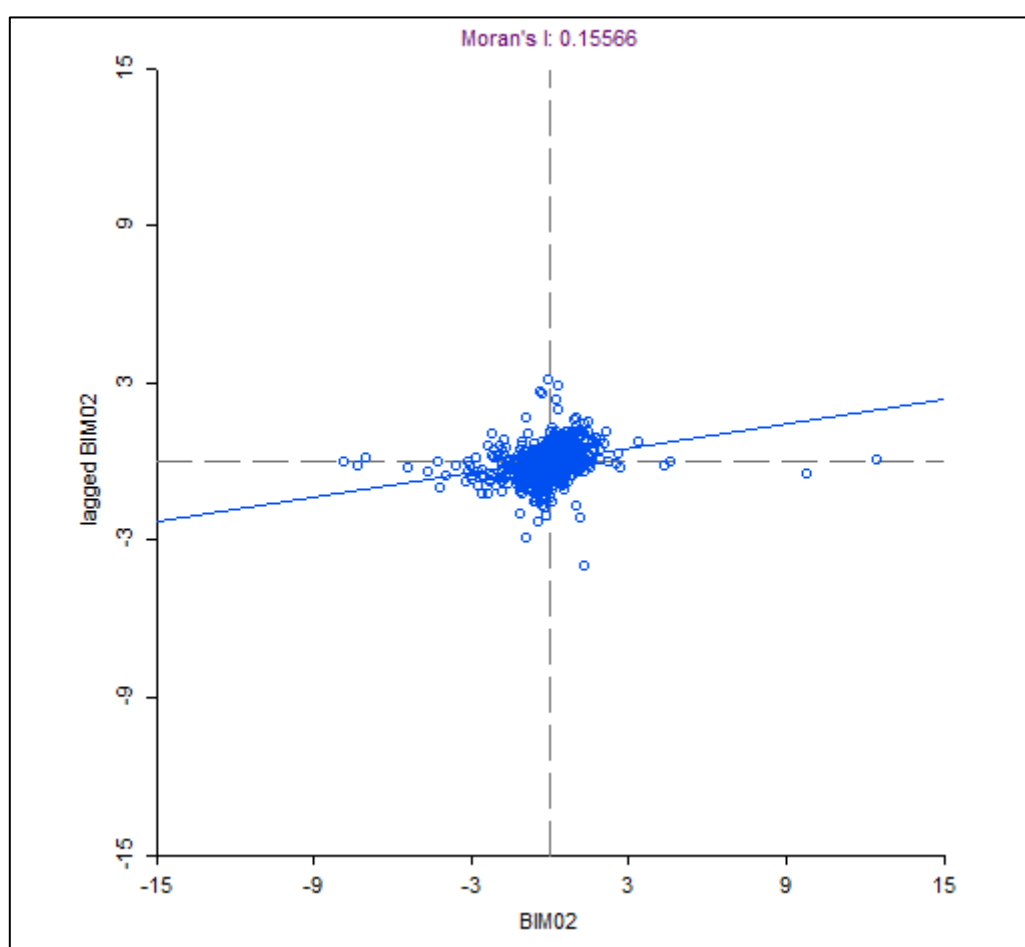
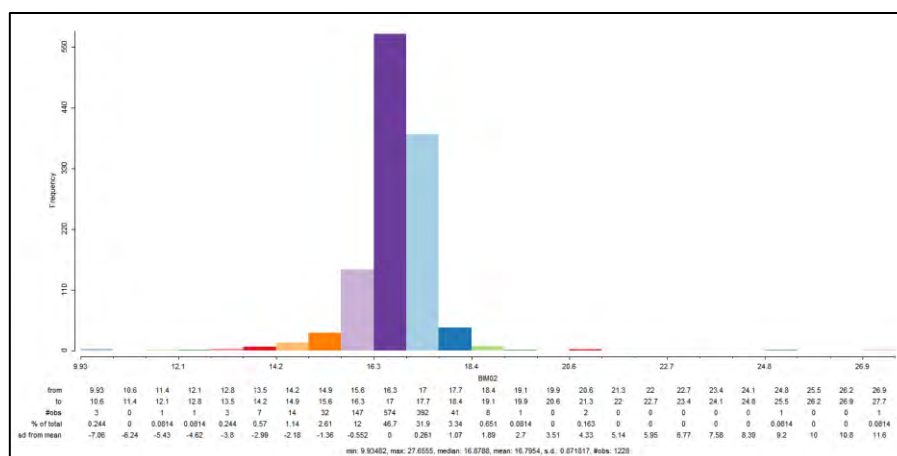
DELEGACIÓN	CÓDIGO	CATEGORÍA	DOMESTICO	INDUSTRIAL	COMERCIO	INDUSTRIAL	COMERCIO	INDUSTRIAL	COMERCIO	INDUSTRIAL	COMERCIO	INDUSTRIAL	COMERCIO	INDUSTRIAL	COMERCIO	TOTAL
ALVARO OREGÓN	09 DE MAYO	1388	167	2	168	4	0	4	1	3	2	123	3	175		
ALVARO OREGÓN	LA AMPL. PRESIDENTES	1299	372	66	438	20	2	28	10	3	13	408	71	479		
ALVARO OREGÓN	LA VICTORIA	1189	255	10	265	23	1	26	3	1	6	283	12	295		
ALVARO OREGÓN	LA VICTORIA SECC. BOSQUES	1369	336	23	359	40	0	40	12	0	12	391	21	412		
ALVARO OREGÓN	LA AMPL. EL PIRUL	1239	112	35	147	19	0	19	2	0	2	123	35	158		
ALVARO OREGÓN	LA AMPL. PRESIDENTES	1299	875	52	927	43	0	47	3	2	5	722	58	780		
ALVARO OREGÓN	LA AMPL. DEL MONTE DEL PUERTO TATEPAN	1299	168	37	205	11	0	11	1	0	2	156	37	193		
ALVARO OREGÓN	LA AMPL. AGOSTO	1359	132	77	209	11	0	11	20	0	20	158	77	235		
ALVARO OREGÓN	LA AMPL. GONZALEZ	1319	88	3	91	3	0	3	0	2	2	85	7	92		
ALVARO OREGÓN	LA AMPL. AGOSTO	1249	210	83	293	18	1	19	8	0	8	218	83	301		
ALVARO OREGÓN	LA AMPL. ALCAHUALA	1259	121	10	131	1	0	1	1	1	1	121	10	131		
ALVARO OREGÓN	LA AMPL. ALCAHUALA	1279	212	25	237	1	0	1	1	1	7	213	28	241		
ALVARO OREGÓN	LA AMPL. ALCAHUALA	1279	142	0	142	13	0	13	17	13	38	172	5	177		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1918	155	5	160	180	18	38	1307	729	2036		
ALVARO OREGÓN	ALFONSO XIII	2460	1202	716	1											

Anexo 2 Histogramas y diagramas de dispersión del análisis temporal

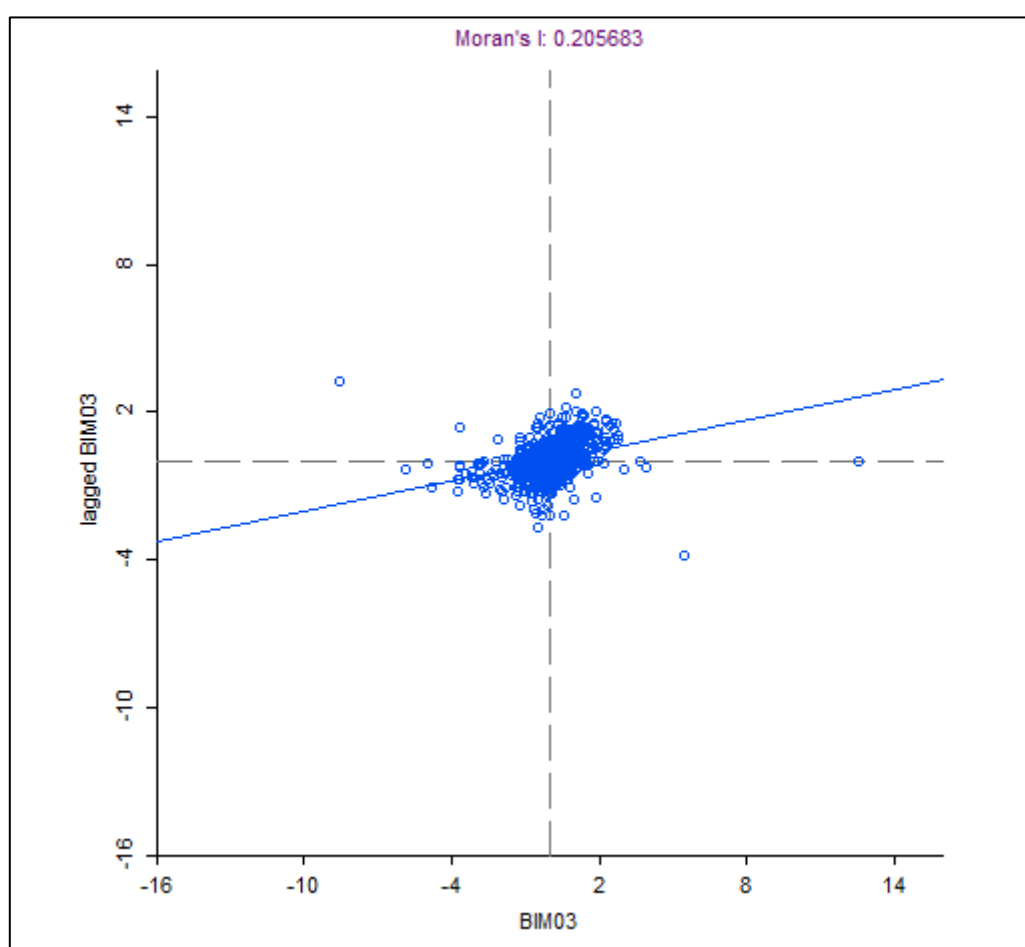
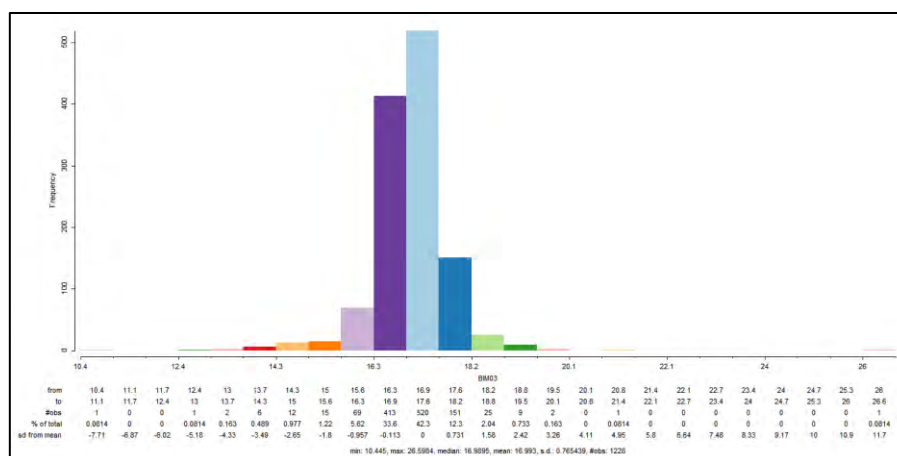
A continuación se presentan los histogramas y los diagramas de dispersión para las proporciones bimestrales de demanda de agua por uso doméstico.



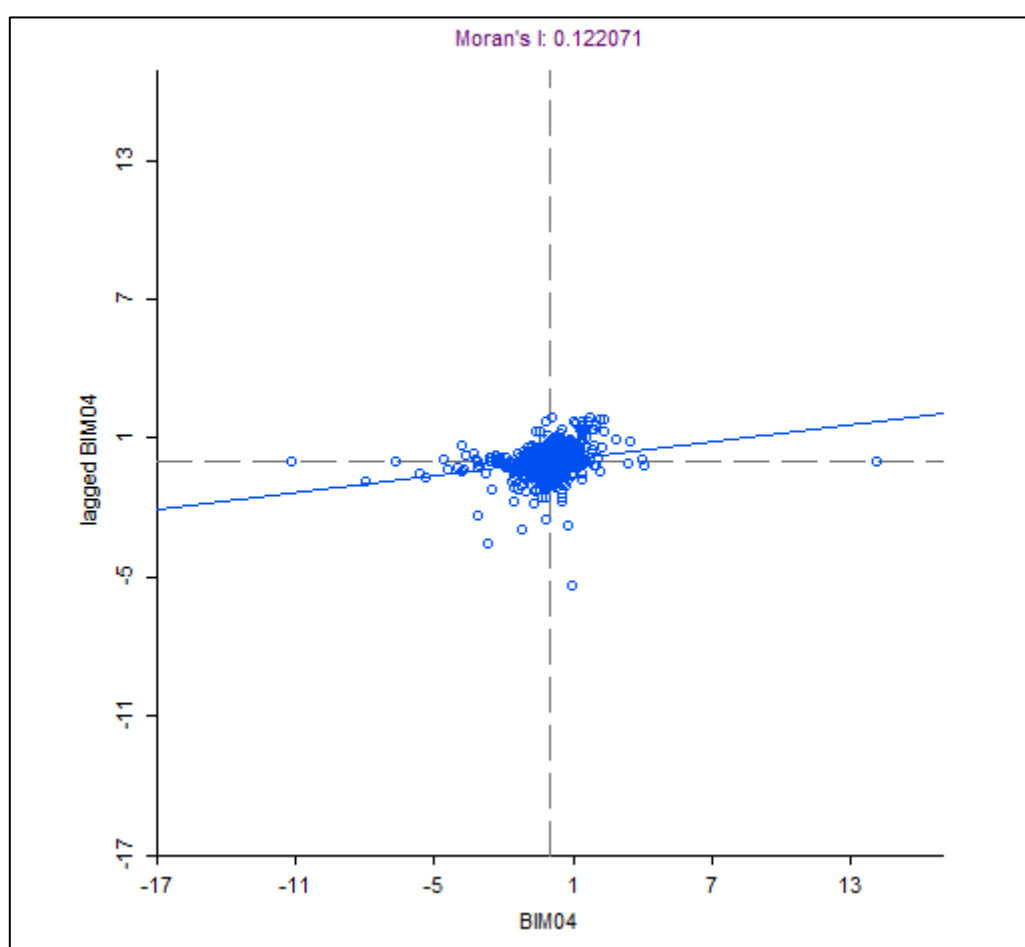
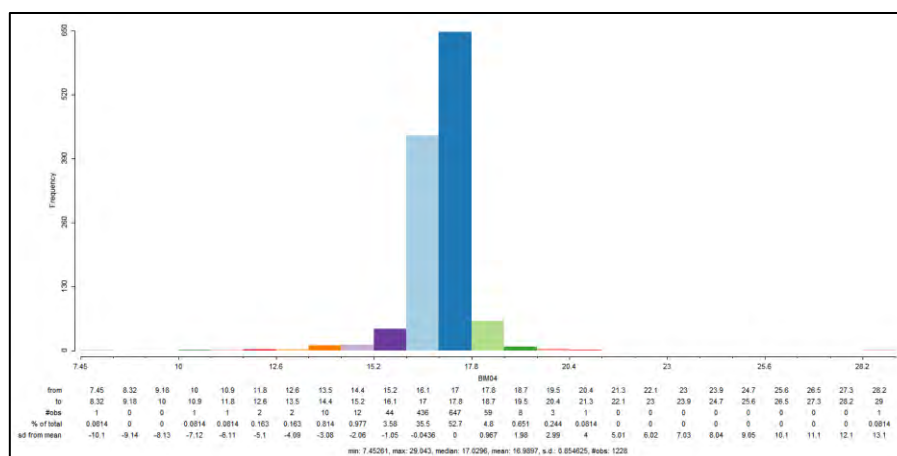
Gráfica 19 Proporciones correspondientes al primer bimestre 2008-2012 con su diagrama de dispersión correspondiente



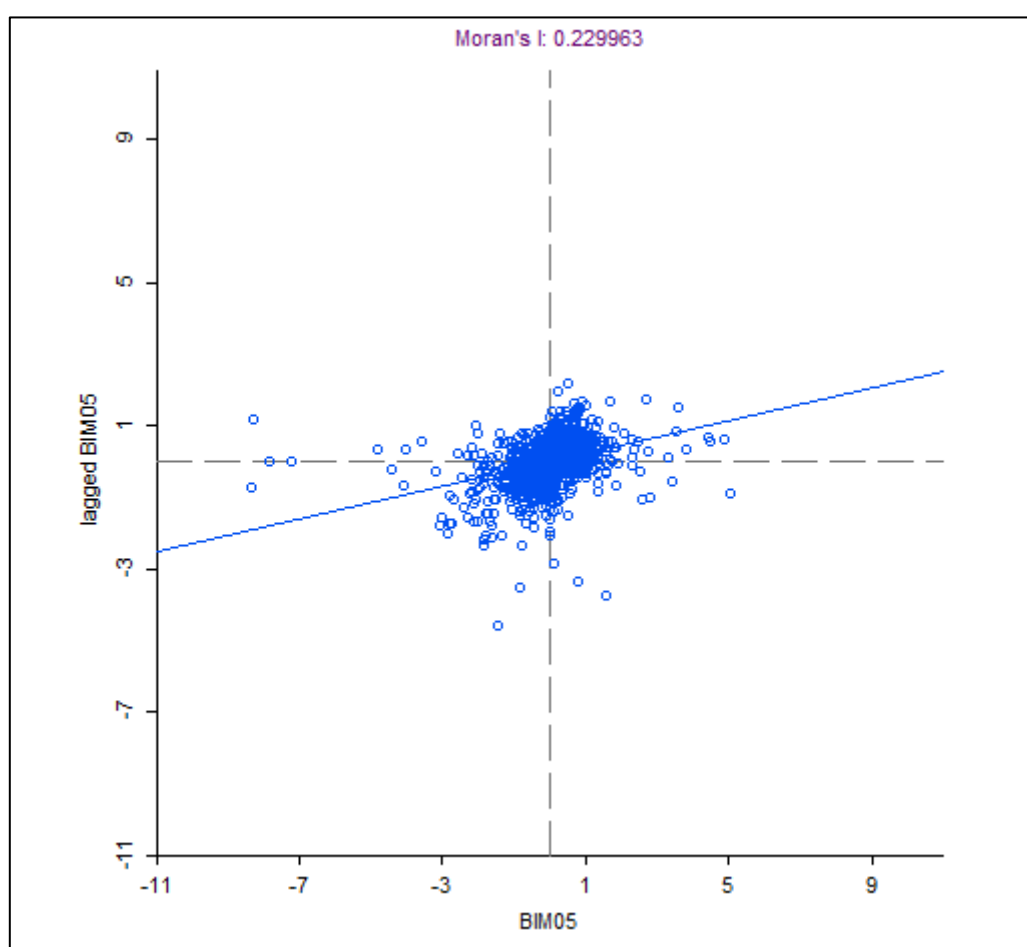
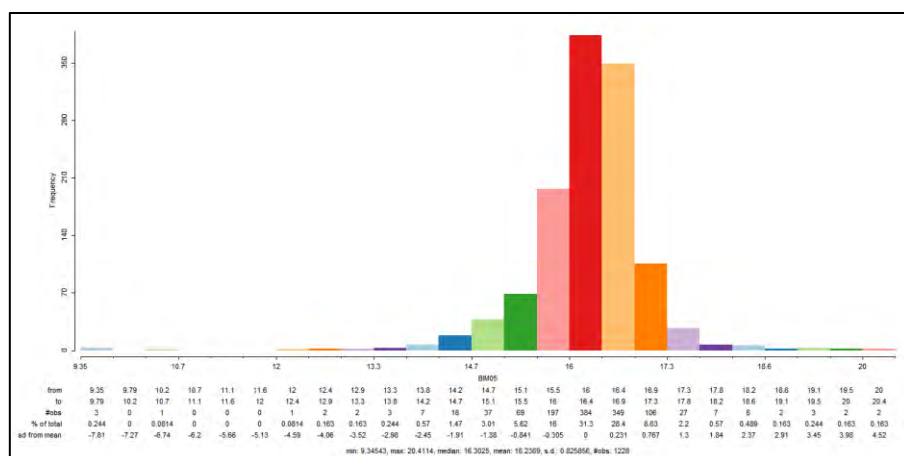
Gráfica 20 Proporciones correspondientes al segundo bimestre 2008-2012 con su diagrama de dispersión correspondiente



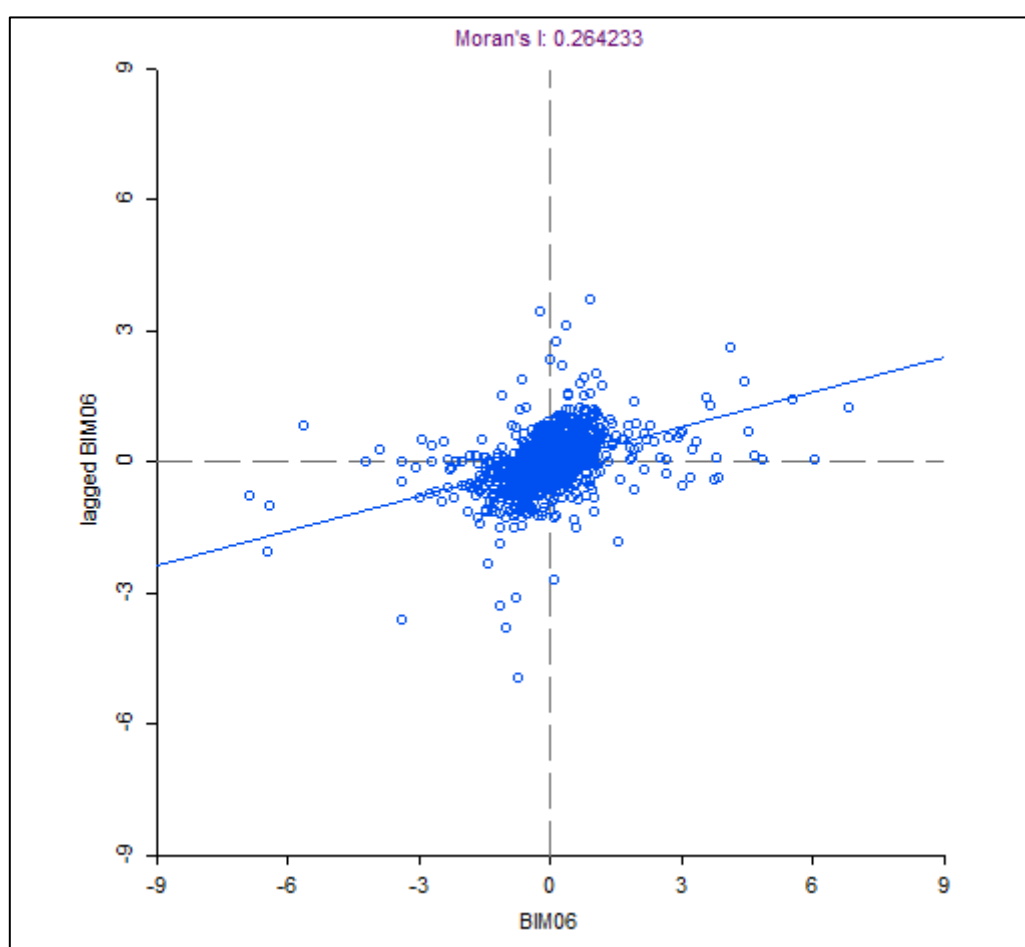
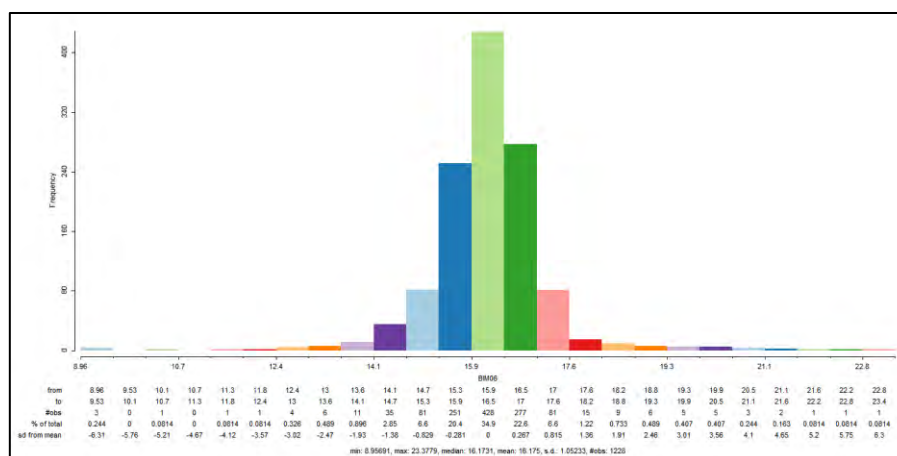
Gráfica 21 Proporciones correspondientes al tercer bimestre 2008-2012 con su diagrama de dispersión correspondiente



Gráfica 22 Proporciones correspondientes al cuarto bimestre 2008-2012 con su diagrama de dispersión correspondiente



Gráfica 23 Proporciones correspondientes al quinto bimestre 2008-2012 con su diagrama de dispersión correspondiente



Gráfica 24 Proporciones correspondientes al sexto bimestre 2008-2012 con su diagrama de dispersión correspondiente

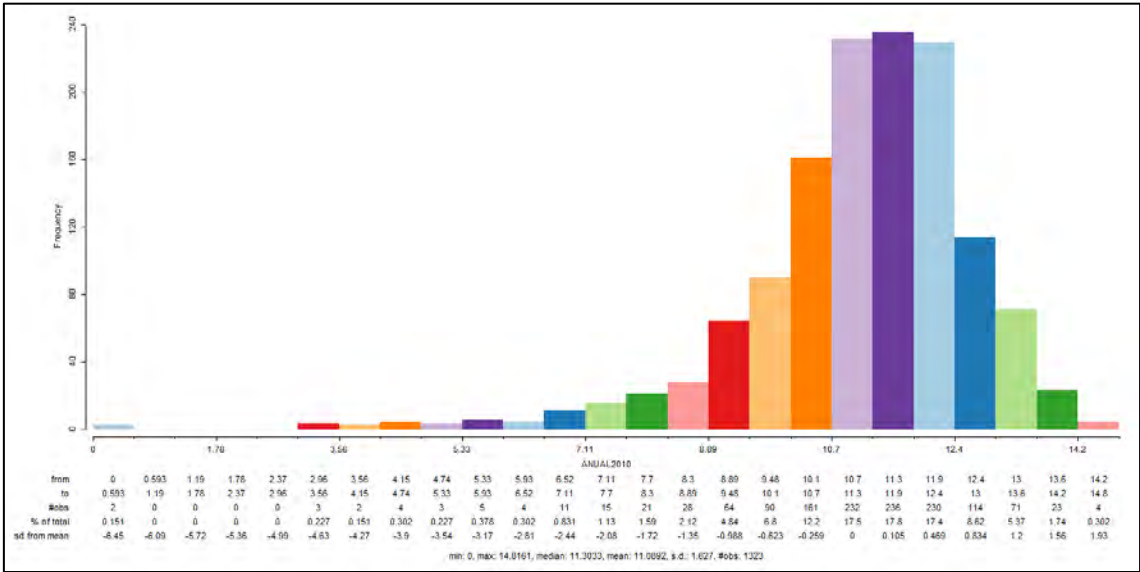
Anexo 3 Histogramas y diagramas de dispersión del análisis socio-espacial

Tabla 34 Variables censales en el Sistema de Consulta de Información Censal 2010

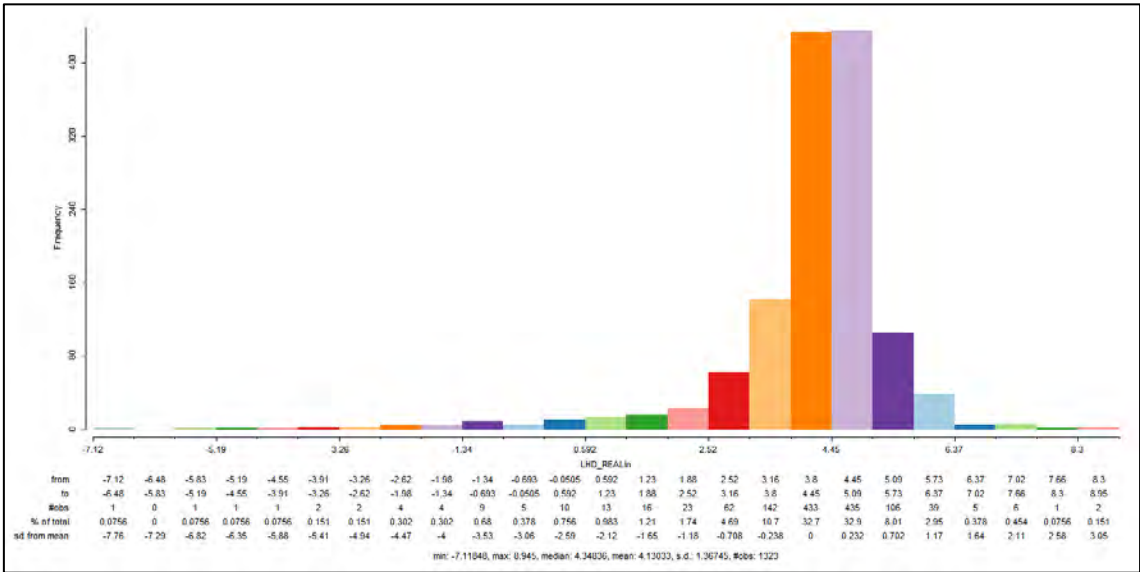
Clave	Nombre
VIV0	Total de viviendas
VIV1	Total de viviendas habitadas
VIV2	Viviendas particulares
VIV3	Ocupantes en viviendas particulares
VIV6	Viviendas particulares habitadas con piso de tierra
VIV7	Viviendas particulares habitadas con un dormitorio
VIV8	Viviendas particulares habitadas con dos o más dormitorios
VIV9	Viviendas particulares habitadas con 2.5 o más ocupantes por dormitorio
VIV10	Viviendas particulares habitadas con un cuarto
VIV11	Viviendas particulares habitadas con dos cuartos
VIV12	Viviendas particulares habitadas con tres cuartos o más
VIV13	Viviendas particulares habitadas con 3 ocupantes por cuarto
VIV14	Viviendas particulares habitadas con electricidad
VIV15	Viviendas particulares habitadas sin electricidad
VIV16	Viviendas particulares habitadas con una toma de agua dentro de la propiedad
VIV17	Viviendas particulares habitadas sin una toma de agua dentro de la propiedad
VIV18	Ocupantes con acceso al agua con una toma dentro de la propiedad
VIV19	Viviendas particulares habitadas con excusado
VIV20	Viviendas particulares habitadas sin excusado
VIV21	Ocupantes en viviendas particulares con excusado y drenaje
VIV22	Viviendas particulares habitadas con drenaje
VIV23	Viviendas particulares habitadas sin drenaje
VIV24	Viviendas particulares habitadas con electricidad, toma de agua y drenaje en la propiedad
VIV25	Viviendas particulares habitadas sin electricidad, toma de agua y drenaje en la propiedad
VIV26	Viviendas particulares habitadas con refrigerador
VIV27	Viviendas particulares habitadas con lavadora
VIV28	Viviendas particulares habitadas con automóvil
VIV29	Viviendas particulares habitadas sin refrigerador ni lavadora
VIV30	Viviendas particulares habitadas sin refrigerador, lavadora ni automóvil
VIV31	Viviendas particulares habitadas con radio
VIV32	Viviendas particulares habitadas con televisión
VIV33	Viviendas particulares habitadas con computadora
VIV34	Viviendas particulares habitadas con teléfono fijo
VIV35	Viviendas particulares habitadas con celular
VIV36	Viviendas particulares habitadas con internet
VIV37	Viviendas particulares habitadas sin radio ni televisión
VIV38	Viviendas particulares habitadas sin teléfono fijo ni celular
VIV39	Viviendas particulares habitadas sin computadora ni internet
VIV40	Viviendas particulares habitadas sin tecnologías de la información
VIV41	Viviendas particulares habitadas sin ningún bien

[Fuente: sitio web de INEGI <http://www.inegi.org.mx/est/scince/scince2010.aspx>]

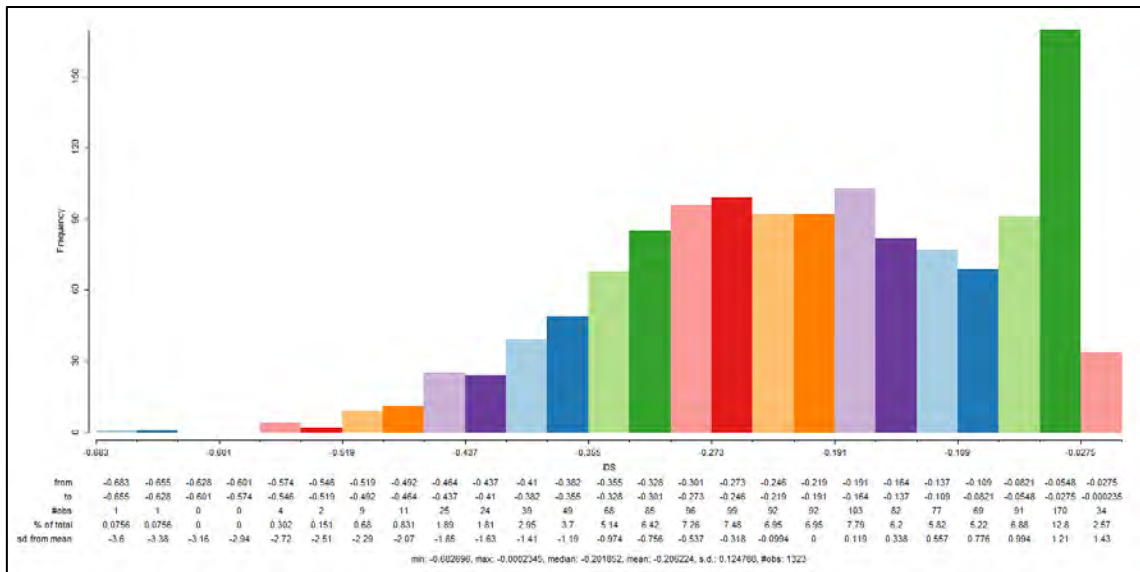
Histogramas de la variable dependiente y las independientes en su forma logarítmica. Son las que se utilizaron en los modelos explicativos



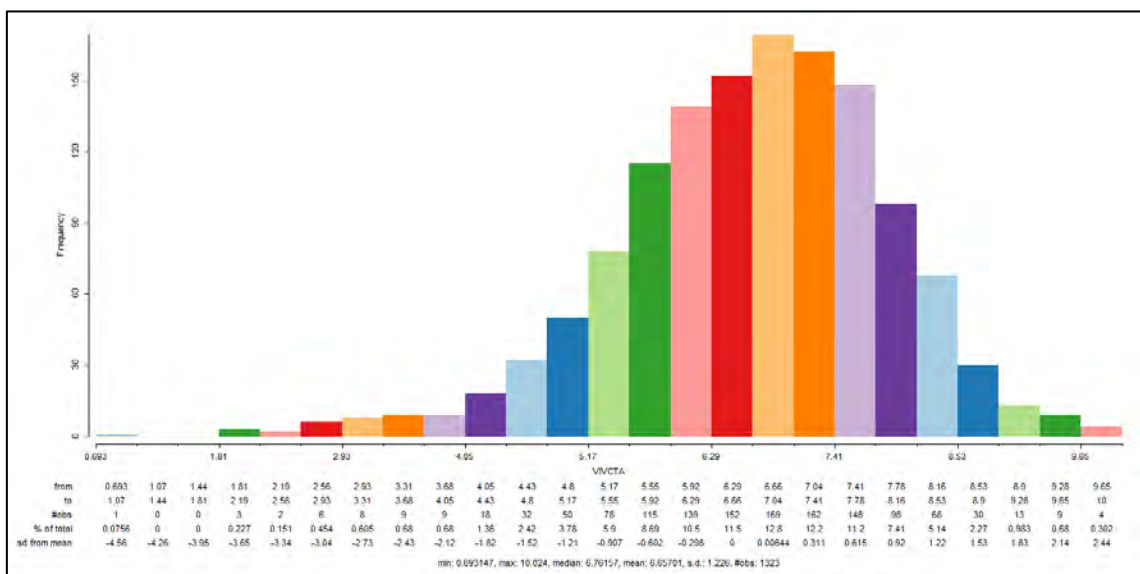
Gráfica 25 Histograma de la demanda por uso doméstico de agua en términos brutos



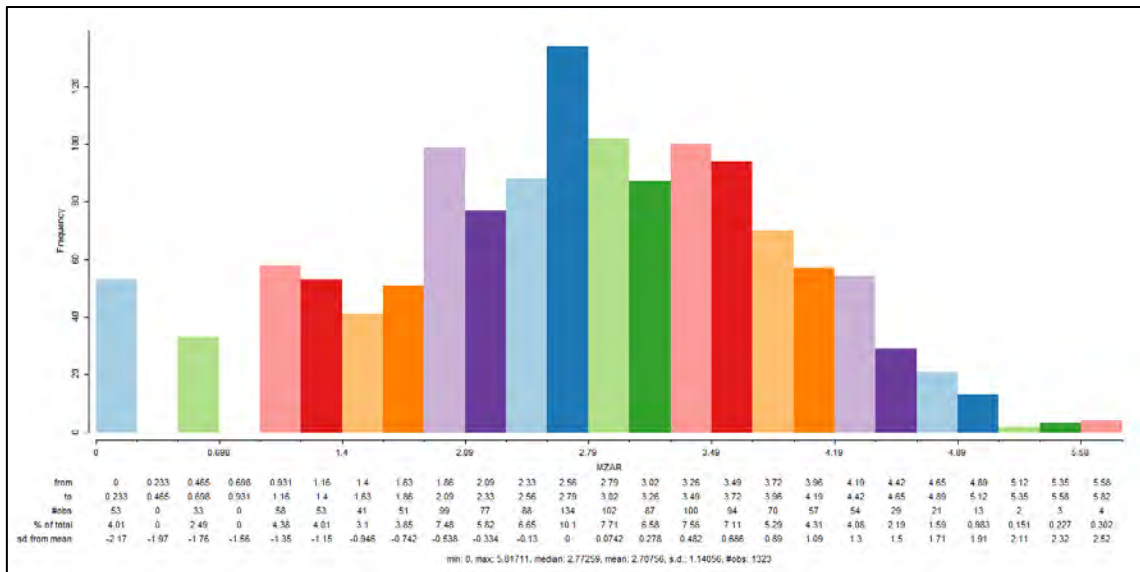
Gráfica 26 Histogramas de la demanda por uso doméstico en forma per cápita



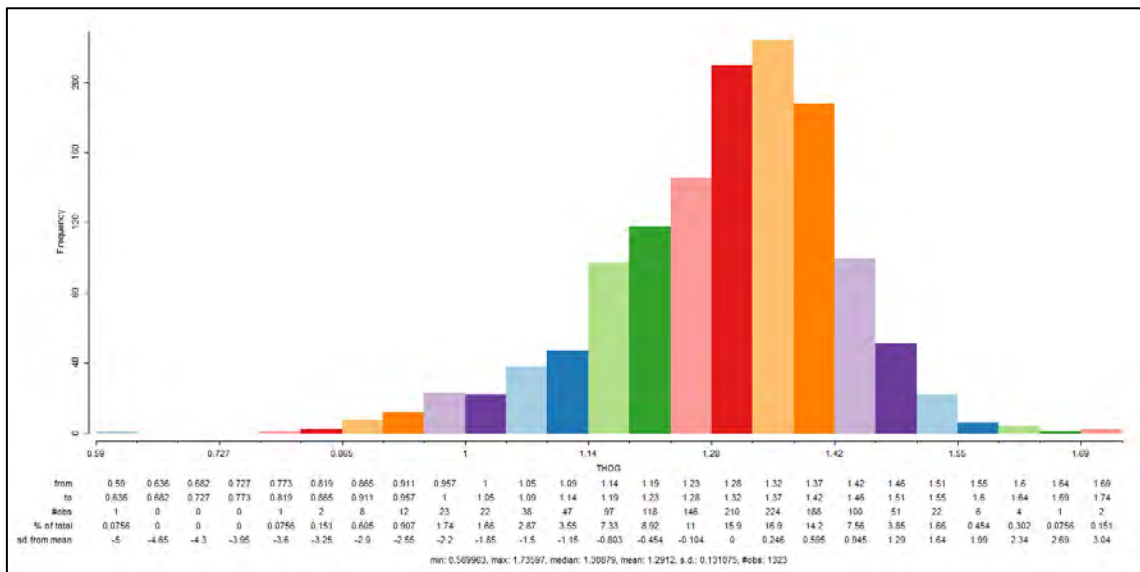
Gráfica 27 Histogramas de la variable explicativa: Índice de Desarrollo Social



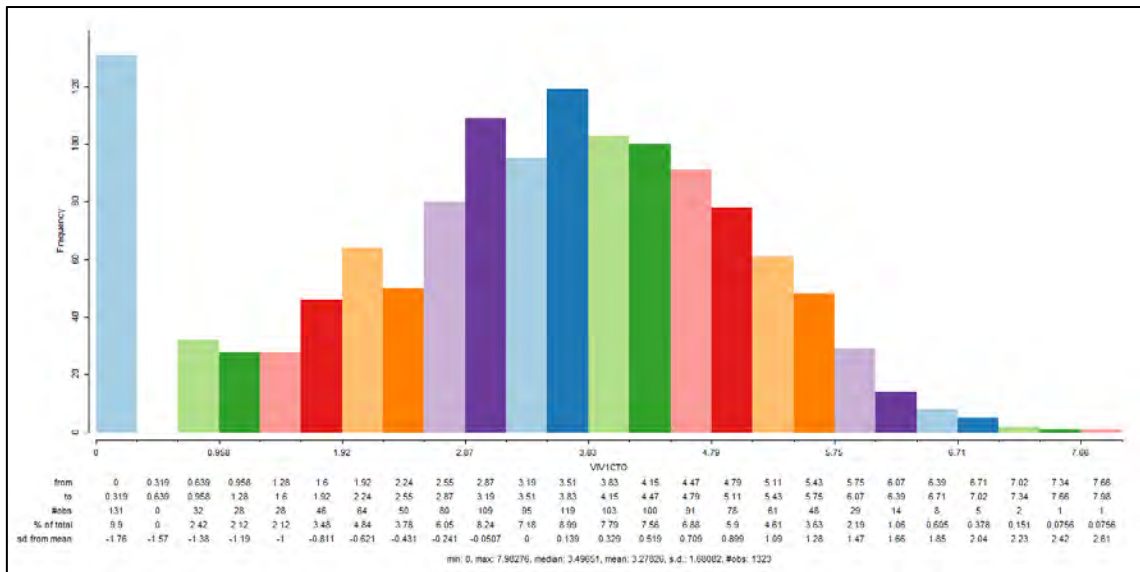
Gráfica 28 Histograma de la variable explicativa: Viviendas con toma de agua al interior



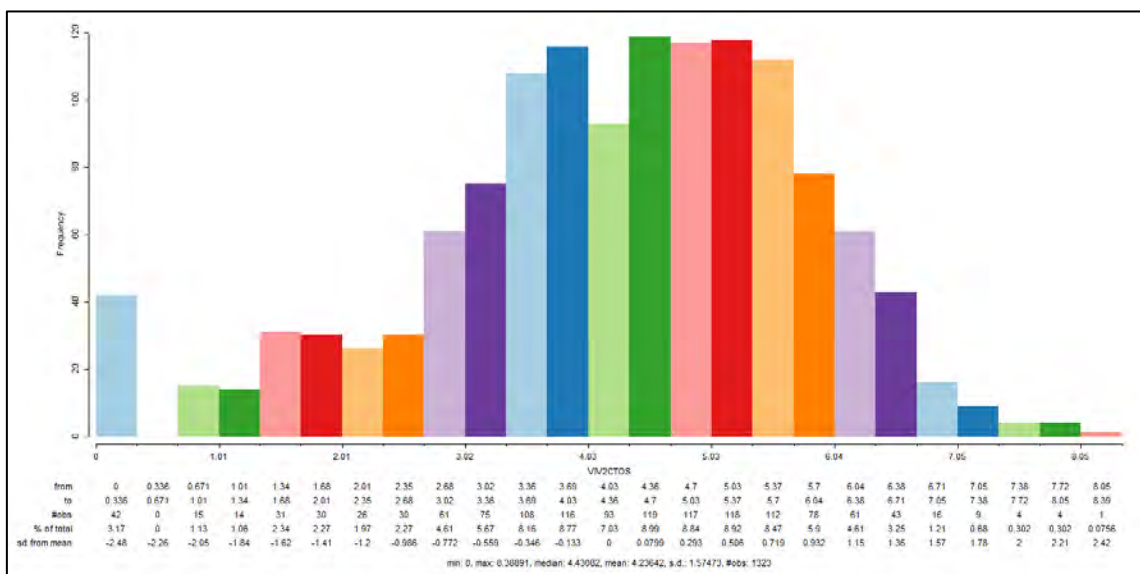
Gráfica 29 Distribución de la variable explicativa: Manzanas con árboles y plantas de ornato en sus lados



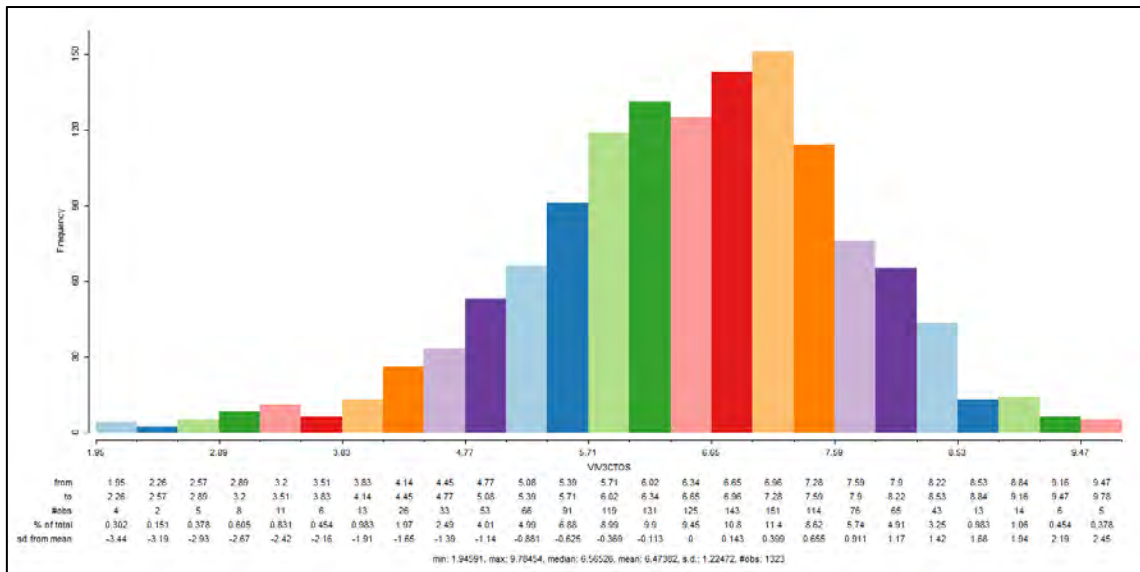
Gráfica 30 Histograma de la variable explicativa: Tamaño del Hogar



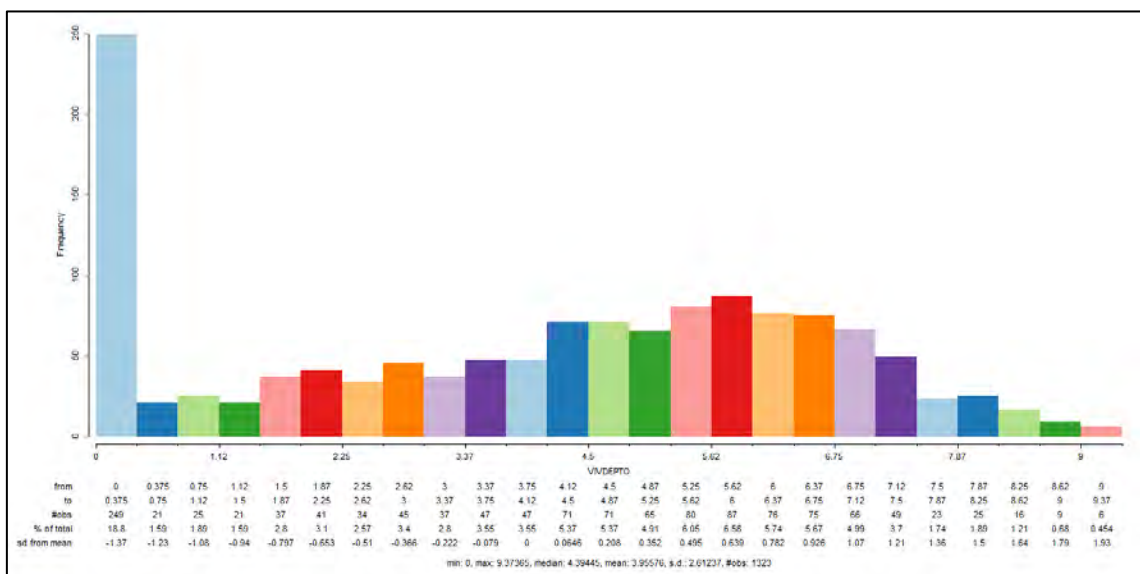
Gráfica 31 Histograma de la variable explicativa: Viviendas con un cuarto



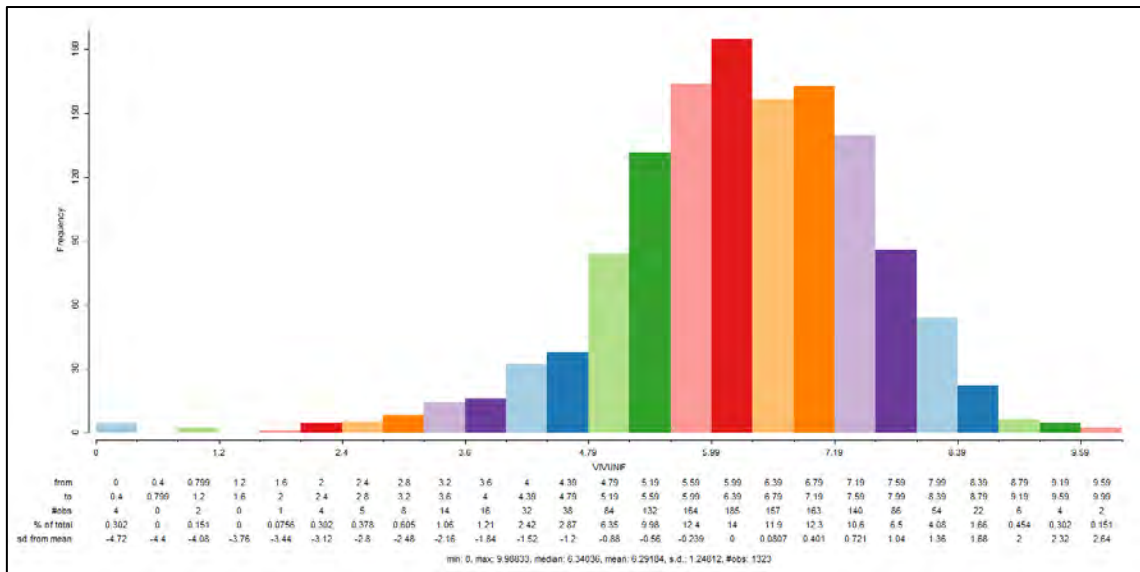
Gráfica 32 Histograma de la variable explicativa: Viviendas con dos cuartos



Gráfica 33 Histograma de la variable explicativa: Viviendas con tres cuartos o más



Gráfica 34 Histograma de la variable explicativa: Viviendas en departamento



Gráfica 35 Histograma de la variable explicativa: Viviendas unifamiliares