



CENTRO DE ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS, URBANOS Y AMBIENTALES

**DESIGUALDAD EN LA DOTACIÓN, CONSUMO, PATRONES DE USO Y AHORRO
DE AGUA POTABLE EN HOGARES URBANOS DE MÉXICO**

Tesis presentada por
OMAR LÓPEZ RAMOS

Para optar por el grado de
DOCTOR EN ESTUDIOS URBANOS Y AMBIENTALES

Directora de Tesis
DRA. LANDY LIZBETH SÁNCHEZ PEÑA

CIUDAD DE MÉXICO, 09 DE AGOSTO DE 2024



CENTRO DE ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS, URBANOS Y AMBIENTALES

DOCTORADO EN ESTUDIOS URBANOS Y AMBIENTALES

Constancia de aprobación de tesis

Ciudad de México, 09 de agosto de 2024

Directora de tesis: Dra. Landy Lizbeth Sánchez Peña

Aprobada por el Jurado Examinador:

Sinodales propietarios

Presidente

Nombre: Dra. Landy Lizbeth Sánchez Peña Firma:

Vocal

Nombre: Dr. Mario Enrique Fuente Carrasco Firma:

Secretario

Nombre: Dr. Carlos Andrés López Morales Firma:

Sinodal suplente

Nombre: Dra. María Perevochtchikova Firma:

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de México, institución en donde pasé los mejores tres años de mi vida académica. Sin duda alguna, mi estancia por las aulas del Colegio marcó un antes y un después en mi formación como investigador.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca que me otorgó para cursar mis estudios doctorales y a la Fundación Kaluz por beca concedida para terminar de escribir esta tesis.

A mi directora de tesis, Dra. Landy Sánchez, ¡No pude elegir mejor guía!

Al Dr. Carlos López, Dr. Mario Enrique Fuente, Dra. María Perevochtchikova, su retroalimentación fue fundamental para enriquecer mi trabajo.

A mi esposa Alexandra Sánchez por su acompañamiento incondicional, siempre.

A mis padres Aida y Porfirio; a mis hermanos, César y Lorena; a mis sobrinos Itzel y Eduardo y a mi cuñada Teresita.

Índice de contenido

Resumen	8
Introducción	9
Capítulo I. Estimación de un modelo de consumo de agua para los hogares urbanos de México	12
1.1 Disponibilidad y consumo de agua en México	13
1.2 Las tarifas de agua en el país.....	16
1.3 Revisión de la literatura.....	17
1.3.1 ¿Cómo se mide el consumo del agua en los hogares?.....	17
1.3.2 Sobre la desigualdad en el uso y consumo de agua en los hogares.....	21
1.3.3 ¿Por qué es importante medir la desigualdad del consumo del agua en los hogares del país?	26
1.4 La Encuesta Nacional de los Hogares (ENH) y el Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA).....	28
1.5 Propuesta de medición del consumo del agua en los hogares urbanos	33
1.5.1 Tratamiento de los datos y las variables de la encuesta MOHOMA	33
1.5.2 Análisis de los valores perdidos	35
1.5.3 Estimación del consumo de agua bajo la imputación de valores perdidos	40
1.6 Indicadores de desigualdad en el consumo de agua (en metros cúbicos) para los hogares urbanos del país	43
1.7 Indicadores de desigualdad en el gasto en agua (pesos pagados) para los hogares urbanos del país.....	49
1.8 Conclusiones	54
Capítulo 2: Patrones de uso y ahorro de agua en las viviendas urbanas de México	58
2.1 Revisión de la literatura.....	60
2.2 Descripción de las variables.....	64

2.2.1	Dimensiones y estrato socioeconómico	65
2.3	Metodología para la construcción de perfiles	72
2.4	Análisis de los datos	75
2.4.1	Tratamiento de las variables.....	75
2.4.2	Estimación y elección del modelo de Clases Latentes	77
2.5	Resultados del modelo de Clases Latentes.....	78
2.6	Conclusiones	84
Capítulo 3: Patrones de concentración espacial, inequidad y determinantes del consumo del agua en las viviendas urbanas de las colonias de la Ciudad de México		
		86
3.1	Estado del arte	87
3.2	La problemática del agua en la Ciudad de México	90
3.3	Metodología	92
3.3.1	Obtención del dato y construcción de la variable “consumo de agua” de las colonias de la CDMX.....	93
3.3.2	Agregación de las variables socioeconómicas a escala de colonias.....	95
3.3.3	Imputación de datos para la variable “consumo de agua”	97
3.4	Análisis del consumo de agua en las colonias de la CDMX	102
3.4.1	Índice de desigualdad del consumo de agua en las colonias de la CDMX	105
3.5	Determinantes del consumo de agua en las colonias de la CDMX.....	110
3.5.1	Normalización de las variables	110
3.5.2	Construcción del modelo de regresión de rezago espacial para el consumo de agua <i>per cápita</i> en las colonias de la CDMX.....	113
3.5.3	Interpretación de los coeficientes del modelo de rezago espacial.....	119
3.6	Conclusiones	122
CONCLUSIONES GENERALES		124

Lista de referencias..... 127

ANEXOS..... 138

Índice de cuadros

1.1. Consumo mensual de agua por estrato socioeconómico (m ³).....	36
1.2. Frecuencia de dotación de agua según estrato de la vivienda.....	37
1.3. Consumo de agua (m ³ y pesos) según el tipo de vivienda.....	37
1.4. Consumo de agua (m ³ y pesos) según el tamaño de la vivienda (cuartos).....	37
1.5. Consumo de agua (m ³ y pesos) según años de antigüedad de la vivienda.....	38
1.6. Consumo de agua (m ³ y pesos) según el sexo del jefe de familia.....	38
1.7. Consumo de agua (m ³ y pesos) por rango de edad del jefe de familia.....	39
1.8. Concentrado de datos perdidos según cantidad pagada y periodo de pago.....	40
1.9. Comparativa de consumo de agua en hogares urbanos con datos originales y datos imputados.....	42
1.10. Consumo de agua en los hogares del país por deciles (m ³).....	43
1.11. Índices de desigualdad en el consumo de agua.....	45
1.12. Consumo de agua (m ³) en los hogares del país según estrato socioeconómico.....	46
1.13. Consumo de agua en los hogares del país (m ³) según nivel de instrucción del jefe(a) de hogar.....	47
1.14. Consumo de agua en los hogares del país según el número de cuartos de la vivienda.....	48
1.15. Consumo de agua en los hogares del país (m ³) según edad del jefe(a) de familia.....	48
1.16. Frecuencia de dotación de agua (m ³) en los hogares del país.....	49
1.17. Gasto en agua en los hogares del país por deciles (pesos).....	50
1.18. Índice de Gini y de Entropía Generalizado para el consumo de agua en pesos.....	50
1.19. Gasto en agua (pesos) en los hogares del país según estrato socioeconómico.....	51
1.20. Consumo de agua en los hogares del país (pesos pagados) según nivel de instrucción del jefe(a) de hogar.....	52

1.21. Consumo de agua en los hogares (en pesos pagados) del país según el número de cuartos de la vivienda.....	53
1.22. Consumo de agua en los hogares del país (en pesos pagados) según edad del jefe(a) de familia.....	53
1.23. Frecuencia de dotación de agua (según pesos pagados) en los hogares del país.....	54
2.1. Calificación de la medición del consumo de agua de la red pública según estrato socioeconómico (porcentajes).....	65
2.2. Porcentaje de personas en desacuerdo, indiferentes o de acuerdo en pagar más por el servicio de agua como una medida para ahorrarla.....	66
2.3. Porcentaje de personas en desacuerdo, indiferentes o de acuerdo en revisar su recibo para ahorrar agua en su hogar.....	67
2.4. Mecanismos implementados en las viviendas (porcentajes).....	68
2.5. Prácticas de ahorro de agua implementadas en las viviendas (porcentajes).....	70
2.6. Afectados por fenómeno climático (porcentajes).....	72
2.7. Criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información Bayesiano (BIC) para un modelo de clases latentes con 15 variables.....	78
2.8. Clase latente 1 “Cornucopianos”.....	79
2.9. Clase latente 2 “ahorradore”.....	80
2.10. Clase latente 3 “equilibrados”.....	81
2.11. Clase latente 4 “eclécticos”.....	82
2.12. Distribución de las clases latentes en la población.....	83
3.1. Análisis de Varianza (ANOVA) para el modelo de regresión del consumo del agua en las colonias.....	97
3.2. Coeficientes de regresión (OLS).....	98
3.3. Comparativo de los modelos de imputación estimados.....	101
3.4. Percentiles del consumo de agua de las colonias de la CDMX.....	105

3.5. Índice de Entropía Generalizada (IEG).....	106
3.6. Proporciones de consumo de agua e Índice de Gini según IDS.....	109
3.7. Matriz de vecindad.....	114
3.8. Matriz de vecindad normalizada.....	114
3.9. I de Morán para el logaritmo del consumo de agua.....	115
3.10 Diagnóstico de dependencia espacial.....	118
3.11 Resumen del modelo de regresión, OLS.....	118
3.12. Diagnóstico de dependencia espacial.....	119
3.13. Coeficientes del modelo de rezago espacial.....	119

Índice de gráficas

1.1. Tarifas domésticas de agua potable, 2017 (pesos/m ³ /mes).....	16
1.2. Porcentaje de poblaciones según su número de habitantes.....	30
1.3. Fuentes de abastecimiento de las viviendas urbanas de México (porcentaje).....	31
1.4. Periodo de pago de las viviendas urbanas.....	32
1.5. Curva de Lorenz para el consumo mensual de agua en m ³	45
1.6. Curva de Lorenz para el pago mensual en agua.....	51
2.1. Mecanismos instalados en las viviendas (porcentaje).....	68
2.2. Prácticas de ahorro de agua realizadas en las viviendas (porcentaje).....	69
3.1. Curva de Lorenz para el consumo de agua de la CDMX, 2020 (m ³ anuales).....	107
3.2. Histograma de la variable consu_A_pc.....	110
3.3. Histograma de la variable ln_A_pc.....	111
3.4. Histograma de la variable viv14r.....	111
3.5. Histograma de la variable Top_viv14_r.....	112
3.6. I de Morán, contigüidad de reina 1.....	115

Índice de figuras

2.1. Tipos de incentivos económicos, mecanismos físicos, prácticas y de sensibilización ambiental que contribuyen al ahorro del agua.....	63
3.1. Colonias en la CDMX sin datos de consumo de agua (2020).....	94
3.2. Consumo de agua doméstica en la CDMX para el año 2020 (por colonias).....	95
3.3. Clasificación (valores imputados) del consumo promedio de agua <i>per cápita</i> (por colonias).....	104
3.4. IDS (2020) de las colonias de la CDMX.....	108
3.5. Distintas matrices de contigüidad.....	113
3.6. Mapa de clústeres LISA.....	116

Resumen

El capítulo 1 tiene por objetivo determinar la cantidad de agua consumida en los hogares urbanos de México así como el grado de desigualdad existente en su consumo y realizar perfiles socioeconómicos de los consumidores. Para la estimación de la cantidad consumida se realizó un modelo de imputación de datos, mientras que la desigualdad en el consumo se tasó a través del Índice de Gini, el Índice de Entropía Generalizado y de la curva de Lorenz entre hogares.

En el capítulo 2 se establecen perfiles de los hogares según el tipo de prácticas, mecanismos u otros comportamientos de ahorro de agua llevados a cabo por sus integrantes; para lograrlo se realizó un Análisis de Clases Latentes (ACL) que permite obtener estructuras de clase sustentadas sobre alguna variable latente o constructo no observable manifestado por las familias.

El capítulo 3 tiene por objetivo determinar cuán desigual es la distribución espacial del consumo de agua en la Ciudad de México, así como encontrar cuáles son los determinantes socioeconómicos que más inciden en este consumo. Este objetivo se logró a través de la construcción de un Índice de Morán, un Índice de Gini y la construcción de un Modelo de Rezago Espacial.

Se estima el consumo promedio de agua por hogar a escala nacional en 16.2 m³ mensuales o 4.5 m³ *per cápita* al mes (lo que equivale a un gasto de 180.3 pesos para ese mismo periodo); mientras que el consumo para la CDMX es de 132 litros *per cápita* o 3.9 m³ mensuales. Ambos valores se encuentran por encima del consumo óptimo recomendado por la OMS (que es de 3m³ mensuales).

La desigualdad en el consumo de agua a escala nacional (medida por el índice de Gini) es de 0.47 lo que se traduce como una “desigualdad relativa” mientras que en la CDMX es de 0.64 lo que equivale a una “desigualdad alta”.

De acuerdo con la sensibilización ambiental, incentivos económicos, mecanismos físicos o prácticas llevadas a cabo en los hogares para ahorrar agua, se distinguen cuatro grupos de ahorradores: cornucopianos, ahorradores, equilibrados y eclécticos.

Introducción

Para Savater (citado en Arias, 2005) la igualdad se vincula a la justicia ya que es la “explicación de lo que hay y propuesta de lo que debería haber”; es decir que en contraste, la desigualdad es una manifestación de la exclusión de oportunidades de bienestar por parte de un sector social y por ende, potencial detonador de conflictos sociales.

Las desigualdades sociales se manifiestan en los ámbitos laboral, económico, en el acceso a los servicios de salud o la educación, por mencionar algunos. Sin embargo, una de las variables en las que se han centrado mayoritariamente los estudios de la desigualdad es el ingreso. Así, se sabe que por ejemplo en México la brecha de ingresos del decil más alto respecto al 50% inferior es de 1 a 31, siendo este país uno de los más desiguales en el mundo (Chancel et al., 2021).

La presente tesis analiza una de las aristas de la desigualdad, a saber, la desigualdad en el consumo del agua en los sectores urbanos del país y también en el caso de la ciudad de México. Estudiar la desigualdad del agua es relevante porque si bien es cierto que la dotación de agua que reciben los habitantes de las ciudades depende, por un lado, de la disponibilidad hídrica con que cuenta determinada región, y por el otro, de la infraestructura para extraerla y distribuirla; también lo es el hecho de que el consumo final de las personas está en función de sus características socioeconómicas. En particular, en el presente análisis se parte de la premisa de que a mayor nivel de ingreso (y de otras variables asociadas a éste como el grado de educación) se presenta un mayor consumo de agua.

Los indicadores encontrados (consumo promedio de agua, índice de desigualdad de Gini, entre otros) son de relevancia dado que con éstos es posible mensurar qué tan desigual es el consumo entre los diversos estratos socioeconómicos y con ello establecer qué tan lejos se encuentra el país de alcanzar los Objetivos para el Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030¹, de lograr el cumplimiento del artículo cuarto Constitucional² o de conceptos como el de la seguridad hídrica

¹ En específico del objetivo 6 mismo que es “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”.

² Dicho artículo menciona en su párrafo sexto que: “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines (Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, 1917).

y la Nueva Cultura del Agua³, por mencionar algunos ideales a alcanzar en el consumo humano de agua.

A fin de establecer criterios cuantitativamente comparables sobre la meta de dotación ideal de agua para la población, en la presente investigación se toman como parámetros los establecidos por la Organización Mundial de la Salud. Así, el consumo óptimo es aquel que alcanza los 100 litros por persona al día, el intermedio hasta 50 y el básico hasta 20 litros.

Respecto a la delimitación del ámbito de análisis, el crecimiento de la población y la urbanización son dos de las cuatro principales tendencias de la demografía global que están dando forma las pautas de la urbanización (junto con el envejecimiento y la migración) (United Nations, 2019b). Dadas estas tendencias y puesto que ninguna ciudad del mundo podrá ser sostenible ni mejorar la calidad de vida de sus habitantes si no garantiza primero un acceso fiable de agua potable a su población, hemos centrado este estudio en las localidades urbanas del país⁴.

Por otro lado, y al no existir un organismo único que contabilice el consumo de agua potable en los hogares a escala nacional, el primer problema que se presentó fue conocer cuál es la dotación de agua en los hogares en el país. Se recurrió a la información recabada en la Encuesta Nacional de los Hogares (ENH) misma que contiene información socioeconómica⁵ desagregada a escala estatal (INEGI, 2018d).

Otra fuente de valiosa información fue el Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA), encuesta que se aplicó de forma anexa a la ENH y que contiene información del comportamiento de los hogares de México en relación con diversos ámbitos relacionados al medio ambiente y al tema del agua, entre ellas las características del abastecimiento y consumo de agua en la vivienda (cantidad y el lapso que se pagó por el agua pública); la opinión de las personas sobre el servicio de agua de la red pública (características físicas del agua, percepción de su calidad, continuidad en el servicio, etc.); fuentes de abastecimiento; características del agua

³ Es un paradigma emergente en la gestión del agua en la cual se busca transitar de una visión productivista del agua hacia una en la cual se entiende como un derecho social pero bajo un manejo ecosistémico.

⁴ La definición censal y gubernamental de localidad urbana alude a aquella que reside en localidades de 2,500 o más habitantes (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2014).

⁵ Contiene indicadores demográficos (número de personas en la vivienda, edad), de educación, salud, vivienda (tipo de vivienda, materiales con que está construida, disposición de agua, frecuencia de dotación, existencia y tipos de baños y sanitarios, tipo de propiedad), patrimonio (equipamiento), tecnologías de la información de los hogares y estrato socioeconómico en que se ubican, entre otros; datos disponibles a nivel nacional tanto en áreas urbanas como rurales.

para beber; cuidado del agua (disponibilidad de mecanismos y prácticas para ahorrar agua) y las medidas que estarían dispuestos a tomar para ahorrar agua (INEGI, 2018c).

La encuesta MOHOMA es un instrumento único tanto por el tipo de información que recopila como por la escala a la que lo hace (nacional), pero que a pesar de la riqueza de los datos contenida en ella ha sido poco analizada⁶ y que en la presente investigación se retoma como la fuente principal de información (capítulo 1 y 2); así también, con los datos del Censo de Población y Vivienda 2020 (publicados también por el INEGI) se analizan las variables socioeconómicas que determinan el consumo de agua (capítulo 3).

La utilización de encuestas como fuentes complementarias de información como el tratamiento de los datos contenidos en ellas (procedimientos de imputación realizados en los capítulos 1 y 3) se considera un aporte metodológico a la literatura pues en la revisión de literatura realizada no se encontró un procedimiento similar para el tema específico del consumo del agua en los hogares.

La información disponible en las encuestas llevaron a formular una serie de problematizaciones respecto a lo que hacen los hogares con el agua que obtienen, por ejemplo: ¿las familias de ingresos altos usan más agua como lo sugiere la literatura?, ¿qué tanto más?, ¿cuál es el perfil socioeconómico de personas según sus niveles de consumo del agua?, ¿qué tan diferentes son los usos que un tipo de familias y otras hacen del agua? y, ¿cómo incide la localización espacial de los hogares en su consumo? Éstos son algunos de los cuestionamientos que en los estudios realizados a la fecha en el país no se han esclarecido del todo y que se abordan en los siguientes capítulos.

Finalmente, cabe mencionar que en el desarrollo de los capítulos se muestran los procedimientos implementados a detalle, las variables utilizadas con las abreviaturas tal cual aparecen en sus fuentes originales y la descripción de los pasos aplicados que se probaron y no funcionaron con el propósito de lograr la transparencia y la replicabilidad de los datos obtenidos, o para que éstos puedan ser usados como guía técnica en otras investigaciones que presenten problemas metodológicos similares al presentado.

⁶ De los pocos trabajos que han utilizado datos de esta fuente son los de González (2019), quien analiza el impacto de haber experimentado un fenómeno natural sobre la propensión a tomar acciones proambientales como separar la basura, reducir el uso del automóvil o ahorrar agua y energía; Juárez (2020), analiza la relación entre el consumo eléctrico de los hogares, la conciencia ambiental autorreportada y la vulnerabilidad ambiental percibida; y Gómez (2020) quien realiza un análisis probabilístico de las prácticas de uso del agua por estrato socioeconómico.

Capítulo I. Estimación de un modelo de consumo de agua para los hogares urbanos de México

El agua es un elemento indispensable para la vida planetaria, su disposición en calidad y cantidad suficiente es importante, no solo como un elemento sostenedor de la vida, sino que también es un indicador de la calidad de ésta. Además de su importancia biológica, en el aspecto social el consumo del agua toma relevancia debido a que éste se encuentra muy relacionado con dos fenómenos complementarios y que son muy estudiados en la literatura de la actualidad: la pobreza y la desigualdad.

Por otro lado, la cantidad de agua consumida en los hogares se encuentra condicionada no solo por su disponibilidad física (debido a la escasez natural, la contaminación, las sequías, etc.) y de infraestructura;⁷ sino también, y fundamentalmente, a una serie de variables socioeconómicas como la economía de las familias, a la condición geográfica y la localización física de las viviendas (tales como zonas en las que técnicamente es muy difícil o costoso llevarla entubada) las que determinan quién tiene acceso a ella, en qué cantidad y con qué calidad. La desigual repartición del consumo del agua entre los hogares es también un reflejo de la desigualdad socioeconómica de una sociedad constituyendo así una forma indirecta de visualizarla.

Dada la importancia del vital líquido para el desarrollo humano, el presente capítulo tiene por objetivo estimar cuánta agua consumen los hogares urbanos de México, determinar qué tan desigual es este consumo y establecer cuáles son los perfiles socioeconómicos de las personas y de los hogares. Lo anterior es de importancia pues con esta información se podría establecer una línea base que permita estimar que tan cerca se encuentra el Estado de cumplir con los objetivos de dotación de agua en las viviendas, evaluar las actuales políticas públicas de distribución y consumo de agua o implementar nuevas que coadyuven a corregir las asimetrías, mejorando así la calidad de vida de la población.

⁷ Sin dejar de reconocer, claro, que la existencia de esta infraestructura es una condición necesaria pero no suficiente para considerar que existe una adecuada dotación de agua en los hogares, especialmente en aquellos establecidos en entornos urbanos en donde los cuerpos de agua como ríos, arroyos, lagunas o presas no son una fuente cercana, confiable o posible de abastecimiento como sí lo podrían ser en los entornos rurales.

Para lograr el objetivo anterior y dada la información faltante en las estadísticas oficiales en primera instancia se realiza un procedimiento de imputación de valores faltantes. En segundo término, se estiman indicadores de desigualdad como el Índice de Gini, el Índice de Entropía Generalizada y la curva de Lorenz. Finalmente, se comparan los estimadores de consumo de agua (tanto en m³ consumidos como en pesos gastados en compra de agua) con algunas variables socioeconómicas a fin de establecer comparativas de desigualdad en el consumo de agua existentes entre la población.

1.1 Disponibilidad y consumo de agua en México

México no es ajeno a las tendencias de la demografía global, con una población de 126 millones de habitantes en 2020 y una densidad poblacional de 64.4 hab/km², es el décimo país más poblado del mundo. Para el 2025 seremos alrededor de 133 millones de personas (CONAPO, 2019) y la población total del país continuará creciendo al menos hasta el año 2050 cuando se calcula alcance su máximo (155 millones de habitantes), a partir de entonces empezará a decrecer (United Nations, 2019a).

Respecto a la urbanización y de acuerdo con el INEGI (2010), en 1950 poco menos del 43% de la población en México vivía en localidades urbanas, para 1990 el porcentaje ya era del 71%, en 2010 la cifra aumentó a casi 78% y se espera que este porcentaje siga incrementándose; dado lo anterior (y si las condiciones siguen tal como están ahora), es posible que la demanda de agua para consumo humano en los hogares urbanos del país también crecerá.

Aunado a este crecimiento urbano-poblacional, existe una distribución asimétrica en cuanto a la dotación y la demanda de los recursos hídricos en el país. A escala nacional el agua renovable⁸ *per cápita* disponible en el año 2019 fue de 3,586 m³/año, siendo la máxima de 18,375 m³/año para la Región Hidrológica Administrativa Frontera Sur y la mínima de 142 m³/año para la Región del Valle de México (Comisión Nacional del Agua, 2022).

⁸ Definida como la cantidad máxima de agua que es factible explotar anualmente en una región y que se renueva por medio de la lluvia o del agua proveniente de otras regiones o países (importaciones). Se calcula como el escurrimiento natural medio superficial interno anual, más la recarga total anual de los acuíferos, más los flujos de entrada, menos los flujos de salida de agua a otras regiones (Gleick 2002, citado por Comisión Nacional del Agua, 2022).

Por su parte, el grado de presión⁹ sobre el recurso hídrico nacional para el año 2020 fue de 19.4 % (considerado bajo). Sin embargo, la región con más alto grado de presión es el Valle de México con 127.8% (donde se concentra la mayor parte de población del país); mientras que la presión mínima se presenta en la Frontera Sur con 1.7%, misma que se considera como baja (Comisión Nacional del Agua, 2022).

De acuerdo con la CONAGUA (2022), y según la clasificación de usos agrupados consultivos¹⁰, en el año 2019 el uso de agua agrícola representó el 75.7% del total nacional, el abastecimiento público 14.7%, el industrial integrado 4.9 % y la electricidad (excluyendo la hidroelectricidad) el 4.7%. En el abastecimiento público¹¹ la fuente predominante es la subterránea, misma que representa el 56.6% del volumen total.

Así, para el año 2020 el 96.1% de las viviendas del país tenían acceso al servicio de agua entubada (dentro de la vivienda o predio, de llave pública, hidrante o de otra vivienda); este porcentaje se incrementa a 98% para el caso de viviendas urbanas y cae a 89.1% cuando éstas son rurales (Comisión Nacional del Agua, 2022). Aunque en el ámbito urbano nacional el porcentaje de cobertura es alto, sin embargo, y tal como lo describe el relator de la ONU “esas cifras [las de hogares conectados a la red pública], por impresionantes que sean, no reflejan más que la existencia de algún tipo de cobertura infraestructural, no el alcance real del acceso al agua y el saneamiento en los hogares de las personas, que es considerablemente inferior” (United Nations, 2017).

Figuroa et al., (2023) documentan lo anterior estableciendo que para el año 2022, solo el 31.5% de los hogares en México reporta haber recibido el agua de forma continua (7 días a la semana, las 24 horas del día), mientras que 50.5% la recibió en algún momento del último mes, 13.1% reportó no saber con qué frecuencia la recibió y 4.9% no contó con agua entubada. Es

⁹ Porcentaje que representa la proporción entre el agua empleada en usos consuntivos respecto al agua renovable. El uso consuntivo por su parte es la diferencia del volumen extraído menos el volumen que se descarga; incluye el uso doméstico y el uso público urbano. El grado de presión es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico en un país, cuenca o región; si éste es mayor al 40% se considera que se ejerce una fuerte presión sobre el recurso (Comisión Nacional del Agua, 2022).

¹⁰ Volumen de agua de una calidad determinada que se consume al llevar a cabo una actividad específica, el cual se determina como la diferencia del volumen de una calidad determinada que se extrae, menos el volumen de una calidad también determinada que se descarga, y que se señalan en la Ley de Aguas Nacionales, (Comisión Nacional del Agua, 2022).

¹¹ Consiste en aprovechar el agua entregada por las redes de agua potable, para el abastecimiento a los usuarios domésticos (domicilios), así como a diversas industrias y servicios (Comisión Nacional del Agua, 2022).

decir, la intermitencia en el suministro en las tuberías que surten de agua a los hogares constituye un serio problema a escala nacional. Así, cuando analizaron la intermitencia por nivel socioeconómico del hogar, encontraron que el quintil más bajo presentó el mayor porcentaje de hogares sin acceso a agua entubada (16.0%) y el menor porcentaje con suministro continuo de agua (26.3 %).

Entre los factores que se atribuyen a esta baja eficiencia en la dotación de agua es la debilidad financiera de los organismos operadores locales y de los municipios encargados de mantenerlos (Pacheco, 2020); las finanzas débiles de los organismos de captación, tratamiento y suministro (solo cobran en promedio el 51% del agua suministrada) y la poca eficiencia con la que operan: de los 2,0401 organismos que hay en el país, al menos una tercera parte lo hace con insuficiencia técnica (Aguilar, 2020).

Otros estudios se han enfocado en analizar el consumo del agua en otras presentaciones como el de las botellas PET (Polietileno Tereftalato) y en garrafones de 19 litros. México tiene el primer lugar mundial en consumo de agua embotellada con un promedio que ronda entre los 174 y los 254 litros por persona por año (Pacheco, 2020) y también el primer lugar en consumo de refrescos (García, 2022), un sustituto imperfecto para cubrir la necesidad de beber agua (contiene entre 85 y 95% de este elemento), pero consumido regularmente por las familias mexicanas.

Entre los factores que explican el crecimiento del consumo del agua embotellada en el país se encuentran principalmente la falta de información sobre la calidad del agua que llega por la red pública, lo que ha establecido la percepción generalizada de una mala calidad de ésta (Montero, 2020b), la conveniencia de las botellas desechables, el miedo a enfermarse, el difícil acceso de las viviendas y la falta de infraestructura hidráulica (Pacheco, 2020).

Según la investigación de Montero (2020b) en las zonas de alta densidad urbana del país es en donde más se adquiere el agua en garrafón para consumo directo; para el 2014 tan solo la Ciudad de México y el Estado de México concentraron el 29.6% de las purificadoras a nivel nacional. Derivado de la pandemia de COVID y al confinamiento, se demandó mucho más agua en los hogares del país, como consecuencia de esto Montero & Hernández (2024) estiman que durante el año 2019 el número de purificadoras se triplicó en la CDMX.

con las tarifas más bajas se concentran al sureste (Villahermosa, Mérida, Campeche) y oeste (Zapopan, Colima) de la República mexicana.

Las ciudades con el Producto Interno Bruto (PIB) más alto (Ciudad de México, Tijuana, León, Puebla), también presentan las tarifas de agua más altas; en el extremo contrario, ciudades con PIB bajo (San Juan del Río, Campeche, Colima, Cuernavaca y Villahermosa) presentaron las tarifas más bajas de agua. Respecto a la actividad económica predominante en la ciudad, no parece haber una correspondencia clara entre ésta y su tarifa de agua.

Las tarifas también parecen obedecer a la disponibilidad de agua en la Región Hidrológica Administrativa (RHA) en la que se ubica la ciudad; por ejemplo, Tijuana, León, Naucalpan y Ciudad de México, se encuentran dentro de las 10 ciudades con las tarifas más altas y se ubican en la RHA I (Península de Baja California), VIII (Lerma-Santiago-Pacífico), XIII (Aguas del Valle de México) y XIII (Aguas del Valle de México), respectivamente; teniendo una dotación de 1024, 1390, 142 y 142 m³ *per cápita* al año (en 2019), lo que las sitúa en los lugares 11, 10, y 13 (de 13 RHA) en cuanto a su disponibilidad de agua.

Por el contrario, las ciudades con las tarifas de agua más bajas del país son Villahermosa, y Mérida (lugares 1 y 2, respectivamente), mismas que se asientan en la RHA XI (Frontera Sur) y XII (Península de Yucatán); éstas tienen una disponibilidad de 18,375 y 5,999 m³ *per cápita* al año, lo que las ubica en las posiciones 1 y 3 (de 13 RHA) con mayor disponibilidad de agua en el país. La información de las tarifas en cada ciudad se retomará en el apartado 1.5 para estimar el consumo de agua en pesos pagados por los hogares.

1.3 Revisión de la literatura

1.3.1 ¿Cómo se mide el consumo del agua en los hogares?

Para fines de medición y contabilidad en el consumo del agua en el país, la existencia de un organismo que concentrara esta información haría más fácil la obtención y el análisis de los datos; sin embargo, y dado que el artículo 115 de la Constitución establece que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos de “Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales” (Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, 1917), esta información se encuentra dispersa entre los 2,826 Organismos

Operadores de Agua (OOA) (INEGI, 2019) que realizan la actividad de captación, tratamiento y suministro de agua a diversas escalas administrativas, cada uno de ellos con capacidades técnicas y administrativas muy disímiles.

En el caso de las localidades rurales la medición de la cantidad de agua consumida en las viviendas es más complicada que en las urbanas debido a su carencia de capacidades administrativas y técnicas de los OOA locales para estimar el agua extraída y a que en gran parte de los casos se cobra el agua bajo la modalidad de cuota fija (es decir, con independencia de la cantidad utilizada), por lo que no existen mediciones del consumo de agua en estas viviendas.

Suponiendo que los OOA registraran el dato del consumo del agua en los hogares, esta información presenta el inconveniente de que éstos solo contabilizan el consumo de agua realizado a través de la red pública y no el de otros medios de aprovisionamiento como pozos o pipas privadas, medios también usados como fuentes de abastecimiento (ya sean como abastecedores principales o complementarios) en el entorno urbano. Por esta razones es necesario recurrir a otras fuentes de información.

En general, se puede distinguir tres abordajes metodológicos recurrentes en la literatura para obtener el dato del consumo: cuestionarios o encuestas aplicadas a los residentes de los hogares (Anselin et al., 2008; Galindo & Montesillo, 1999); a través del volumen físico a escala macro, (dividiendo el volumen disponible en la región entre la población o viviendas establecidas en el área de estudio) (Castro & Sisto, 2015; Salazar & Pineda, 2010); o realizando lecturas de los medidores instalados en las tomas domiciliarias (ya sea que estas las realice el OOA o los propios investigadores. En sus respectivas investigaciones, de Maria & Carvalho (2013), Garcia et al. (2019), Jaramillo-Mosqueira (2005) y Wafula & Ngigi (2015) utilizan este último tipo de abordajes metodológicos.

Respecto al uso de medidores, se puede distinguir la existencia de dos tipos de dispositivos, los llamados “inteligentes” y los tradicionales. Los medidores inteligentes permiten obtener información precisa del consumo de agua en distintos lapsos, el uso final que se le da al interior de la vivienda (regaderas, fregaderos, ducha, etc.) e incluso son capaces de proveer información en tiempo real. Sin embargo, la implementación de estos dispositivos aún no es generalizada entre los usuarios debido a su alto costo, por lo que las estimaciones de consumo de agua y

análisis con este tipo de terminales son aún escasas en la literatura. Liu et al. (2016), Makki et al. (2013) y Willis et al. (2013) usaron este tipo de dispositivos en sus investigaciones.

En general, la ventaja de utilizar información de los medidores de agua es que un alto porcentaje de la población se abastece a través del servicio que proporciona la red potable (ya sea pública o privada), especialmente en zonas urbanas de países en desarrollo y desarrollados (en México se estima que aproximadamente el 94% de los hogares cuentan con este servicio; INEGI, 2018c), por lo que casi todos los hogares son considerados al tomar esta fuente de información.

Otra ventaja del uso de datos provenientes directamente de los medidores es que la información recabada es lo más fidedigna posible, debido a que los datos sobre el consumo de agua no dependen de la memoria del encuestado y conseguirlos representa un bajo o nulo costo económico para el investigador. También aporta el hecho que los datos pueden estar disponibles para periodos temporales más grandes, lo que permite obtener promedios más precisos o un panorama más amplio del fenómeno.

Las desventajas que presentan las lecturas de los medidores es que tanto los organismos como los usuarios no siempre están dispuestos a compartir esta información. En el caso de los primeros por no tenerla digitalizada (principalmente en países no desarrollados, comunidades rurales y semi-urbanas) o por temor a comprometer la confidencialidad del usuario. En el caso de los usuarios por no tener a la mano la factura al momento de ser cuestionados sobre su consumo, por desconfiar del encuestador o del uso que se pueda dar a la información que proporcione.

Otra desventaja de esta fuente de información es que solo considera a los consumidores que se dotan a través de la red pública y no toman en cuenta otros medios de abastecimiento, que aunque representan un porcentaje mínimo de la población, también es importante considerar. Adicional a esto, en las lecturas de los medidores tampoco es posible capturar información relevante como la continuidad (disponibilidad) del servicio, la calidad del agua recibida en los hogares o el uso y prácticas de ahorro de agua implementadas en los hogares.

También desfavorece que en algunos casos la instalación de medidores es de uno por vivienda, sin considerar que dentro de una vivienda puede cohabitar más de una familia, lo que incrementa el consumo reportado. Una forma recurrente en la literatura para resolver este problema es calcular el consumo *per cápita* para una zona geográfica determinada, aunque esto conlleva

asumir que todas las personas consumen la misma cantidad de agua, supuesto que no necesariamente se cumple siempre debido a las disparidades socioeconómicas.

La segunda forma utilizada para aproximar el consumo de agua en los hogares es preguntar el dato directamente a los residentes de las viviendas a través de cuestionarios, en este caso el interrogatorio puede ser aplicado ya sea directamente por los investigadores o por los organismos encargados de generar información estadística en cada país. Posteriormente la información se compila y es entonces retomada como fuente de información secundaria por los investigadores.

Las ventajas que presentan las encuestas y los censos como fuente de información son, por un lado, la amplitud de la muestra (a diferencia de por ejemplo, los estudios de caso que son más pequeñas), que puede ir desde la escala municipal, estatal o nacional; y por el otro, la precisión de la localización de los datos, mismos que pueden ser referenciados incluso a escala de manzanas. Otra ventaja es que adicional al dato del consumo del agua, también es posible obtener información complementaria como la frecuencia de la dotación, el acceso, la infraestructura hidráulica-sanitaria, fuentes adicionales de provisión, calidad, etc., y que también se complementa con información relativa a las variables socioeconómicas de las personas y las características de los hogares o las viviendas.

Una desventaja inherente a las encuestas es que la respuesta obtenida depende de la buena memoria del entrevistado al momento de contestar, por lo que el dato obtenido podría estar sesgado o que por alguna razón éste no responda la información solicitada con veracidad. Otra desventaja de los cuestionarios es que con los datos recabados solo se puede realizar inferencia estadística en la escala para la que fueron diseñadas (nacional, estatal, municipal, etc.), por lo que tomar submuestras de éstas puede llevar a realizar estimaciones erróneas.

Finalmente, la última forma de aproximación al cálculo del consumo de agua por hogar consiste en estimarla con base en datos proporcionados por los organismos operadores. Obtenido el volumen total de agua disponible a escala macro (región, ciudad, cuenca principalmente), se divide entre el número de viviendas o personas en la zona, consiguiendo así un promedio (expresado en m^3 por vivienda o litros *per cápita* respectivamente) de consumo de agua.

La ventaja de los datos proporcionados por los organismos operadores son la fácil asequibilidad del dato de agua disponible. La principal desventaja es que se tiene que suponer un consumo homogéneo para la escala a la que se tenga el dato, lo que no permite visibilizar

problemas de inequidad en la distribución y el consumo a escalas menores a la usada originalmente (como los hogares, por ejemplo). Otro problema con los grandes volúmenes es que se desconoce el porcentaje exacto de agua perdida en fugas (solo se estima), tanto en la distribución como al interior de los hogares, lo que puede generar discrepancias notables entre el volumen total disponible y el total entregado en los hogares¹³.

En términos generales estos son los enfoques sobre cómo obtener el dato del consumo de agua en los hogares a escala nacional, mismos que se remiten a la existencia de grandes volúmenes de agua en las regiones, a la infraestructura (existencia de tuberías y tomas de agua) en las viviendas o a la frecuencia de abastecimiento con la que hipotéticamente se les dota de agua.

Cuando se habla del consumo del agua interesa entender cómo este ocurre en los hogares, en particular los hogares urbanos. Por esto es que se propone recurrir a datos de las encuestas de hogares que, además, ofrecen información sobre esas unidades y que permiten caracterizar sus perfiles socioeconómicos, las formas en que usan este recurso, la infraestructura con la que cuenta la vivienda e incluso, sus percepciones y valores ambientales. Se recurre en específico a la Encuesta Nacional de Hogares (ENH) y al Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA), fuentes de información poco analizadas en la literatura, pero que contienen datos con los cuales se considera posible aproximar tanto el dato del consumo físico del agua como las características socioeconómicas de los hogares urbanos del país que lo explican.

1.3.2 Sobre la desigualdad en el uso y consumo de agua en los hogares

La desigualdad es un concepto que se refiere a la forma en que determinadas sociedades reparten sus recursos; a pesar de que su medición y análisis es un tema recurrente en las ciencias sociales su estudio se ha centrado principalmente en la variable ingreso. Respecto a la unidad de análisis utilizada para su medición, los abordajes más comunes en la literatura se refieren a las desigualdades entre países, ciudades, regiones y áreas urbanas, principalmente.

En el presente capítulo se analiza la desigualdad del “consumo del agua” de los hogares urbanos porque como afirma Swyngedouw (2004), la urbanización y la mercantilización del agua

¹³ Por ejemplo, Salazar & Pineda (2010) afirman que para en el caso de Hermosillo las fugas y tomas clandestinas representan hasta el 38% del total en 2006, y en años anteriores llegó a ser de más de 50%. En la Ciudad de México, “se estima” que 42% del agua se pierde en fugas, agua no contabilizada o tomada clandestinamente (SACMEX, 2019); sin embargo, se desconoce si existe un informe técnico detallado.

hace que su acceso dependa de las posiciones de poder social, tanto en términos económicos como de género y cultura. Así también, según este autor, la exclusión de grandes segmentos de la población urbana del acceso al agua se debe no a una escasez absoluta de este recurso sino a una distribución injusta, pues incluso entre los que están conectados a la misma red urbana existe una diferencia significativa tanto en la cantidad como en la calidad del agua a la que pueden acceder.

A continuación se presenta una breve revisión de trabajos sobre la desigualdad en el consumo del agua; primero se presentan los estudios internacionales y después los análisis de caso realizados para México.

Trabajos como el de Cole et al. (2017) utilizan un Índice de Gini (IG en adelante) para medir la desigualdad del acceso de los hogares a la red de agua potable pública en Sudáfrica. Los autores muestran que si bien el 45% de la población tiene acceso al agua en su vivienda, este porcentaje varía del 0.07% al 100% cuando la medición se hace a escala de barrios, lo que se traduce en un alto nivel de desigualdad (IG de 0.36). Sin embargo, cuando hacen la medición de litros consumidos el IG disminuye aún más (0.27), lo que representa un promedio nacional de 208 litros al día *per cápita* (lpc), mismo que varía de 8 a 2,414 lpc entre ciudades. De acuerdo con los autores, son los factores sociales (como el ingreso) y no los naturales (como la lluvia) los que determinan esta distribución tan asimétrica en el consumo de agua en la población.

Malakar et al. (2018) estimaron los IG para tres periodos (1991, 2001 y 2011) en la India, encontraron que aunque los porcentajes de cobertura de agua de la llave se han incrementado entre la población, las inequidades permanecen prácticamente al mismo nivel en 14 años (0.27 en 1997 y 0.34 en 2011) siendo ésta más pronunciada en las zonas rurales que en las urbanas. Determinaron también que la oferta de agua va de los 70 a los 283 litros *per cápita* al día (lpcd en adelante), con un IG de 0.18. También encontraron que algunas ciudades cuentan con un porcentaje mayor de agua respecto de su población, estas diferencias de dotación se explican según ellos por la situación económica de las ciudades (lo que les permite tener mayor infraestructura de suministro), encontraron además que las ciudades con alto PIB son las que presentan las menores disparidades en la dotación de agua, es decir, son más equitativas entre ellas.

Otro tipo de desigualdad que se puede analizar es el de los usos del agua según el sector productivo que la consume. Cullis & van Koppen (2007) calculan el IG para distintos sectores en

Sudáfrica. Los autores encontraron que de acuerdo con el volumen de agua autorizado por el gobierno, en el sector industria es donde se presenta una mayor desigualdad ($IG = 0.96$), seguido del servicio de suministro de agua ($IG = 0.88$) y la minería ($IG = 0.84$). Además de calcular dichos índices, estiman datos que podrían utilizarse para el establecimiento de políticas públicas; por ejemplo, establecen que si los usuarios a gran escala redujeran su derecho de uso de agua de riego en un 6%, los hogares urbanos estarían en posibilidad de doblar su consumo de agua, reduciendo así su desigualdad notablemente.

Correa et al. (2020) también indagan sobre la desigualdad en la autorización de los derechos para el uso y explotación del agua. Según el volumen de agua asignado a cada usuario por parte del gobierno chileno, estiman un $IG 0.99$, lo que denota una desigualdad abismal (el 1% de los actores posee el 79% del volumen total de agua disponible). La actividad agrícola (riego en específico) es la mayor consumidora de agua en el país con un 71%, seguido del uso doméstico con el 8.2% del total del volumen de agua consumida. El caso chileno es excepcional ya que es de los pocos países en los que la totalidad de los derechos del agua están privatizados bajo el argumento de lograr así una mejor gestión de la escasez del agua. Sin embargo, concluyen los autores que este modelo está lejos de ser una forma socialmente justa de distribuir los recursos, puesto que beneficia a una minoría (la que puede pagar por los derechos) profundizando así las desigualdades sociales y económicas.

Brown & Roa IG (2016) también calcularon para el año 2009 el IG para las concesiones de agua otorgadas con fines agrícolas en Colombia, mismo que fue de 0.90. Ellos también coinciden en que desde la política económica del estado se ha fomentado la segregación social y la exclusión de los sectores menos favorecidos en el país puesto que las concesiones otorgadas no toman en cuenta los caudales ambientales ni las preocupaciones de los grupos marginados.

Babuna et al. (2020) analizan la desigualdad en el consumo del agua de las ciudades de China. Según los autores, tanto la moderna infraestructura de distribución como los dispositivos ahorradores en las viviendas son determinantes para la correcta administración del agua en las ciudades; por el contrario, las ciudades agrícolas que riegan por inundación son las que tienen el peor desempeño. Así también, otro determinante de la eficiencia en el uso es la disponibilidad del recurso en la región, aunque ésta se relaciona en sentido inverso: a mayor disposición, mayor ineficiencia. De las 35 ciudades analizadas y de acuerdo con el IG que calcularon, tan solo tres

presentaron relativa inequidad (IG de 0.4 a 0.5), 20 alta equidad (IG < 0.2) y no hubo ninguna con alta inequidad (IG > 0.5). Para el caso específico de Shanghai el IG es de 0.45, lo que se traduce en que 55% de los usuarios domésticos consumen alrededor de 178 lpcd, mientras que el 45% restante consume el resto del agua; lo que explicaría esta inequidad son las industrias, que aunque pocas, son consumidoras intensivas de agua.

Otro tipo de desigualdad es la existente según la accesibilidad de la fuentes de agua. Castaño & Ramírez (2017) calcularon en Colombia los IG para diversas fuentes en el sector agropecuario; encontraron que la menos desigual es aquella que se obtiene de los carrotaques (IG= 0.46), mientras que la más desigual es el distrito de riego¹⁴ (IG=0.64). Estos índices de desigualdad se traducen en que el 20% de la población con menos acceso al agua, tiene menos del 5% del agua total. La desigualdad en el uso de aguas seguras¹⁵ depende en gran medida de su costo de obtención, lo que limita quien puede abastecerse de ellas; así por ejemplo, la proveniente de ríos y manantiales tiene un IG de 0.47 mientras que la de acueductos 0.55, y las represas presentaron un IG de 0.64.

Diversos trabajos se han realizado en México sobre la desigualdad en el acceso del agua en los hogares. Destacan los aportes de Revollo & Rodríguez (2021) quienes analizan la desigualdad en función de la asequibilidad económica para pagar el servicio y la dotación de agua que reciben las familias en México. Los autores encontraron que aunque el 93.7% de las viviendas en el país tienen acceso al agua entubada, este porcentaje se reduce al 82% cuando se miden en el primer decil de ingreso (el más bajo). Cuando se mide el gasto en agua entubada como porcentaje del ingreso, éste representa para el primer decil el 1.5% mientras que para el décimo solo el 0.4%. Por otro lado, también estiman que aunque sólo el 6.3% de los hogares del país no tiene acceso a agua corriente, ese porcentaje aumenta a 33.3%, si se consideran también los que no tienen acceso al agua diariamente. Con estos datos concluyen que los hogares con menores ingresos son los más vulnerables debido a la inequidad en el acceso de las políticas de agua en México.

¹⁴ Son áreas geográficas donde se proporciona el servicio de riego mediante obras de infraestructura hidroagrícola, como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos (Castaño & Ramírez, 2017).

¹⁵ Son aquellas que están disponibles tanto en cantidad como en calidad adecuada (en tiempo y espacio) para el sector agrícola.

Morales et al. (2018) analizaron la inequidad en el acceso al agua potable en la Ciudad de México. Encontraron que el primer quintil de ingreso (los más pobres) consumen el 7% del total del agua destinada a los hogares, mientras que el último quintil (los más ricos) consumen el 42%. El índice de concentración calculado por los autores es de 0.437 para el consumo de agua y de 0.429 para los subsidios al consumo de agua, ambos valores al ser positivos indican la existencia de una estructura de tarifas que tiende a favorecer a las viviendas de altos ingresos, es decir, son pro-ricos.

Revollo et al. (2019) analizan el impacto de los subsidios y su efecto en los hogares pobres. Estimaron que aunque las viviendas pobres de la CDMX constituyen el 30.7% del total, estas solo captan el 10.5% de los subsidios; y son éstas las que presentaron menor acceso al agua potable. Tasaron también un indicador de focalización de 0.92, lo que indica que estos hogares tienen una distribución regresiva de dicho subsidio. Al igual que en el trabajo anteriormente citado, los autores concluyen que el método aplicado por el organismo operador contiene errores al asignar subsidios a hogares de altos ingresos, mientras que por otro lado, aplica tarifas altas a algunos hogares de bajos ingresos.

Medina et al. (2022) analizaron también la inequidad en el consumo de agua en la Ciudad de México; estimaron que aunque en promedio es de 123 lpcd, éste puede variar de 6.75 a 1,861 lpcd. Las variables que explican estas desigualdades en el consumo de las viviendas son el grado de marginación de las viviendas (efecto negativo), densidad de la población (efecto positivo), la elevación del terreno (efecto negativo), la cercanía con la fuente de abastecimiento (efecto positivo) y la intermitencia del servicio (efecto negativo, a menor frecuencia de abastecimiento, menor consumo). Así también encontraron que en la periferia de la ciudad, que es donde se presentan los menores consumo de agua, son también las zonas donde se presentan las peores condiciones socioeconómicas y topográficas, circunstancias que limitan el acceso de las familias a la red de abastecimiento público.

Al analizar la disposición a pagar de las familias de la Ciudad de México con el fin de contar con una mejora en la calidad y dotación del agua que reciben de la red pública, Rodríguez et al. (2016) encontraron que los hogares con ingresos y rangos de facturación más bajos son los que declararon tener una mayor disposición a hacerlo: 0.36% para hogares con ingresos de \$0 a \$3,000 *versus* 0.28% en hogares con ingresos mayores a 6,501 pesos (porcentaje respecto de su

ingreso). Entre las variables que explican la disposición a pagar (\$34 al bimestre) se encuentran la confianza en la medición del agua que se les suministra, la presión con la que les llega, si llega con residuos, la percepción de riesgo de enfermedad al tomarla, si la hierven, cocinan con ella, la compran embotellada, la cantidad que pagan actualmente, el ingreso familiar y la edad de las personas. En otro estudio González et al. (2016) encontraron resultados similares, destacando que el 13% de los entrevistados preferiría pagar una menor cantidad de dinero por el agua que reciben de la red pública de lo que pagan actualmente.

Como vimos en esta breve revisión de la literatura existen distintos tipos de desigualdad relacionados con el agua, desde los que miden el acceso a la infraestructura, los litros consumidos, por sector de uso, tipo de usuario y la fuente de obtención del agua, por mencionar algunas. Así también, existen otros tipos de desigualdad relacionados con el agua que podrían ser medidos, como la desigualdad frente a la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento, por el tipo de operador que abastece (público o privado), por roles de género, de percepción (sobre si la tarifa es justa, sí reciben suficiente, etc.), de frecuencia de dotación, entre consumo rural y urbano, etc.

1.3.3 ¿Por qué es importante medir la desigualdad del consumo del agua en los hogares del país?

Según la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2024) para evaluar la idoneidad de los servicios prestados por los proveedores de agua potable, se deben revisar cinco parámetros básicos del servicio:

- **Accesibilidad:** La evaluación del acceso o cobertura puede considerar el tipo de suministro, una cantidad mínima de agua suministrada y una cantidad máxima de distancia o de tiempo de viaje para obtenerla.
- **Cantidad:** debe ser suficiente para mantener una hidratación adecuada, para la preparación de alimentos y apoyar las prácticas de higiene.
- **Calidad:** El agua potable debe ser segura; es decir, libre de microorganismos patógenos y de peligros químicos y radiológicos en niveles que amenacen la salud. También debe tener un color, olor y sabor aceptables.
- **Continuidad:** se refiere a obtenerla sin interrupciones en el suministro, determinante importante junto con la cantidad y calidad del agua potable disponible para los consumidores.

- Asequibilidad: El agua potable debe ser posible de obtener para todos, incluso para los más pobres.

Aunque el derecho al agua potable y al saneamiento fue reconocido en el año 2010 por la Asamblea General de las Naciones Unidas como un derecho humano esencial y dentro de los Objetivos del Desarrollo Sostenible de esta Organización se establece el “garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación sostenible y el saneamiento para todos”, puesto que su consumo se relaciona con la consecución de otros objetivos como el “poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición” o “garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos” (United Nations, n.d.); sin embargo, el cabal cumplimiento de este derecho no ha podido ser garantizado en el país.

En México, el artículo 4° Constitucional establece que “toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible” (Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, 1917). Por su parte, el Plan Nacional de Desarrollo es el documento en el que el Gobierno de México explica cuáles son sus objetivos y estrategias prioritarias durante el sexenio, en este solo se menciona de manera muy general que “...se garantizará el abasto de energía, agua, conectividad digital y otros insumos básicos para cubrir las necesidades de las empresas y de la población trabajadora” (Presidencia de la República, 2019).

Por otro lado, otros conceptos más complejos referentes al consumo de agua en la población como el de la Seguridad Hídrica, mismo que se define como aquel que “Asegura el abastecimiento sustentable de agua para todos los usos, en condiciones de equidad y a precios asequibles, para promover la salud, el desarrollo económico, la producción de alimentos y energía y la conservación del medio ambiente. Protege, con un riesgo aceptable, a la población y a los sistemas productivos contra los efectos de eventos hidrometeorológicos” (Martínez, 2013), hacen énfasis en una visión integral del agua y no cómo un mero recurso productivo.

Todas las características, objetivos generales, derechos o conceptos descritos anteriormente hacen referencia a un estado ideal de las cosas. Los indicadores obtenidos son una herramienta que pueden ayudar a la planificación y gestión, al monitoreo y seguimiento de los objetivos, relevan tendencias en el tiempo sobre los fenómenos o cambios en los que se requiere una posible intervención de política pública. Si la escasez del agua no es un asunto meramente hídrico, sino

causado por las inequidades sociales, hace falta explicitar estas desigualdades para así tener la posibilidad de implementar mejoras, de trazar planes, implementar programas o políticas para cerrar esta brecha y acercarse lo más posible a ese estado ideal de las cosas.

En el caso particular del agua, Correa (2017) sostiene que un mayor acceso a ésta permitiría reducir la pobreza urbana y rural en Colombia. Por su parte Bosch, Hommann, Sadoff & Travers (1999) apuntan a la existencia de un vínculo entre la falta de agua, saneamiento e higiene y la pobreza a través de los impactos que la primera tiene sobre la salud (enfermedades, desnutrición, menor expectativa de vida), la educación (inasistencia escolar por enfermedad o por destinar tiempo para acarrear agua), el género y la inclusión social, el ingreso (presupuesto familiar gastado en agua) y el consumo de las personas. Así pues, el acceso al agua puede hacer la diferencia entre la pobreza insalvable y el logro de la libertad de ser (Correa & Muñoz, 2015).

Aunque no es el único, el estadístico más recurrente para medir la desigualdad es el índice Gini (IG) dada su idoneidad para medir de manera sintética el grado de concentración de una determinada magnitud o su desigualdad en el reparto de una variable, como lo es el presente caso del consumo del agua en los hogares urbanos de México.

1.4 La Encuesta Nacional de los Hogares (ENH) y el Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA)

Un problema común con la disponibilidad de la información sobre el agua es que cuando los datos de consumo se toman de alguna fuente en particular (por ejemplo datos de los OOA o de las encuestas nacionales), éstos no se encuentran asociados a otro tipos de variables socioeconómicas que sirvan para caracterizar a los hogares; de igual manera, cuando se tienen datos sobre las características socioeconómicas de los personas y sus viviendas, hay poca o nula información sobre variables que puedan dar las pautas para comparar el consumo, prácticas y mecanismos de ahorro del agua por parte de las familias.

Otra problemática asociada es que cuando se logra obtener ambos tipos de informaciones para una misma unidad de análisis (una ciudad en particular, por ejemplo), esta no corresponde a la misma temporalidad por lo que los datos se encuentran desfazados. En el presente trabajo, las situaciones anteriormente descritas se evitaron gracias al uso de la Encuesta Nacional de los

Hogares (ENH en adelante) y al Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA en adelante) que aplicó el INEGI para el año de 2017.

La ENH 2017 (INEGI, 2018b) se levantó de manera continua durante todos los meses y semanas del año en cuestión¹⁶; está conformada por tres grandes bases de datos que contienen información asociada a sus tres unidades de análisis: viviendas, hogares e integrantes de los hogares de México. En particular se trabajó con las variables que describen las características de las viviendas tales como el tipo (de casa, departamento, vecindad, etc.), número de cuartos, antigüedad, disponibilidad de cisterna, tanque, bomba de agua, jardín, cochera, etc., además del estrato socioeconómico en el que el INEGI clasifica a esa vivienda; por mencionar las características más relevantes.

Por otra parte, el MOHOMA (INEGI, 2018e) se aplicó sólo en tres ocasiones (2011, 2015 y 2017) de forma anexa a la ENH. Este módulo tuvo por objetivo obtener información del comportamiento de los hogares en relación con diversos ámbitos a escala nacional relacionados con el medio ambiente (divididos en temas como el agua, la energía, los residuos, el transporte y la movilidad). Indaga además sobre los estilos de vida, las pautas de consumo, la adopción de medidas ambientales y la percepción de asuntos relacionados con el cambio climático en los hogares mexicanos. Al ser levantado bajo un concepto modular de la ENH, el MOHOMA comparte los fundamentos metodológicos de esa encuesta (INEGI, 2018d).

Entre los referentes al tema del agua en el MOHOMA se encuentran las características del abastecimiento y consumo de agua en la vivienda (si en el hogar se recibió agua de la red pública, cuánto se pagó, el periodo por el que se pagó, así como datos sobre otras fuentes de abastecimiento distintas a la red pública); la opinión de las personas sobre el servicio de agua de la red pública (características físicas del agua, percepción de su calidad, continuidad en el servicio, etc.); características del agua para beber; cuidado del agua (disponibilidad de mecanismos y prácticas de ahorro) y las medidas que estarían dispuestos a tomar en los hogares para ahorrarla (INEGI, 2018d).

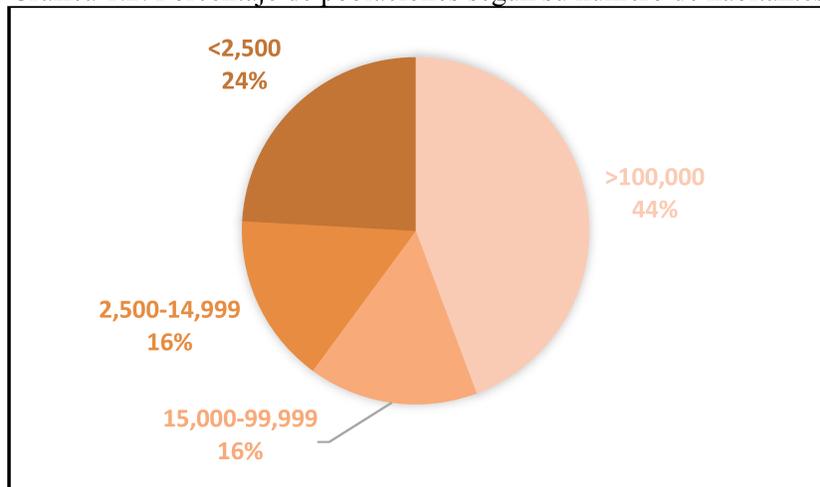
¹⁶ La ENH es un proyecto iniciado en el año 2014 con el propósito de levantar encuestas temáticas orientadas a investigar con mayor profundidad aspectos demográficos y sociales de México. En la ENH se utilizó un muestreo probabilístico, por tanto los resultados obtenidos de ella se generalizan a toda la población (si se usa su respectivo factor de expansión); a su vez el diseño muestral es bietápico, estratificado y por conglomerados. Su cobertura geográfica es representativa a nivel nacional (áreas urbanas y rurales) y por entidad federativa (INEGI, 2017).

El combinar dos fuentes de información como la ENH y el MOHOMA que contienen información tan variada sobre las viviendas y las familias pero que a la vez fueron diseñadas para poder ser usadas complementariamente permite, por un lado, estimar el dato del consumo del agua de los hogares (MOHOMA) y asociar este dato con las características de los hogares que permiten entender mejor por qué gastan lo que gastan (ENH) o entender qué estrategias de ahorro de agua utilizan las familias según su estrato socioeconómico, por mencionar algunas relaciones.

El total de las 11,008 observaciones de la ENH se distribuyen en 344 localidades del país, de acuerdo con el muestreo probabilístico realizado por el INEGI, Tlaxcala obtuvo la mayor cantidad de localidades representadas (28), seguida del estado de México y Veracruz (27 y 20 respectivamente); por el contrario, las que menos localidades obtuvieron fueron Baja California Sur, Sinaloa y Quintana Roo, con 5, 3 y 2 respectivamente.

Según su tamaño, en el MOHOMA el INEGI (INEGI, 2018d) clasifica a las localidades en cuatro grupos; así de las 14,505 observaciones que contiene, etiqueta con el numeral 1 (localidades con 100,000 habitantes o más) a 6,431 localidades que representan el 44.3% del total; con el 2 (localidades de 15,000 a 99,999 habitantes) a 2,285 que representan el 15.8%; con 3 (localidades de 2,500 a 14,999 habitantes) a 2,292 que representan el 15.8% y con 4 (localidades con menos de 2 500 habitantes) a 3,497 localidades que representan el 24.1% (ver gráfica 1.2).

Gráfica 1.2. Porcentaje de poblaciones según su número de habitantes.



Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017.

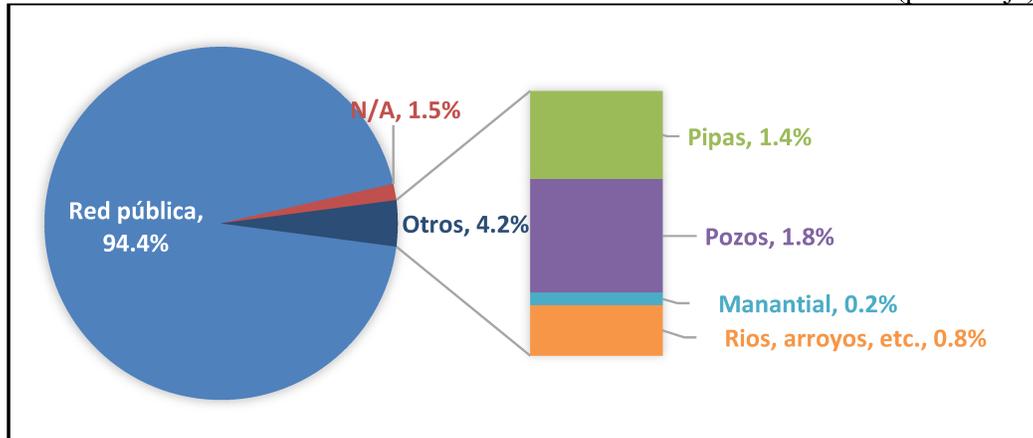
Considerando la clasificación del INEGI (INEGI, n.d.) en la cual establece que las poblaciones urbanas son aquellas donde viven más de 2,500 personas y rurales a aquellas que tengan menos

de esta cantidad; se seleccionaron a aquellas comprendidas de la categoría 1 a la 3, que suman 11,008 observaciones y pertenecen a los hogares urbanos; con ellas se realizó el presente análisis¹⁷.

Del total de las observaciones en la encuesta MOHOMA (INEGI, 2018e) el 94.4% de los encuestados respondieron que en su vivienda sí cuentan con el servicio de agua proveniente de la red pública, el 4.2% respondieron que se abastecen de otra fuente de agua (ver gráfica 1.3) mientras que en el 1.5% de las observaciones se desconoce la respuesta. Las otras fuentes de agua (además de la red pública) son: pipas (1.4%); pozos, ya sea de forma manual o mediante el uso de una bomba eléctrica (1.8%); manantiales (0.2%); ríos, arroyos, bordos, estanques, lagos, presas, etc. (0.8%).

Cabe mencionar que la encuesta no permite conocer cuáles hogares cubren sus necesidades de dotación de agua de forma complementaria, es decir, que una parte de su consumo la cubran por ejemplo, mediante la dotación que reciben de la red pública y otra parte de una fuente complementaria como una pipa, de la extraída de un pozo o de algún cuerpo de agua.

Gráfica 1.3. Fuentes de abastecimiento de las viviendas urbanas de México (porcentaje).



Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017.

El MOHOMA está diseñado para saber información sobre la principal fuente de abastecimiento de agua en los hogares y profundiza un poco más únicamente sobre la dotación realizada a través de la red pública y las pipas de agua. También y debido a la falta de

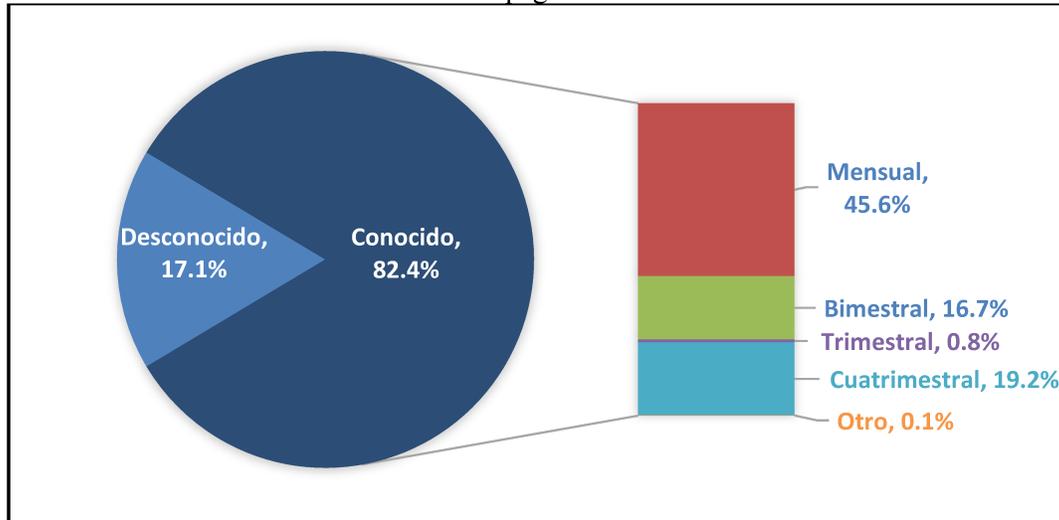
¹⁷ Además de esto, todas los análisis presentados se calcularon tomando en consideración el factor de expansión asignado por INEGI para cada una de las observaciones.

información se excluye del análisis del consumo de agua en los hogares a aquel realizado en botellas PET o en garrafones.

De los entrevistados que declararon que reciben agua de la red pública en su hogar (94.4%), al 47.3% se le cobra el servicio según la lectura del medidor, 37.4% paga una cuota fija (independiente de la cantidad consumida), 8.0% declararon que no pagan por el agua y 1.7% no sabe cuál es el mecanismo por el cual se establece el cobro del agua que consumen; 5.6% de las observaciones son datos perdidos por sistema, es decir, se desconoce la respuesta.

De los hogares que pagan el agua potable (ya sea según la lectura del medidor o cuota fija) el 45.6% lo hace mensualmente, 16.7% bimestralmente, 0.8% trimestralmente, 19.2% cuatrimestralmente, 0.3% semestralmente, el restante 0.1% se distribuye en lapsos que van de ocho meses a doce años. La totalidad de los lapsos de pago conocidos suman el 82.9% de las observaciones mientras que hay un 17.1% de los datos que son perdidos por el sistema, es decir, son observaciones para las que se desconoce el dato del periodo de cobro del agua (ver gráfica 1.4).

Gráfica 1.4. Periodo de pago de las viviendas urbanas



Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017.

Cuando se les pregunta a los residentes de las viviendas por la cantidad específica de dinero que pagaron, las cantidades declaradas van de 0 a 15,000 pesos pagados por el servicio de agua potable pública y una mediana de \$419.01. El porcentaje de respuesta en este apartado es del 73.0% por lo que en esta variable se presenta un 27.0% de datos perdidos.

Respecto a la frecuencia con la que llega a la vivienda el agua entubada que proviene de la red pública, en la ENH el 73.4% afirma que les llega el agua diariamente, mientras que un 11.8% respondió que les llega cada tercer día, un 4.8% afirma que dos veces por semana, un 3.5% una vez por semana y 2.9% de vez en cuando¹⁸ (INEGI, 2018b). Finalmente, cuando se les pide a los entrevistados responder en la encuesta MOHOMA sobre ¿Cómo calificaría la continuidad en el suministro del agua? 15.8% respondió que es malo, 24.9% que es regular y 53.4% que es bueno (INEGI, 2018e).

1.5 Propuesta de medición del consumo del agua en los hogares urbanos

1.5.1 Tratamiento de los datos y las variables de la encuesta MOHOMA

Un supuesto simplificador usado en el presente análisis es que en cada vivienda hay un solo hogar, hecho que se cumple para el 98.5% de las observaciones del MOHOMA si consideramos solo a las viviendas urbanas, siendo éstas las unidades de observación a estudiar en esta investigación¹⁹. Así pues, para estimar el consumo de agua por hogar en el tabulado de datos del módulo MOHOMA se procedió de la siguiente manera:

En la variable ap_1_3 “periodo de cobro” se expresaron todos los datos existentes en una sola escala temporal (número de meses), dado que las opciones de respuesta originales están expresadas en formato numérico en la que el numeral 1 se refiere a un mes, 2 a dos meses, 3 a tres meses, 4 a un año, 5 a otro periodo y 9 a no sabe.

La opción “otro periodo” se aclara gracias a la variable ap_1_3d “especificación de periodo de cobro” que comprende respuestas abiertas (en texto) que van desde 4, 5, 6, 8, 10 meses y hasta 12 años, mismas que también fueron recodificadas a formato numérico y en escala de meses; mientras que las respuestas con el numeral 9 (no sabe) se eliminaron²⁰. El producto de este proceso fue la creación de una nueva variable nombrada “Meses” (que abarca el pago por el consumo de agua).

¹⁸ Todos los porcentajes de casos fueron ponderados considerando su respectivo factor de expansión.

¹⁹ Las viviendas con dos hogares representan el 1.3% y con tres hogares el 0.2% del total de las viviendas urbanas.

²⁰ Se eliminaron solo los numerales, no el caso completo, esto con la finalidad de que en el análisis de la variable el número 9 no fuera interpretado por el paquete estadístico como “nueve meses” ni se perdiera la información de otras variables correspondientes al mismo caso.

Se creó la variable “Pago_mensual_ARP” dividiendo la variable ap_1_2 “cantidad pagada” de agua de la red pública entre la variable creada “Meses” para obtener el pago mensual por vivienda. En algunos casos se conocía la cantidad pagada, pero se desconocía el periodo de cobro o viceversa, observaciones para las cuales no fue posible estimar el pago mensual promedio (las cuales fueron 7,211,781 que representan 27.3% del total).

Si se analiza la cantidad de dinero pagada (Pago_mensual_ARP) que declararon los encuestados según los quintiles tenemos que 20% de los hogares urbanos (primer quintil) pagó hasta \$65.0 de agua mensualmente, el segundo quintil (40% de los hogares) pagó hasta \$103.0, el tercer quintil (60% de los hogares) hasta \$150.0, el cuarto quintil (80% de los hogares) pagó hasta \$250.0 y en el último quintil presentan valores de hasta \$4,900.0 en consumo de agua mensual²¹.

El número de observaciones válidas para la cantidad pagada fue de 19,186,748 (72.7% del total) con un valor mínimo de pago igual a \$0.00 y un máximo de 4,900 mensuales. El pago promedio se establece en \$197.0 con una desviación típica en torno a la media de \$216.5; asimetría y curtosis igual a 5.9 y 76.2 respectivamente.

Las tarifas obtenidas de la página del Sistema Nacional de Información del Agua de la Comisión Nacional del Agua, SINA (Comisión Nacional del Agua, 2017) fueron vinculadas a cada uno de los casos mediante el uso de la variable “folioviv”. Cuando la localidad de la observación y la de la tarifa de la ciudad coincidían, se le asignó directamente; en caso de que no se tuviera la tarifa para una localidad en específico se tomó el promedio de su estado²². Con esta información agregada a la base de datos, se dividió el “Pago_mensual_ARP” de cada caso entre la tarifa correspondiente (“tarifa_agua”) obteniendo así los metros cúbicos de agua de la red pública consumida por vivienda (variable “Consumo_m3_ARP”).

Para agregar el consumo de las personas que se abastecen con agua de pipa (360,669 observaciones equivalentes al 1.4% del total) se utilizó la variable “ap_3_4” referente a la cantidad de litros de agua de pipa recibidos mensualmente por vivienda de la encuesta MOHOMA. El producto se dividió entre 1,000 para obtener el dato en m³ (variable “Consumo_mens_m3_pipa”) y se agregaron junto con la variable “Consumo_m3_ARP” para

²¹ En este caso los valores pagados no se calcularon usando el factor de expansión.

²² En total hubo 20 estados con una sola tarifa de agua (correspondiente a la capital), para los 12 estados restantes existía más de una tarifa correspondientes a diversas ciudades de esa entidad.

concentrarlos junto al consumo en metros cúbicos de agua potable de la red pública en una sola variable (Consumo_mens_m3_ARP_Pipas).

Si se analiza el consumo de agua total (variable Consumo_m3_ARP_Pipas) por quintiles²³ tenemos que el 20% de los hogares urbanos (primer quintil) consumen 5.3 m³ de agua mensualmente, el segundo quintil (40% de los hogares) consume hasta 8.8 m³, el tercer quintil (60% de los hogares) 13.4 m³ de agua, el cuarto quintil (80% de los hogares) 22.3 m³ y en el último quintil se concentra el consumo de agua de los hogares pues ellos presentan valores de hasta 594.1 m³ de agua mensual.

Así, tenemos que del total de las 11,008 observaciones originales se pudo estimar el dato de consumo (en metros cúbicos) para 19,486,799 viviendas (considerando el factor de expansión correspondiente), mismas que representan el 73.8 del total, mientras que, en 6,911,730 casos no fue posible estimar dicho consumo (26.2%) al presentar datos perdidos ya sea en el monto pagado o en el periodo de consumo.

El consumo promedio de agua es de 15.9 m³, la mediana de 10.6 m³ y la moda de 28.2 m³. La desviación típica es de 21.5 m³. El consumo mínimo declarado es de 0.00 y el máximo de 594.1 m³. Dado que se presenta un alto número de valores perdidos para distintas observaciones de esta variable, en el apartado 1.5.3 se imputaron los datos faltantes para tener una aproximación más cercana del consumo de agua en los hogares del país.

1.5.2 Análisis de los valores perdidos

Si analizamos las viviendas según el estrato socioeconómico en que las clasificó el INEGI²⁴, observamos que el consumo (medido tanto en m³ como en pesos gastados mensualmente) se

²³ En este caso los valores pagados no se calcularon usando el factor de expansión.

²⁴ Esta estratificación considera las características sociodemográficas de los habitantes de las viviendas, así como las características físicas y equipamiento de éstas, expresadas por medio de 34 indicadores construidos con información del Censo de Población y Vivienda 2010, para lo cual emplearon métodos estadísticos multivariados. Los indicadores empleados fueron: proporción de población (que tiene derecho a recibir servicios médicos en alguna institución de salud pública o privada excepto seguro popular, derechohabiente a servicios de salud, de 3 a 14 años de edad que asiste a la escuela, de 15 a 24 años de edad que asiste a la escuela, de 8 a 14 años de edad que saben leer o escribir, de 15 años o más de edad que aprobaron algún grado de escolaridad diferente al nivel preescolar, de 15 años o más de edad que tienen como máxima escolaridad 6 grados aprobados en primaria, de 15 años o más de edad que tienen como máxima escolaridad 3 grados aprobados en secundaria, grado promedio de escolaridad, de 12 años y más que trabajaron; tenían trabajo pero no trabajaron o; buscaron trabajo en la semana de referencia, femenina de 12 años y más que trabajaron; tenían trabajo pero no trabajaron o; buscaron trabajo en la semana de referencia, tasa de ocupación, no ocupada de 12 a 17 años de edad entre la población de 12 a 17 años de edad, ocupada de 18 y más años de edad entre la población ocupada), proporción de viviendas particulares habitadas (que no tienen hacinamiento, que tienen piso de cemento o firme, madera, mosaico u otro material, que usan para dormir entre 2 y

incrementa conforme se va transitando del estrato más bajo al más alto; es decir, a mejor situación socioeconómica, mayor consumo de agua. En el cuadro 1.1 se muestra que el incremento promedio en el consumo (en m³) del estrato bajo al medio bajo es de 2.2 veces más, mientras que el consumo promedio del estrato bajo respecto al alto es de 3.2 veces menor.

Cuadro 1.1. Consumo mensual de agua por estrato socioeconómico (m³).

Estrato	Consumo mensual (m ³)		Consumo mensual (pesos)	
	Promedio	% NA's	Promedio	% NA's
Bajo	6.8	49.6	\$ 141.1	49.6
Medio bajo	15.1	26.3	\$ 155.0	26.4
Medio alto	18.0	17.2	\$ 204.4	17.2
Alto	21.7	13.3	\$ 243.9	13.3

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

En el caso del consumo de agua medido en pesos, los valores promedio son muy parecidos entre los estratos bajo y medio bajo (\$141.1 y 155.0 respectivamente), mientras que la diferencia del promedio entre el estrato bajo y el alto es de 1.7 veces más en el pago (ver cuadro 1.1.). Los porcentajes más altos de no respuesta (NA's) se concentran en el estrato más bajo (49.6%) y van disminuyendo conforme se transita al estrato más alto (13.3%) ambos porcentajes tanto en m³ como en pesos.

Considerando los días a la semana en los que los respondientes de la encuesta afirmaron que el agua llega a su vivienda, el porcentaje de los que contestaron que les llega con frecuencia “diaria” se incrementa conforme se transita del estrato bajo al alto (ver cuadro 1.2); de forma contraria, el porcentaje de los que afirman que el agua llega a su vivienda “de vez en cuando” va disminuyendo conforme se sube de estrato, de 9.8% en el estrato bajo hasta llegar al 0.4% en el alto. Cabe resaltar que en este caso es también el estrato bajo el que presenta el mayor porcentaje de valores perdidos (44.7%).

25 cuartos, que tienen más de un cuarto, que tienen entre 3 y 25 cuartos, que disponen de luz eléctrica, que tienen disponibilidad de agua entubada dentro de la vivienda, o fuera de la vivienda pero dentro del terreno, que tienen excusado, retrete, sanitario, letrina u hoyo negro, que tienen drenaje conectado a la red pública, fosa séptica, barranca, grieta, río, lago o mar, que disponen de drenaje conectado a la red pública, que disponen de excusado con descarga directa de agua, que disponen de luz eléctrica, agua entubada dentro o fuera de la vivienda, pero dentro del terreno, así como drenaje, que no se encuentra en situación de hacinamiento a nivel manzana) y proporción de viviendas particulares habitadas que disponen de: televisor; automóvil o camioneta; teléfono celular; teléfono celular y teléfono fijo; radio, televisor, refrigerador y lavadora; radio y televisor; todos los bienes (INEGI, 2018a).

Cuadro 1.2. Frecuencia de dotación de agua según estrato de la vivienda.

Estrato	Diario	De vez en cuando	NA's
	% respuestas		
Bajo	42.4	9.8	44.7
Medio bajo	67.9	3.2	24.7
Medio alto	84.6	1.0	16.8
Alto	89.1	0.4	13.3

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Según el tipo de vivienda el consumo promedio de agua medido tanto en m³ como en pesos pagados mensualmente (ver cuadro 1.3) es más alto en casas independientes, seguido por departamentos, viviendas en vecindad, locales no construidos para habitación y cuartos de azotea. Los cuartos en azotea y locales presentan valores de menos de la mitad respecto a las viviendas en vecindad, departamentos o casas. El mayor porcentaje de no respuesta se concentra en las viviendas en vecindad (47.3% tanto para el consumo medido en m³ como en pesos pagados).

Cuadro 1.3. Consumo de agua (m³ y pesos) según el tipo de vivienda.

Tipo de vivienda	Consumo mensual (m ³)		Consumo mensual (pesos)	
	Promedio	% NA's	Promedio	% NA's
Casa	16.6	23.1	\$ 180.8	23.2
Departamento	15.2	25.6	\$ 174.9	25.6
Vecindad	11.0	47.3	\$ 179.2	47.3
Cuarto azotea	4.1	33.3	\$ 69.0	33.3
Local	7.1	33.3	\$ 80.0	33.3

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

El comportamiento anterior se complementa con el análisis del tamaño de la vivienda (ver cuadro 1.4). Si se considera el número total de cuartos que tiene la vivienda (independientemente de su uso) encontramos que a mayor número de cuartos mayor consumo de agua (tanto en m³ como en pesos), aunque en este caso el mayor porcentaje de no respuesta se concentra en las viviendas que declararon tener un solo cuarto (44.9%).

Cuadro 1.4. Consumo de agua (m³ y pesos) según el tamaño de la vivienda (cuartos).

Número de cuartos	Consumo mensual (m ³)		Consumo en pesos	
	Promedio	% NA's	Promedio	% NA's
1	10.0	44.9	\$ 118.7	45.1
2	14.1	32.4	\$ 158.0	32.3
3	16.3	24.3	\$ 164.7	24.4
4	16.8	20.4	\$ 176.3	20.4
5 o más	17.8	19.3	\$ 204.6	19.4

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

El consumo promedio de agua (tanto en m³ como en pesos) se incrementa también conforme lo hace el número de integrantes del hogar (incluyendo a los huéspedes, que son aquellos que pagaron alguna cantidad de dinero por dormir en la vivienda) hasta llegar a cinco, a partir de 6 o más integrantes estos promedios empiezan a decrecer nuevamente. Los mayores porcentajes de no respuesta (27.4% para el caso del consumo en pesos) se encuentra en aquellas viviendas que declararon estar integradas por una sola persona.

Según los años de antigüedad de la vivienda (ver cuadro 1.5) el consumo promedio más bajo reportado de agua (en m³) se presentan en los extremos (0 a 25 años y 76 a 100 años), el valor más alto se presenta en el siguiente rango (26-50) y disminuye nuevamente para el rango de 51 a 75 años de antigüedad. En el caso del dinero pagado por el consumo de agua se muestra un comportamiento parecido, pero alcanza su nivel más alto en el rango de 51 a 75 años de antigüedad y decrece para el siguiente rango. En ambos casos, los mayores porcentajes de no respuesta se encuentran en las viviendas de reciente construcción, es decir, aquellas que tienen entre cero y hasta 25 años de antigüedad.

Cuadro 1.5. Consumo de agua (m³ y pesos) según años de antigüedad de la vivienda.

Antigüedad	Consumo mensual (m ³)		Consumo mensual (pesos)	
	Promedio	% NA's	Promedio	% NA's
0-25	16.1	21.1	\$ 179.0	21.2
26-50	19.0	19.1	\$ 194.9	19.1
51-75	17.2	20.2	\$ 195.5	20.2
76-100	13.8	11.9	\$ 162.0	11.9

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

En alrededor del 70% de las viviendas entrevistadas, el jefe de familia es un hombre, en el 30% restante lo es una mujer. Sin embargo, el sexo del jefe o jefa de familia no muestra diferencias significativas en cuanto al consumo de agua realizado en los hogares (ni en pesos ni en m³) ni en cuanto al porcentaje de no respuestas (ver cuadro 1.6).

Cuadro 1.6. Consumo de agua (m³ y pesos) según el sexo del jefe de familia.

Sexo	Consumo mensual (m ³)		Consumo mensual (pesos)	
	Promedio	% NA's	Promedio	% NA's
Hombre	16.4	23.3	\$ 182.9	23.4
Mujer	17.0	23.8	\$ 174.4	23.8

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

El hecho de que el jefe de familia haya trabajado o no la semana pasada, tampoco modifica substancialmente el promedio de consumo de agua en la vivienda (ni en pesos ni en m³), sin embargo, el porcentaje de no respuesta se incrementa ligeramente cuando el jefe de familia declaró que si trabajó durante la semana pasada. Cuando el rango de edad del jefe de familia es de 60 o más años, las viviendas reportaron los mayores consumos promedio de agua (tanto en m³ como en pesos), mismo que disminuye para el rango de 27 a 59 años (adultos) y lo hace aún más en el rango de 18 a 26 años (jóvenes) quienes presentan los menores consumos de agua en la vivienda (ver cuadro 1.7), sin embargo, son estos últimos los que presentan los mayores porcentajes de no respuesta (36.7%).

Cuadro 1.7. Consumo de agua (m³ y pesos) por rango de edad del jefe de familia.

Edad del jefe de familia	Consumo mensual (m ³)		Consumo mensual (pesos)	
	Promedio	% NA's	Promedio	% NA's
Joven (18-26)	15.2	36.7	\$ 170.8	36.8
Adulto (27-59)	16.4	23.0	\$ 180.7	23.0
Vejez (>60)	17.2	21.3	\$ 181.5	21.4

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Según el nivel de instrucción del jefe de familia los que declararon tener estudios de licenciatura o más presentaron los valores de consumo de agua (tanto en m³ como en pesos) más altos, mismo que va disminuyendo al bajar al nivel de bachillerato, secundaria, primaria o ninguna instrucción; los mayores porcentajes de no respuesta se encuentran en este último nivel (34.0% para el caso de consumo en pesos).

Tres entidades federativas presentan las tasas más altas (superiores al 40%) de datos no conocidos para el consumo de agua (en m³): Guanajuato, Puebla, Tabasco y Campeche; mientras que las tasas más altas de respuesta (superiores al 90%) se encuentran en los estados de Aguascalientes y Nuevo León.

El mayor porcentaje de no respuestas se presenta en hogares pertenecientes al estrato bajo, que viven en vecindades, en las que la vivienda consta de un solo cuarto, están constituidas por un solo miembro, su antigüedad se encuentra en un rango de entre 0 a 25 años, el jefe de familia no trabajó la semana pasada, tiene una edad de entre 18 y 26 años y no cuenta con ninguna instrucción.

Del total de las observaciones para las viviendas urbanas (11,008) se conoce la cantidad pagada en 8,420 casos (76.5%) mientras que se desconoce en 2,588 (23.5%); respecto al periodo de pago, éste se conoce en 9,353 observaciones (85.0%) y se desconoce en 1,655 (15.0%). Para la investigación estas dos variables son de vital importancia, puesto que al combinar cantidad pagada y periodo de pago permitirá estimar los consumos de agua mensuales en los hogares.

Cuadro 1.8. Concentrado de datos perdidos según cantidad pagada y periodo de pago.

	Total Perdidos	Porcentaje
No se conoce la cantidad pagada (\$) ni el periodo	1,644	14.9
No se conoce la cantidad pagada (\$) pero si el periodo	942	8.6
Se conoce la cantidad pagada (\$) pero no el periodo	11	0.1

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017.

Así, hay 0.1% de valores perdidos para una misma observación, en la cual se conoce la cantidad pagada pero no el periodo de pago (ver cuadro 1.8); este porcentaje se incrementa a 8.6% para los casos en los que se conoce el periodo pero no la cantidad de dinero pagada. Finalmente, hay un 14.9% de valores perdidos, es decir, son aquellos casos en los que no se conoce ni la cantidad pagada ni el periodo de pago. En tan solo 2,582 observaciones (23.5% de los datos) se conoce para un mismo caso, tanto la cantidad pagada como el periodo de pago. Dados estos altos porcentajes de valores perdidos fue necesario realizar un proceso de imputación de datos a fin de obtener los valores de los casos faltantes.

1.5.3 Estimación del consumo de agua bajo la imputación de valores perdidos

Para el proceso de imputación se eligió un método univariado de regresión trunca, este se aplica cuando la variable a imputar es continua y la distribución de la variable dependiente está acotada a cierto rango (como en este caso en dónde tanto la variable de consumo de agua está topada tanto en su límite inferior como superior); este método se basa en la aproximación asintótica de la distribución predictiva posterior de los datos faltantes (StataCorp, 2021).

Se estimaron los valores faltantes tanto para la variable “Pago_mens_ARP_Pipa” (pago por concepto de agua de la red pública y agua de pipa), como para la variable “lconsumom3” (logaritmo natural del consumo de agua en metros cúbicos) a fin de tener el 100% de las observaciones válidas. El procedimiento que se siguió para la imputación se describe a continuación.

Con la variable de ubicación geográfica (*ubica_geo*) se generó una nueva variable (*edo*) que permitiera identificar a qué estado de la República Mexicana corresponde cada uno de los casos. Se creó también una variable (*casos válidos*) para concentrar a aquellos en los que el cobro del agua (variable *ap_1_1*) se hubiera realizado mediante el uso de un medidor, por cuota fija o respondido que “no sabe”; mientras que se excluyeron de ésta a aquellos que declararon que “no paga” por el agua que consume. También se consideraron como casos válidos los casos en las que las familias declararon abastecerse de agua mediante el uso de pipas (variable *ap_2*)²⁵.

A fin de controlar el sesgo debido a los casos extremos se aplicó un límite tanto en el rango superior como en el inferior a la variable que mide el consumo de agua en los hogares en metros cúbicos (*Consumo_m3_ARP_Pipas*); para esto, se calculó el valor del percentil 99 de los casos válidos resultando ser igual 102.98, este valor se sustituyó en el caso de que la observación fuera igual o mayor a ese valor (se realizaron 85 reemplazos de valores).

Autores como Alfaro & Fuenzalida (2009) y Badler et al. (2004) recomiendan transformar los valores de la variable a su logaritmo natural a fin de “suavizar” su distribución; esto se logra al acotar el rango de la variable a una escala más pequeña que la original y al eliminar el efecto de las unidades de las variables sobre los coeficientes. Tomando en cuenta esta recomendación, se calculó el logaritmo natural al consumo del agua y se obtuvo otra nueva (*lconsumo3_top*); en esta variable se reemplazaron también con un valor de -2 todos aquellos valores que antes de aplicarle el logaritmo presentarían valores iguales a cero²⁶.

Para la imputación de los valores se consideraron las variables que fueron recurrentes en la revisión de la literatura para explicar el consumo del agua en los hogares (ver anexo 1): estrato socioeconómico, tipo de vivienda, dotación de agua, sexo, grado de instrucción, si el jefe de familia trabajó o no la semana pasada, su edad, el número total de integrantes de la familia, número de cuartos de la vivienda, el estado en el cual se levantó la observación; todo esto sujeto a que la observación fuera un caso válido (es decir, en aquellos en que *casos_válidos*=1).

La variable años de antigüedad aunque es mencionada por la literatura (Chang et al., 2010; Garcia et al., 2019; Jaramillo, 2005; Yu et al., 2015) como explicativa del consumo de agua en las viviendas, se excluyó del modelo debido a que al igual que las variables a imputar (*consumo*

²⁵ Los casos válidos se identificaron con el número 1, en caso de no ser válido dicho campo se dejó en blanco.

²⁶ Debido a que el log de 0 no existe, se sustituyeron los valores iguales a cero de la variable “*Consumo_m3_ARP_Pipas*” por -2 en “*lconsumo3_top*”; se reemplaza con -2 porque al aplicar el exponencial e a la variable para volverla a su escala original (m^3), con el valor de -2 se obtiene $0.13 m^3$, un valor muy cercano a cero.

de agua y pesos pagados), también presentó un alto porcentaje de valores perdidos (28.74%) en la encuesta.

En el caso de la variable que mide el consumo de agua en los hogares expresada por la cantidad de pesos pagados mensualmente se procedió de la misma manera, solo que el límite del percentil 99 fue igual a \$950; se reemplazaron 25 casos que excedieron este valor. De igual manera, en el extremo inferior se sustituyeron los valores después de obtener el logaritmo natural de la variable.

Rubin (1996) sostiene que entre tres y cinco modelos de imputación son suficientes para obtener resultados deseables, en este caso se simularon 10 versiones distintas. Un criterio aceptado para elegir el mejor modelo es que el valor imputado sean lo más cercano al valor original (Useche & Mesa, 2006). Dados los resultados, se trabajó con el modelo 9 para el consumo del agua expresado en m³ y el modelo 3 para el gasto de agua expresado en pesos (ver cuadro 1.9), dado que tanto sus medias como su desviaciones estándar son las más cercanas a los valores originales (m0).

Cuadro 1.9. Comparativa de consumo de agua en hogares urbanos con datos originales y datos imputados.

Variable	Consumo en m ³ (variable original)	Consumo en m ³ (variable imputada)	Pesos pagados (variable original)	Pesos pagados (variable imputada)
Obs.	8,426	9,717	8,420	9,715
Mean	16.0	16.2	176.9	176.1
Std. dev.	16.7	16.9	158.7	158.3
Min	0.0	0.1	0.0	0.1
Max	103.0	103.0	950.0	950.0

Nota: en ambas imputaciones se consideró el factor de expansión correspondiente a cada caso y se utilizaron las variables con los valores topados tanto en el mínimo como en el máximo.

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017.

Como se puede observar, tanto para el consumo en m³ como en pesos hubo una ganancia significativa de casos válidos (1291 y 1,295 respectivamente); a pesar de esto, los cambios tanto en los valores promedio como en las desviaciones estándar se mantienen similares, lo que confirma la bondad del modelo de imputación.

También es importante mencionar que el consumo promedio nacional de agua en los hogares es de 16.2 m³ mensuales, lo que representa un gasto de \$176.1 por este concepto. Si dividimos este consumo entre 3.6 (que es el número de integrantes promedio por familia en México),

tenemos que a cada persona le corresponde 4.5 m³ de agua al mes, cantidad por encima del consumo óptimo²⁷ establecido por la OMS, que es de 100 litros por persona al día (Howard et al., 2020) o 3m³ al mes. Pero ¿qué tan dispares son los consumos de agua en los hogares cuando se toma en cuenta sus características socioeconómicas? Esta pregunta se responde en el apartado siguiente.

1.6 Indicadores de desigualdad en el consumo de agua (en metros cúbicos) para los hogares urbanos del país

Al analizar las desigualdades entre los deciles únicamente considerando la variable de consumo de agua expresada en m³ mensuales, en primera instancia resalta la diferencia de consumo entre los hogares situados en los percentiles más altos y los más bajos. Por cada litro de agua que consumen los hogares situados en el percentil 10 (el más bajo), los hogares situados en el percentil 90 (los más altos) consumen 11.2 litros (ver cuadro 1.10); esta relación disminuye en uno *versus* 3.1 litros si se comparan los casos situados en los percentiles 50 y 90 (que aun así es considerable); así también, por cada litro de agua que consumen los hogares situados en el percentil 50, los del percentil 10 solo consumen 0.3 litros y por cada litro que consumen los hogares del percentil 25 los hogares del percentil 75 consumen 3.4 litros.

Cuadro 1.10. Consumo de agua en los hogares del país por deciles (m³).

Todas las observaciones	p90/p10	p90/p50	p10/p50	p75/p25
	11.2	3.1	0.3	3.4

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Las grandes desigualdades en el consumo de agua en el país también concuerdan con las reportadas por Revollo & Rodríguez (2021a), quienes con datos de la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares (ENIGH) del 2016 encontraron que solo el 82% de los hogares más pobres tienen acceso al agua de la red pública (lo que limita su consumo); en cambio, el decil más rico de los hogares tiene un acceso de casi el 99%; más allá de otras fuentes de abastecimiento, el acceso (o no) de las viviendas a la toma de la red pública de agua explicaría en gran parte la disparidad en el consumo de agua en el país.

²⁷ Este nivel de consumo cubre las 3 necesidades básicas de salud (beber, cocinar e higiene) en el hogar, además de que se garantiza el agua para la limpieza del mismo.

Se calculó también el valor del índice de Gini (IG) a fin de calificar la desigualdad en el consumo de agua (en m^3) entre los hogares del país. El IG se obtiene de la unidad menos un medio del área bajo la Curva de Lorenz (Fernández et al., 2008). Cuando el IG toma un valor igual a cero se dice que existe una perfecta igualdad; en este caso, este valor se puede interpretar como que todos los hogares urbanos de México consumen la misma cantidad de agua. En cambio, si tomara el valor de 1 significaría que hay una perfecta desigualdad, es decir, que tan solo un hogar concentraría todo el consumo de agua en el país.

La interpretación de los valores intermedios entre 0 y 1 es más subjetiva. En el presente trabajo se utilizó la clasificación para la asignación de recursos propuesta por Babuna, Yang, & Bian (2020) según la cual, cuando el coeficiente de Gini calculado está por debajo de 0.2 significa que existe una “igualdad alta”; entre 0.2 y 0.3 le corresponde una “igualdad relativa”; de 0.3 y 0.4 califica como “neutral”; de 0.4 a 0.5 significa “desigualdad relativa” y por encima de 0.5 es equivalente a una “desigualdad alta”. En este caso, el valor del IG obtenido fue de 0.47 lo que se traduce como la existencia de una “desigualdad relativa” entre el consumo de agua (medido en m^3) entre los hogares del país. Cabe señalar también que dicho valor está a solo un par de centésimas para ser clasificado en la categoría de “alta desigualdad”.

Por otro lado, el Índice de Entropía Generalizado (IEG) obtenido para el consumo de agua en m^3 (igual a 0.53) ayuda a entender en qué grado contribuyen a la desigualdad del conjunto de la población, por un lado, la desigualdad dentro de cada uno de los subconjuntos y por el otro, la que se origina por las diferencias entre ellos (Fernández & Costa, 1998); la suma de ambas desigualdades debe ser igual a uno. Al igual que el IG, un valor de cero en el IEG indica una perfecta equidad y 1 una perfecta inequidad en el consumo del agua de la población analizada.

La desigualdad dentro de los grupos o intra-grupos (en este caso los deciles de los hogares ordenados de acuerdo con su consumo de agua) obtenida contribuye a la inequidad general con 0.53 (ver Cuadro 1.11) que corresponde a una “alta desigualdad,” lo que significa que aún entre cada uno de los deciles conformados el consumo de agua por familia varía considerablemente. Sin embargo, la desigualdad entre grupos (deciles 10, 20, 30, etc.) es de 0.01 por lo que su contribución a la inequidad general es marginal.

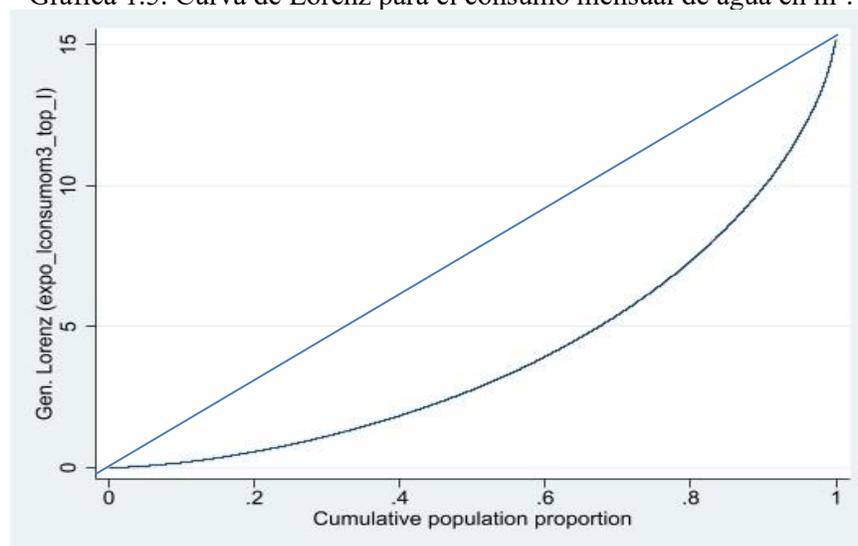
Cuadro 1.11. Índices de desigualdad en el consumo de agua.

IEG (2)	Gini	Desigualdad dentro de los grupos, GE W(a)	Desigualdad entre grupos, GE B(a)
0.53	0.47	0.53	0.01

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Lo anterior se puede ilustrar mejor si graficamos la curva de Lorenz (ver Gráfica 1.5), en la que si trazamos una recta de 45° a partir del punto de origen (0,0), cualquier punto situado sobre ésta describe una situación de perfecta igualdad entre la población (eje Y) y la cantidad de agua consumida (eje x); entre más se aleje la curva de Lorenz de esta recta significa que hay una mayor desigualdad (Wolff, 2009). Un caso extremo sería que la curva tendiera al infinito sobre el eje horizontal, lo que significaría que un solo hogar consume toda el agua del país.

Gráfica 1.5. Curva de Lorenz para el consumo mensual de agua en m³.



Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017.

Como se muestra en la gráfica 1.5, un 20% de la población del país consume menos de 1 m³ de agua *per cápita* al mes (apcm) lo que equivale al 6.7% del total del agua consumida en México. El 40% de la población con menor consumo se reparte tan solo el 12% del agua, al 60% de la población le corresponde el 25.3% y el 80% de los hogares consumen en su conjunto el 50% del total del agua en el país.

Una forma de identificar y caracterizar mejor qué tipos de hogares se encuentran en cada decil de consumo fue relacionarlo con algunas variables socioeconómicas. Si analizamos el consumo de agua según el estrato socioeconómico de los hogares se tiene que el estrato medio (bajo y alto) concentra el 83.3% de los casos (53.6% y 29.7%, respectivamente), seguidos del estrato alto con

14.3% y el bajo con solo el 2.4% (ver cuadro 1.12). Estos casos cumplen con la relación ya encontrada en la literatura: que a mayor estrato socioeconómico (*proxy* del ingreso), mayor consumo promedio de agua por lo que el estrato bajo presenta un consumo promedio de 5.4 m³ mensuales, el medio bajo 13.5, el medio alto 16.8 y el alto 19.6 m³ mensuales.

Cuadro 1.12. Consumo de agua (m³) en los hogares del país según estrato socioeconómico.

Estrato socioec.	Porcentaje	Promedio (m ³)	Cuota de agua	Gini
Bajo	2.4	5.4	0.9%	0.44
Medio bajo	53.6	13.5	47.8%	0.24
Medio alto	29.7	16.8	32.8%	0.22
Alto	14.3	19.6	18.5%	0.19

Nota: El valor del IG se calculó con el logaritmo del consumo de agua en m³.

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

La desigualdad en el consumo del agua se puede ilustrar también si se compara el consumo por estrato (ver cuadro 1.12). El 2.4% de los casos que se encuentran en el estrato bajo consumen solo el 0.9% del total del agua, mientras que el 53.6% de los medio bajo utilizan el 47.8% del agua; es decir, hay una relación menos que proporcional en el consumo de agua para los estratos más bajos. En cambio, esta relación se invierte en el estrato medio alto en donde al 29.7% de los casos les corresponde el 32.8% del agua; así también sucede en el estrato alto, en donde al 14.3% de los casos se distribuyen el 18.5% del total del agua (relación más que proporcional).

La desigualdad dentro de los estratos es creciente conforme se baja de estrato; los hogares ubicados en el estrato alto además de que proporcionalmente consumen más m³ de agua, también presentan una “igualdad alta” (0.19) en su consumo, mientras que los hogares que se encuentran en el estrato más bajo, además de consumir proporcionalmente menor cantidad de agua también presentan una “desigualdad relativa” entre ellos (0.44), es decir, que aun dentro del estrato bajo no todos consumen una cantidad similar de agua.

En el estudio realizado en Austria por Willis et al. (2013), encontraron también que conforme se incrementa el ingreso de las familias también lo hace su consumo de agua y que entre los clústeres de hogares con ingresos medios y altos no hay diferencias significativas en su consumo. Lo que indica que a partir de cierto nivel de consumo, el agua se comporta como un bien de lujo

(a mayor ingreso mayor demanda), pero llega un punto en el que al tener mejores ingresos la demanda del agua se convierte en la de un bien normal²⁸.

Según el nivel de instrucción del jefe del hogar, el 4.6% de los datos corresponden a casos en los que se declaró que el jefe del hogar no tenía ninguna instrucción escolar, 24.6% primaria, 24.6% secundaria, 23.1% bachillerato y 23.1% licenciatura o mayor nivel de instrucción (ver cuadro 1.13). De acuerdo con la literatura se ha encontrado que a mayor nivel de educación se presenta un mayor consumo de agua (debido al efecto ingreso), en este caso se cumple claramente esta relación puesto que los promedios de consumo de agua según los niveles enlistados anteriormente son de 12.9, 13.7, 14.1, 15.8 y 17.7 m³ mensuales.

Cuadro 1.13. Consumo de agua en los hogares del país (m³) según nivel de instrucción del jefe(a) de hogar.

Nivel de instrucción	Porcentaje	Promedio (m ³)	Cuota de agua
Ninguna	4.6	12.9	3.9%
Primaria	24.6	13.7	22.2%
Secundaria	24.6	14.1	22.9%
Bachillerato	23.1	15.8	24.1%
Licenciatura o más	23.0	17.7	26.8%

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

De igual manera, la relación entre los porcentajes de hogares y el consumo del agua según su nivel de instrucción indica que los hogares cuyo jefe de familia tiene estudios de nivel secundaria o menor que éste, se reparten un menor porcentaje de agua respecto a su porcentaje. En cambio para los que tienen bachillerato y licenciatura o más, la proporción es creciente; el 23.1% de los hogares con bachillerato se reparten el 24.1% del agua, mientras que el 23.0% con licenciatura o más se distribuyen el 26.8% del total del agua.

El número de cuartos es una forma indirecta de aproximar el tamaño de la vivienda. Del total de las viviendas analizadas el 3.6% es de un solo cuarto, 9.6% de dos, 20.9% de tres, 26.9% de cuatro y el 39.0% de cinco o más cuartos (ver cuadro 1.14). En este caso se cumple la relación que establece que a mayor tamaño de la vivienda también será mayor el consumo de agua debido al mayor número de personas habitando en la vivienda.

²⁸ En bien normal es aquel que ante un incremento en el ingreso de las personas, se incrementa también su demanda pero en proporción menor que al incremento en el ingreso.

Cuadro 1.14. Consumo de agua en los hogares del país según el número de cuartos de la vivienda.

No. cuartos	Porcentaje	Promedio (m ³)	Cuota de agua
1 cuarto	3.6	8.4	2.0%
2 cuartos	9.6	11.8	7.5%
3 cuartos	20.9	13.7	19.0%
4 cuartos	26.9	15.4	27.3%
5 o más	39.0	17.2	44.2%

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Si se analiza el porcentaje de casos respecto al porcentaje de agua disponible que obtienen, las viviendas con uno y hasta tres cuartos tienen una relación deficitaria de agua; es decir, es mayor el porcentaje de casos que el porcentaje de agua que se reparten entre ellos. A partir de cuatro o más cuartos esta relación se invierte y es mayor el porcentaje de agua consumida que el porcentaje de casos (ver cuadro 1.14).

En la gran mayoría de los hogares (67.7%) el jefe(a) de familia se encuentra en una etapa considerada de adultez (27 a 59 años), seguido (27.1%) de los que se encuentran en la etapa de la vejez (60 años o más), mientras que los hogares con un jefe de familia joven (18 a 26 años) representan solo el 5.2%. El consumo promedio de agua es creciente de acuerdo con el rango de edad; sin embargo, no existe un cambio significativo entre los grupos de la adultez y la vejez, no así con los jóvenes que consumen una menor cantidad promedio de agua (ver cuadro 1.15).

Cuadro 1.15. Consumo de agua en los hogares del país (m³) según edad del jefe(a) de familia.

Edad	Porcentaje	Promedio (m ³)	Cuota de agua
Juventud (18-26)	5.2	12.7	4.3%
Adultez (27-59)	67.7	15.1	67.7%
Vejez (60 más)	27.1	15.6	28.0%

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Son también los jóvenes quienes reciben proporcionalmente una menor cantidad de agua (4.3% para abastecer al 5.2% de los casos contenidos en esta categoría). La distribución de agua consumida entre los que se encuentran en la etapa adulta es perfectamente equitativa con su proporción (67.7%); mientras que los de la vejez tienen una proporción ligeramente superavitaria en la relación entre casos y consumo de agua (27.1 para el 28.0%) (ver cuadro 1.15).

Respecto a la frecuencia de dotación con que reciben agua en los hogares, un 77.6% de los casos les llegaba de manera diaria, 12.6% cada tercer día, 4.7% dos veces por semana, 2.5% una vez por semana y 2.6% de vez en cuando. A los que les llega diariamente presentan el consumo

promedio más alto (16.3 m³), los de cada tercer día y dos veces por semana tienen un consumo muy similar (12.3 y 12.2 respectivamente); a los que les llega una vez y a los que les llega de vez en cuando también tienen promedios cercanos entre sí (10.2 y 10.9 m³ mensuales); ver cuadro 1.16.

Cuadro 1.16. Frecuencia de dotación de agua (m³) en los hogares del país.

Dotación de agua	Porcentaje	Promedio (m ³)	Cuota de agua
Diario	77.6	16.3	82.6%
Cada tercer día	12.6	12.3	10.1%
Dos veces por semana	4.7	12.2	3.8%
Una vez por semana	2.5	10.2	1.7%
De vez en cuando	2.6	10.9	1.9%

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Si comparamos los porcentajes de casos según la dotación con el porcentaje de consumo de agua, el 77.6% de los hogares que la reciben diario presentan un consumo más que proporcional obteniendo el 82.6% del total del agua (es decir, a mayor frecuencia de dotación también se presenta un mayor consumo). Para el resto de las frecuencias la relación entre porcentaje de casos y porcentaje de agua consumida es deficitaria respecto al porcentaje de casos; es decir, que a menor dotación también presentan menor consumo de agua.

1.7 Indicadores de desigualdad en el gasto en agua (pesos pagados) para los hogares urbanos del país

Al analizar la desigualdad en el consumo del agua pero ahora midiéndola por los pesos que los encuestados en el MOHOMA manifestaron que gastaron mensualmente para obtener este recurso vemos que se mantiene y se confirma la desigualdad encontrada en unidades físicas anteriormente presentada.

Si consideramos los casos válidos y solamente los pesos pagados hay una diferencia de gasto importante entre deciles (ver cuadro 1.17) pues por cada peso que gastan las personas situadas en el percentil más bajo (10) las personas posicionadas en las viviendas en el percentil más alto (90) gastaron 8.5 pesos, lo que se puede interpretar como un mayor consumo de agua en estas viviendas. Esta relación disminuye de 1 a 2.8 pesos si comparamos a los hogares situados en el percentil 50 con los del percentil 90; mientras que, cuando las personas del percentil 50

gastaron 1 peso, las del percentil 10 gastaron solo 0.3 pesos; y cuando las del percentil 25 gastaron 1 peso, las del percentil 75 gastaron 3.1 pesos.

Cuadro 1.17. Gasto en agua en los hogares del país por deciles (pesos).

Todas las observaciones	p90/p10	p90/p50	p10/p50	p75/p25
	8.5	2.8	0.3	3.1

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Revollo & Rodríguez (2021) estimaron con datos del 2016 que mientras el decil más rico de los hogares de México gastó solo 0.9% de su ingreso para acceder al agua potable (red pública, embotellada y de pipa) los hogares ubicados en el decil más pobre gastaron 5.1%, lo que representa una proporción relativa de 1 a 5. En el caso de Santiago, Chile; Durán (2015) encontró que el rango del monto total a pagar por el servicio de agua de la red privada va del 0.70% al 7.82% de su ingreso, lo que significa que para estas últimas el agua es 11.2 veces más costosa (proporcionalmente) respecto a las primeras; valores similares a los encontrados en esta investigación (8.5 veces).

Cuadro 1.18. Índice de Gini y de Entropía Generalizado para el consumo de agua en pesos.

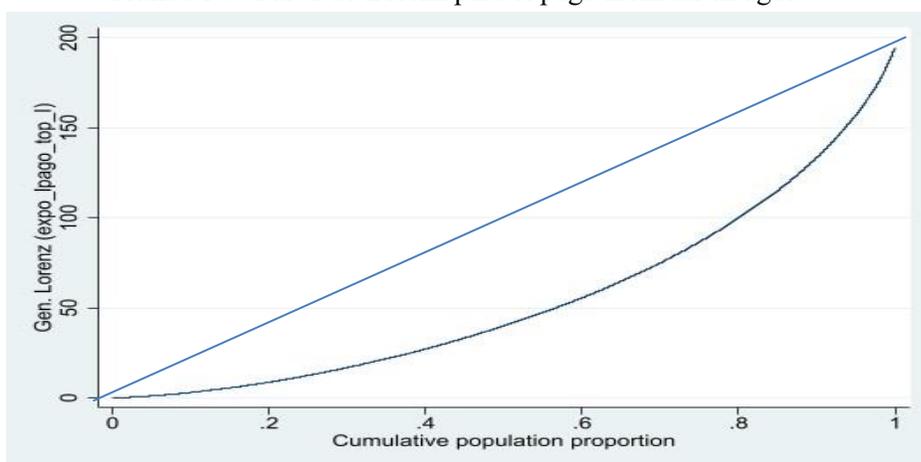
IGE (2)	Gini	Desigualdad dentro de los grupos, GE W(a)	Desigualdad entre grupos, GE B(a)
0.40	0.44	0.39	0.00

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Como vemos en el cuadro 1.18, el valor del índice de Gini para el gasto en agua toma un valor de 0.44, que aunque es ligeramente inferior al calculado anteriormente con la unidad de consumo en m³ (0.47), también cae dentro de la categoría de “desigualdad relativa” en el gasto en agua realizado por los hogares del país. El Índice de Entropía Generalizado (IEG) obtenido para el consumo en pesos es igual a 0.40; éste se descompone en 0.39 que corresponde a las diferencias intra-grupos (es decir que al interior de un mismo decil de gasto hay grandes disparidades en el consumo de agua) mientras que la diferencia entre los grupos de deciles es casi insignificante (igual a 0.004).

En la gráfica 1.6 de la curva de Lorenz para el gasto en agua vemos que 20% de la población del país que menos gasta en agua acumula 4.5% del total pagado, 40% acumula 14% del total, 60% 27.5% de lo pagado y 80% desembolsa 50% del total de dinero reportado en las encuestas.

Gráfica 1.6. Curva de Lorenz para el pago mensual en agua



Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Al analizar las desigualdades del gasto mensual en agua por hogar y estrato socioeconómico (ver cuadro 1.19) es notoria la existencia de una relación directa entre el nivel del estrato socioeconómico y la cantidad de dinero pagada: a mayor estrato le corresponde un mayor gasto promedio por consumo de agua. En primera instancia pareciera “justo” que los estratos más bajos del país gasten una menor cantidad de dinero por su consumo de agua, mientras que los estratos más altos paguen más. Sin embargo, si este dato lo analizamos junto con las proporciones de la cuota de agua que le corresponde a cada estrato encontramos que 2.4% de los casos pertenecientes al estrato bajo solo pudo comprar 1.6% del total de agua, lo que implica que existe una desigualdad en el consumo mediada por su ingreso.

Cuadro 1.19. Gasto en agua (pesos) en los hogares del país según estrato socioeconómico.

Estrato socioeconómico	Porcentaje	Gasto promedio (pesos)	Cuota de agua	Gini
Bajo	2.4	\$ 128.3	1.6%	0.63
Medio bajo	53.7	\$ 172.0	47.5%	0.43
Medio alto	29.7	\$ 215.6	32.9%	0.42
Alto	14.3	\$ 244.9	18.0%	0.41

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

Así también, en el cuadro 1.19 vemos que en el estrato medio bajo se encuentra el 53.7% de los casos pero que éstos solo compraron 47.5% del total del agua; es decir, los dos estratos más bajos tienen una proporción deficitaria en su consumo (expresado por los pesos gastados) mientras que en el estrato medio alto y alto presentan una relación más que proporcional en el gasto en agua respecto a su proporción en tamaño, lo que significa que ellos están consumiendo una cantidad mayor de agua.

Las desigualdades en el gasto de agua en los hogares también son notorias al interior de los estratos (ver cuadro 1.19): mientras los hogares que se encuentran en el estrato medio bajo, medio alto y alto presentan una “desigualdad relativa” (0.43, 0.42 y 0.41 respectivamente), el estrato bajo presenta una “desigualdad alta” (0.63), por lo que aun entre hogares pertenecientes al mismo estrato socioeconómico, los consumos de agua pueden ser notoriamente diferentes.

El nivel de instrucción del jefe(a) de familia y el gasto en agua en los hogares del país presenta también una relación positiva: cuando es mayor el nivel de instrucción declarado, mayor es el gasto en agua (ver cuadro 1.20). En los hogares en que declararon que el jefe no tiene ningún nivel de instrucción o con primaria y secundaria presentan un gasto en agua menor que la proporción de hogares según el nivel de instrucción al que pertenecen. Por ejemplo, 4.6% de los casos en los que se declaró que el jefe de familia no tenía ninguna instrucción consume 4.1% del total del agua, mientras que 24.7% que declaró un nivel de instrucción de primaria consume 22.4%.

Cuadro 1.20. Consumo de agua en los hogares del país (pesos pagados) según nivel de instrucción del jefe(a) de hogar.

Nivel de instrucción	Porcentaje	Promedio (pesos)	Cuota de agua
Ninguna	4.6	\$ 172.8	4.1%
Primaria	24.7	\$ 176.5	22.4%
Secundaria	24.6	\$ 184.8	23.4%
Bachillerato	23.1	\$ 199.6	23.8%
Licenciatura o más	23.0	\$ 222.6	26.3%

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

A partir de los que cursaron bachillerato en adelante la relación se invierte; es decir, que aquellos que tuvieron una instrucción superior a esta, consumen más agua de la que proporcionalmente les correspondería de acuerdo con el número de hogares en su respectivo nivel de instrucción. Esta misma relación fue encontrada por Duque et al. (2013) para el análisis que realizaron en Antioquía, Colombia; según los autores, la incidencia de la educación sobre el consumo de agua se debe a que un mayor grado de educación permite a las familias obtener un mayor ingreso, y con ello, estar en posibilidades de pagar por un consumo más alto de agua.

El tamaño de la vivienda (medido por su número de cuartos) también presenta una relación positiva con el gasto en agua: a mayor número de cuartos, es mayor el promedio de dinero gastado en este rubro (ver cuadro 1.21). Las viviendas que tienen de 1 a 3 cuartos presentan

consumos menos que proporcionales del pago en su consumo respecto al porcentaje de su tamaño. Por ejemplo, 3.6% del total de las viviendas con un cuarto consumen 2.1% del total del agua (contabilizada en los pesos pagados mensualmente) mientras que 9.6% de viviendas que cuentan con 2 cuartos les corresponde 7.4%. A partir de 4 o más cuartos la proporción se invierte, lo que significa que las viviendas más grandes pagan (consumen) más agua en proporción al número de casos para su categoría.

Cuadro 1.21. Consumo de agua en los hogares (en pesos pagados) del país según el número de cuartos de la vivienda

No. cuartos	Porcentaje	Promedio (pesos)	Cuota de agua
1 cuarto	3.6	\$ 114.7	2.1%
2 cuartos	9.6	\$ 149.1	7.4%
3 cuartos	20.9	\$ 165.7	17.9%
4 cuartos	26.9	\$ 195.4	27.0%
5 o más	39.0	\$ 227.4	45.6%

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

El rango de edad del jefe(a) de familia presenta una relación positiva con el gasto en agua de los hogares; en general, a mayor edad, mayor es la cantidad promedio de pesos pagados (ver cuadro 1.22). También el índice de desigualdad de Gini entre los estratos de edad presenta una relación positiva, es decir, que a mayor edad del jefe(a) de familia hay mayor desigualdad en el consumo de agua en los hogares, aunque los tres estratos se clasifican en la categoría de “desigualdad relativa”.

Cuadro 1.22. Consumo de agua en los hogares del país (en pesos pagados) según edad del jefe(a) de familia.

Rango de edad	Porcentaje	Promedio (pesos)	Cuota de agua	Gini
Juventud (18-26)	5.2	\$ 156.46	4.2%	0.40
Adulthood (27-59)	67.8	\$ 194.13	67.7%	0.43
Vejez (60 más)	27.1	\$ 202.00	28.1%	0.45

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

En los hogares en los que el jefe de familia se encuentra en su etapa de vejez (60 o más años) se presenta un consumo más que proporcional del agua respecto al número de casos contenidos en esta categoría, pues 27.1% de los hogares se reparten 28.1% del total del agua (medida en los pesos pagados), mientras que en los casos en los que el jefe de familia es joven (18 a 26 años) le

corresponde solamente 4.2% del total. Solo los que se encuentran en la etapa de la adultez (27 a 59 años) presentan un gasto en agua proporcional a su tamaño.

De acuerdo con la frecuencia de la dotación y el gasto en agua en los hogares (ver cuadro 1.23), 77.6% de los casos que afirmó que en su vivienda el agua les llega diariamente consumen 80.6% del total y pagan en promedio \$200.4 mensuales; 12.6% de los respondieron que les llega cada tercer día, se reparten 11.1% del total y pagan en promedio \$171.0 mensuales; 4.7% recibe agua en sus hogares dos veces por semana, se distribuyen 4.2% del total y pagan en promedio \$173.0 mensuales; 2.5% una vez por semana, consumen 1.8% y pagan en promedio \$136.4 mensuales; finalmente, 2.6% afirmó que les llega de vez en cuando, consumen 2.3% del total del agua pagada y pagan en promedio \$167.7 mensuales.

Cuadro 1.23. Frecuencia de dotación de agua (según pesos pagados) en los hogares del país

Dotación de agua	Porcentaje	Promedio (pesos)	Cuota de agua
Diario	77.6	\$ 200.44	80.6%
Cada tercer día	12.6	\$ 170.98	11.1%
Dos veces por semana	4.7	\$ 173.05	4.2%
Una vez por semana	2.5	\$ 136.45	1.8%
De vez en cuando	2.6	\$ 167.72	2.3%

Elaboración propia con base en datos del MOHOMA 2017 y la ENH 2017.

1.8 Conclusiones

El presente capítulo realizara tres aportes al tema del consumo del agua en los hogares de México. El primero es de tipo metodológico: se describe el tratamiento técnico (imputación de datos) que se puede dar a los datos disponibles en la encuesta MOHOMA para estimar el consumo de agua en los hogares urbanos del país o para estimar cualquier otra variable de interés contenida en ella o en otra encuesta con características similares cuyas variables presenten altos porcentajes de datos faltantes.

El segundo aporte es la cuantificación de la desigualdad en el consumo de agua entre los hogares del país. Se calculó que existe una diferencia notable (de 11.2 veces en caso de medirlo en m³ y de 8.5 veces en caso de medirlo en pesos pagados) en el consumo entre el decil 10 y el 90. El índice de Gini calculado para la totalidad de los hogares confirma esta desigualdad dado que en ambas escalas de medición (m³ y pesos) se obtuvieron mediciones muy parecidas (0.47 y

0.44 respectivamente), mismas que corresponden a una “desigualdad relativa” en el consumo de agua de los hogares del país.

Estos parámetros estimados son útiles como punto de partida en el debate sobre ¿Qué tan lejos está México de alcanzar la cobertura universal del agua de tal manera que se cumpla que toda persona tenga acceso a ella, según lo establecido en el artículo 4° constitucional?, ¿Qué nivel de desigualdad es admisible como sociedad? o ¿Qué políticas públicas es necesario impulsar para cerrar estas brechas de desigualdad encontradas?

Tercero, el análisis socioeconómico de las personas proporciona un perfil más exacto sobre quienes sufren mayor exclusión del vital líquido, con ello es posible apuntar a mejores políticas públicas que corrijan estas asimetrías. Por ejemplo, se encontró que existe una relación directa entre el consumo promedio de agua (medido tanto en m³ como en pesos) y el estrato socioeconómico de los hogares, por lo que entre más alto sea el estrato al que pertenece un hogar, mayor será su consumo de agua y viceversa.

El hallazgo anterior pone al debate la idea de la privatización como un medio de lograr la eficiencia en la dotación del agua, pues sí bien estos mecanismos funcionan para lograr una mejor cobertura y calidad del agua, también lo es que éstos tienden a excluir a las personas que no pueden pagar por ella, tal como lo documenta Durán (2015) y Correa et al. (2020) en el caso chileno. Por ello y basado en otras experiencias similares, el mecanismo de mercado no parece ser el adecuado para gestionar un bien vital como el agua.

Se encontró también que las desigualdades son más grandes entre los hogares pertenecientes a los estratos bajos que en los altos, lo que significa que además de que los primeros consumen menos agua, hay diferencias más notables en el consumo entre ellos; en cambio, los estratos más altos además de que consumen más agua presentan consumos más similares entre sí.

La igualdad en el consumo del agua en los estratos altos puede deberse a la naturaleza del agua, cuyo consumo llega a la saciedad (a diferencia de la acumulación de riqueza, por ejemplo) y alcanzado cierto nivel de consumo (optimo y suntuario) ésta se deja de usar. Por esta razón la desigualdad no crece tanto como sucede en los estratos bajos cuyas necesidades de consumo de agua no son cubiertas en su totalidad. La desigualdad al interior de los estratos bajos sugiere la existencia de un problema estructural que puede ser explicado por otras variables intervinientes además del ingreso como las que se mencionan a continuación.

Cuando el jefe(a) del hogar tiene un nivel de instrucción igual o superior al bachillerato a su hogar le corresponderá un consumo de agua más que proporcional; en cambio, si éste es menor, le corresponde también una menor proporción de agua (tanto en pesos gastados como en metros cúbicos). Existe también una relación directa entre la edad del jefe(a) del hogar y el consumo de agua familiar, ésta establece que a mayor edad, mayor consumo de agua (medido tanto en pesos gastados como en metros cúbicos)²⁹.

Respecto a las características de la vivienda se encontró que su tamaño y el consumo del agua presentan una relación positiva: a mayor número de cuartos mayor es el consumo (tanto en m³ como en pesos). Además de esto, cuando la vivienda tiene menos de tres cuartos le corresponde una proporción del total del agua menor al porcentaje del número de casos que se encuentran en estas categorías, mientras que las viviendas con cuatro o más cuartos son las que consumen más agua. Las viviendas cuya frecuencia de dotación es diaria son las que en promedio consumen más agua, así también, éstas tienen una mayor proporción de consumo respecto al número de casos que se encuentran en esta categoría.

Así, el perfil de las personas y los hogares que consumen más agua en el país son: pertenecientes al estrato socioeconómico medio alto o alto, el jefe de familia tiene 60 años o más, con estudios de bachillerato en adelante, su vivienda tiene cuatro o más cuartos y se les dota de agua diariamente. De forma contraria, las personas que menos agua consumen pertenecen a los estratos socioeconómicos bajo y medio bajo, el nivel de instrucción del jefe de familia es menor al bachillerato, se encuentra en la juventud (18 a 26 años), su vivienda tiene 3 cuartos o menos y la frecuencia de la dotación de agua en su vivienda es cada tres o más días.

Cada vez es más común la compra de agua embotellada para ser bebida o para preparar alimentos. El análisis de estas variantes del consumo del agua tiene implicaciones importantes para el consumo final pues impacta en el ingreso (las familias mexicanas destinan hasta el 10% de su ingreso total para la compra de bebidas no alcohólicas; García, 2022) y en la cantidad de agua consumida de las viviendas. En el presente capítulo y dadas las limitantes de información, tanto el consumo de agua en botellas PET, de refrescos, así como agua en garrafón no se

²⁹ Cabe mencionar que el sexo del jefe(a) de familia no reportó diferencias significativas (en pesos o en metros cúbicos) en el consumo del agua ni en la medición de su desigualdad, por lo que no se profundizó en el análisis de esta variable.

considera en el análisis, pero se considera un consumo complementario que es de mucha importancia integrar para un análisis futuro.

Finalmente hay que mencionar que dada la dificultad para obtener información exacta y actualizada sobre el consumo de agua en los hogares del país, se trabajó con la información que proporcionó la encuesta MOHOMA, pero esta sólo tiene representatividad estadística a escala nacional. Sería interesante estimar la desigualdad en el consumo de agua para otras escalas, como las regionales (tomando en consideración su dotación física de agua) o por ciudades (considerando su PIB *per cápita* o su vocación económica, por ejemplo).

Capítulo 2: Patrones de uso y ahorro de agua en las viviendas urbanas de México

Si bien el consumo de agua en los hogares es proporcionalmente menor respecto a otros usos (como la industria o la agricultura), el fenómeno de la urbanización hará que a futuro, el uso y consumo en estos actores tome cada vez más importancia en la demanda del vital líquido. Además, los hogares juegan un rol importante en el corto plazo puesto que facilitan la implementación de las futuras políticas ambientales (Dietz et. al 2009; citados en Lorenzen, 2014) como son las enfocadas a reducir y realizar un mejor uso del agua o la electricidad, de ahí la importancia de estudiar los patrones de uso y ahorro de agua en los hogares urbanos.

A pesar de los múltiples esfuerzos de los gobiernos, de las organizaciones no gubernamentales y de activistas por tratar de reducir el consumo de agua en las ciudades, este no ha podido lograrse. Por ejemplo, en ciudades capitales como México, Buenos Aires o Taipéi, los hogares sobrepasan un consumo promedio de 300 litros *per cápita* al día (International Water Association, 2016), siendo que la OMS estima que la cantidad óptima para atender las necesidades humanas ronda en alrededor de los 100 litros diarios (Howard & Bartram, 2003). Los altos consumos de agua *per cápita* que presentan ciertas ciudades como las arriba mencionadas hacen suponer que aún hay un alto margen para reducirlo y evitar su desperdicio.

En México, la Ley de Aguas Nacionales establece que la Comisión Nacional del Agua deberá “Fomentar el uso racional y conservación del agua como tema de seguridad nacional, y alentar el empleo de procedimientos y tecnologías orientadas al uso eficiente y conservación del agua” y que los Organismos de Cuenca deberán “Promover...el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases del ciclo hidrológico, e impulsar una cultura del agua que considere a este elemento como un recurso vital, escaso y de alto valor económico, social y ambiental y que contribuya a lograr la gestión integrada de los recursos hídricos” (Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, 1992). Aunque hay pocos estudios sobre el Programa de Cultura del Agua (con el cual se pretende lograr los objetivos anteriormente planteados), éstos apuntan a que el programa no ha dado los resultados esperados (Frausto, 2015; González & Arzaluz, 2011; Torres, 2016).

Según la ciencia económica un mecanismo para contener la demanda de un bien es incrementar su precio, sin embargo, en el caso específico del agua las políticas de precios han tenido poco éxito. En primera instancia, debido a que es un elemento esencial para la vida y para

realizar múltiples actividades económicas, su demanda es poco elástica a cambios en su precio (no así respecto al ingreso, como se verá en la literatura revisada); en segunda, porque el incremento en su precio genera un alto costo político para la administración gubernamental en turno. Debido a estas razones, es necesario recurrir a otros tipos de incentivos además de los de mercado para optimizar y/o disminuir su consumo.

Las llamadas “políticas de no precios” son otro tipo de instrumentos utilizados para contener el exceso de demanda del agua, entre ellas se incluyen las mejoras técnicas (como por ejemplo el uso de electrodomésticos ahorradores de agua en los hogares), los instrumentos de política y regulación (Koop et al., 2019), la educación ambiental, el cambio de hábitos personales y de conciencia del usuario (Zhao et al., 2019), mismos que al no ser tan lesivos económicamente son mejor recibidos por la población.

Según Martínez & Martín (1995), antes de incrementar la oferta de agua debe primero justificarse la imposibilidad de atender los servicios que de ella se obtienen con medidas de ahorro e incremento de su eficiencia. En el caso mexicano, las campañas de concientización y ahorro de agua han tenido poco efecto debido, entre otras razones, a que éstas no toman en cuenta las diferencias socioeconómicas de la población, por lo que no debe dárseles un tratamiento uniforme, sino diferenciado (Ortega & Peña, 2016) como ha sucedido hasta ahora.

El análisis de clases latentes es un método que permite agrupar los hogares urbanos del país de acuerdo con el ahorro de agua logrado con base en incentivos económicos, implementación de mecanismos, prácticas e influencia de la sensibilización ambiental que subyace en ellos. Revelar cuáles son los distintos tipos de hogares existentes puede coadyuvar en el diseño de políticas públicas focalizadas y orientadas en función del tipo de consumidor, tal como lo sugiere Torres (2016) en la evaluación del Programa de la Cultura del Agua implementado en México.

La información utilizada en el presente capítulo se obtuvo del Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA), cuestionario realizado por el INEGI a escala nacional en el año 2017. En el presente capítulo se utilizó el Análisis de Clases Latentes a fin de agrupar y obtener perfiles de los hogares en función de una variedad de incentivos y prácticas a los que mejor responden sus integrantes en la búsqueda del ahorro del agua.

2.1 Revisión de la literatura

Dentro de la literatura que ha estudiado los factores que influyen en el ahorro del agua en los hogares destacan en primera instancia los instrumentos económicos, éstos se enfocan en analizar el precio del agua y en el ingreso de las familias como las variables explicativas más influyentes en la disminución del consumo.

Tanto en el Área Económica Europea³⁰ como en el Ayuntamiento de Brisbane, en Queensland (Australia), Kristensen et al. (2004) y Ratnasiri et al. (2018) encontraron que existe una relación inversa entre el precio del agua y su demanda. Estos últimos afirman también que los esquemas tarifarios por bloques incrementales de consumo son más efectivos que las tarifas uniformes para limitar el uso del agua. En el caso de México, Castro & Sisto (2015) estimaron que ante un incremento del precio del agua la disminución de su demanda sería poco significativa, por lo que un incremento en su precio no contribuiría a estabilizar los requerimientos nacionales de extracción de agua para uso urbano.

Con respecto al ingreso, Xue et al. (2017) documentan en Texas (USA) una relación positiva entre el ingreso y el consumo de agua; es decir, que en este caso el agua se comporta como un bien normal³¹. Sin embargo tanto Sousa & Dias (2019) como Goette et al., (2019) con base en sus respectivas investigaciones concluyen que las familias que presentan los consumos más altos de agua son las que más redujeron su consumo al presentarles incentivos económicos, debido a que cuentan con un margen para disminuirlo, a diferencia de los que ya lo hacen limitadamente.

Aunque estos incentivos económicos son importantes para disminuir el consumo de agua en los hogares, Goette et al. (2019) y Sousa et al. (2022) concluyen que bajo ciertas condiciones los incentivos no económicos son más efectivos, debido a que son sostenibles en el largo plazo, más sustentables (Rajapaksa et al., 2019), efectivos para la conservación del agua (Lucio et al., 2018) y mejor aceptados socialmente que las políticas de control vía precios (Pérez & García, 2016).

En contraparte, el control del consumo de agua mediante el precio presenta baja sensibilidad a la demanda (Pérez & García, 2016), su efectividad disminuye con el tiempo (Liu et al., 2020) o

³⁰ Comprende países como Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Alemania, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Croacia, Letonia, Liechtenstein, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Noruega, Austria, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovenia, Eslovaquia, España, República Checa, Islandia y Suecia.

³¹ En economía un bien normal es aquel que ante un incremento del ingreso del consumidor, se incrementa su demanda.

carece de voluntad política para implementar o elevar las tarifas (Schreiner, 2015), por lo que enfrenta mayor resistencia política y social. Por estas razones las medidas no monetarias se han posicionado como una alternativa más factible socialmente para disminuir el consumo del agua en la población.

Las llamadas genéricamente “medidas no monetarias” contienen una variedad de acciones. En primera instancia se presentan las relacionadas con los hábitos de las personas, como "cerrar el grifo mientras se limpia los dientes", " ducharse rápido", "cerrar el agua mientras se enjabona" y “lavar los platos en una bandeja con agua en lugar de hacerlo bajo de la corriente de agua”, que para Zhao et al. (2019) son las más influyentes. Por su parte, Addo et al. (2018) distinguen entre aquellas que pueden llevarse al interior (“utilizo un mínimo de agua para limpiar” o “tiro el inodoro con menos frecuencia”) y al exterior (“reciclo aguas grises de la lavadora para el jardín” o “agrupo plantas con necesidades similares”) de los hogares.

La información que tienen los hogares sobre su propio consumo juega también un rol importante en el cuidado de agua. Por ejemplo, cuando una vivienda cuenta con un medidor de agua hará que en ésta se consuma una menor cantidad en comparación con aquellas que no lo tienen instalado (Elinder et al., 2021; Kristensen et al., 2004). Es importante dar a conocer a las familias no solo la medición del agua que consumen sino también hacerlo con una frecuencia adecuada, puesto que la periodicidad influye también en la disminución de su consumo (Stavenhagen et al., 2018).

Goette et al. (2019) experimentaron diversos incentivos en hogares y encontraron que los “tips” informativos periódicos (sobre si su consumo diario *per cápita* era “eficiente”) fueron igual de importantes que los incentivos normativos y monetarios para lograr ahorros de agua. Por su parte, Levin & Muehleisen (2016) apuntan a que la retroalimentación debe ser activa (no dejar pasar mucho tiempo entre el consumo y su medición), por lo que incluso sugieren implementar notificaciones diarias vía mail o teléfono cuando un hogar excede del consumo recomendado.

Otra alternativa para proporcionar información e influenciar el consumo de agua son las campañas sociales masivas. Kadkhodaei, Jaefarzadeh & Abbasi (2021) encontraron que dentro de este rubro y para el caso iraní, las campañas en medios sociales y vallas publicitarias fueron el enfoque más influyente para lograr ahorrar agua en los hogares, seguido de la distribución de folletos y materiales educativos en escuelas y el establecimiento de programas de formación para los ciudadanos.

Koop et al. (2019) establecen tres formas en las que la información es procesada por las personas a fin de crear comportamientos de conservación del agua: reflexiva (que apela al procesamiento consciente de la información a la luz de argumentos racionales, experiencias relevantes y conocimientos), semireflexiva (centrada en la formación de actitudes a través de reglas generales y heurísticas simples que les indican qué elecciones deben tomar) y automática (evocando emociones o estímulos sensoriales).

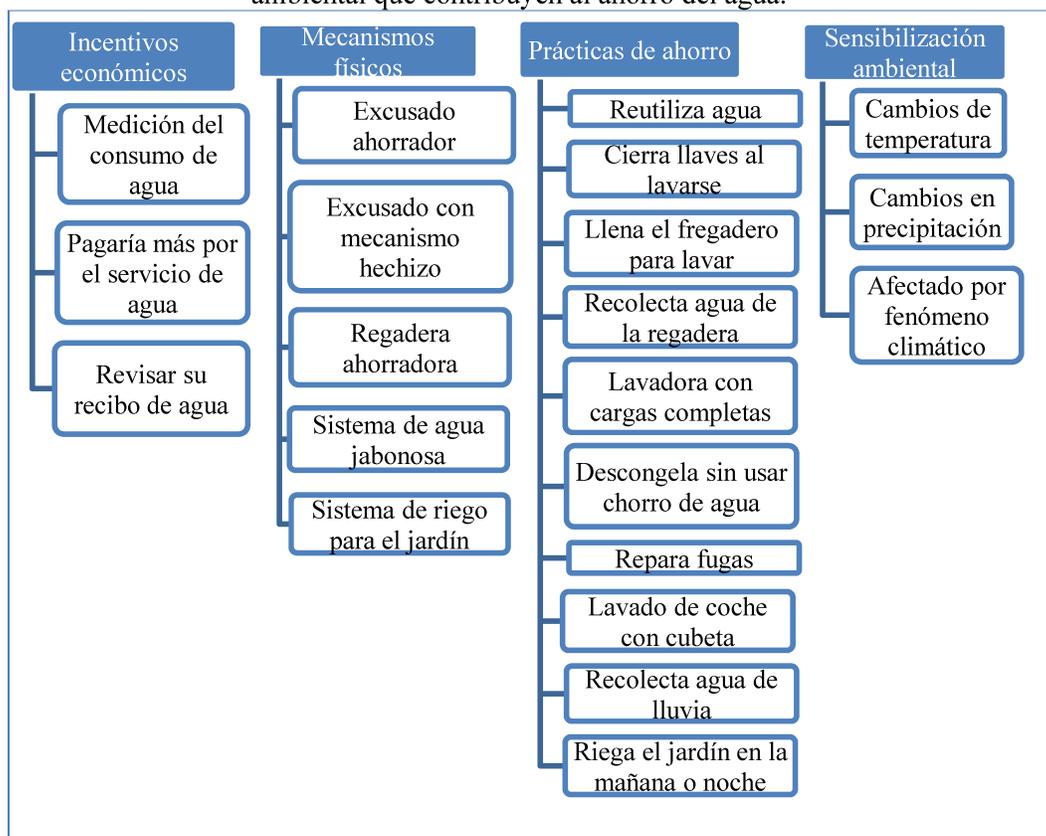
Otra tipo de estrategia para disminuir el consumo de agua en los hogares es la instalación de dispositivos, mecanismos o aparatos que hacen más eficientes su uso. La ventaja principal de éstos es que a diferencia de los hábitos y la educación, con ellos se ahorra agua incluso cuando los consumidores no son plenamente conscientes de hacerlo.

Pérez & García (2016) analizan la relación entre el tipo de electrodomésticos y ahorro de agua en Granada, España. En su estudio concluyen que las viviendas que poseen dispositivos eléctricos eficientes como lavadoras o lavavajillas tienen una mayor probabilidad de llevar a cabo hábitos de conservación de agua respecto de los que solo poseen dispositivos no eléctricos (como inodoros de doble descarga, duchas y grifos de bajo flujo). Además de esto, encontraron que la preocupación ambiental no es un determinante significativo para poseer alguno de estos electrodomésticos ahorradores.

Percepciones como tener un nivel alto de preocupación sobre los recursos hídricos en la región donde viven las personas influye positivamente en la adopción de hábitos para conservar el agua (Robles & Maldonado, 2018). En cambio, otras percepciones como la creencia de que el agua es un recurso infinito (y por tanto no debería restringirse su consumo) hace que las personas consuman más agua (Addo et al., 2018).

Las características socioeconómicas de las personas también influyen en el ahorro de agua en los hogares; edad, género, ingreso, grado de educación y tamaño del hogar (Addo et al., 2018; Liu et al., 2020; Singha & Eljamal, 2020) por mencionar las variables más relevantes, éstas influyen de manera positiva o negativa según cada sociedad. Aunado a estas características, los estilos de vida (como la limpieza personal y del hogar) están relacionados de forma directa con la aplicación (o no) de actividades de ahorro del agua (Kristensen et al., 2004).

Figura 2.1. Tipos de incentivos económicos, mecanismos físicos, prácticas y sensibilización ambiental que contribuyen al ahorro del agua.



Elaboración propia con base en revisión bibliográfica y la encuesta MOHOMA.

De esta breve revisión de la literatura se encontró que hay un conjunto muy amplio de variables que inciden en el cuidado del agua. Buscando esquematizarlos se elaboró la figura 2.1 tomando como referencia, por un lado, la presente revisión bibliográfica y, por el otro, las variables encontradas en el Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA) (INEGI, 2018c) mismas que se emplearán más adelante para realizar el análisis estadístico.

De esta manera establecimos la existencia de cuatro grupos de variables que inciden en el ahorro de agua en los hogares: 1. Incentivos económicos, como su nombre lo indica, serían aquellas acciones relacionadas con el gasto monetario realizado con el propósito de obtener el agua; 2. Mecanismos físicos, se refiere a los aditamentos que las familias instalan en sus viviendas con la finalidad de disminuir el consumo de agua; 3. Prácticas de ahorro, se relacionan con los comportamientos habituales que las personas llevan a cabo para ahorrar agua; 4. De sensibilización, son las motivaciones que derivadas de cambios en el entorno ambiental hacen que las familias se preocupen por ahorrar agua.

Las variables con las que se operacionalizó cada una de las dimensiones corresponden a las variables con datos disponibles en la encuesta MOHOMA. Una de las diferencias entre el presente trabajo y los presentados en la revisión de la literatura es la escala en la que se realizó el análisis; mientras que en la literatura existente la escala más grande de análisis del ahorro del agua es el de ciudad, éste se realizó a escala nacional (para el ámbito urbano. Otra aportación de del presente trabajo es que se identifica cómo se interrelacionan estos elementos (economía, mecanismos, prácticas y valores) a fin de construir tipologías de hogares en términos de cómo se agrupan estas características.

2.2 Descripción de las variables

A fin de tener una primera aproximación a las dimensión económica, mecanismos, prácticas y sensibilización ambiental (en adelante DEMPSA) presentadas en el apartado anterior, a continuación se muestran algunos descriptivos básicos de las variables que las conforman. Del total de las 11,008 observaciones presentes en la encuesta MOHOMA se tomaron sólo los casos válidos; es decir, aquellos en los que el cobro del agua (variable ap_1_1) se hubiera realizado mediante el uso de un medidor, por cuota fija o que haya respondido que “no sabe”, mientras que se excluyeron a aquellos que declararon que “no paga” por el agua que consume. Así también, se consideraron como casos válidos a las familias que declararon que se abastecen de agua mediante pipas (variable ap_2).

En la base de datos procesada se identificó a los casos válidos con el número 1, contabilizando en total 9,740 observaciones (88.5% del total de casos). Todas las variables que conforman las cuatro dimensiones fueron analizadas respecto a otras variables socioeconómicas como el estrato y la dotación del agua que recibía la vivienda, así como la edad y el nivel de estudios del jefe de familia a fin de entender si hay una gradación social de las mismas.

2.2.1 Dimensiones y estrato socioeconómico

Las variables relacionadas con la dimensión económica identificadas en la encuesta MOHOMA fueron la ap_1_4_6 (¿cómo califica la medición del consumo de agua?³²), fp_1_1 (¿estaría usted de acuerdo o en desacuerdo en pagar más por servicio de agua [de la red pública] como una medida para ahorrar agua?) y fp_1_8 (¿estaría usted de acuerdo o en desacuerdo en revisar su recibo de agua para ahorrar agua en su hogar?).

Respecto a cómo calificaban la medición del consumo de agua de la red pública (variable ap_1_4_6)³³ hay una relación directa entre el estrato y la calificación “buena” (ver cuadro 2.1), pues conforme se va subiendo de estrato el porcentaje de respuestas “buena” es también mayor. El menor porcentaje de respuestas se concentraron en la categoría de mala (13.1%), seguido de regular (21.2%) y buena (41.2%); mientras que un 24.5% del total de los encuestados no sabe o no contestó la pregunta.

Cuadro 2.1. Calificación de la medición del consumo de agua de la red pública según estrato socioeconómico (porcentajes).

¿Cómo califica la medición del consumo de agua?					
Estrato socioeconómico	Mala	Regular	Buena	No sabe o no contesta	% de respuestas totales por estrato
Bajo	6.9	13.7	24.5	54.9	2.4
Medio bajo	12.5	21.2	36.7	29.5	55.5
Medio alto	14.7	21.5	46.2	17.6	30.2
Alto	13.0	21.9	52.2	12.9	11.9
% de respuestas según calificación	13.1	21.2	41.2	24.5	

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

También cabe mencionar que el porcentaje de no respuesta es de más de la mitad en el estrato bajo y éste va disminuyendo conforme se sube de estrato; es decir, hay una relación inversa entre la no respuesta y el estrato. Una posible explicación a esto es que, según el cuadro 1.1 a los estratos más bajo les corresponde un menor consumo de agua (medido tanto en m³ como en pesos gastados), por lo que es muy probable que los hogares del estrato bajo no se abastecen de agua de

³² La pregunta se refiere a la medición que realiza la entidad del estado que dota de agua a la vivienda a través de la red pública.

³³ En esta variable el número de casos válidos es de 9,587.

la red pública, sino de otras fuentes, por lo que el porcentaje de “no sabe o no contesta” es mayor que en los estratos más altos.

En la variable fp_1_1 (¿estaría usted de acuerdo o en desacuerdo en pagar más por el servicio de agua como una medida para ahorrar agua?), 83.8% del total de las respuestas fueron de desacuerdo; muy pocos (4.4%) respondieron que les era indiferente pagar más dinero, mientras que solo un 11.8% manifestó estar de acuerdo. En esta variable se confirma el rechazo generalizado, planteado en la literatura, sobre los instrumentos económicos como medidas para ahorrar agua (ver cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Porcentaje de personas en desacuerdo, indiferentes o de acuerdo en pagar más por el servicio de agua como una medida para ahorrarla.

¿Estaría usted de acuerdo o en desacuerdo en pagar más por el servicio de agua como una medida para ahorrar agua?				
Estrato socioeconómico	Desacuerdo	Indiferente	De acuerdo	% de respuestas totales por estrato
Bajo	73.2	5.2	21.6	2.9%
Medio bajo	83.0	4.6	12.4	55.6%
Medio alto	86.6	4.0	9.4	29.8%
Alto	83.4	4.3	12.3	11.7%
% de respuestas según calificación	83.8	4.4	11.8	

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

Es de notar que el estrato socioeconómico bajo sea el que manifestó el mayor porcentaje de hogares “de acuerdo” con pagar una mayor cantidad de dinero como una medida para ahorrarla, puesto que como se mostró en el cuadro 1.1. el estrato más bajo consume menor cantidad de agua (medida tanto en m³ como en pesos gastados). Lo que explicaría esta mayor disposición a pagar sería que al recibir poca cantidad de agua, los ahorros que hipotéticamente se lograrían de alguna manera los beneficiaría incrementando su consumo.

La relación inversa entre la disposición a pagar y el estrato bajo, medio bajo y medio alto mostrada en el cuadro 2.2 contrasta con lo encontrado por Rodríguez et al. (2016) quienes con datos del 2011 estimaron que en los hogares de la Ciudad de México la disposición a pagar es más baja para los hogares en el rango de ingresos más bajo y que se incrementa conforme aumenta su rango de ingresos (relación directa). En cambio, al medir esta disposición de pago como proporción de lo efectivamente pagado y el ingreso familia encontraron que ésta es inversa. En opinión de los autores, este fenómeno se debe a que las familias con menores ingresos

consumen menores volúmenes de agua y por tanto, valoran más el contar con agua de mejor calidad asignándole una mayor proporción de su ingreso.

En la variable fp_1_8 (¿estaría usted de acuerdo o en desacuerdo en revisar su recibo de agua para ahorrar agua en su hogar?) la gran mayoría manifestó estar de acuerdo en hacerlo (94.1% en promedio), mientras que el 1.2% estuvo en desacuerdo y sólo un 4.7% indiferente (ver cuadro 2.3). El estrato bajo presentó el porcentaje más alto de “desacuerdo” (6.3%). En esta variable los porcentajes “de acuerdo” también se van incrementando conforme el estrato socioeconómico es más alto.

Cuadro 2.3 Porcentaje de personas en desacuerdo, indiferentes o de acuerdo en revisar su recibo para ahorrar agua en su hogar.

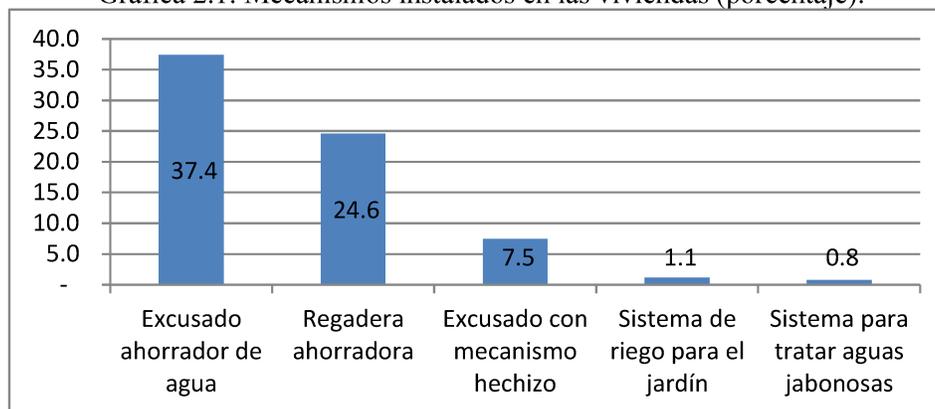
¿Estaría usted de acuerdo o en desacuerdo en revisar su recibo de agua para ahorrar agua en su hogar?				
Estrato socioeconómico	Desacuerdo	Indiferente	De acuerdo	% de respuestas totales por estrato
Bajo	6.3	9.4	84.3	2.9%
Medio bajo	1.2	5.6	93.2	55.6%
Medio alto	1.0	2.9	96.0	29.8%
Alto	0.6	3.2	96.1	11.7%
% de respuestas según calificación	1.2	4.7	94.1	

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

La dimensión sobre los “mecanismos” o aditamentos que las familias instalan en las viviendas con la finalidad de minimizar el consumo de agua está conformada por un conjunto de opciones de respuesta que responden a una misma pregunta base: “¿Tienen algunos de los siguientes mecanismos para ahorrar agua en este hogar?” (INEGI, 2018c). Los tipos de mecanismos son: ap_5_1 (excusado ahorrador de agua), ap_5_2 (excusado con mecanismo hechizo), ap_5_3 (regadera ahorradora), ap_5_4 (sistema de aguas jabonosas) y ap_5_5 (sistema de riego para el jardín); todas las variables presentan solo dos opciones de respuesta: sí o no.

Tal como lo muestra la gráfica 2.1 de todos los mecanismos enlistados en el cuestionario MOHOMA el uso de un excusado ahorrador de agua fue el más popular (37.4%), seguido de la regadera ahorradora (24.6%), luego el excusado con mecanismo hechizo (7.5%), el sistema de riego para el jardín (1.1%) y finalmente, el contar con un sistema para tratar aguas jabonosas (0.8%) en la vivienda.

Grafica 2.1. Mecanismos instalados en las viviendas (porcentaje).



Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

Si analizamos las variables de esta dimensión según el estrato socioeconómico de los respondientes (cuadro 2.4), resaltan los siguientes datos. En las variables ap_5_1 (excusado ahorrador de agua), ap_5_2 (excusado con mecanismo hechizo) y ap_5_3 (Regadera ahorradora), el porcentaje que declaró tener instalado estos dispositivos (“Sí”) se incrementa conforme se transita del estrato bajo al alto; esto sucede también con la variable ap_5_4 (Sistema agua jabonosa) aunque este no es tan significativo como en las variables anteriormente mencionadas.

Cuadro 2.4. Mecanismos implementados en las viviendas (porcentajes).

Variable		Estrato socioeconómico			
		Bajo	Medio bajo	Medio alto	Alto
ap_5_1: Excusado ahorrador de agua	Sí	17.1	32.4	43.3	51.3
	No	82.9	67.6	56.7	48.7
ap_5_2: Excusado con mecanismo hechizo	Sí	4.2	6.5	8.4	10.4
	No	95.8	93.5	91.6	89.6
ap_5_3: Regadera ahorradora	Sí	12.9	21.0	27.5	37.4
	No	87.1	79.0	72.5	62.6
ap_5_4: Sistema agua jabonosa	Sí	0.3	0.8	0.8	0.9
	No	99.7	99.2	99.2	99.1
ap_5_5: Sistema de riego para el jardín	Sí	0.7	1.1	0.8	2.0
	No	99.3	98.9	99.2	98.0

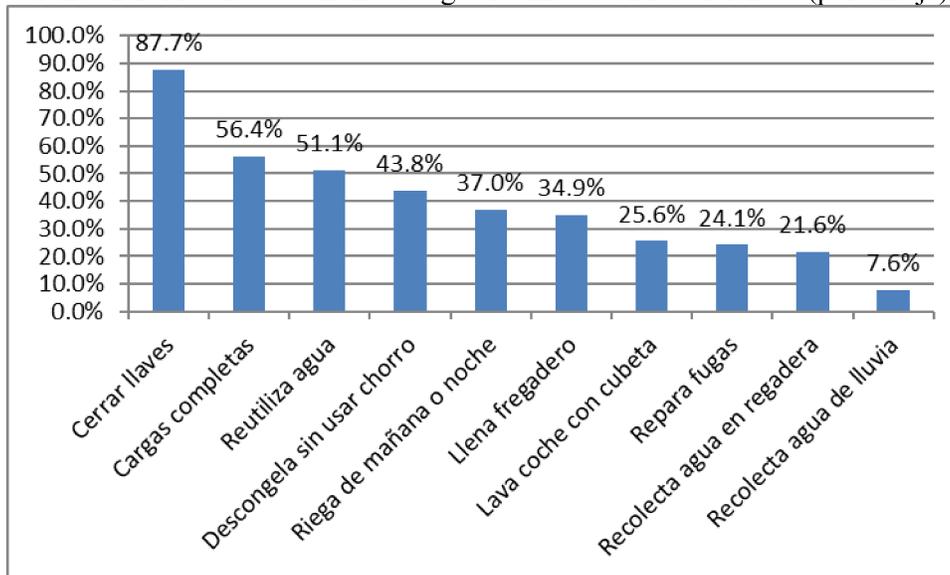
Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

A diferencia de los hábitos o comportamientos que buscan ahorrar agua, los mecanismos físicos requieren una inversión económica para ser implementados (por el costo que implica su adquisición, instalación o mantenimiento), por lo que entre más alto sea el estrato socioeconómico es mayor también la posibilidad de que estén presentes en las viviendas; dicha relación se cumple prácticamente en las 5 variables presentadas.

La dimensión de “prácticas” está conformado por diez tipos de comportamientos habituales que las personas llevan a cabo con el fin de ahorrar agua; todas responden a un solo cuestionamiento: “Durante la semana pasada, ¿realizaron algunas de las siguientes prácticas para ahorrar agua en este hogar?”; la totalidad de las variables tienen solo las opciones de respuesta de sí o no.

Las prácticas enlistadas son: ap_6_1 (reutiliza agua), ap_6_2 (cierra las llaves al lavarse los dientes o enjabonarse), ap_6_3 (llena el fregadero para lavar los trastes), ap_6_4 (recolecta agua de la regadera hasta que sale caliente), ap_6_5 (usó la lavadora o lavavajillas sólo con carga completa), ap_6_6 (descongela los alimentos sin usar el chorro de agua), ap_6_7 (repararon fugas y dieron mantenimiento a llaves e instalaciones de agua), ap_6_8 (lavaron el coche con cubeta), ap_6_9 (recolectaron agua de lluvia) y ap_6_10 (regaron las plantas por la mañana o por la noche).

Gráfica 2.2. Prácticas de ahorro de agua realizadas en las viviendas (porcentaje).



Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

En la gráfica 2.2 se muestran estas prácticas y sus correspondientes porcentajes para la respuesta “sí”, sobresale en primer lugar el cerrar las llaves al lavarse los dientes o enjabonarse, la cual 8 de cada 10 hogares llevan a cabo. El segundo lugar de las prácticas (utilizar cargas completas en lavadora o lavavajillas) se encuentra más distante, y se realizan en poco más de la mitad de los hogares del país. En el extremo opuesto, recolectar agua de lluvia es una práctica que solo realizan 7 de cada 100 hogares.

Al analizar las variables que conforman las distintas prácticas según el estrato socioeconómico en que se encuentran clasificadas las viviendas destaca lo siguiente (ver cuadro 2.5.). Según la encuesta MOHOMA reutilizar el agua, llenar el fregadero y recolectar agua de lluvia son prácticas en las que las personas que habitan en las viviendas pertenecientes al estrato alto muestran menores niveles de participación. En cambio, cerrar las llaves al lavarse, lavar ropa o trastes utilizando cargas completas, descongelar sin usar el chorro de agua, reparar fugas, lavar el coche con cubeta y regar el jardín por la mañana o por la noche son comportamientos más habituales en este estrato.

Las familias de los estratos más bajos son quienes destacan por sobre las demás en la recolección de agua de lluvia (19.5%). Mientras que las viviendas pertenecientes al estrato medio bajo son las que más reutilizan el agua y llenan el fregadero para lavar. Finalmente, las viviendas pertenecientes al estrato medio alto destacan en recolectar el agua de la regadera y en reparar fugas (ver cuadro 2.5).

Cuadro 2.5. Prácticas de ahorro de agua implementadas en las viviendas (porcentajes).

Variable	Estrato socioeconómico			
	Bajo	Medio bajo	Medio alto	Alto
Reutilizar el agua	51.9	54.6	49.2	39.2
Llaves cerradas al lavarse	61.0	85.5	92.1	93.8
Llenado de fregadero para lavar	30.3	36.9	34.2	28.4
Recolección de agua en regadera	7.7	19.5	25.5	25.2
Cargas completa en lavadora o lavavajillas	37.6	54.1	60.0	63.0
Alimentos descongelados sin usar chorro de agua	24.7	38.3	50.8	56.3
Reparación de fugas	17.8	22.4	26.9	26.9
Lavado de coche con cubeta	12.5	22.3	29.4	34.8
Recolección de agua de lluvia	19.5	9.0	5.4	3.6
Jardín regado por la mañana o noche	30.3	36.6	36.3	42.3

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

Las variables ap_6_3 (llenó el fregadero para lavar los trastes) y ap_6_10 (regó las plantas por la mañana o por la noche) presentan patrones de respuestas similares en los tres primeros estratos. También recolectar agua de la regadera hasta que sale caliente (ap_6_4), reparar o dar mantenimiento a las instalaciones de agua (ap_6_7) y lavar el coche con cubeta (ap_6_8) presentan un incrementando en la práctica conforme se transita del estrato bajo al alto.

Cabría mencionar que ciertas prácticas como el recolectar el agua de lluvia, utilizar cargas completas en el lavavajillas o lavar el auto con cubera requieren además del hábito, de ciertos aditamentos adicionales como el tener una cisterna, tinacos o incluso todo un sistema especializado para la recolección, filtrado y almacenamiento del agua (para el caso de la primera práctica); y de una máquina lavavajillas o un auto a ser lavado en el caso de la segunda y tercera; por lo que la parte económica podría ser una limitante para llevar o no al cabo estas prácticas, por esta razón, las viviendas del estrato socioeconómico bajo podrían aparecer con bajos porcentajes en ellas.

La dimensión de “sensibilización ambiental” está conformado por tres variables que indagan sobre la percepción del cambio climático y sus efectos sobre las personas: gp_1 (cambios de temperatura), gp_2 (cambios en la precipitación) y gp_3 (afectaciones por algún fenómeno climático). El 81.5% de los entrevistados consideró que la última temporada de calor del lugar donde vive era más calurosa respecto a la de los últimos cinco años. El 54.9% también consideró que la intensidad de la última temporada de lluvias del lugar donde vive era menor con respecto a la de los últimos cinco años; sin embargo, 90.6% afirmó que durante el año pasado, en su hogar no se vieron afectados por algún fenómeno climático como sequía, inundación, helada, incendio, huracán o tormenta tropical.

Los estratos bajo y medio bajo reportaron los porcentajes más altos de cambios de temperatura afirmando que es más calurosa (81.9% en ambos casos). Los estratos alto y medio alto reportaron los porcentajes más altos de “no ha cambiado” ni la temperatura (12.3 y 11.3%, respectivamente) ni la precipitación pluvial (19.8 y 18.3%); además, estas viviendas reportaron también los porcentajes más altos (92.8 y 94.7%) de no afectación por algún fenómeno climático.

En cambio, los hogares pertenecientes al estrato socioeconómico bajo fueron los que declararon el porcentaje más alto (15.7%) de afectaciones por el fenómeno climático. En el cuadro 2.6. vemos que conforme se escala en el estrato socioeconómico, el porcentaje de afectados disminuye; así, se tiene que solo 11.1% del estrato medio bajo afirmó haber sido afectada, 7.2% del medio alto y 5.3% del alto.

Cuadro 2.6. Afectados por fenómeno climático (porcentajes).

gp 3: Afectados por fenómeno climático			
Estrato socioeconómico	Sí	No	Total de respuestas por estrato
Bajo	15.7	84.3	2.9
Medio bajo	11.1	88.9	55.6
Medio alto	7.2	92.8	29.8
Alto	5.3	94.7	11.7
Total de respuestas por categoría	9.4	90.6	

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

De los descriptivos generales se puede considerar que las decisiones y comportamientos del estrato bajo son sustancialmente diferentes a las realizadas por los otros tres estratos, mismos que tienden a ser más similares entre sí. A continuación se presenta la propuesta metodológica de análisis multidimensional utilizada para agrupar a los hogares de acuerdo con las respuestas más relevantes para cada grupo.

2.3 Metodología para la construcción de perfiles

Como se pudo constatar en la revisión bibliográfica hay una gama muy amplia de comportamientos de ahorro de agua que llevan a cabo las familias, mismos que para una mayor simplificación y comprensión se agrupan genéricamente en las dimensiones: económica, mecanismos, prácticas y sensibilización ambiental (DEMPSA). Además, constatamos en la revisión de la encuesta MOHOMA que estos comportamientos pueden ser operacionalizados a través de una infinidad de variables. Uno de los principales problemas que se presenta al estudiar los comportamientos genéricos es que éstos en sí no son claramente observables como lo son los patrones de “ahorro de agua”, sino que estos conceptos subyacen en distintas variables que miden esos comportamientos.

Además, dado que cada familia implementa en su hogar distintos comportamientos de ahorro de agua y que se pretende delimitar no solo conceptualmente estos patrones, sino además identificar perfiles de los hogares que los realizan con base en otros atributos socioeconómicos es necesario analizar estas variables a través de ciertos procedimientos estadísticos. Una opción para analizar si los elementos de una muestra forman agrupamientos es el análisis de conglomerados también conocido como análisis de *clúster* que tiene por objeto agrupar elementos en grupos homogéneos en función de las similitudes existentes entre ellos.

El análisis de *clúster* aborda tres tipos de problemas: partición de datos (es decir, dividir datos que se sospecha son heterogéneos en grupos), construcción de jerarquías (según la similitud de los elementos) y clasificación de variables (para explorar inicialmente los datos) (Peña, 2002). Algunas de las limitantes de este método son: su alcance, puesto que solo llega a nivel descriptivo; la mayoría de sus técnicas se basan en el uso de la distancia a la media de los datos, por lo que funcionan mejor con variables continuas o discretas; y que son ideales para muestras pequeñas o medianas, por lo que no siempre funcionan en muestras grandes.

Para este estudio casi todas las variables son categóricas (21 de 22) y se cuenta con una muestra de hasta 9,740 observaciones (lo que es una muestra bastante grande); por estas razones, el análisis de clúster no parece ser la mejor opción metodológica para agrupar los datos.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) por su parte tiene como objetivo “dadas n observaciones de p variables, analiza si es posible representar adecuadamente esta información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales” (Peña, 2002); este método tampoco se adecua a los objetivos de esta tesis, que no es el de reducir las variables que describen los comportamientos de ahorro de agua, sino agrupar a los hogares con características similares según el tipo de comportamiento de ahorro que presentan.

El Análisis de Clases Latentes (ACL), también conocido como análisis de clasificación o de mixturas finitas, fue desarrollado por Lazarsfeld y Henry en 1968. El ACL se diferencia del análisis de *clúster* jerárquico en que mientras el segundo funciona describiendo las relaciones entre variables observables, el ACL permite obtener estructuras de clase sustentadas sobre alguna variable latente o constructo no observable a través de indicadores dicotómicos u ordinales bajo la asunción de que la muestra completa es una agregación de subgrupos, tipos, mixturas o clases de sujetos; además de esto permite obtener medidas de bondad de ajuste (Ondé & Alvarado, 2019) basadas en la probabilidad y no en la distancia a la media como sucede con el análisis de *clúster*.

Al corresponder el objetivos del método de ACL con el del presente capítulo, que es agrupar a los hogares ahorradores de agua en función de las variables observables como cerrar llaves, recolectar agua de lluvia o instalar una regadera ahorradora en su baño, además de ser idóneo para usarse en muestras grandes y poder ser aplicado a variables dicotómicas; este es el método más adecuado para aplicar en el análisis.

Según Vermunt & Magidson (2005) los modelos de clases latentes se basan en la misma estructura de probabilidad que define las relaciones entre las variables exógenas, latentes y de respuesta, mismo que puede ser expresado de la siguiente manera:

$$f(y_i|z_i) = \sum_{x=1}^K P(x|z_i) f(y_i|x, z_i) = \sum_{x=1}^K P(x|z_i) \prod_{h=1}^H f(y_{ih}|x, z_i) \quad (1)$$

En el presente caso Y_i es la información con que disponemos en el cuestionario MOHOMA sobre todas las variables que engloban las distintas prácticas, mecanismos físicos, incentivos económicos o de sensibilización ambiental para cada observación.

El objetivo es encontrar el valor de $f(Y_i|Z_i)$ que en la ecuación (1) es la densidad de probabilidad correspondiente a un conjunto particular de valores Y_i dado un conjunto particular de valores Z_i (la información sociodemográfica correspondiente a cada hogar). Es decir, la primera parte de la igualdad indica la probabilidad de realizar alguna práctica, implementar algún mecanismo físico, realizar algún incentivo económico o de sensibilización ambiental de ahorro de agua específico (Y_i), dado que se tiene un conjunto de atributos estructurales Z_i .

En la segunda parte de la ecuación (1) se tiene que la probabilidad de Y_i dados los valores de z_i va desde 1 hasta “K”, el número máximo de clases latentes. Esta probabilidad a su vez es producto de dos partes: por un lado $P(x|z_i)$ que es la probabilidad de pertenencia a un grupo latente en específico x (dado un conjunto particular de valores Z_i); y $f(Y_i|x, z_i)$ que es la probabilidad de realizar alguna práctica, implementar algún mecanismo físico, realizar algún incentivo económico o de sensibilización ambiental de ahorro de agua dado que se pertenece a algún grupo latente específico y se tiene un conjunto de atributos estructurales Z_i .

De esta forma, se conecta la información conocida en la encuesta (Y_i) (es decir, las variables que conforman las 4 dimensiones de ahorro del agua) y el comportamiento no observable o latente en el modelo, con los grupos de hogares ahorradores de agua (X) mediante la probabilidad condicional $f(Y_i)$.

La última parte de la formulación del modelo descrita en la ecuación (1) se interpreta de la misma forma que la anterior, sólo que en este caso la notación con el símbolo Π implica que la probabilidad de que cada práctica, mecanismo, incentivo económico o de sensibilización ambiental (Y) tiene una función de probabilidad independiente (dado cierto tipo de hogares y de

atributos estructurales específicos). Por lo que ésta permite atribuir las diferentes variables del ahorro de agua de cada observación (hogar) a una clase latente en específico.

Para el caso de variables nominales (tal como lo es en este caso) Vermunt & Magidson (2005) recomiendan usar la ecuación 2, que supone una función de distribución de probabilidad multinomial para $P(x|z_i)$, misma que se puede resolver para $\eta_{x|z}$ por medio de la siguiente regresión logística:

$$p(x|z_i) = \frac{\exp(\eta_{x|z_i})}{\sum_{x'=1}^k \exp(\eta_{x'|z_i})} \quad (2)$$

Finalmente, cabe mencionar que para el cálculo de las ecuaciones anteriormente descritas, así como los valores de distribución y todos los estadísticos de bondad de los modelos en el presente capítulo se utilizó el programa denominado *Statistical software for data science* (STATA).

2.4 Análisis de los datos

2.4.1 Tratamiento de las variables

Dieciséis de las 21 variables sobre las dimensiones de ahorro de agua identificadas en la encuesta del MOHOMA son de tipo dicotómicas, mientras que las otras cinco son de tipo categóricas (con hasta 4 opciones de respuesta). Dada la naturaleza del modelo de agrupamiento estadístico a utilizar, estas cinco variables debieron transformarse a dicotómicas. Se procedió de la siguiente manera:

La variable `ap_1_4_6` que indaga sobre “¿Cómo califica la medición del consumo de agua?” presenta 4 opciones de respuesta (malo, regular, bueno y no sabe/no contesta), éstas se redujeron a dos opciones: 1 si la persona estaba informada sobre la medición del consumo y 0 si no lo estaba. La justificación de este cambio es que para el análisis lo único que importa es si la persona conoce la medición o está informada de su consumo más allá de si está de acuerdo o no con dicha medición; por lo que se agruparon las opciones de respuesta malo, regular y bueno en una sola. De esta manera, la variable `ap_1_4_6` se recodificó a dicotómica y se renombró como “`medicion_consumo`”.

La variable fp_1_1 “¿Estaría usted de acuerdo o en desacuerdo en pagar más por servicio de agua como una medida para ahorrar agua?” presenta originalmente tres opciones de respuesta: Desacuerdo, indiferente y de acuerdo. Para conservar los datos de los que respondieron que les era indiferente (4.4% del total), se agruparon junto con los que están de acuerdo. Si bien la idea de la indiferencia es la neutralidad de la respuesta, se considera que sí los respondientes realmente estuvieran en contra de pagar más, habrían manifestado su desacuerdo abiertamente y que bajo ciertas condiciones (como una buena campaña de concientización sobre el valor del agua) a los indiferentes se les puede convencer de pagar más. Por tanto, la variable fp_1_1 se recodificó a dicotómica con valores igual a 1 en caso de estar de acuerdo o indiferente respecto a pagar más y de cero en caso de estar en desacuerdo. Se renombró la variable como “pagar_mas”.

La variable fp_1_8 indaga sobre si “¿Estaría usted de acuerdo o en desacuerdo en revisar su recibo de agua para ahorrar agua en su hogar?” presenta originalmente tres opciones de respuesta: Desacuerdo, indiferente y de acuerdo. Los que respondieron que les era indiferente fueron el 4.7% del total, para no perder estas observaciones se unieron con los que estaban de acuerdo y se les asignó el numeral 1, mientras que los que manifestaron que estaban en desacuerdo tomaron el valor de cero. La variable se recodificó con el nombre de “revisar_recibo”.

La variable gp_1 responde a la pregunta “Si compara la última temporada de calor del lugar donde vive, con las de los últimos cinco años, ¿considera que es...” las opciones de respuesta son tres: Más calurosa, no ha cambiado o menos calurosa. En este caso interesa agrupar a quienes manifestaron que existe un cambio en el calor más allá de la dirección en que éste se dio; por tanto, se agruparon con el numeral 1 a los que respondieron que la temperatura era más calurosa o menos calurosa y a los que respondieron que no ha cambiado se le asignó el valor de cero. La variable se recodificó con el nombre de “cambio_temp”.

Finalmente, la variable gp_2 cuestiona sobre “Si compara la intensidad de la última temporada de lluvias del lugar donde vive, con las de los últimos cinco años, ¿considera que es...” las opciones de respuesta son: Más intensa, no ha cambiado o menos intensa. En este caso también se agrupó a los que percibieron un cambio en el patrón de las lluvias más allá del nivel de intensidad manifestado, por lo que se agruparon con el numeral 1 tanto a los que respondieron que eran más como a los que respondieron que eran menos intensas, mientras que a los que

respondieron que no ha cambiado se les asignó el valor de cero. La variable se recodificó con el nombre de “cambio_precipitacion”.

Adicionalmente, de la Encuesta Nacional de los Hogares se transformó la variable “dotac_agua” que indaga sobre la frecuencia con la que llega a la vivienda el agua entubada que proviene de la red pública. Las opciones de respuesta se dividieron en dos: las que respondieron que “diario” se les asignó el número 1, y las que respondieron que “Cada tercer día”, “Dos veces por semana”, “Una vez por semana” o “De vez en cuando” se les asignó el valor de cero.

2.4.2 Estimación y elección del modelo de Clases Latentes

Para examinar los patrones del ahorro de agua en los hogares urbanos de México se consideraron las 21 variables que conforman las dimensiones económica, mecanismos, prácticas y ambiental; se seleccionaron además solo los casos válidos por lo que se trabajó con 9,740 observaciones, cada una representa a un hogar del país.

Se inició el análisis de los datos con la construcción de un modelo que considerara las 21 variables disponibles y dos clases latentes. Obtenidos los resultados de este modelo se fueron incrementando las clases a tres, cuatro y cinco; a partir de este número de clases y en adelante, los modelos no “convergían”, es decir, los valores estadísticos para ciertas variables no podían ser calculadas, por lo que se desconocía que tanto error aportaban al modelo. Por esta razón, se eliminaron una a una las variables que recurrentemente presentaban errores de convergencia en distintos modelos (de acuerdo con el número de variables y número de clases) partiendo nuevamente de la construcción de un modelo con dos clases y aumentándolas de una en una hasta llegar a un modelo que no convergiera. Así, se determinó que lo ideal era trabajar con un modelo que contenía 15 de las 21 variables iniciales.

Sabiendo que el modelo con 15 variables funcionaba desde 2 hasta 6 clases latentes, se eligió al mejor para agrupar los hogares. Para tomar esta decisión se consideraron dos criterios: El criterio de información de Akaike (mejor conocido como AIC, por sus siglas en inglés) y el criterio de información Bayesiano (mejor conocido como BIC, por sus siglas en inglés). Ambos indicadores cuantifican la bondad de ajuste del modelo en cuestión permitiendo comparar el mismo modelo pero con distinto número de clases latentes (siempre y cuando el número de variables sea el mismo en todos ellos).

A valores más pequeños tanto del AIC como del BIC indican que un modelo se ajusta mejor. Así, del modelo con 15 variables se realizaron seis versiones, con dos hasta seis clases latentes dado que de siete en adelante los modelos ya no convergían, lo que indica que siete o más grupos de hogares distintos son demasiados como para que haya diferencias significativas entre ellos. Los valores AIC y BIC obtenidos se presentan a continuación.

Cuadro 2.7. Criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información Bayesiano (BIC) para un modelo de clases latentes con 15 variables.

Número de clases latentes	Criterios de información	
	AIC	BIC
2 CL	135,804	136,027
3 CL	135,516	135,853
4 CL	135,275	135,727
5 CL	135,189	135,757
6 CL	135,136	135,819

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

Como vemos en el cuadro 2.7 todos los valores del AIC disminuyen conforme se incrementa el número de clases latentes, algo normal en este tipo de modelos predictivos puesto que a mayor número de clases mayor poder explicativo del modelo, por lo que en este caso el AIC no funcionó para diferenciar cuál fue el mejor modelo. En cambio, el criterio BIC muestra valores descendientes de la clase 2 a la 4 (que es donde alcanza su valor mínimo) y a partir de ahí vuelve a incrementarse en la clase 5 y 6. Lo anterior indica que el modelo 4 es el mejor modelo y por tanto, es el que se eligió para realizar el análisis de los grupos de hogares.

2.5 Resultados del modelo de Clases Latentes

Con ayuda del software STATA (versión 17) se estimó un modelo logístico con 15 variables y cuatro clases latentes. A continuación se presentan los principales resultados y las interpretaciones realizadas de los agrupamientos arrojados. Cabe mencionar que la tipología de los grupos se realizó tomando como base solo aquellos hogares en los que la variable en cuestión se presentó una probabilidad del 50% o más de ser llevado a cabo en los hogares.

Perfil 1: los cornucopianos

Debido a su alto porcentaje de probabilidad de respuesta, en el grupo de hogares 1 predominan 4 tipos de contestaciones (ver cuadro 2.8), dos relacionadas con la dimensión económica (en verde) y dos con la ambiental (en azul). Dentro de las relacionadas con los incentivos económicos se tiene que 9 de cada 10 hogares de este grupo revisan su recibo de agua como una medida para ahorrarla; aunado a esto, existe un 63.6% de probabilidades de que los hogares de este grupo están informados sobre la cantidad de agua que se consume en sus hogares.

Respecto a las variables relacionadas con la dimensión ambiental existe la probabilidad de que 89.8% de los hogares de este grupo haya manifestado la existencia de cambios en la temperatura de la última temporada de calor respecto a la de los cinco años; y 79.5% manifestó haber notado cambios en la intensidad de la precipitación de la última temporada de lluvias respecto a la de los últimos cinco años.

Cuadro 2.8. Clase latente 1 “Cornucopianos”.

Hogares del grupo 1	% de hogares	std. err.	[95% conf.	interval]
revisar recibo	96.6	0.0060875	0.9519015	0.9761883
cambio temp	89.8	0.0144251	0.8658059	0.9227496
cambio precipitacion	79.5	0.0174518	0.7587207	0.827141
medicion consumo	63.6	0.0195268	0.597399	0.6738072
cerrar llaves	39.5	0.0460843	0.3089584	0.4877605
carga completa	20.9	0.0195839	0.173471	0.2502423
riega temprano	19.6	0.0162566	0.1665526	0.2302994
pagar mas	17.5	0.0138875	0.1498763	0.2043563
afectado CC	12.0	0.0118471	0.0989126	0.1454876
reparacion fugas	8.6	0.0122091	0.0646183	0.1128688
excusado ahorrador	8.1	0.0147256	0.0566698	0.115181
llenar fregadero	7.6	0.0154477	0.0509284	0.1125514
coche cubeta	7.0	0.0121417	0.0496056	0.0978434
recolecta agua	1.3	0.0067096	0.0045034	0.0354134
excusado hechizo	0.9	0.0046741	0.0031811	0.0247415

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

Llama la atención que en este grupo, aunque se reconoce ampliamente el problema ambiental manifestado en sus respuestas sobre el cambio en la temperatura y en la precipitación, se pone un alto énfasis también en la dimensión económica como una posible solución al problema de la

escasez del agua (y por ello su ahorro); por esta combinación de características a este grupo se le asignó el nombre de “cornucopianos”³⁴.

Perfil 2: los ahorradores

En los hogares del grupo 2 (cuadro 2.9) también hay un alto énfasis (ligeramente mayor incluso que en los del grupo 1) en dos variables de la dimensión económica (en verde), dos de la ambiental (en azul) y además, se presenta también un alto valor de una característica de la dimensión de prácticas de ahorro de agua (en amarillo).

Cuadro 2.9. Clase latente 2 “ahorradores”.

Hogares del grupo 2	% de hogares	std. err.	[95% conf.	interval]
revisar recibo	99.2	0.0041069	0.978231	0.9968644
cerrar llaves	93.6	0.0178736	0.8903146	0.9628647
medicion consumo	79.2	0.0169678	0.7570998	0.8236174
cambio temp	61.9	0.06884	0.4782156	0.7420951
cambio precipitacion	50.6	0.0719774	0.3682278	0.643119
carga completa	43.4	0.0324028	0.3721645	0.4985147
excusado ahorrador	32.0	0.0230239	0.2764773	0.3665318
llenar fregadero	31.6	0.0225487	0.2731796	0.3613865
riega temprano	23.3	0.0239298	0.1895503	0.283273
coche cubeta	19.4	0.0186758	0.1597463	0.2329947
reparacion fugas	19.0	0.0176619	0.1580103	0.2272866
pagar mas	13.6	0.015097	0.1093885	0.1687486
recolecta agua	12.8	0.0177243	0.0973535	0.1671948
excusado hechizo	5.7	0.0099586	0.0402336	0.0798529
afectado CC	3.6	0.014208	0.0168532	0.0771586

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

Revisar su recibo como solución para ahorrar agua en su hogar es una práctica económica llevada a cabo en 9 de cada 10 hogares de este grupo, mientras que 79.2% de ellos conocen la medición del consumo de agua que se realiza en su hogar. Además, en 9 de cada 10 hogares realizan la práctica de cerrar las llaves de agua al momento de lavarse los dientes o al

³⁴ En las tipologías del pensamiento ambientalista de Foladori (2005) un cornucopiano es aquel que considera posible superar los problemas ambientales con soluciones técnicas (sustituyendo materias primas o eficientándolas) y/o de mercado (restringiendo el consumo o incrementando el precio). Aunque en este caso no contamos con más elementos para asegurar que son netamente hogares cornucopianos, siendo esas cuatro las variables más importantes para ellos podrían sugerir eso, por lo que de momento se toma solo el nombre como referente del grupo en cuestión.

enjaponarse. Los miembros de este grupo también tienen una importante carga de preocupación ambiental: el 61.9% manifestó la existencia de cambios en la temperatura y en 1 de cada 2 hogares expresaron que han notado cambios en la precipitación de la última temporada respecto a la de los últimos cinco años.

Combinado su alto énfasis en los intereses económicos con la práctica de cerrar la llave como métodos para ahorrar agua en sus hogares, a este grupo se les ha identificado como los “ahorradores” (tanto de dinero como de agua).

Perfil 3: los equilibrados

Los hogares del grupo tres (cuadro 2.10.) también tienen dos variables relacionadas con la sensibilización ambiental (en azul), dos variables de la dimensión económica (en verde) y dos de la dimensión de prácticas de ahorro de agua (en amarillo).

Cuadro 2.10. Clase latente 3 “equilibrados”

Hogares del grupo 3	% de hogares	std. err.	[95% conf.	interval]
cambio temp	99.1	0.0283096	0.21404	0.9999755
revisar recibo	98.8	0.0026812	0.9815204	0.9923584
cerrar llaves	94.8	0.0108607	0.9224972	0.9660178
cambio precipitacion	93.5	0.0351303	0.8224863	0.9783104
medicion consumo	74.0	0.0138421	0.7114869	0.765719
carga completa	55.7	0.0221158	0.513734	0.6002129
excusado ahorrador	35.6	0.0178913	0.3214839	0.3915138
llenar fregadero	34.4	0.0162548	0.3128176	0.3764603
riega temprano	32.3	0.0188401	0.2874866	0.3612289
coche cubeta	19.7	0.0158342	0.1675305	0.2296195
reparacion fugas	16.4	0.0150449	0.1367807	0.1958349
pagar mas	13.4	0.0099254	0.1161077	0.1550689
recolecta agua	12.9	0.0159775	0.1007972	0.1636894
afectado CC	9.4	0.0081334	0.0789066	0.1108806
excusado hechizo	5.2	0.0069604	0.0397802	0.067311

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

Notar cambios en la temperatura y en la precipitación son dos variables que están presentes en 9 de cada 10 hogares de este grupo (con 99.1 y 93.5% de probabilidad respectivamente). Revisar su recibo de agua como solución para ahorrarla presenta un 98.8% de probabilidad y conocer el consumo de agua en su hogar tiene 74.0%. Cerrar las llaves cuando se lavan los dientes o las

manos tiene 94.8% de probabilidad, mientras que usar cargas completas en la lavadora o el lavavajillas es una práctica que se realiza en 1 de cada 2 hogares.

Por presentar dos variables de cada una de las dimensiones ambiental, económica y de prácticas de ahorro de agua como las más importantes, los hogares pertenecientes a este grupo los identificamos como los “equilibrados”.

Perfil 4: los eclécticos

Los hogares pertenecientes al grupo 4 (cuadro 2.11.) presentan dos variables relacionadas con la dimensión económica (en verde), cuatro de prácticas (en amarillo), dos de sensibilización ambiental (en azul) y una de la dimensión de mecanismos físicos (morado).

Cuadro 2.11. Clase latente 4 “eclécticos”

Hogares del grupo 4	% de hogares	std. err.	[95% conf.	interval]
revisar recibo	99.5	0.0020173	0.9890447	0.9978201
cerrar llaves	98.3	0.0048015	0.970316	0.9900122
cambio temp	90.8	0.0095882	0.8876313	0.9253752
cambio precipitacion	85.7	0.0112793	0.8333692	0.8776462
carga completa	81.4	0.014583	0.7839087	0.8411038
medicion consumo	80.5	0.0113885	0.781813	0.826464
riega temprano	58.9	0.0171854	0.555415	0.6226825
excusado ahorrador	56.7	0.0159886	0.5351627	0.5977564
llenar fregadero	50.5	0.0151264	0.4750985	0.5343234
recolecta agua	47.2	0.0221952	0.4286185	0.5154038
coche cubeta	45.3	0.0173957	0.4196183	0.4877037
reparacion fugas	44.1	0.0188678	0.403946	0.4777738
pagar mas	20.4	0.0108007	0.1831946	0.2255356
excusado hechizo	14.5	0.0097612	0.1267507	0.1650527
afectado CC	11.4	0.0083773	0.098519	0.1314144

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

De la dimensión económica, revisar su recibo se lleva a cabo en 9 de cada 10 hogares, mientras que conocer su consumo tiene 80.5%. Respecto a la sensibilización ambiental, también 9 de cada 10 hogares ha notado cambios en la temperatura, mientras que 85.7% ha notado cambios en la precipitación. Las prácticas de ahorro de agua más recurrentes son: cerrar las llaves de agua al momento de lavarse los dientes o al enjabonarse con 98.3%, usar cargas completas en

la lavadora o el lavavajillas 81.4%, regar sus plantas temprano o por la noche 58.9% y llenar el fregadero o tarja para lavar los trastos 50.5%.

Según el estudio realizado por Carragher et al. (2012) en Brisbane, Australia, mecanismos físicos como regaderas, lavadoras eficientes, llaves y sanitarios ahorradores contribuyen en su conjunto con 88% del total del agua utilizada en los hogares. Sin embargo, de todos los grupos de hogares, sólo en este más de la mitad de los hogares (56.7%) cuenta con un mecanismo ahorrador de agua, mismo que consiste en tener instalado un tanque ahorrador de agua en su excusado.

Éste es el grupo que más prácticas ambientales, incentivos económicos y de sensibilización ambiental lleva a cabo; pero además, es el único en el que un porcentaje considerable de hogares utiliza un mecanismo ahorrador de agua. En ese sentido, es el más completo pues utiliza una variedad de métodos e incentivos para eficientar el uso del agua, por lo que se le denominó como los “eclécticos”.

¿Cómo se distribuyen las observaciones (hogares) en cada una de las 4 clases latentes o grupos encontrados? Esa pregunta la responde el cuadro siguiente:

Cuadro 2.12. Distribución de las clases latentes en la población

Clase latente	Delta-method			
	Margin	std. err.	[95% conf. interval]	
1	0.1436423	0.0160257	0.1149947	0.1779913
2	0.1713244	0.0522311	0.091344	0.2983419
3	0.3818202	0.0591199	0.2743334	0.5022719
4	0.303213	0.0282527	0.2508395	0.3612488

Elaboración propia con base en datos de la encuesta MOHOMA 2017.

El 14.3% de los hogares del país pertenecen a los llamados “cornucopianos” (clase 1); 17.1% son los hogares del grupo de los “ahorradores” (clase 2); 38.1% de los hogares del país son los “equilibrados”, siendo este tipo de hogares los más frecuentes en el país (clase 3); seguidos en segundo lugar con 30.3% de los hogares identificados como “eclécticos” (clase 4) debido a que ponen en práctica por igual tanto mecanismos económicos, físico, prácticas de ahorro de agua y tienen además un sentido de sensibilización ambiental.

2.6 Conclusiones

Por la descripción de variables sabemos que a mayor estrato socioeconómico mejor es la calificación que las familias asignan a la medición del agua de la red pública realizada en la vivienda; también estas familias están más de acuerdo en revisar su recibo de agua como una medida para ahorrarla; son las que presentan mayores porcentajes en la instalación de excusados ahorradores de agua, mecanismos hechizos y en utilizar regaderas ahorradoras; por parte de las prácticas destacan también en cerrar las llaves de agua mientras se enjabonan, lavar con cargas completas, descongelar sin usar el chorro de agua, reparar fugas, lavar el coche con cubeta y regar el jardín por la mañana o por la noche. Sin embargo, respecto a los cambios ambientales, estas familias reportaron los porcentajes más altos de que ni la temperatura ni las precipitaciones pluviales han cambiado ni les han afectado.

Las viviendas pertenecientes al estrato socioeconómico bajo son las que concentran el mayor porcentaje de no respuesta respecto a la medición del consumo de agua de la red pública (posiblemente porque no se encuentran conectadas a ella o están conectadas pero no les llega el agua a sus viviendas); tienen los menores porcentajes en el uso de dispositivos de ahorro de agua (posiblemente por el costo que implica instalarlos); pero tienen el mayor porcentaje en la práctica de recolectar agua de lluvia, así también tienen la mayor percepción de que las lluvias son menos intensas que antes y que el cambio climático sí les ha afectado (seguramente porque las viviendas de estas familias son las más vulnerables tanto por su ubicación geográfica como por los materiales con las que están construidas).

Gracias al Análisis de Clases Latentes (ACL) fue posible dividir en grupos a los hogares urbanos de México según los incentivos económicos, mecanismos, prácticas y sensibilización ambiental a los que responden al momento de ahorrar o no agua. Se analizaron 15 de 21 variables posibles y se encontraron que hay cuatro grupos de hogares; las variables relacionadas con la dimensión económica y las de sensibilización ambiental fueron relevantes en todos los grupos.

Los grupos se identificaron como: cornucopianos (aquellos que ponen énfasis principalmente en las variables relacionadas con la dimensión económica y la ambiental); los “ahorradores” (cuyo mayor énfasis es en las variables pertenecientes a la dimensión económica y las prácticas); los de intereses “equilibrados” (presentan interés en variables relacionadas con la dimensión

ambiental, económica y de prácticas de ahorro de agua en su vivienda) y los “eclécticos” (quienes llevan a cabo diversas medidas de las cuatro dimensiones existentes).

Según su proporción, la mayoría de las viviendas corresponden a la clasificación “equilibrados”, seguidos de los “eclécticos” (juntos representarían al 68.4% de los hogares del país), los “ahorradores” y los “cornucopianos” representan el 17.1 y 14.4% del total, respectivamente. Con los datos anteriormente presentados, junto con otros como los hábitos de uso (y desperdicio), la ubicación geográfica, la disponibilidad del agua en la región y la participación de la sociedad se puede avanzar en la focalización de los programas para el uso racional del agua.

En el capítulo uno de esta tesis encontramos que los hogares pertenecientes a los estratos con más bajos ingresos son también los que menor cantidad de agua consumen. En el presente capítulo encontramos que las familias de estos estratos reutilizan el agua son las que recolectan agua de lluvia con mayor frecuencia respecto a las de los demás estratos. Al respecto, cabe preguntarse si el llevar a cabo este tipo de prácticas de ahorro de agua surgen como un producto de algún tipo de conciencia ambiental, de la necesidad (dada la menor dotación de agua que reciben) o una combinación de ambas razones.

De momento no podemos responder cabalmente a este cuestionamiento, pero cabe mencionar que fueron las familias de este estrato quienes reportaron que la temperatura es más calurosa y que han tenido algún tipo de afectación derivada del cambio climático; y que en la conformación de los perfiles el criterio económico fue importante para todos, por lo que se podría pensar que ambas razones (necesidad y conciencia) son importantes detonadores, pero es necesario indagar más a fondo sobre ello.

Capítulo 3: Patrones de concentración espacial, inequidad y determinantes del consumo del agua en las viviendas urbanas de las colonias de la Ciudad de México

La Ciudad de México (CDMX en adelante) es la más importante del país, es la sede de los tres Poderes de la Unión, concentra el mayor PIB de las 32 entidades federales y alberga la mayor cantidad de población. El génesis y la evolución de la ciudad se encuentran estrechamente ligados al agua; ésta se encuentra asentada en una cuenca endorreica³⁵ por lo que padece de inundaciones cuando llueve en exceso pero también lo hace cuando hay sequía. A pesar de que los habitantes de la ciudad presentan en promedio un nivel de consumo de agua considerado óptimo (mayor a 100 litros *per cápita* al día) éste se encuentra distribuido inequitativamente.

Analizar las inequidades en el consumo del agua en la CDMX permite ahondar desde una perspectiva distinta a la tradicional (la del ingreso por ejemplo) en los temas de desigualdad social. Por otro lado, hacerlo bajo el análisis espacial permite no sólo obtener modelos estadísticamente más eficientes, sino también se logra una mejor comprensión del fenómeno, puesto que la visualización de patrones de concentración o dispersión en un mapa permiten un diseño más eficiente de políticas públicas encaminadas a lograr la equidad en el consumo del agua, como por ejemplo, identificando zonas críticas de consumo en la ciudad, con consumos excesivos o para el establecimiento de tarifas más justas de acuerdo con el perfil socioeconómico del consumidor.

El desarrollo del tema propuesto se divide en dos apartados. En el primero se aplica la metodología para estimar el consumo del agua bajo un escenario de valores faltantes; obtenidos estos datos se analizó el consumo del agua *per cápita* en las colonias de la CDMX y se construyó un Índice de Desigualdad (Gini) del consumo en las colonias a fin de conocer que tan desigual es el consumo del vital líquido en la ciudad.

En la segunda parte del capítulo se determinaron cuáles son las variables socioeconómicas que más inciden en el consumo de agua de las colonias, con qué intensidad lo hacen y qué tan diferentes son los patrones espaciales de inequidad en este consumo; para lograr este objetivo se construyó un modelo de rezago espacial.

³⁵ Área en la que el agua no tiene salida fluvial hacia el océano.

3.1 Estado del arte

El objetivo del presente capítulo es establecer cuáles son los determinantes socioeconómicos del consumo de agua doméstico en la Ciudad de México, así como identificar la existencia de patrones espaciales de inequidad en este consumo. Los trabajos revisados que analizaron esta temática se diferenciaron según su abordaje teórico, metodológico y su unidad de análisis, mismos que se presentan a continuación.

En primer término y según el enfoque teórico, tenemos a los investigadores que utilizan datos espacialmente referenciados (de Maria & Carvalho, 2013; Duque et al., 2013). En la teoría económica tradicional el espacio ha sido asumido como limitado, pasivo y constante; sin embargo, en los últimos años y gracias a los aportes teóricos de Krugman, Fujita y Venables (entre otros), y al avance en la recopilación y procesamiento de grandes bases de datos georreferenciados se ha vuelto más evidente el gran aporte que la incorporación del espacio como elemento estructural del comportamiento humano hace a la comprensión de los fenómenos económicos.

Tanto Anselin et al. (2008), Chang et al. (2010), como Wafula & Ngigi (2015) han comparado los resultados de modelos de regresión basados en mínimos cuadrados ordinarios (OLS) con otros modelos estadísticos espaciales. Los tres grupos de investigaciones concluyen en sus respectivos trabajos que los modelos espaciales presentan mejores propiedades estadísticas, esto debido a distintos factores. En primer lugar, debido a la propia naturaleza del recurso, el agua se encuentra disponible en mayor cantidad en ciertas regiones geográficas que en otras, por lo que la ubicación geográfica de las colonias (en este caso) importará para explicar su consumo.

Segundo, un alto porcentaje del consumo del agua en la CDMX depende de la infraestructura existente para distribuirla y ésta es también distinta en cada colonia de la ciudad. Generalmente, el nivel de infraestructura de una colonia dependerá también de los factores socioeconómicos de sus habitantes, pero estos factores no son homogéneos en el espacio, sino que se encuentran distribuidos también de distinta manera en la geografía, por lo que nuevamente, el espacio aparece como un factor no explicativo en sí mismo, pero sí como un elemento sobre el que se establecen patrones de igualdad o heterogeneidad. Los modelos espaciales permiten no sólo responder al ¿Cuánto? y al ¿Por qué? del consumo de agua en la ciudad, sino también al ¿En dónde?

Una de las máximas sobre la que se basa el estudio de estos fenómenos socioeconómicos bajo la perspectiva espacial es la llamada Primera Ley de Tobler, misma que establece que: “Todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las distantes” (Tobler, 1970), en esta ley se reconoce la influencia que puede existir entre dos o más entes vecinos. El espacio al no ser homogéneo hará que los actores económicos contenidos en él presenten distintos patrones, mismos que pueden ser de dependencia o heterogeneidad; de esta forma e implícitamente, esta ley hace referencia al fenómeno que más tarde se formalizó estadísticamente como la autocorrelación espacial.

Un ejemplo de la importancia de este efecto espacial entre vecinos lo encontramos en la investigación de Morales & Gori (2021) quienes subrayan la importancia del comportamiento social para explicar el consumo del agua. Los investigadores encontraron que a mayor consumo de agua de un hogar, mayor será el consumo de los hogares vecinos con características similares, misma conclusión a la que llegan Duque et al. (2013).

Por otro lado, un problema recurrente al investigar cualquier problemática relacionada con el consumo del agua residencial es el obtener el dato del consumo del agua, puesto que por distintas razones (robo de medidores, tomas clandestinas, falta de digitalización de la información o de transparencia en los organismos operadores de agua locales, entre otras) no en todas las poblaciones se puede obtener esta información³⁶.

En cada investigación se ha recurrido a diversas estrategias metodológicas para resolver esta cuestión, por ejemplo, algunos académicos recurrieron a los organismos operadores locales (Chang et al., 2010; Cole et al., 2017; de Maria & Carvalho, 2013; Duque et al., 2013; Durán, 2015; Garcia et al., 2019; Gil, 2011; Jaramillo-Mosqueira, 2005; Wafula & Ngigi, 2015), organismos nacionales del agua (Castro & Sisto, 2015; Salazar & Pineda, 2010) encuestas nacionales realizadas por organismos censales (Anselin et al., 2008), encuestas realizadas por ellos mismos (Fielding et al., 2012), microdatos censales (Yu et al., 2015), realizando sus propias

³⁶ Por ejemplo, en algunas localidades rurales de México y ante la falta de organismos locales formalmente encargados de abastecer el agua a la población o ante la falta de medidores en las viviendas es común que las personas paguen una cuota fija de manera trimestral, semestral o anual a la autoridad comunal o municipal por el consumo doméstico del agua. También, y a diferencia de los asentamientos urbanos, en los rurales es más común que la red pública no sea la única o la principal fuente de abastecimiento (existen además los pozos, ríos, manantiales, estanques, etc.) lo que dificulta aún más la estimación del consumo de agua en los hogares rurales.

lecturas en los medidores o incluso instalando sus propios medidores inteligentes (Liu et al., 2016; Makki et al., 2013b) en los hogares.

Respecto a la unidad de análisis, cada escala de agregación conduce a resultados distintos de consumo del agua residencial (Bonnette, 2017). En general, entre más grande sea el área, mayor es la homogeneización de los datos que se asume. Así, Duque, Gutiérrez, Betancourt & Patiño (2013) analizan la distribución espacial de la disminución en el consumo de agua (2005–2010) en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Colombia), para ello dividen el valle en “regiones analíticas” que son unidades espaciales con características socioeconómicas homogéneas y que cuentan con un mínimo de hogares encuestados.

Cole, Bailey, Cullis & New (2018) también utilizan datos de los hogares pero agrupados en escalas administrativas a fin de obtener una visión más precisa de las diferencias de consumo. Usan desde la escala nacional (Sudáfrica), provincial, distrital, municipal, así como diferenciados entre áreas urbanas y rurales a fin de mostrar las inequidades en el acceso al agua entubada, el uso del agua y el estrés hídrico.

En contraste, Chang, Parandvash & Shandas (2010) agrupan a los hogares de Portland en bloques censales en función de su densidad (casa por acre), características físicas (número de cuartos, antigüedad, etc.) y socioeconómicas (ingreso por hogar, nivel de educación, etc.) para explicar la variación en el consumo de agua de los hogares residenciales unifamiliares. Según los propios autores, agregar los datos en bloques censales presenta ventajas como el poder incluir diversas variables sociodemográficas, probar hasta qué punto éstas contribuyen al consumo de agua y para crear unidades comparables en todos los grupos de bloques. Mientras que Yu et al., (2015) evalúan los costos del agua en los hogares en Puerto Rico, para ello los separan en diversos grupos demográficos de acuerdo con el número de adultos y niños que residían en ellos.

El presente capítulo se inscribe en la serie de trabajos que analizan el consumo de agua a escala de las colonias mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) dado que estas herramientas permiten la presentación visual de los datos y la consideración del espacio como generador de diferencias o similitudes en los comportamientos.

Así también, cabe mencionar que de la literatura revisada, en todas las investigaciones los datos del consumo del agua fueron obtenidos como información completa o se trabajó solo con los datos disponibles. Esta investigación pretende aportar al estudio del consumo del agua no solo

en la identificación de los determinantes, sino también responder a la problemática de ¿qué hacer cuando solo se cuenta con datos parciales del consumo del agua? lo que se considera también como una aportación metodológica a la literatura que esta tesis realiza.

3.2 La problemática del agua en la Ciudad de México

La CDMX se ubica a 2,240 metros sobre el nivel del mar; a pesar de que su territorio equivale al 0.1% del territorio nacional su población representa el 7.3% del total lo que la coloca con la entidad con mayor densidad de población México (con 6,163 habitantes por kilómetro cuadrado)³⁷. Según el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX, 2018) las principales fuentes de abastecimiento de agua en la capital del país son las subterráneas (ubicadas en los acuíferos del Valle de México), mismas que representan el 54% del suministro total y el restante 42% se importan del Sistema Lerma (desde 1951) y del Cutzamala (desde 1981).

En lo que respecta a la disponibilidad de agua, para el año 2020 y según la Comisión Nacional del Agua (2022), la CDMX es el estado con la menor cantidad de agua renovable³⁸ *per cápita* en el país con tan solo 73 m³/habitante, mientras que Chiapas (primer lugar nacional) dispone de 20,996 m³/habitante. Según Morales & Rodríguez (2011a) en 2004 la extracción total de agua en la CDMX superó en 1.73 veces la disponibilidad natural de agua en su cuenca convirtiéndola en una de las regiones hidrológicamente más sobreexplotadas del mundo.

Catorce años después la CONAGUA estimó que la recarga media anual del acuífero era de 8.9 m³/s, y la extracción concesionada de agua subterránea en 39.6 m³/s (SACMEX, 2018), cifra que supera en 4.4 veces su capacidad de recarga. El organismo operador de agua de la CDMX estima que existe un déficit estimado de agua potable del orden de los 3 m³/segundo, que el acuífero está disminuyendo su nivel de agua a razón de un metro por año y que como consecuencia de lo anterior, el subsuelo de la ciudad presenta hundimientos de hasta 30 centímetros al año (SACMEX, 2019).

³⁷ Además, si se considera la totalidad de la población que contiene su zona metropolitana, el Valle de México es la aglomeración urbana más grande del mundo hispanohablante y de América, y la octava más poblada del mundo.

³⁸ Cantidad máxima de agua que es factible explotar anualmente. Se calcula como el escurrimiento superficial virgen anual, más la recarga media anual de los acuíferos, más las importaciones de agua de otras regiones o países, menos las exportaciones de agua a otras regiones o países.

El 70% de los cuerpos de agua en la CDMX se encuentran altamente contaminados; apenas el 20% del agua residual de la ciudad es tratada, mientras que solo el 5% es reutilizada. Por otro lado, casi el 70% de la lluvia se evapotranspira y solo el restante 30% se infiltra al suelo y recarga los acuíferos, principal fuente de abastecimiento de la ciudad. Aunado a estas pérdidas, se tiene además que el 40% del agua suministrada a la ciudad se disipa en fugas (Torres, 2017).

La mala gestión del agua en la ciudad abarca un cúmulo de acciones entre las que se pueden mencionar la prácticamente nula captación de agua de lluvia, contaminación de agua pluvial con aguas negras, una enorme mancha asfáltica que impide la infiltración del agua al subsuelo, poco tratamiento y reutilización de aguas negras, falta de cultura de ahorro del agua, desperdicio y contaminación en los sectores agrícola e industrial, etc.

El incremento poblacional, la alta demanda y la mala gestión del agua en la ciudad ha propiciado que ésta se tenga que importar de otros acuíferos. Sin embargo, Peña (2012) apunta a que estos trasvases de agua entre cuencas generan impactos ambientales negativos en las regiones aportadoras y tensiones con sus habitantes; mientras que en la cuenca receptora se presenta al mismo tiempo derroche (para quien puede pagarlo) y escasez del recurso, por lo que esta alternativa de abastecimiento de agua es políticamente complicada, cara e insostenible (Morales & Rodríguez, 2011).

Aún bajo el régimen de sobre explotación de su acuífero y con la importación de agua de otras regiones, el 26% de los habitantes de la CDMX no recibe una cantidad suficiente de agua; en 10 de 16 alcaldías el agua se proporciona mediante el sistema de tandeos o en forma deficiente, situación que afecta a 358 colonias (SACMEX, 2018) y más de un millón de personas en la ciudad se encuentren en situación de desabasto del vital líquido (Torres, 2017).

La creciente demanda de agua en la ciudad genera también problemas económicos para el gobierno, por ejemplo, Fraga (2021) encontró indicios de diseconomías de escala en la “producción” de agua en la CDMX, lo que significa que en vez de disminuir el costo conforme se incrementa el volumen de agua, éste se incrementa cada vez más. Aunado a lo anterior, las inequidades por desabasto se expresan en un descontento socialmente generalizado con plantones, marchas, bloqueos de calles, retención de funcionarios o de camiones repartidores de agua, afectaciones en las viviendas debido a su hundimiento, etc., (Peña, 2012).

Las familias de bajos ingresos son quienes más padecen de la falta del agua. Investigadoras como Montero (2020) acusan que la escasez de agua en los hogares de bajos ingresos y conformados por mujeres en la CDMX se debe a “fallas en el abastecimiento [del organismo distribuidor de agua, SACMEX] atribuibles sobre todo a la gobernanza”.

Por otro lado, mientras que a escala nacional el volumen de agua concesionado para uso agrícola representó el 75.7%, abastecimiento público³⁹ 14.7%, industria 5.0% y energía eléctrica 4.6%; en la CDMX tan solo el abastecimiento público fue del 93.8% (Comisión Nacional del Agua, 2022) dato que confirma la importancia de analizar el consumo de agua en los hogares. Dada su importancia respecto a otros usos, a la relevancia social y la desigualdad en su distribución, se requiere profundizar en el análisis territorial del consumo del agua en la ciudad.

3.3 Metodología

Según el título primero, artículo 4º, párrafo XXXVIII y XXXIX de la Ley de Aguas del Distrito Federal publicada por la Asamblea Legislativa del Distrito Federal (2003) (ahora Ciudad de México); se entiende por agua de uso doméstico a “la utilización de aguas destinadas al uso particular en viviendas, el riego de sus jardines y de árboles de ornato, así como el abrevadero de animales domésticos, siempre que éstas no incluyan actividades lucrativas”; y por uso no doméstico a “la utilización del agua en establecimientos comerciales industriales y de servicios”.

Por su parte y respecto al pago de derechos por su uso, el Código Fiscal de la Ciudad de México (Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 2019) en su artículo 172 establece la existencia de un tercer tipo de agua que es el mixto, mismo que es la combinación simultánea del doméstico y no doméstico en una vivienda. En el presente capítulo centramos en el análisis del consumo de uso doméstico, es decir, aquel que se lleva a cabo en las viviendas de las 1,814 colonias que se tienen registradas en la cartografía disponible de la CDMX.

La información del consumo de agua domiciliario se obtuvo del Portal de Datos Abiertos de la Ciudad a través de una solicitud de información electrónica. De esta manera, el Sistema de Aguas

³⁹ Incluye la totalidad del agua entregada a través de redes de agua potable, tanto a usuarios domésticos como a industrias y servicios conectados a dichas redes.

de la Ciudad de México, SACMEX, (2022) entregó una base de datos con 25,362 registros del consumo bimestral de agua doméstico de distintas colonias correspondientes al año 2020.

En la primera parte de la presente sección se describe el procedimiento para la agregación de la información socioeconómica de INEGI para obtenerla a escala de colonias; el procedimiento de normalización de las variables y la imputación de los datos faltantes del consumo de agua en las colonias. Con los datos obtenidos, en la siguiente sección, se realiza el modelo de regresión espacial.

3.3.1 Obtención del dato y construcción de la variable “consumo de agua” de las colonias de la CDMX

Para unir en una sola variable la información del consumo del agua de las colonias que conforman las 16 alcaldías de la CDMX desagregada en 6 bimestres del año 2020 con su correspondiente cartografía se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- a) Se sumaron los consumos de agua bimestrales (25,362 datos) de cada una de las colonias para obtener el consumo anual de 1,417 colonias.
- b) Para generar el mapeo con la información de cada una de las colonias de la ciudad se unieron los archivos que contenían los datos de los consumos de agua con la cartografía por colonias⁴⁰. Dado que en ninguno de los dos archivos había una clave territorial común para relacionarlas, se usó el nombre de las colonias como campo en común. En ambas bases se separaron las colonias por alcaldías para evitar asignar el dato de una colonia a otra homónima pero que correspondiera a una demarcación diferente; además, se verificó con el código postal que se tratara de la misma colonia o que al menos correspondiera a la misma alcaldía. En 1,011 casos el nombre de las colonias presentaba diferencias ortográficas fácilmente detectables (por ejemplo, “STA” en vez de “SANTA”) mismas que también fueron homogeneizadas.
- c) En otros casos la cartografía representaba una sola colonia, mientras la base de datos de SACMEX desagregaba su consumo en dos o más registros. Por ejemplo, la colonia Granjas Estrella aparece en la base de datos de consumo de SACMEX como Granjas Estrella 1 y

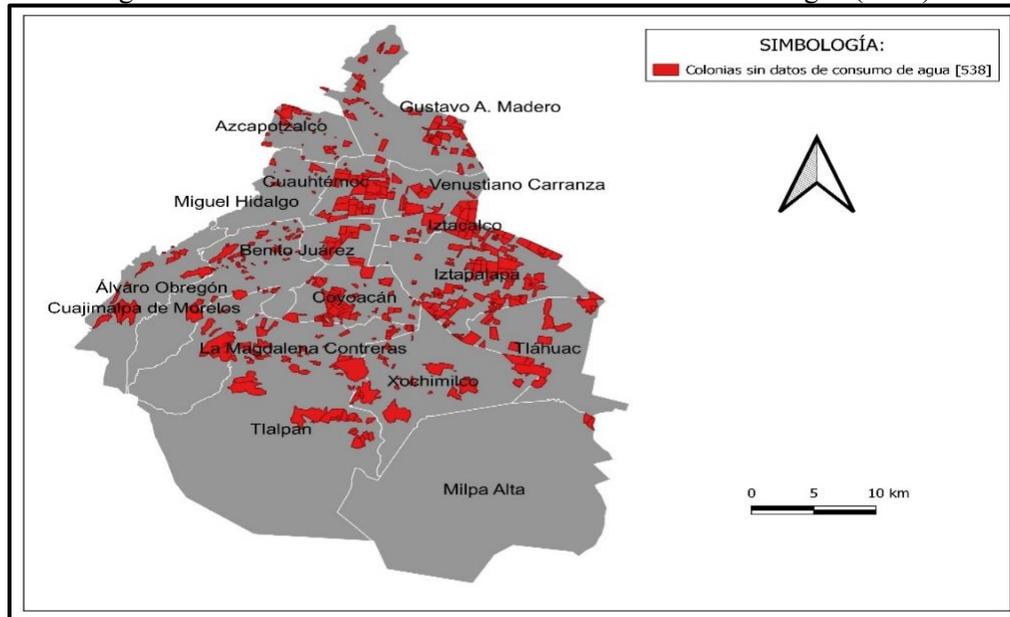
⁴⁰ No fue posible encontrar la fuente de la capa de las colonias, el único dato que se tiene es que es del año 2013.

Granjas Estrella 2, por lo que se sumaron los consumos de ambas y el total se registró como una sola unidad.

d) También hubo registros de consumos de colonias que no fue posible parear con su respectiva cartografía debido a que no se encontraba el nombre en ella o a que su nombre y código postal no era similar al de alguna otra; ante esta situación esos datos fueron desechados definitivamente de la base de datos. De esta manera, se logró conformar una base que contenía los datos del consumo anual para el año 2020 de 1,276 colonias⁴¹ en su respectiva cartografía.

De la información entregada por SACMEX, en el 29.7% de los casos (538 colonias) los datos del consumo del agua son “nulos”, es decir, no existe información alguna sobre su consumo ni se especifica la razón del porqué aparecen así, pudiendo ser entre otras causas la falta de medidores en las viviendas, que no existe la infraestructura para dotar a las colonias de agua, que existe la infraestructura pero que no se cuenta con suficiente líquido para abastecerlas, que las colonias se abastecen de otra fuente de agua como pipas, pozos, cuerpos de agua, etc.

Figura 3.1. Colonias en la CDMX sin datos de consumo de agua (2020).

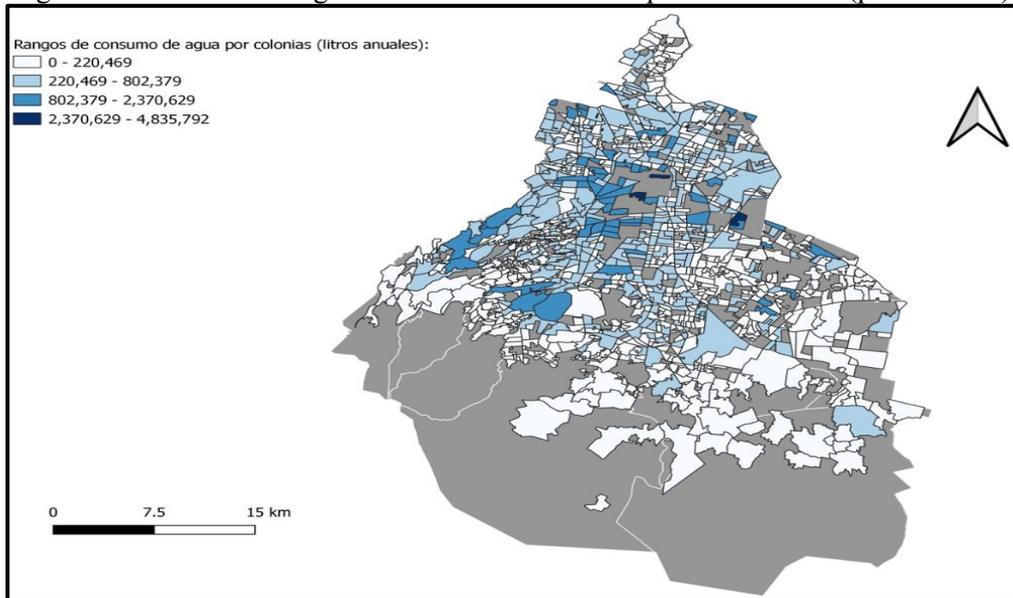


Elaboración propia con base en información del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

⁴¹ Según esta información, el promedio de consumo de las colonias de la CDMX es de 209,808.6 m³ anuales con una desviación estándar de 345,721.8 m³; un valor mínimo de consumo igual a cero y un máximo de 4,835,792 m³ anuales.

En el mapa de la figura 3.1 se muestran las colonias de las que no se tuvo información de su consumo de agua. Vemos que éstas se distribuyen por toda la ciudad sin formar un patrón claramente visible, aunque concentradas un poco más al centro y noreste. Destacan Iztapalapa con 118 colonias (21.9%), Gustavo A. Madero con 66 (12.3%) y Tlalpan con 63 (11.7%) como las alcaldías con más colonias que presentan ausencia de información sobre su consumo.

Figura 3.2. Consumo de agua doméstica en la CDMX para el año 2020 (por colonias).



Elaboración propia con base en información del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

Utilizando la clasificación de “rupturas naturales”⁴², se agruparon los consumos de agua de las colonias de la CDMX en cuatro clases (ver figura 3.2). Como vemos, el mayor consumo de agua doméstica (en azul más intenso) se concentra en las colonias ubicadas en el centro y al noroeste de la ciudad, mientras que los polígonos con menores consumos (blanco) se encuentran principalmente en la periferia situada al sur, suroeste y sureste de la ciudad.

3.3.2 Agregación de las variables socioeconómicas a escala de colonias

Dada la alta proporción de datos faltantes (29.7%) en la variable consumo de agua por colonias se realizó un procedimiento de imputación para aproximar estadísticamente y con la mayor confiabilidad posible esta información. Cabe mencionar que autores como Rubin (1996)

⁴² También conocido como método de Optimización de Jenks; forma una clase cada que hay un “salto” abrupto en la distribución de los datos, de tal manera que exista una varianza máxima entre clases individuales pero mínima dentro de las clases, obteniendo así grupos con valores lo más similares posibles.

argumentan que los procedimientos de imputación con porcentajes de omisión de hasta el 30% generan aún buenos resultados.

La principal fuente de información socioeconómica utilizada para realizar este procedimiento fue el Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2021), mismo que se encuentra disponible en cuatro escalas espaciales: estado, municipio, manzana⁴³ y Área Geoestadística Básica⁴⁴ (AGEB). En primera instancia se buscó obtener la información socioeconómica a escala AGEB pues al ser geoméricamente más pequeñas que las manzanas, al sobreponerlas al mapa de colonias existía una correspondencia casi exacta de ambas cartografías, especialmente en los límites, que son las zonas que normalmente presenta más complicaciones.

Sin embargo, al analizar los estadísticos básicos de la información agregada a escala AGEB se encontró con la existencia de variables cuyos datos no fueron publicados por el INEGI debido a que cuando su área es muy pequeña o hay pocas viviendas en ella, podría identificarse fácilmente a la(s) viviendas respondientes, por lo que por confidencialidad, el Instituto omite publicar estas respuestas apareciendo así altos porcentajes de no respuesta⁴⁵ en esta escala, lo que supondría un problema al realizar el procedimiento de imputación⁴⁶.

Dada la problemática anterior, se obtuvo la información socioeconómica de las colonias a partir de la información de las manzanas. Primero se sobrepuso la capa con la información de las manzanas en la cartografía de las colonias, luego se sumaron los valores de cada una de las manzanas para cada una de las variables a fin de obtener de ellas la información a escala de colonias. Al ser geoméricamente más grandes las manzanas que las AGEBs, se incrementaron los casos en los que una manzana era compartida por más de una colonia, por ello, se consideró al centroide de la manzana (medido por la distancia euclidiana) para asignarlo a la colonia más cercana (medida también por su centroide) a ella.

⁴³ Espacio geográfico de forma poligonal y superficie variable, que está constituido por una o un grupo de viviendas, edificios o terrenos de uso habitacional, comercial, industrial y/o de servicios, entre otros. Generalmente se puede rodear en su totalidad y está delimitada por calles, andadores, brechas, veredas, cercas, arroyos, límites prediales y otros elementos.

⁴⁴ Extensión territorial que corresponde a la subdivisión de las áreas geoestadísticas municipales. Constituye la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional; dependiendo de sus características se clasifica en rural o urbana.

⁴⁵ Por ejemplo, la variable VIV14 (viviendas particulares con más de 3 ocupantes por cuarto) presentó hasta un 10.7% de datos nulos.

⁴⁶ Existen métodos de imputación en los que las variables que alimentan al modelo también pueden tener datos faltantes, sin embargo, estos métodos se recomiendan como última opción.

El procedimiento anterior implicó perder algo de precisión al momento de sumar los valores de las variables en escala de manzanas, pero se ganó información al tener menores porcentajes de no respuesta en las variables, pues al ser un área geométrica más grande que las AGEBs es poco probable que existan datos nulos debido a problemas de confidencialidad de los datos; por esta razón se decidió trabajar con los datos obtenidos bajo este último procedimiento.

3.3.3 Imputación de datos para la variable “consumo de agua”

Para realizar la imputación de los datos faltantes de la variable “consumo de agua” de las colonias de la CDMX (año 2020) se consideraron dos criterios: el estadístico y el teórico. Con base a los datos disponibles en el censo y a la bibliografía consultada (ver anexo 1) se elaboró una lista de variables que según la literatura revisada explican el consumo del agua. De manera que aunque cierta variable no cumpliera con el criterio estadístico, pero que teóricamente fuera justificable su inclusión, se mantendría en el modelo.

Con la lista de variables y con ayuda del programa estadístico *IBM-SPSS-Statistics-21* se realizaron varios modelos de regresión lineal (tanto con el método “hacia adelante” como “hacia atrás”) para encontrar cuáles de estas explicaban mejor el consumo del agua en las colonias. De la combinación de ambos métodos se creó un modelo que fuera estadísticamente significativo (0.000) en lo general (ver cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Análisis de Varianza (ANOVA) para el modelo de regresión del consumo del agua en las colonias

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	46890763210238.500	8	5861345401279.820	70.391	.000
	Residual	105501753399374.000	1267	83268945066.593		
	Total	152392516609612.000	1275			

Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

Según este modelo (ver cuadro 3.2) las variables que miden: el número de población de 60 años y más (pob23), la población de 12 años y más ocupada (eco4), el número de hogares censales con persona de referencia de 30 a 59 años (hogar13), la población de 15 años y más con

educación posbásica⁴⁷ (edu40), el total de viviendas (viv0), la cantidad de viviendas particulares con más de 3 ocupantes por cuarto (viv14), las viviendas particulares habitadas que disponen de computadora, laptop o tablet (viv34) y las viviendas particulares habitadas que disponen de cisterna o aljibe (viv91), explican el consumo de agua (consum_a_2) en las colonias de la CDMX.

Cuadro 3.2. Coeficientes de regresión (OLS).

Coeficientes						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	31146.028	15203.709		2.049	.041
	pob23	-145.743	65.365	-.299	-2.230	.026
	eco4	42.664	30.707	.315	1.389	.165
	hogar13	-717.588	119.188	-1.878	-6.021	.000
	edu40	-113.381	35.423	-.796	-3.201	.001
	viv0	483.728	64.210	2.169	7.533	.000
	viv14	-635.118	262.317	-.147	-2.421	.016
	viv34	279.146	64.564	.774	4.324	.000
	viv91	57.936	16.200	.189	3.576	.000

Variable dependiente: consum_a_2 (Consumo de agua por colonia en m³ anuales). Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

Dado que este modelo de regresión se realizó como un paso para determinar cuáles serían las variables que se usaron en el modelo de imputación de valores, no se analizan los valores de los coeficientes obtenidos, pero sí su signo algebraico para plantear brevemente su coherencia con la explicación teórica. Así tenemos que:

-pob23 es negativo, lo que indica que ante un incremento de la población de 60 años y más, el consumo de agua disminuirá. Esta variable está relacionada con el ciclo de vida de las personas, quienes a esta edad ven disminuidos sus ingresos (debido a que están jubilados, retirados o trabajan medio tiempo) por lo que disminuyen también su consumo de diversos bienes, entre ellos el agua (Duque et al., 2013).

⁴⁷ Según el INEGI, es aquella que comprende la educación media superior (preparatoria, bachillerato o equivalente) y superior (estudios técnicos o comerciales con preparatoria, profesional, maestría y doctorado) del Sistema Educativo Nacional.

-eco4 es positivo, indica que ante un incremento en la población ocupada⁴⁸ el consumo del agua será mayor (Makki et al., 2013b). Esta variable es la única del modelo que no es estadísticamente significativa, sin embargo, se mantuvo en el modelo debido a que el empleo está altamente relacionado con el ingreso y éste a su vez con un mayor consumo de bienes y servicios como el agua potable (de Maria & Carvalho, 2013; Fielding et al., 2012). Villar, Hernández & Rico (2020) documentan el caso contrario: que a mayor proporción de miembros del hogar en situación de desempleo, hay una disminución en el consumo de agua en las viviendas.

-hogar13 es negativo, por lo tanto, cuando se incrementa el número de hogares con personas de referencia de 30 a 59 años, el consumo de agua en las colonias disminuye. Lo anterior se debe a que las personas que pertenecen a este grupo de edad se encuentran en su etapa productiva, por lo que pasan poco tiempo en sus hogares. Actividades como la preparación de alimentos y necesidades sanitarias, entre otras, se realizan fuera de sus viviendas, lo que disminuye su consumo de agua.

Cabe mencionar que la estructura de edad de la población y el ciclo de vida de las personas pueden influenciar el consumo del agua en distintos sentidos; por ejemplo, Makki et al. (2013), encontraron que las familias con niños y jóvenes consumen más agua que las familias conformadas por adultos o ancianos; así también, autores como Schleich & Hillenbrand (2009) determinaron que existe una relación positiva entre la edad y la demanda de agua residencial.

-edu40 es negativo. Según la literatura el efecto de la educación sobre el consumo del agua puede tomar dos vertientes: al incrementarse el grado de escolaridad se obtienen mayores ingresos y con ello se lleva a cabo un mayor consumo de bienes, lo que incrementaría también el consumo de agua (Duque et al., 2013; Makki et al., 2013b; Yu et al., 2015). La segunda vertiente (que es el caso presente), es que un mayor grado de educación tiene un efecto negativo en el consumo del agua debido a que éste se asocia con una mayor “conciencia ambiental” manifestada en mejores prácticas y hábitos de cuidado del agua o la instalación de dispositivos y mecanismos ahorradores en las viviendas, lo que explica la disminución en el consumo de agua (García et al., 2019) en los hogares.

⁴⁸ La población de 15 años y más se divide en población económicamente activa (PEA) y no activa (PNEA); la PEA a su vez se divide en ocupada y desocupada.

-viv0 es positiva, lo que indica que a mayor número de viviendas en las colonias (densidad), habrá mayor consumo de agua (Wafula & Ngigi, 2015); esto debido a la mayor cantidad de personas en el área (Shandas & Parandvash, 2010) de estudio.

-viv14 tiene un signo negativo, lo que indica que al incrementarse el número de viviendas particulares con más de 3 ocupantes por cuarto disminuirá el consumo. Esta variable mide el hacinamiento, fenómeno presente en hogares de bajos ingresos y en situación de pobreza, por lo que también presentan un menor consumo de agua (Durán, 2015). En general, altas densidades de población están relacionadas con menores consumos de agua *per cápita* (March et al., 2012); por el contrario, hogares con personas solas reportan mayores consumos *per cápita* de agua (Yu et al., 2015).

-viv34 es positivo, esto indica que a mayor número de viviendas particulares habitadas que disponen de computadora, laptop o tablet, van a consumir más agua. En este caso, la presencia de estos dispositivos se puede interpretar como un indicativo de ingresos más altos en las viviendas, por eso su relación positiva con el consumo de agua (Corbella & Pujol, 2009). El uso de variables *proxy* en la literatura es recurrente cuando no se cuenta con información directa del ingreso de las familias. Por ejemplo, Duque et al. (2013), utilizan los estudios universitarios, la existencia de acueductos y el uso de gas como variables *proxy* del ingreso; mientras que Inam et al. (2023) utilizan el valor de la vivienda como aproximado de los ingresos del hogar.

-viv91 es positivo, lo que indica que a mayor número de viviendas particulares habitadas que disponen de cisterna o aljibe habrá mayor consumo de agua. Hipotetizamos que tener una cisterna es indicativo de hogares situados en un estrato socioeconómico alto (por su costo constructivo) y el hecho de contar con ella permite a las familias almacenar mayores cantidades de agua de la red pública y consumirla posteriormente cuando no la hay, teniendo así un consumo constante y en mayor cantidad que las viviendas que no cuentan con ellas⁴⁹.

Las variables anteriores fueron utilizadas como explicativas en el modelo de imputación mientras que la variable dependiente fue el consumo anual de agua (en m³) de las colonias (“consum_a_2”). Antes de realizar el procedimiento de imputación a la variable dependiente se

⁴⁹ En la literatura revisada no se encontraron trabajos que analicen el efecto entre la dotación de agua de la red pública, su consumo y la existencia de cisternas en viviendas urbanas, sólo hay trabajos que analizan la captación de agua de lluvia, su almacenamiento en cisternas y su uso (agrícola) en zonas rurales.

sustituyeron los valores por encima del percentil 99 por el tope máximo de 1,673,112 m³ consumidos a fin de disminuir el sesgo de los valores extremos del 1% que más agua consume.

Utilizando las nueve variables obtenidas del modelo de regresión lineal anterior y con ayuda del software StataMP-17 se realizaron diversos modelos de imputación a través del método de “Coincidencia Predictiva de Medias para una variable continua”⁵⁰ (PMM por sus siglas en inglés) para la variable en cuestión. La imputación PMM realiza primero una regresión lineal estándar y después asigna los valores faltantes de un conjunto aleatorio de vecinos más cercanos (donantes) pero preservando la distribución de los valores observados; este método se recomienda además para imputar variables continuas (StataCorp, 2021), tal como lo es la variable dependiente.

Rubin (1996) demuestra que entre tres y cinco modelos de imputaciones son suficientes para obtener resultados deseables, en este caso se simularon 10. Un criterio aceptado para elegir el mejor modelo es que el valor imputado debe ser lo más cercano al valor verdadero (Useche & Mesa, 2006), por esta razón se tomaron los valores generados por el modelo 1 (ver cuadro 3.3), pues tanto su media como su desviación estándar son los más cercanos a los valores originales (m0).

Cuadro 3.3. Comparativo de los modelos de imputación estimados

Imputación de Ln Agua CD		
Imputación	Media	Desviación estándar
m0	10.94	2.53
m1	10.88	2.53
m2	10.78	2.67
m3	10.81	2.66
m4	10.85	2.54
m5	10.80	2.67
m6	10.85	2.54
m7	10.81	2.75
m8	10.86	2.57
m9	10.79	2.62
m10	10.84	2.59

Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

⁵⁰ Este método imputa los valores faltantes mediante la selección aleatoria tomada de una submuestra de valores observados cercanos a su predicción.

Con los datos generados mediante el modelo de imputación PMM se pudieron obtener los valores del consumo de agua para las 1,814 colonias de la CDMX; finalmente a la variable “Ln_Agua_CD” se le aplicó la función exponencial con base “e” para regresar la variable a su escala original (m³ anuales) y obtener así los datos del consumo del agua con los que se trabajó en la siguiente etapa del análisis (variable “Agua_pmm”).

3.4 Análisis del consumo de agua en las colonias de la CDMX

Para un análisis más detallado de los datos obtenidos en el apartado anterior, se calculó el consumo de agua *per cápita* (capc, en adelante) de las colonias de la CDMX dividiendo el consumo en m³ de cada colonia entre su población. De acuerdo con los datos estimados el capc promedio en las colonias para el año 2020 fue de 48.5 m³ anuales, lo que equivale a 132 litros *per cápita* al día (lapcd), dato muy similar a los 123 lapcd estimado por Medina et al. (2022) para el año de 2019, y relativamente cercanos a los 180 lapcd que publicó SACMEX (2018), pero muy distantes de los 366 litros lapcd que cita la ONU-hábitat (2024).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (Howard et al., 2020) el consumo humano de agua puede ser⁵¹:

- Inadecuado: cubre hasta 5.3 litros por persona al día (1.9 m³ al año). En este nivel ninguna de las 3 necesidades básicas de salud (beber, cocinar e higiene) se encuentran aseguradas en el hogar.
- Básico: el consumo de agua es de hasta 20 litros por persona al día (7.3 m³ al año). En este nivel dos necesidades básicas de salud (beber y cocinar) se encuentran aseguradas en el hogar y parcialmente la higiene (solo de los alimentos, lavado de manos y cara), mientras que el baño y el lavado de ropa deben realizarse fuera del hogar.

⁵¹ Los autores del estudio advierten que este valor puede diferir dependiendo de factores psicológicos, culturales, climáticos, temperatura, actividades de la persona, dieta, grupo de edad, hábitos (de higiene, preparación de alimentos y limpieza); así como de la accesibilidad (tiempo y distancia para obtenerla), disponibilidad, confiabilidad, continuidad y asequibilidad económica para obtenerla (precio e ingresos), así como del tipo de fuente de donde se obtiene, principalmente. Los valores son un promedio del consumo para personas adultas de USA, Canadá, Australia, Europa y Nueva Zelanda.

- Intermedio: alcanza una dotación de hasta 50 litros por persona al día (18.3 m³ al año). En este nivel las 3 necesidades básicas de salud (beber, cocinar e higiene) se encuentran aseguradas en el hogar, siempre y cuando no se presente algún brote infeccioso (como por ejemplo la pandemia del COVID-19).
- Óptimo: cubre hasta 100 litros por persona al día (36.5 m³ al año). En este nivel las 3 necesidades básicas de salud (beber, cocinar e higiene) se encuentran aseguradas en el hogar, además de que se garantiza el agua para la limpieza de la vivienda.
- Suntuario⁵²: en él se presenta un consumo de agua mayor a 100 litros por persona al día (>36.5 m³ al año). Cubre las necesidades enlistadas en el consumo óptimo más aquellos gastos de agua considerados no indispensables, sino que son realizados con fines ornamentales (como el llenado de fuentes, espejos de agua, para riegos de jardines), recreativos (llenado de piscinas) o que impliquen su desperdicio (como el lavado de autos con manguera).

Dado la anterior clasificación, el consumo de agua de los habitantes de la CDMX (132 lapcd) se encuentra por encima del consumo óptimo (100 lapcd) recomendada por la OMS por lo que cae en la categoría de suntuario, sin embargo; al ser un dato promedio, esta cantidad no se distribuye de igual manera entre la población de la ciudad. Cuestión en la que se profundiza a continuación.

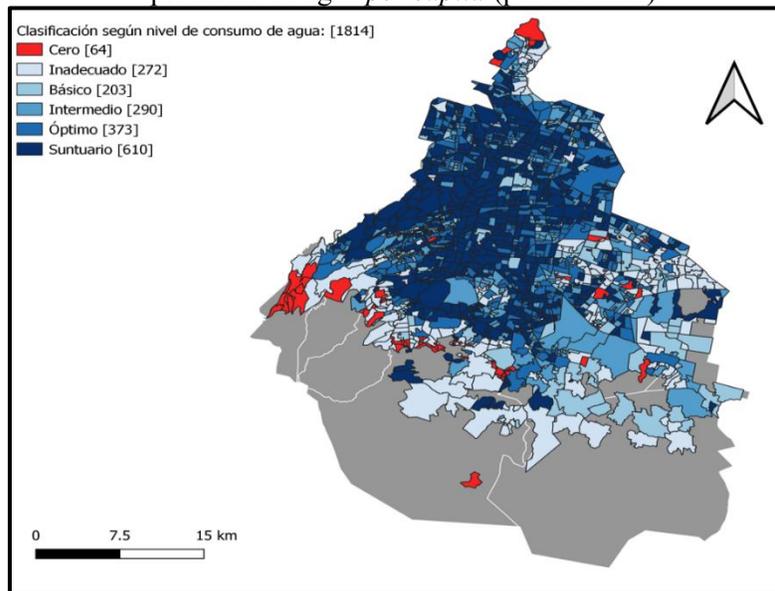
Tomando como referencia los anteriores consumos *per cápita* anuales, en la figura 3.3 vemos que en el 3.5% del total de las colonias⁵³ de la CDMX el capc fue de cero (en rojo)⁵⁴ lo que no significa que su abastecimiento no depende de la red pública, sino de otras fuentes como pueden ser pipas, cuerpos de agua, arroyos, etc. o que ciertas actividades como la limpieza de la ropa se realizan fuera de las viviendas. La mayoría de las colonias en esta categoría de consumo se encuentran en el límite de la ciudad, aunque tan solo tres alcaldías (Tlalpan, Iztapalapa y Cuajimalpa) concentran el 73.4% de las colonias en esta situación.

⁵² Esta clasificación no existe en el documento de la OMS, pero se agregó para diferenciar y resaltar la disparidad en el consumo de los niveles más altos.

⁵³ En este caso el total de colonias fue de 1812, debido a que en dos de ellas no fue posible tener el dato la población para asignarle el consumo *per cápita*.

⁵⁴ 18 de 64 colonias presentan un consumo de agua estrictamente igual a cero, mientras que las 46 restantes presentaron consumos menores a 0.1m³ anuales, mismas que también fueron incluidas en esta categoría.

Figura 3.3. Clasificación (valores imputados) del consumo promedio de agua *per cápita* (por colonias).



Elaboración propia con base en información del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

En 15.0% de las colonias su capc fue inadecuado (azul más pálido), la mayoría de las 272 colonias con este nivel de consumo se concentran en la periferia de la ciudad, especialmente al este, oeste y sur, aunque 3 alcaldías (Iztapalapa, Tlalpan y Gustavo A. Madero) concentran el 61.8% de las colonias en esta categoría (ver figura 3.3).

En 11.2% de las colonias de la ciudad el consumo de agua es básico, éstas se concentran al este y sureste, aunque las alcaldías con mayor cantidad de colonias son Álvaro Obregón (oeste), Iztapalapa (este) y Gustavo A. Madero (norte), esas tres alcaldías juntas contienen 42.8% de las colonias en esta condición. El 16.0% de las colonias tienen un consumo intermedio, aunque la mayoría de ellas se encuentran al sureste; 51.0% de las colonias de este bloque se encuentran en las alcaldías Iztapalapa (este), Álvaro Obregón (oeste) y Gustavo A. Madero (norte).

El 20.6% de las colonias de la CDMX alcanzan el rango de consumo óptimo, estas se distribuyen en distintas localizaciones al interior de la ciudad sin mostrar un patrón espacial claro, aunque 41.6% de ellas se encuentran en las alcaldías Iztapalapa, Álvaro Obregón y Gustavo A. Madero. Finalmente, 33.7% de las colonias presenta un capc suntuario (azul más intenso), éstas se concentran en el centro y al noroeste de la ciudad; las alcaldías Álvaro Obregón, Coyoacán, Gustavo A. Madero y Tlalpan concentran 46.2% de las colonias en esta categoría.

Del análisis anterior, tres alcaldías en especial llaman la atención; por un lado, Iztapalapa que tiene el segundo lugar con más colonias de capc cero y primero en inadecuado (con 10 y 83 respectivamente), pero también tiene el primer lugar de capc en óptimo y el quinto de 16 en suntuario (con 53 y 55). Gustavo A. Madero tiene el tercer lugar con más colonias con capc inadecuado y básico (con 31 y 28 colonias respectivamente), pero también el tercero tanto en óptimo como en suntuario (con 51 y 73 colonias). Álvaro Obregón tiene también el primer y segundo lugar con más colonias en situación de consumo básico e intermedio (con 51 y 47 colonias respectivamente), pero el segundo y primer lugar con más colonias en consumo óptimo y suntuario (con 51 y 74 colonias).

Los datos anteriores delatan la gran asimetría en el consumo de agua que existe al interior de las mismas alcaldías (y seguramente también dentro de las mismas colonias), dado que si lo medimos como porcentajes, tan solo 54.2% de las colonias de la CDMX tiene un consumo de agua que es óptimo o suntuario, mientras que el restante 45.8% tiene un capc por debajo de lo óptimo. En el siguiente apartado se profundizará sobre la medición de estas desigualdades en el consumo del agua entre las alcaldías.

3.4.1 Índice de desigualdad del consumo de agua en las colonias de la CDMX

Para calcular el índice de desigualdad en el consumo de agua de las colonias de la CDMX se utilizaron los datos imputados de la variable Agua_pmm obtenidos en el apartado 3.3.3 del presente capítulo; se utilizó a la población total de cada colonia como el factor de peso y se utilizaron datos de los consumos anuales de 1,814 colonias.

En el cuadro 3.4 se presentan las relaciones de consumo para distintos percentiles de la población. Destaca la diferencia entre el percentil más alto y el más bajo, mientras que por cada m³ de agua que consumen anualmente los hogares situados en el percentil 10 (el más bajo), los hogares situados en el percentil 90 (los más altos) consumen 473.6 m³.

Cuadro 3.4. Percentiles del consumo de agua de las colonias de la CDMX.

p90/p10	p90/p50	p10/p50	p75/p25
473.61	5.352	0.011	14.989

Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

La disparidad en el consumo de agua entre las colonias disminuye drásticamente a 5.4 m³ por cada m³ si se comparan los casos situados en los percentiles 90 y 50; así también, por cada m³

que consumen las personas situadas en el percentil 50, las personas del percentil 10 solo consumen 0.011 m³; y por cada m³ que consumen la población del percentil 25 los del percentil 75 consumen 15.0 m³.

El índice de Gini (IG) es una medida de desigualdad ampliamente utilizada en las ciencias sociales; cuando toma un valor igual a cero indica la existencia de una situación de perfecta igualdad, en este caso significaría que toda la población de la CDMX consume la misma cantidad de agua; en cambio, si tomara el valor de 1 significa que hay una perfecta desigualdad, es decir que una sola colonia concentra todo el consumo de la ciudad. Para este caso, el valor calculado del IG fue de 0.64 lo que equivale a una “desigualdad alta”⁵⁵, misma que es una desigualdad más acentuada que la calculada para el consumo nacional (IG = 0.47) en el capítulo 1 de la presente tesis.

El Índice de Entropía Generalizado (IEG) obtenido para el consumo de agua de las colonias de las CDMX (en m³ anuales) explica qué tanto contribuye a la desigualdad del conjunto de la población la desigualdad dentro de cada uno de los subconjuntos y qué proporción se origina por las diferencias entre ellos. Se compone de la suma de dos partes: la contribución a la desigualdad total atribuible a la desigualdad dentro de cada subconjunto de la población o desigualdad intra-grupos y la contribución a la desigualdad total atribuible a la desigualdad entre dichos subconjuntos (Fernández & Costa, 1998).

Cuadro 3.5. Índice de Entropía Generalizada (IEG).

Total	Desigualdad dentro de los grupos	Desigualdad entre grupos
0.96205	0.85505	0.107

Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

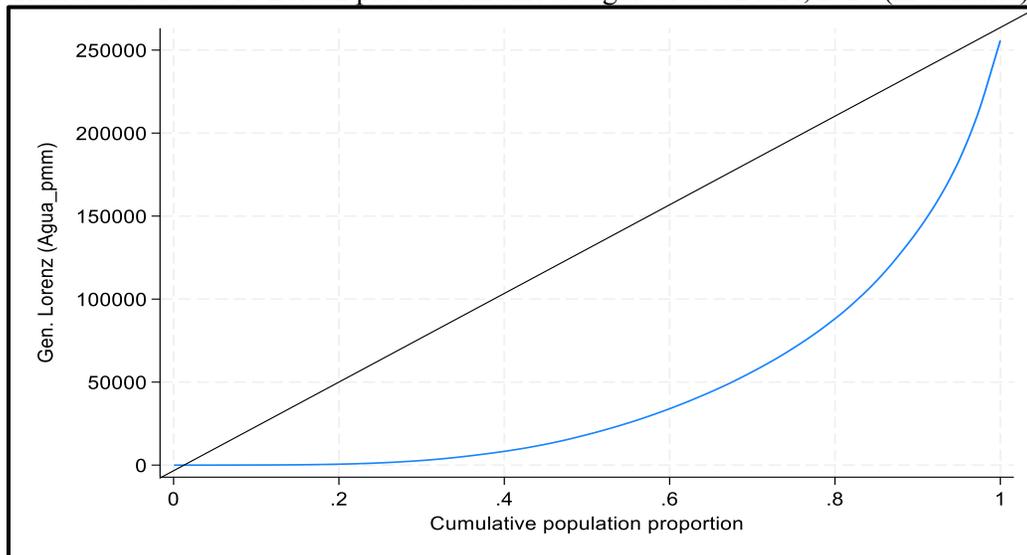
El IEG calculado para el consumo de agua de las colonias de la CDMX fue de 0.96 (ver cuadro 3.5); de este valor, 0.86 corresponde a la desigualdad intra-grupos que es una muy alta desigualdad, lo que significa que aun dentro de las distintas clases agrupadas existen diferencias

⁵⁵ Para los valores intermedios entre cero y uno se toma la clasificación para la asignación de recursos propuesta por Babuna et al. (2020) según la cual, cuando el coeficiente de Gini está por debajo de 0.2 equivale a una “igualdad alta”, 0.2–0.3 a una “igualdad relativa”, 0.3–0.4 significa que es “neutral”, 0.4–0.5 que hay una “desigualdad relativa” y por encima de 0.5 denota una “desigualdad alta”.

significativas en el consumo del agua; mientras que la desigualdad entre grupos (es decir, entre los deciles de población 10, 20, 30, etc.) es del 0.11 del total.

La desigualdad en el consumo de agua de las colonias de la CDMX se puede visualizar si graficamos la curva de Lorenz⁵⁶ (ver grafica 3.1), en la que si trazamos una recta de 45° a partir del punto de origen (0, 0), cualquier punto situado sobre ésta describe una situación de perfecta igualdad entre la población (eje y) y la cantidad de agua consumida (eje x) (Wolff, 2009). Por lo tanto, situar la curva de Lorenz sobre la recta de 45° describe una situación en la que cada colonia de la ciudad consume la misma cantidad de agua; por otro lado, entre más se aleje la curva de Lorenz de esta recta significa que hay una mayor desigualdad.

Gráfica 3.1. Curva de Lorenz para el consumo de agua de la CDMX, 2020 (m³ anuales).



Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

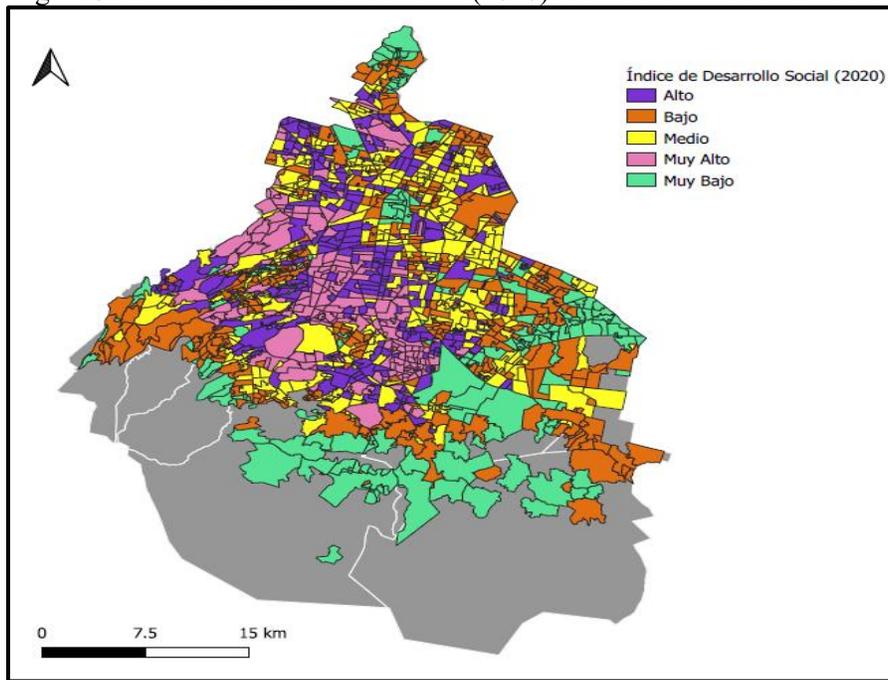
Como apreciamos en la gráfica 3.1, el 20% de la población de la CDMX consume menos de 10,000 m³ de agua anual, mientras que el último 20% de la población (que presenta los consumos más altos) se reparte un consumo cercano a los 160,000 m³ de agua anuales⁵⁷; es decir, hay una diferencia de 16 veces más en el consumo entre las colonias de la ciudad.

⁵⁶ Existe también una relación entre el Coeficiente de Gini y la Curva de Lorenz, el primero se calcula como el cociente entre el área comprendida entre la diagonal de perfecta igualdad y la Curva de Lorenz.

⁵⁷ El consumo del decil 80 comienza en 90,000 y termina en 250,000; la diferencia de estos es su consumo.

Una forma de identificar cuáles son las colonias de la CDMX que se encuentran en los primeros deciles de consumo fue relacionar el consumo de agua con su Índice de Desarrollo Social (IDS). Se eligió al IDS porque es una medida ponderada que integra en una sola variable las dimensiones de vivienda, acceso a servicios sanitarios (agua, drenaje y excusado), adecuación energética, acceso a internet y disponibilidad de telefonía (fija o celular), rezago educativo, acceso a los servicios de salud y seguridad social; además de que esta variable se encontró publicada de origen a escala de colonias⁵⁸.

Figura 3.4. Índice de Desarrollo Social (2020) de las colonias de la CDMX.



Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017).

En la figura 3.4 se muestra que las colonias con IDS muy bajo (verde) y bajo (anaranjado) se encuentran en la periferia de la ciudad, pero la mayoría se concentran particularmente al sur y sureste; las del estrato medio (amarillo) forman un segundo perímetro interno y se concentran al norte y noreste; mientras que las del estrato alto (morado) y muy alto (rosa) se encuentran en el centro y ligeramente al noroeste de la ciudad; visualmente es claro ver que la localización de los

⁵⁸ El IDS 2020 a nivel manzana fue elaborado por el Consejo de Evaluación del Desarrollo Social de la Ciudad de México; para el cruce de información se utilizó el Catálogo de Unidades Territoriales 2019 del Instituto Electoral de la Ciudad de México (IECM). Aunque el Instituto de Planeación Democrática y Prospectiva aparece como la fuente primaria del IDS, se cita a la fuente secundaria (el Portal de Datos de la CDMX) puesto que de la página electrónica de esta última institución es que se obtuvo la información.

distintos estratos de desarrollo social se corresponden con los consumos *per cápita* inadecuado, básico, intermedio, óptimo y suntuario (respectivamente) de la figura 3.3 y descrita en el apartado 3.4 del presente capítulo⁵⁹.

Con el cruce de información entre el IDS y el consumo de agua de la CDMX se estimó que 14.8% de las colonias que se encuentran en el estrato muy bajo de desarrollo social consumen solo 6.8% del total del agua en la ciudad (ver cuadro 3.6), mientras que el 29.3% de las colonias que pertenecen al nivel bajo de desarrollo social consumen 16.5% del agua. A los dos estratos con los IDS más bajos les corresponde un consumo de agua que es menor a la proporción de su tamaño poblacional; en cambio, esta relación se invierte desde el estrato de IDS medio en adelante, los cuales consumen una proporción mayor de agua a la correspondiente a su tamaño.

Cuadro 3.6. Proporciones de consumo de agua e Índice de Gini según IDS

IDS_2020	Porcentaje	Cuota de agua	Gini
Muy bajo	14.8	6.8%	0.79363
Bajo	29.3	16.5%	0.67816
Medio	26.8	29.7%	0.59219
Alto	18.3	28.6%	0.52286
Muy Alto	10.8	18.5%	0.50028

Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

En el cuadro 3.6, se aprecia también que hay una relación negativa entre el índice de Gini y el IDS de cada colonia; es decir, que a mayor desarrollo social disminuye la desigualdad del consumo de agua en las colonias de la CDMX (medido por el IG). Siguiendo la clasificación de desigualdad propuesta por Babuna et al. (2020) a las colonias con un IDS muy bajo, bajo y medio les corresponde una “desigualdad alta” en el consumo del agua mientras que a las colonias con un desarrollo social alto y muy alto una “desigualdad relativa”.

Lo anterior confirma el cálculo de la desigualdad entre grupos del IEG en el cual se estimó que ésta es muy baja. Por ejemplo, la diferencia entre el IG del estrato de desarrollo social muy alto y alto es de solo 0.02 mientras que la diferencia entre alto y medio es de 0.07 y la diferencia entre el medio y el bajo es de 0.09. Lo que estos indicadores sugieren es que las colonias de

⁵⁹ Medina et al., (2022) realizan un comparativo similar, encontrando la existencia de una relación inversa entre el consumo de agua en las colonias de la CDMX y su Índice de Marginalidad Urbana de la CDMX para el año 2020; el índice se construye a partir de once indicadores socioeconómicos que reflejan la intensidad de la privación en cuatro dimensiones: nivel de educación, acceso a la salud, condiciones de vivienda y disponibilidad de bienes.

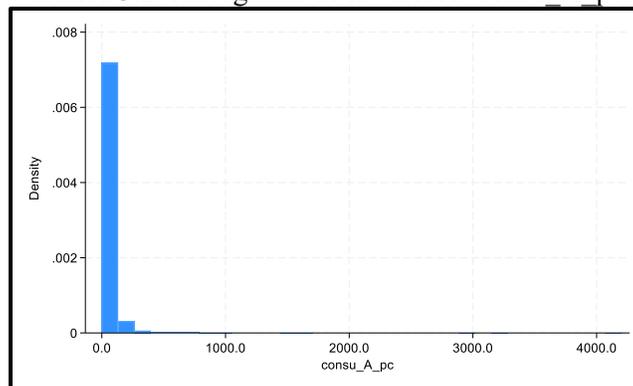
estratos de menor desarrollo social tienen una mayor dispersión en su consumo promedio que las colonias de estrato alto o muy alto; es decir, son más heterogéneas entre sí, mientras que las colonias con IDS alto e IG bajo son más homogéneas altamente consumidoras.

3.5 Determinantes del consumo de agua en las colonias de la CDMX

3.5.1 Normalización de las variables

Antes de realizar el modelo de regresión espacial se graficaron histogramas de frecuencia para analizar visualmente la normalidad o no de la distribución de los datos de las variables de interés. De acuerdo con la distribución presentada por cada variable se eligió una distinta forma de normalizarla. A continuación se describen los procedimientos aplicados para corregir sus asimetrías.

Gráfica 3.2. Histograma de la variable consu_A_pc.



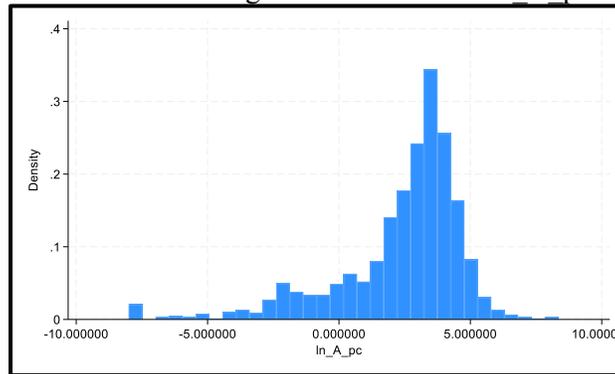
Elaboración propia con datos del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

En la gráfica 3.2 se muestra el caso de la variable consu_A_pc (consumo de agua *per cápita* en m³ por colonias), en la cual se aprecia que una distribución asimétrica hacia la derecha debido que 66.3% de los casos tiene consumos menores al óptimo que es de 36.5 m³ de agua *per cápita* anuales (el promedio es de 48.5 m³ *per cápita*), mientras que el restante 33.7% de la población presenta distintos consumos mayores a este valor (el consumo máximo es de 4,200.5 m³).

Para atenuar la asimetría en la distribución de la variable y generar perfiles más cercanos a la distribución normal algunos autores (Alfaro & Fuenzalida, 2009; Badler et al., 2004) recomiendan transformar los valores a su logaritmo natural a fin de “suavizar” su distribución;

esto se logra al acotar el rango de la variable a una escala más pequeña que la original y al eliminar el efecto de las unidades de medida en las variables. En la gráfica 3.3 se aprecia el histograma de distribución de la misma variable consu_A_pc pero con el logaritmo natural aplicado a los datos (ln_A_pc), que como se ve, ahora presenta una distribución más normal⁶⁰.

Gráfica 3.3. Histograma de la variable ln A pc.

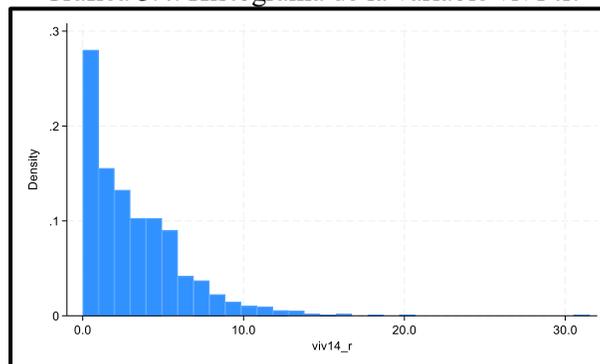


Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017).

De igual manera, a la variable viv91_r (porcentaje de viviendas habitadas que disponen de cisterna o aljibe) también se le aplicó el logaritmo natural a fin de generar una distribución más normal y se generó la variable ln_viv91_r.

Otro procedimiento para corregir las asimetrías en la distribución de los datos fue “topar” la variable en sus valores más altos. En la gráfica 3.4 se presenta la variable viv14r (porcentaje de viviendas particulares habitadas con más de 3 ocupantes por cuarto), que tiene una distribución asimétrica hacia la derecha, pues el valor de su media (3.2%) es mayor a la mediana (2.5%).

Gráfica 3.4. Histograma de la variable viv14r.

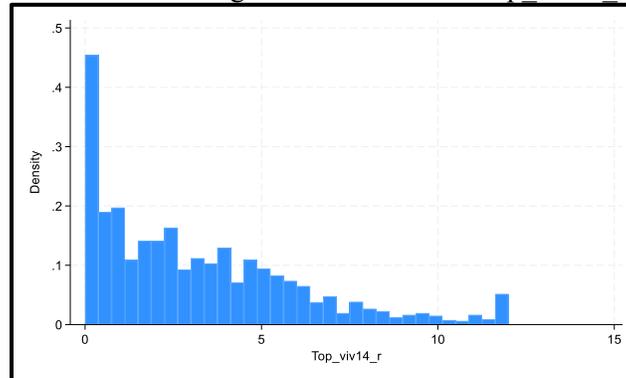


Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017).

⁶⁰ Debido a que el log de 0 no existe, se sustituyeron los valores iguales a cero de la variable viv14r por -8 en ln_A_pc (se realizaron 18 cambios). Se usó este valor porque al aplicarle el exponencial base “e” para devolver la variable a su escala original (m³) se obtiene 0.0003 m³, valor muy cercano a cero (el original).

Para atenuar la asimetría, en este caso se “toparon” los valores máximos mayores al percentil 98 (cuyo valor es de 12) de tal manera que todos los datos con registros mayores a este valor se agruparon en una categoría: “mayor a 12%”. De esta manera el histograma de frecuencia para esta nueva variable (Top_viv14_r) quedó de la siguiente manera (gráfica 3.5), que como se aprecia, tiene una distribución más simétrica.

Gráfica 3.5. Histograma de la variable Top_viv14_r



Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017).

El procedimiento anterior se realizó también para la variable edu40_r (porcentaje de población de 15 años y más con educación posbásica) y viv34_r (porcentaje de viviendas habitadas que disponen de computadora, laptop o tablet); pero en este caso se toparon los valores de la variable en el límite inferior. En el caso de edu40_r todos los valores menores al 35% (percentil 2) se agruparon en una misma categoría que contiene los 24 datos que cumplieron con esta condición (Bob_edu40_r); mientras que para viv34_r los valores dentro del percentil 1 (19 observaciones, datos menores a 27.5%) se agruparon en una sola clasificación.

En la variable hogar2_r (porcentaje de hogares censales con persona de referencia mujer) se topó tanto en el límite inferior como en el superior. Todos los valores del percentil 1 se sustituyeron por 27.8% y todos los del percentil 99 por 51.3%, obteniendo así la variable BT_hogar2_r. El mismo procedimiento se aplicó a la variable hogar13_r (porcentaje de hogares censales con persona de referencia de 30 a 59 años), en este caso todos los valores del percentil 1 se sustituyeron por 41.8% y todos los del percentil 99 por 75.6%, obteniendo así la variable BT_hogar13_r.

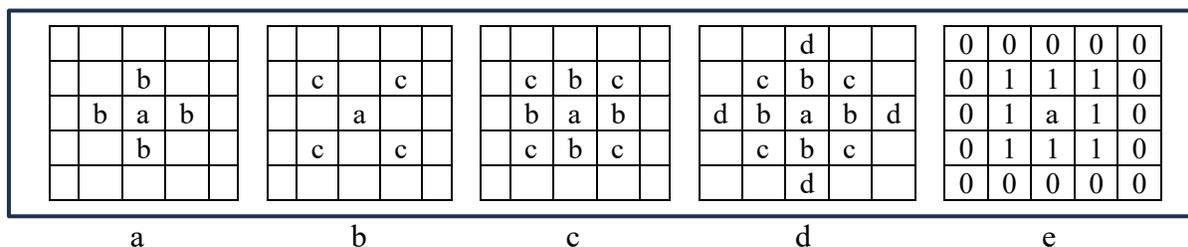
La variable fuga (cantidad de fugas de infraestructura de agua potable reportadas al año en la colonia) se transformó a una variable dicotómica (fugas), en donde se le asignó el valor de “0” si

en la colonia no se reportó ninguna fuga y de “1” en caso contrario. Finalmente, la variable *longinf_m* (longitud de la infraestructura de agua y drenaje secundaria en metros por colonia) se transformó en categórica (*C_longInfra*) en la que se agrupan las colonias en cuatro clases: “1” de 0 a 1,467.4 metros; “2” cuanto tenía más de 1467.4 y hasta 4,615.2; “3” más de 4, 615.2 y hasta 9,860.2; y “4” si era más de 9,860.2 metros.

3.5.2 Construcción del modelo de regresión de rezago espacial para el consumo de agua per cápita en las colonias de la CDMX

Las interacciones espaciales entre las unidades espaciales (las colonias de la CDMX) se pueden describir mediante una matriz de pesos geográficos que define quién es vecino de quién y en qué grado (con qué peso) se influyen entre sí. En la “matriz de contigüidad” si se presenta que las colonias vecinas comparten un borde en común se le asigna el nombre de matriz de torre (figura 3.5a); si se toma el vértice como borde en común, la matriz será de tipo alfil (figura 3.5b); y si se presenta la combinación de bordes y vértices dará una matriz de reina (figura 3.5c).

Figura 3.5. Distintas matrices de contigüidad



En la figura 3.5 d las unidades espaciales “b” y “c” son vecinos de primer orden respecto a la unidad “a”, mientras que las unidades “d” son de segundo orden (es decir, son los vecinos de los vecinos de “a”) y así sucesivamente es posible establecer distintos órdenes de contigüidad entre las colonias. Estas interacciones espaciales se representan con el valor de 1 si existe vecindad y con 0 en caso contrario (figura 3.5e).

El arreglo anterior de las unidades espaciales puede ser expresado en una “matriz de vecindad” que contiene la totalidad de las interacciones entre las colonias de la CDMX (cuadro 3.7). Como es una matriz cuadrada de $n \times n$, cada columna y cada fila representan a cada una de las colonias (en el mismo orden, de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, respectivamente). El cruce de

una colonia consigo misma se marca como cero, ya que una colonia no puede ser vecina de ella misma, lo que dará como resultado que la diagonal principal de la matriz sea de ceros.

Cuadro 3.7. Matriz de vecindad

$$\begin{bmatrix} Colonia_1 \\ Colonia_2 \\ \vdots \\ Colonia_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ \square & \square & \square & \square & \square \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Elaboración propia.

El siguiente paso es “normalizar” esta matriz, lo cual se consigue dividiendo cada valor (de las variables de las colonias en este caso) entre el total de bordes en común registrados en cada fila (el número de éstos cambiará dependiendo si se trabajan contigüidades de tipo torre, alfil o reina), de tal manera que en cada fila la suma de cada cociente será igual a uno (cuadro 3.8). Tener los valores normalizados servirá para calcular los valores promedios de los vecinos utilizando cualquier variable de interés.

Cuadro 3.8. Matriz de vecindad normalizada.

$$\begin{bmatrix} Colonia_1 \\ Colonia_2 \\ \vdots \\ Colonia_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1/1 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ \square & \square & \square & \square & \square \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 0 & 1/4 \end{bmatrix}$$

Elaboración propia.

La autocorrelación espacial se refiere a cuán similar es el valor de una variable entre los vecinos adyacentes. Una de las medidas de autocorrelación espacial más conocidas es la “I de Moran”, misma que se usó para identificar el grado de dependencia espacial entre el consumo de agua en las colonias y las distintas variables explicativas. Para calcular la I de Morán primero se obtuvieron las matrices de contigüidad de torre y de reina; para ambas matrices se utilizaron primero, segundo y la combinación de ambos órdenes. Las matrices de contigüidad que mostraron mejores resultados fueron las de reina y torre de primer orden (ver cuadro 3.9)⁶¹.

⁶¹ Al crear la matriz de pesos tanto de torre como de reina, en el programa Geoda se utilizó la opción “Precisión umbral” para acotar la distancia entre polígonos desconectados, así se corrigió la vecindad de 2 colonias; mientras que en las mismas matrices se corrigieron de forma manual las vecindades de las colonias con identificador 1276 (se le agregaron tres colonias vecinas: 1188, 1305 y 1530; a su vez y en reciprocidad, a cada una de éstas se les agregó la 1276 como vecina) y la colonia con identificador 851 (agregando tres vecinos también: 218, 927 y 963).

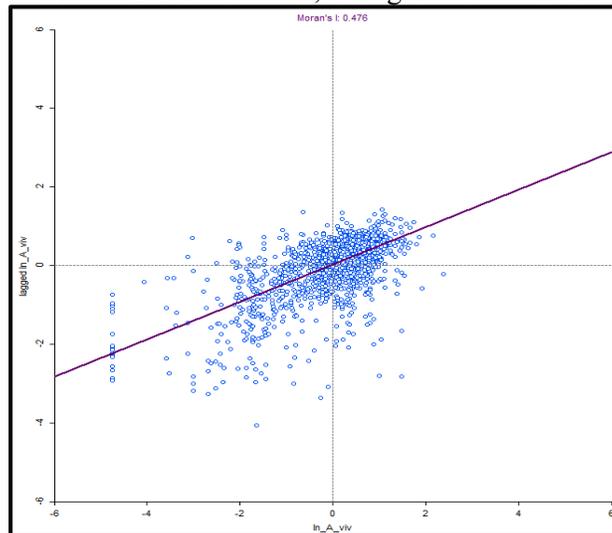
Cuadro 3.9. I de Morán para el logaritmo del consumo de agua.

I de Morán Univariante	
Contigüidad:	
Reina 1	0.476
Reina 2	0.357
Reina 1 y 2	0.392
Torre 1	0.476
Torre 2	0.357
Torre 1 y 2	0.392

Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

La I de Morán se calculó con la matriz de pesos (reina de primer orden en este caso). El valor distinto de cero (igual a 0.476) indica la existencia de correlación espacial entre los consumos de agua de las colonias; es decir, que las colonias con consumos altos de agua tienden a agruparse territorialmente junto a otras de consumos altos, mientras que las de bajo consumo tienden a localizarse también junto a otras de bajo consumo. Si se grafica la variable dependiente (logaritmo del consumo de agua por vivienda) con el retraso espacial⁶² de ésta misma variable obtenemos la gráfica 3.6, en ella se puede visualizar los consumos de agua de las colonias así como ubicarlas según su cuadrante de consumo.

Gráfica 3.6. I de Morán, contigüidad de reina 1.



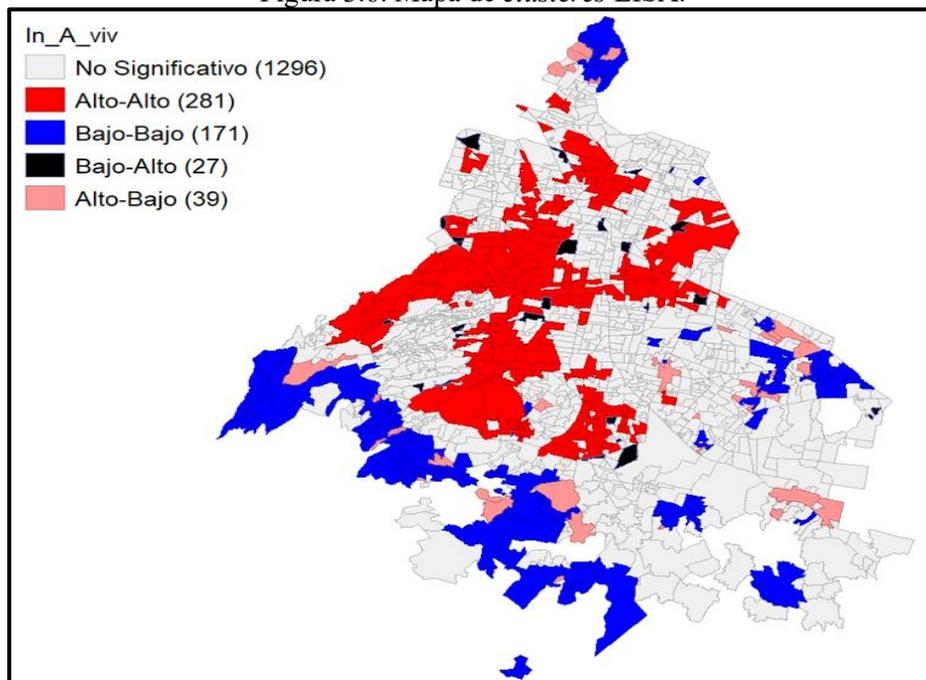
Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

⁶² El retraso espacial es un vector de la variable explicativa construida usando un promedio de valores de las regiones vecinas.

Si bien la I de Moran es útil para detectar la correlación espacial global, no muestra geográficamente dónde se agrupan o dispersan los grupos de bloques censales de alto o bajo gasto en agua. El análisis del Índice Local de Autocorrelación Espacial (LISA, por sus siglas en inglés) calcula un valor de autocorrelación espacial para cada unidad mostrando hasta qué punto una colonia tiene un consumo de agua parecido al de sus vecinos. Esto proporciona una evaluación de dónde ocurren interacciones inusuales, aislando puntos “calientes” (áreas de alta autocorrelación local) o puntos “fríos” (áreas de baja autocorrelación local) e identifica espacialmente mejor los bloques de colonias en función de sus similitudes o diferencias.

En el cuadrante 1 de la gráfica 3.6 se encuentran 997 colonias (53.9%) que presentan altos consumos de agua y que son vecinas de colonias con también altos consumos de agua (ver polígonos en rojo de la figura 3.6). En el cuadrante 2, se encuentran 231 colonias (12.5%) que presentan bajos consumos de agua pero cuyos vecinos tienen consumos mayores a los suyos (en negro). En el tercer cuadrante se localizan 412 colonias (22.3%) cuya característica es que tanto ellas como sus vecinas tienen bajos consumos de agua por vivienda (en azul); y finalmente, en el cuadrante número 4 se encuentran 210 colonias (11.4%) que presentan altos consumos de agua pero cuyas vecinas tienen bajos consumos (rosa).

Figura 3.6. Mapa de *clústeres* LISA.



Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

Al igual que en los casos anteriores, para realizar la regresión espacial se partió de la matriz de correlación entre la variable del consumo del agua de las colonias y las demás variables socioeconómicas. Con las variables que resultaron estadísticamente significativas se realizó un modelo de regresión lineal hacia adelante y hacia atrás para obtener las variables que a su vez sirvieron como punto de partida para elaborar el modelo de regresión espacial.

Para elegir las variables que conformaron el modelo de regresión espacial se consideraron también dos criterios: el estadístico y el teórico. Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre la variable imputada “Agua_pmm” que contiene los registros del consumo de agua de las 1,814 colonias de la CDMX y 69 variables socioeconómicas de las colonias para establecer cuáles podrían funcionar como punto de partida para construir el modelo de regresión espacial.

Usando el programa SPSS se realizó primero una regresión lineal utilizando la opción “Hacia Adelante” para encontrar el mejor modelo tanto en lo estadístico como en lo teórico (ver anexo 2). Respecto a la variable dependiente se consideró el consumo del agua en m³ por colonia (Agua_pmm), consumo de agua *per cápita* (consu_A_pc) y consumo de agua por vivienda a escala colonia (consu_A_vi), así como sus respectivas transformaciones logarítmicas, resultando ln_A_viv con las mejores propiedades estadísticas.

Se encontró que el mejor modelo fue aquel que consideró las siguientes variables independientes: fugas (variable dicotómica, captura la existencia o no de fugas en la tubería de agua en la colonia), C_longInfr (variable categórica, mide la longitud de la infraestructura de agua y drenaje secundaria en metros), Bob_edu40_ (porcentaje de población de 15 años y más con educación posbásica), BT_hogar2_ (porcentaje de hogares censales con persona de referencia mujer), BT_hogar13 (porcentaje de hogares censales con persona de referencia de 30 a 59 años), Top_viv14_ (porcentaje de viviendas particulares habitadas con más de 3 ocupantes por cuarto), Bob_viv34_ (porcentaje de viviendas habitadas que disponen de computadora, laptop o tablet) y ln_viv91_r (logaritmo natural del porcentaje de viviendas habitadas que disponen de cisterna o aljibe).

Por la I de Morán sabemos que existe autocorrelación espacial de la variable dependiente, sin embargo, para determinar qué tipo de modelo de regresión espacial aplicar (de rezago espacial o de error espacial) se aplicó un diagnóstico de dependencia espacial para la matriz de peso reina de primer orden, mismo que arrojó los resultados presentados en el cuadro 3.10.

Cuadro 3.10 Diagnóstico de dependencia espacial

Matriz de peso: 17.Reina_1			
(pesos estandarizados por filas)			
Prueba:	MI/DF	VALOR	PROB
Moran's I (error)	0.2780	19.4217	0.00000
Lagrange Multiplier (lag)	1	426.0229	0.00000
Robust LM (lag)	1	60.7312	0.00000
Lagrange Multiplier (error)	1	365.3050	0.00000
Robust LM (error)	1	0.0133	0.90816
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	426.0362	0.00000

Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

La robustes del error LM no es estadísticamente significativa ($0.90816 > .05$), mientras que la del rezago LM sí lo es ($0.00000 < 0.05$); además de esto, el valor del primero es menor al del segundo (0.0133 vs 60.7312) por lo que ambos valores estadísticos indican que es más adecuado aplicar el modelo de rezago espacial. Determinado lo anterior, se estimaron los estadísticos generales de dicho modelo encontrando los siguientes valores:

Cuadro 3.11 Resumen del modelo de regresión, OLS.

R-squared:	0.422347	Lag coeff. (Rho):	0.505851
Sq. Correlation:	-	Log likelihood:	-3741.96
Sigma-square:	3.45279	Akaike info criterion:	7503.91
S.E of regression:	1.85817	Schwarz criterion:	7558.94

Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

El valor de R^2 o Coeficiente de Determinación que aparece en el cuadro 3.11 es el porcentaje (42.2%) de la variación de la variable dependiente (logaritmo del consumo de agua por vivienda en las colonias de la CDMX) explicada por las variaciones de las variables independientes⁶³: fugas⁶⁴, C_longInfr⁶⁵, Bob_edu40⁶⁶, BT_hogar2⁶⁷, BT_hogar13⁶⁸, Top_viv14⁶⁹,

⁶³ Cabe mencionar que en el modelo de regresión espacial para determinar el consumo de agua en los hogares de la CDMX creado por Medina et al. (2022), se encontró un R^2 de 0.57 utilizando las variables densidad de población, discontinuidad del suministro, abastecimiento del sistema Lerma-Cutzamala, índice de marginalidad y elevación del terreno.

⁶⁴ Variable dicotómica, captura la existencia o no de fugas en la tubería de agua en la colonia.

⁶⁵ Variable categórica, mide la longitud de la infraestructura de agua y drenaje secundaria en metros.

⁶⁶ Porcentaje de población de 15 años y más con educación posbásica.

⁶⁷ Porcentaje de hogares censales con persona de referencia mujer.

⁶⁸ Porcentaje de hogares censales con persona de referencia de 30 a 59 años.

⁶⁹ Porcentaje de viviendas particulares habitadas con más de 3 ocupantes por cuarto.

Bob_viv34_⁷⁰ y ln_viv91_r⁷¹. Tanto el criterio de Akaike como el de Schwarz se utilizan para comparar distintos modelos, al no ser el caso en este ejercicio, no se considera relevante su interpretación.

El coeficiente de rezago (Rho) del modelo es distinto de cero (0.50), lo que indica la existencia de autocorrelación entre los errores del modelo de regresión por lo que el espacio sí funciona para explicar el efecto de “contagio” de las variables del territorio y, por lo tanto, es adecuado utilizar un modelo de regresión espacial. Por su parte, la prueba de razón de verosimilitud (ver cuadro 3.12) tiene un valor de probabilidad <0.05%, por lo que se puede aceptar la existencia de un efecto de “contagio” espacial entre las variables.

Cuadro 3.12. Diagnóstico de dependencia espacial.

Dependencia del retraso espacial para la matriz de peso: 17.reina_1			
Prueba:	DF	VALOR	PROB
Likelihood Ratio Test	1	332.8186	0.00000

Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

Encontramos que en general, el modelo propuesto presenta buenas bondades estadísticas, por lo que a continuación analizamos los valores de los coeficientes obtenidos.

3.5.3 Interpretación de los coeficientes del modelo de rezago espacial

El modelo de regresión de rezago espacial arrojó los siguientes coeficientes para cada una de las variables independientes (cuadro 3.13); cabe mencionar que aunque las variables fugas, Bob_edu40, BT_hogar2_ y Bob_viv34 no son estadísticamente significativas, se decidió mantenerlas en el modelo debido a su relevancia teórica para explicar el consumo del agua.

Cuadro 3.13. Coeficientes del modelo de rezago espacial.

Variable	Coefficiente	Error estándar	Valor z	Probabilidad
W ln A viv	0.505851	0.0264254	19.14260	0.00000
CONSTANT	1.28128	0.757053	1.69245	0.09056
fugas	-0.179678	0.109774	-1.63679	0.10167
C longInfr	0.158863	0.0411485	3.86072	0.00011
Bob_edu40	0.0137945	0.010843	1.27221	0.20330
BT hogar2	0.0172059	0.0103899	1.65602	0.09772

⁷⁰ Porcentaje de viviendas habitadas que disponen de computadora, laptop o tablet.

⁷¹ Logaritmo natural del porcentaje de viviendas habitadas que disponen de cisterna o aljibe.

BT_hogar13	-0.0232014	0.00742296	-3.12563	0.00177
Top_viv14	-0.068762	0.0271594	-2.53179	0.01135
Bob_viv34	0.0128432	0.00939226	1.36743	0.17149
ln_viv91_r	-0.166952	0.06484	-2.57483	0.01003

Elaboración propia con datos del MOHOMA (2017) y del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (2022).

Dados los anteriores resultados, el modelo de rezago espacial que explica el consumo de agua por vivienda de las colonias de la CDMX se puede expresar como:

$$\ln_A_viv = 1.28128 - 0.18fugas + 0.16C_longInfr + 0.14 Bob_edu40 + 0.17 BT_hogar2 - 0.23BT_hogar13 - 0.69Top_viv14 + 0.13Bob_viv34 - 0.17ln_viv91_r$$

La interpretación de dicha ecuación es la siguiente:

- Fugas: Según el modelo, se presenta una relación negativa o inversa entre la existencia de fugas en la tubería de agua potable y el consumo de agua en las colonias. Así, ante la presencia de una fuga en la red pública de la colonia en cuestión, el consumo de agua en las viviendas disminuirá 18.0%.
- C_longInfr: El signo del coeficiente indica la existencia de una relación positiva entre el consumo de agua en las viviendas de las colonias y los metros de infraestructura de agua y drenaje secundaria; por cada metro adicional de infraestructura en las colonias, el consumo de agua se incrementará 16%.
- Bob_edu40: Se encontró también una relación positiva entre la población de 15 años y más con educación posbásica y el consumo de agua en las colonias; por cada 1% que se incremente la población en cuestión, el consumo de agua en las viviendas de las colonias se incrementará 1.4%.
- BT_hogar2_: Establece una relación positiva entre los hogares en los que la persona de referencia es mujer y el consumo de agua en las colonias; por cada 1% que se incrementa la jefatura de las mujeres, el consumo de agua en las viviendas de las colonias se incrementa 1.7%.
- BT_hogar13: Indica que entre los hogares en los que la persona de referencia tiene de 30 a 59 años y el consumo de agua en las colonias hay una relación negativa; por cada 1% en que se incrementan los hogares con jefatura en este rango de edad, el consumo de agua en las viviendas de las colonias disminuirá 2.3%.

- Top_viv14_ : Presenta también una relación negativa entre las viviendas particulares habitadas con más de 3 ocupantes por cuarto y el consumo de agua en las colonias; por cada 1% que se incrementan las viviendas con hacinamiento, el consumo de agua en las viviendas de las colonias disminuirá 6.9%. El hacinamiento está relacionado con mayor pobreza y ésta con menores grados de consumo de distintos bienes y servicios, entre ellos el agua.
- Bob_viv34: Muestra una relación positiva entre las viviendas particulares habitadas que disponen de computadora, laptop o tablet y el consumo de agua en las colonias; por cada 1% en que se incrementan las viviendas que poseen este tipo de dispositivos, el consumo de agua en las colonias se incrementará 1.3%.
- In_viv91_r: Indica la existencia de una relación negativa entre las viviendas que disponen de cisterna o aljibe y el consumo de agua en las colonias; por cada 1% en que se incrementan las viviendas con este tipo de infraestructura, el consumo del agua en las colonias disminuirá 17%.

De acuerdo con su importancia para explicar el consumo del agua en las colonias de la CDMX podemos agrupar en tres las variables independientes: el primero relacionado con la infraestructura física que dota de agua a las colonias, en este grupo se encuentra la variable fugas (con 18.0%) y metros de tubería (con 15.9%); según algunos cálculos, se estima que hasta el 40% del agua potable de la ciudad se pierde en fugas (SACMEX, 2019), lo que explicaría la importancia y el valor tan alto de la primer variable.

En segundo orden de importancia siguen las variables relacionadas con las características de la vivienda como contar o no con cisterna (puede influir hasta en 16.7% el consumo de agua), estar en situación de hacinamiento (6.9%) y el contar con computadoras (1.3%); estas tres variables se pueden considerar aproximaciones indirectas al ingreso de las familias, y como se sabe, a mayor ingreso mayor consumo de bienes y servicios (entre ellos el agua) ya sea de forma directa o mediante el uso de artículos de lujo que consumen mayor cantidad.

Llama la atención el efecto negativo que tiene en el consumo el contar con una cisterna; una explicación de esta relación puede ser que las viviendas que cuentan con una cisterna es porque tienen el poder adquisitivo para construirla (ingreso medio o alto), pero no reciben la dotación adecuada de agua por parte del organismo operador o que reciben tan poco volumen que dependen de otra fuente para abastecerse de agua, tales como las pipas o pozos, lo que explicaría

su bajo consumo de la red pública. Otra posible explicación es que al poder almacenar agua por periodos de tiempo relativamente mayores que los que lo hacen en tinacos o pilas de agua, pueden ajustar su consumo en el tiempo, lo que se refleja en un bajo consumo de la red pública.

Las características demográficas de las personas que conforman los hogares presentaron los porcentajes explicativos más bajos en el consumo del agua de las colonias siendo la edad la más importante de este bloque con 2.3%. En una edad de entre 30 y 59 años es cuando las personas se encuentran en su etapa laboralmente productiva, por lo que realizan la mayoría de sus actividades y gastan gran parte de su tiempo fuera de sus viviendas, lo que disminuye el consumo de agua doméstico.

El porcentaje positivo en caso de que la jefatura del hogar recaiga en una mujer (2.7%) está asociada al hecho a que tradicionalmente ellas realizan la mayoría de las tareas domésticas (como limpieza y cocina), lo que tiende a incrementar su consumo de agua.

Finalmente, para el caso de la CDMX, se encontró que la educación posbásica (1.4%) tiene un efecto más hacia el incremento del consumo del agua mediante un mayor ingreso derivado de mejores puestos laborales alcanzados con estos estudios, que una disminución en el consumo como resultado de una mayor educación y conciencia ambiental del cuidado del agua.

3.6 Conclusiones

En el presente capítulo se realizó un análisis del consumo de agua en las colonias de la Ciudad de México. Dada la falta de una base de datos por parte del organismo operador, se realizó una imputación de datos para obtener los faltantes. Con los datos estimados fue posible establecer que el 66.3% de la población en la CDMX consume una cantidad de agua menor que la considerada como óptima por la OMS (100 litros diarios *per cápita*), mientras que el 33.7% restante presentó consumos categorizados como suntuarios (más de 100 lapcd). Lo anterior se confirmó al obtener el índice de Gini para el consumo de agua en la ciudad el cual se estimó en 0.64, que equivale a una “desigualdad alta” y que es mayor aún que el calculado para el consumo nacional (IG = 0.47).

Se encontraron cuatro agrupamientos de acuerdo con el consumo de agua de las colonias y sus vecinas: alto-alto, mismas que se concentran principalmente al noroeste de la ciudad; bajo-bajo,

situadas mayoritariamente al oeste; bajo-alto, ligeramente cargadas hacia el oeste y al norte; y finalmente alto-bajo al suroeste y sureste de la ciudad. Por la clara agrupación de las colonias, los dos primeros clúster de consumo son los más importantes.

Cabe mencionar que muchas de las colonias marcadas con consumos altos se encuentran en la misma zona geográfica que Medina et al.,(2022) identificaron como áreas suministradas por el Sistema Cutzamala; según estos autores, la proximidad de las colonias con la fuente es también un factor explicativo del alto consumo.

Respecto a las variables explicativas del consumo de agua en las viviendas, se encontró que contar con cisterna o tanque de almacenamiento de agua, que el jefe de hogar sea una persona de 30 a 59 años, que se presente hacinamiento (más de 3 ocupantes por cuarto en la casa) o que haya fugas en la tubería de agua de la colonia, inciden negativamente en su consumo de agua. En las tres últimas variables este cambio es más que proporcional a la unidad, es decir, son elásticas; siendo la última la que mayor efecto neto presenta de todas las variables analizadas (-18%).

Por el contrario, cuando en las colonias de la CDMX es mayor el porcentaje de viviendas que disponen de computadora, laptop o tablet, tienen educación posbásica, la persona de referencia (jefa de hogar) es mujer o existe mayor longitud de infraestructura para agua y drenaje en la colonia, se presentarán también consumos de agua mayores. Aunque en las tres primeras variables mencionadas el cambio porcentual es ligeramente mayor a 1 (se podrían considerar unitarias), en la última el cambio es notoriamente mayor (16%).

Finalmente, se recalca que en el presente trabajo más que analizar el caso específico de alguna colonia, se buscó más bien encontrar patrones generales del consumo del agua en la CDMX, habría que tener datos del consumo a escala AGEb para estudiar las disparidades dentro de las colonias, pues se presume que hogares con consumos atípicamente bajos o altos pueden cubrir las diferencias de consumos entre viviendas pertenecientes a la misma colonia pero a distinto estrato socioeconómico; hipótesis que con la información disponible por ahora no es posible probar.

CONCLUSIONES GENERALES

En el presente trabajo se abordó el consumo de agua en los hogares respondiendo los siguientes cuestionamientos: 1. ¿Cuánta agua consumen los hogares urbanos del país y qué tan desigual es este consumo?; 2. ¿Qué tipo de prácticas económicas, ambientales o de sensibilización ambiental son llevadas a cabo por los hogares que contribuyen más al ahorro del agua? y 3. ¿Cuáles son los determinantes socioeconómicos del consumo de agua doméstico en los vecindarios de la Ciudad de México?, ¿Cómo son los patrones espaciales de inequidad en este consumo?

Los hallazgos más relevantes son los siguientes: El consumo promedio de agua por hogar a escala nacional es de 16.2 m³ mensuales o 4.5 m³ *per cápita* al mes (lo que equivale a un gasto de 180.3 pesos para ese mismo periodo); mientras que el consumo para la CDMX es de 132 litros *per cápita* o 3.9 m³ mensuales. Ambos valores se encuentran por encima del consumo óptimo recomendado por la OMS (que es de 3m³ mensuales). En el caso de la CDMX se encontró que el 66.3% de la población consume menos de lo óptimo recomendado (100 litros diarios *per cápita*), mientras que el 33.7% restante consume más de esta cantidad.

La desigualdad en el consumo de agua a escala nacional (medida por el índice de Gini) es de 0.47 lo que se traduce como una “desigualdad relativa” mientras que en la CDMX es de 0.64 lo que equivale a una “desigualdad alta”; valores lejanos a las situación ideal de consumo declaradas en la Constitución Política del país, las establecidas en los Objetivos para el Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, en paradigmas emergentes como el de la Seguridad Hídrica o la Nueva Cultura del Agua.

Dados los hallazgos anteriores, podemos afirmar que la escasez de agua tanto a escala nacional como para el caso de la CDMX es más un asunto de una distribución inequitativa y no de disponibilidad del recurso, puesto que algunas personas reciben más que otras. Lo anterior se confirmó cuando se compararon los índices de desigualdad entre los deciles más altos (para el caso nacional) y los bajos o el índice de desarrollo social (para el caso de la CDMX) con su respectivo consumo de agua, en ambos casos se encontró una relación positiva.

Otro hallazgo fue que entre los estratos más bajos de consumidores existe una mayor desigualdad al interior de estos grupos mientras que entre los consumidores más altos de agua existe una mayor homogeneidad en su consumo de agua. La escala de validez del MOHOMA (nacional) no permitió realizar un análisis a escala regional o por ciudades, ni los datos de

consumo por colonia proporcionados por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México permitió realizar al análisis a escalas más pequeñas.

Sin embargo, se pudo constatar que las disparidades entre los diferentes estratos pueden ser explicadas por algunas variables socioeconómicas relacionadas con la pertenencia a estratos socioeconómicos bajos, que se caracterizan por bajos niveles de educación, poca cantidad de cuartos o dotación de agua muy espaciada en la vivienda.

Por otro lado, y de acuerdo a la sensibilización ambiental, incentivos económicos, mecanismos físicos o prácticas llevadas a cabo en los hogares para ahorrar agua, éstos se pueden agrupar en cuatro grupos: cornucopianos (representan 14.4% del total; ponen énfasis solo en variables relacionadas con la dimensión económica y la ambiental); “ahorradores” (representan 17.1%; toman variables de la dimensión económica y prácticas); los de intereses “equilibrados” (representan 38.1%; presentan interés en variables relacionadas con la dimensión ambiental, económica y de prácticas de ahorro de agua en su vivienda) y los que denominamos como “eclécticos” (representan 30.3%; quienes llevan a cabo variables relacionadas con la dimensión económica, ambiental, prácticas y mecanismos para ahorrar agua en sus viviendas). Cabe mencionar también que los incentivos económicos fueron de gran importancia para los cuatro grupos de hogares.

En el caso de la Ciudad de México se encontró también que el consumo de agua está influido por la localización de las colonias en el territorio. Se realizaron cuatro agrupamientos de colonias de acuerdo con su consumo de agua y al consumo de sus colonias vecinas, los dos más importantes fueron: alto-alto (que se encuentran principalmente al noroeste de la CDMX) y bajo-bajo (situadas mayoritariamente al oeste de la ciudad). Existe una alta correspondencia entre el índice de desarrollo social de las colonias y el nivel de consumo de agua *per cápita* lo que permite concluir que hay una alta correlación entre estas dos variables, reafirmando así la relación entre agua y desarrollo humano.

Adicionalmente, los resultados muestran que las variables explicativas que inciden positivamente en el consumo del agua en las viviendas de las colonias de la CDMX son los metros de infraestructura de agua y drenaje secundaria en la colonia, la población de 15 años y más con educación posbásica, persona de referencia mujer, afiliada a servicios de salud y disponer de computadora, laptop o tablet.

Las variables que tienen una incidencia negativa en el consumo de agua en las viviendas son la existencia de fugas en la tubería de agua potable que abastece de agua a las colonias, que la persona de referencia tenga entre 30 y 59 años, que la vivienda tenga más de 3 ocupantes por cuarto y/o que disponga de cisterna o aljibe.

Dado el porcentaje de datos faltantes sobre el consumo del agua, tanto en el capítulo uno como en el tres se aplicaron modelos de imputación a fin de completarlos, la utilización de este tipo de modelos no se había encontrado en la literatura revisada, al menos no para estimar datos faltantes en el consumo del agua. Así también, y a falta de un organismo que proporcione datos sobre el consumo de agua se utilizó tanto la encuesta MOHOMA y el Censo de Población y Vivienda 2020 como una fuente para estimar el consumo nacional; en ese sentido tanto el uso de las fuentes como la metodología aplicada en esta tesis se puede considerar un aporte a la literatura.

La presente investigación de tesis abordó solo una pequeña parte de la problemática asociada al consumo del agua en el país, a saber, la medición de las desigualdades sociales en el consumo del agua de y los tipos de cuidados que hacen de ella los hogares urbanos, pero el tema es mucho más complejo. Hace falta analizar la perspectiva legal, social, de gobernanza, cualitativa, a escala macro y microcuenca, sobre la calidad del agua, del mercado negro y los efectos del cambio climático, por mencionar solo algunas.

El panorama sobre la disponibilidad de agua en el país para los próximos años no es nada halagüeño, cada vez más recurrentes las crisis hídricas y las desigualdades en el consumo del agua en la sociedad. Por ello urge disponer de datos que permitirán analizar y tomar decisiones con mayor certeza sobre el consumo de agua en el país, en especial en la zonas urbanas, para proponer así mejores políticas públicas encaminadas a disminuir las desigualdades sociales de México.

Lista de referencias

- Addo, I. B., Thoms, M. C., & Parsons, M. (2018). Barriers and drivers of household water-conservation behavior: A profiling approach. *Water*, *10*(12), 1794. <https://doi.org/10.3390/w10121794>
- Aguilar, I. B. (2020). Análisis de eficiencia en los servicios del agua en México con datos de los Censos Económicos. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, *11*(3), 150–169.
- Alfaro, R., & Fuenzalida, M. (2009). Imputación Múltiple en Encuestas Microeconómicas. *Cuadernos de Economía*, *46*(134), 273–288.
- Anselin, L., Lozano-Gracia, N., Deichmann, U., & Lall, S. (2008). *Valuing access to water-a spatial hedonic approach applied to Indian cities* (WPS4533). The World Bank.
- Arias, F. (2005). El estudio de la desigualdad urbana. *Urbano*, *8*(11), 77–83.
- Asamblea Legislativa del Distrito Federal. (2003). *Ley de Aguas del Distrito Federal*. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Asamblea Legislativa del Distrito Federal. (2019). *Código Fiscal de la Ciudad de México*. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Babuna, P., Yang, X., & Bian, D. (2020). Water use inequality and efficiency assessments in the Yangtze River Economic Delta of China. *Water*, *12*(6), 1709. <https://doi.org/10.3390/w12061709>
- Badler, C., Alsina, S., Puigsubirá, C., & Vitelleschi, M. (2004). Tratamiento de bases de datos con información faltante según análisis de las pérdidas con SPSS. *Novenas Jornadas “Investigaciones En La Facultad” de Ciencias Económicas y Estadística*.
- Bonnette, M. R. L. (2017). *The Effects of Scale Variation on Single-Family Residential Water Use in Portland, OR*. Portland State University.
- Bosch, C., Hommann, K., Sadoff, C., & Travers, L. (1999). Agua, saneamiento y la pobreza. *Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud*, 1–44.
- Brown, S., & Roa, G. M. C. (2016). Equidad y sostenibilidad en la asignación de concesiones de agua en Colombia. *Gestión y Ambiente*, *19*(2), 332–355.
- Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión. (1917). *Constitucion Politica de los Estados Unidos Mexicano* (pp. 1–314). Diario Oficial de la Federación. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_090819.pdf

- Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión. (1992). *Ley de Aguas Nacionales*. Diario Oficial de la Federación.
- Carragher, B. J., Stewart, R. A., & Beal, C. D. (2012). Quantifying the influence of residential water appliance efficiency on average day diurnal demand patterns at an end use level: A precursor to optimised water service infrastructure planning. *Resources, Conservation and Recycling*, 62, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.02.008>
- Castaño, R. M., & Ramírez, T. G. (2017). *Distribución desigual y posibilidades de acceso a agua segura para procesos productivos del sector agropecuario en Colombia*. Universidad de La Salle.
- Castro, G., & Sisto, N. (2015). Precio y manejo del agua urbana en México. *Nóesis: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 24(47), 223–244.
- Chancel, L., Piketty, T., Saez, E., & Zucman, G. (2021). *World Inequality Report 2022*.
- Chang, H., Parandvash, G. H., & Shandas, V. (2010). Spatial variations of single-family residential water consumption in Portland, Oregon. *Urban Geography*, 31(7), 953–972. <https://doi.org/10.2747/0272-3638.31.7.953>
- Cole, M. J., Bailey, R. M., Cullis, J. D. S., & New, M. G. (2017). Spatial inequality in water access and water use in South Africa. *Water Policy*, 1–16. <https://doi.org/10.2166/wp.2017.111>
- Comisión Nacional del Agua. (2017). *Tarifas de agua potable y saneamiento para uso doméstico tipo residencial (2017)*.
- Comisión Nacional del Agua. (2022). *Estadísticas del Agua en México 2021*.
- CONAPO. (2019). *La situación demográfica en México*.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2014). *Evolución y determinantes de la pobreza de las principales ciudades en México, 1990-2010*. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Corbella, H. M., & Pujol, D. S. (2009). What lies behind domestic water use?: a review essay on the drivers of domestic water consumption. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 50, 297–314.
- Correa, G. (2017). Acceso al agua, pobreza y desarrollo en Colombia. *Revista de La Universidad de La Salle*, 2017(72), 27–46.
- Correa, G., & Muñoz, A. (2015). Agua, pobreza y equidad: un análisis asimétrico. *Revista Latinoamericana de Bioética*, 15(1), 90–99.

- Correa, J., Vergara, J., & Aguirre, C. (2020). Privatización y desigualdad del agua: Coeficiente de Gini para los recursos hídricos en Chile. *Water*, 12(3369), 13.
- Correa, P. J., Vergara, P. J. F., & Aguirre, N. C. (2020). Water privatization and inequality: Gini coefficient for water resources in Chile. *Water*, 12(3369), 13. <https://doi.org/10.3390/w12123369>
- Cullis, J., & van Koppen, B. (2007). *Applying the Gini Coefficient to measure inequality of water use in the Olifants River Water Management Area, South Africa*. IWMI Research Report 113.
- de Maria, A., & Carvalho, J. R. (2013). Spatial determinants of urban residential water demand in Fortaleza, Brazil. *Water Resources Management*, 28(9), 2401–2414.
- Duque, J. C., Gutiérrez, D., Betancourt, A., & Patiño, J. (2013). Análisis de la distribución espacial de la reducción en la demanda de agua potable como efecto de políticas de ahorro en su consumo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. *Center for Research in Economics and Finance (CIEF), Working Papers*, 13–22.
- Durán, G. (2015). Agua y pobreza en Santiago de Chile: Morfología de la inequidad en la distribución del consumo domiciliario de agua potable. *EURE*, 41(124), 225–246.
- Elinder, M., Hu, X., & Liang, C.-Y. (2021). Water conservation and the common pool problem: Can pricing address free-riding in residential hot water consumption? *Center for Environmental and Resource Economics, CERES*, 12, 1–24.
- Fernández, A., & Costa, M. (1998). Descomposición de los índices de Gini y entropía generalizada: desigualdad y nivel de estudios en España e Italia (1991). *Estadística Española*, 40(143), 233–256.
- Fernández, J. S., Maldonado, J. S., & Luque, J. M. (2008). Descomposición multidimensional del índice de Gini: una perspectiva de la desigualdad territorial del consumo de bienes y servicios socio culturales. *XV Encuentro de Economía Pública: Políticas Públicas y Migración*, 22.
- Fielding, K. S., Russell, S., Spinks, A., & Mankad, A. (2012). Determinants of household water conservation: The role of demographic, infrastructure, behavior, and psychosocial variables. *Water Resources Research*, 48. <https://doi.org/10.1029/2012WR012398>
- Figueroa, J. L., Rodríguez, A., Cole, F., Mundo, V., Muñoz, A., Figueroa, J. C., Boudart, Z., Téllez, M. M., Bautista, S. A., Sánchez, B., & Roberts, E. (2023). ¿ Agua para todos? La intermitencia en el suministro de agua en los hogares en México. *Salud Pública de México*, 65, s181–s188. <https://doi.org/10.21149/14783>
- Foladori, G. (2005). Una tipología del pensamiento ambientalista. *Sustentabilidad*, 1976, 81–128. http://ojs.reduaz.mx/coleccion_desarrollo_migracion/sustentabilidad/Sustentabilidad6.pdf

- Fraga, C. A. (2021). Agua en la ciudad de México: diseconomías de escala y tecnologías intermedias. *Perfiles Latinoamericanos*, 29(58). <https://doi.org/10.18504/pl2958-006-2021>
- Frausto, O. J. (2015). Gestión y cultura del agua en Nuevo Laredo, Tamaulipas. *Frontera Norte*, 27(53), 89–114.
- Galindo, L. M., & Montesillo, J. L. (1999). La demanda de agua potable en México: estimaciones preliminares. *Investigación Económica*, 59(227), 27–43.
- Garcia, J., Salfer, L. R., Kalbusch, A., & Henning, E. (2019). Identifying the Drivers of Water Consumption in Single-Family Households in Joinville, Southern Brazil. *Water*, 11(10), 1–17. <https://doi.org/10.3390/w11101990>
- García, M. (2022, November). *El círculo sin fin del consumo de refresco: un mexicano toma en promedio 150 litros al año*. <https://www.infobae.com/america/mexico/2022/11/24/el-circulo-sin-fin-del-consumo-de-refresco-un-mexicano-toma-en-promedio-150-litros-al-ano/>
- Gil, M. E. O. (2011). Demanda de agua en hogares urbanos y cambios tarifarios en Bogotá. *Finanzas y Política Económica*, 3(1), 71–90.
- Goette, L., Leong, C., & Qian, N. (2019). Motivating household water conservation: A field experiment in Singapore. *Plos One*, 14(3), e0211891.
- Gómez, J. (2020). *Consumo y comportamiento proambientales de agua en la ciudad de México: un análisis probabilístico* [Tesis de licenciatura]. El Colegio de México.
- González, F. V., Aguirre, R. D., & Lartigue, C. (2016). Percepciones, actitudes y conductas respecto al servicio de agua potable en la Ciudad de México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(6), 41–56.
- González, I. E. (2019). *Ver para creer: el impacto de fenómenos naturales en las decisiones proambientales*. Centro de Investigación y Docencia Económica.
- González, M. E. Á., & Arzaluz, M. del S. S. (2011). El Programa de Cultura del Agua en el noreste de México: ¿Concepto utilitario, herramienta sustentable o requisito administrativo? *Región y Sociedad*, 23(51), 123–160.
- Howard, G., & Bartram, J. (2003). *Domestic water quantity, service level and health*. World Health Organization.
- Howard, G., Bartram, J., Williams, A., Overbo, A., Fuente, D., & Geere, J.-A. (2020). *Domestic water quantity, service level and health*.

- Inam, M., Nemati, M., & Buck, S. C. (2023). Heterogeneous effects of housing lot size composition on water consumption: Evidence from water agencies in California. *Research in Agricultural and Applied Economics*.
- INEGI. (n.d.). *Población. Rural y urbana*. Retrieved December 3, 2021, from http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P
- INEGI. (2010). *Población rural y urbana*. http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P
- INEGI. (2017). *Encuesta Nacional de los Hogares. Principales Resultados 2017*. INEGI.
- INEGI. (2018a). *Encuesta Nacional de los Hogares 2017. Diseño muestral* (p. 16). INEGI.
- INEGI. (2018b). *Encuesta Nacional de los Hogares 2017. Tabulado de datos*. INEGI.
- INEGI. (2018c). *Módulo de hogares y medio ambiente 2017 (MOHOMA). Descriptor de archivos*. INEGI.
- INEGI. (2018d). *Módulo de hogares y medio ambiente (MOHOMA). Documento metodológico*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2018e). *Módulo de hogares y medio ambiente (MOHOMA). Tabulados básicos*. INEGI.
- INEGI. (2019). *Censos Económicos 2019*. INEGI.
- INEGI. (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020*.
- International Water Association. (2016). *International Statistics for Water Services*. <http://waterstatistics.iwa-network.org/graph/19>
- Jaramillo-Mosqueira, L. A. (2005). Evaluación econométrica de la demanda de agua de uso residencial en México. *El Trimestre Económico*, 72(286(2)), 367–390.
- Juárez, B. D. (2020). *Conciencia ambiental y vulnerabilidad percibida: entendiendo el consumo eléctrico de los hogares*. Centro de Investigación y Docencia Económica.
- Kadkhodaei, M., Jaefarzadeh, M. R., & Abbasi, A. (2021). Ranking of cultural methods for optimal domestic water consumption in metropolitan cities Using the Integrated Grey-AHP and Grey-TOPSIS Model. *Journal of Water and Wastewater*, 32(1), 27–40. <https://doi.org/10.22093/wwj.2020.222682.2998>
- Koop, S. H. A., Van Dorssen, A. J., & Brouwer, S. (2019). Enhancing domestic water conservation behaviour: A review of empirical studies on influencing tactics. *Journal of Environmental Management*, 247, 867–876.

- Kristensen, P., Lallana, C., Fribourg-Blanc, B., & Mortensen, L. (2004). Household water use. Background paper for EEA report on household consumption and the environment. *Danish National Environmental Research Institute (NERI), European Topic Centre on Water, Roskilde.*
- Levin, T., & Muehleisen, R. (2016). Saving water through behavior changing technologies. *Pacific Grove, ACEEE American Council for an Energy-Efficient Economy*, 1–8.
- Liu, A., Giurco, D., & Mukheibir, P. (2016). Urban water conservation through customised water and end-use information. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 3164–3175. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.002>
- Liu, H., Zhao, Y., Li, H., Wang, L., & Wang, Q. (2020). Individual Water-Saving Response Based on Complex Adaptive System Theory: Case Study of Beijing City, China. *Water*, *12*(5), 1478. <https://doi.org/10.3390/w12051478>
- Lorenzen, J. A. (2014). Green consumption and social change: debates over responsibility, private action, and access. *Sociology Compass*, *8*(8), 1063–1081. <https://doi.org/10.1111/soc4.12198>
- Lucio, M., Giulia, R., & Lorenzo, C. (2018). Investigating attitudes towards water savings, price increases, and willingness to pay among Italian university students. *Water Resources Management*, *32*, 4123–4138. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2049-7>
- Makki, A. A., Stewart, R. A., Panuwatwanich, K., & Beal, C. (2013a). Revealing the determinants of shower water end use consumption: enabling better targeted urban water conservation strategies. *Journal of Cleaner Production*, *60*, 129–146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.007>
- Makki, A. A., Stewart, R. A., Panuwatwanich, K., & Beal, C. (2013b). Revealing the determinants of shower water end use consumption: enabling better targeted urban water conservation strategies. *Journal of Cleaner Production*, *60*, 129–146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.007>
- Malakar, K., Mishra, T., & Patwardhan, A. (2018). Inequality in water supply in India: An assessment using the Gini and Theil indices. *Environment, Development and Sustainability*, *20*, 841–864. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9913-0>
- March, H., Perarnau, J., & Saurí, D. (2012). Exploring the links between immigration, ageing and domestic water consumption: The case of the Metropolitan Area of Barcelona. *Regional Studies*, *46*(2), 229–244. <https://doi.org/10.1080/00343404.2010.487859>
- Martínez, L. L., & Martín, B. S. (1995). Por un enfoque de demanda en la gestión de agua. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, *III*(105), 509–513.
- Martínez, P. (2013). Los retos de la seguridad hídrica. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, *4*(5), 165–180.

- Medina, C. M., Rodríguez, L., Morales, J. A., & Revollo, D. A. (2022). Spatial inequality of domestic water consumption in Mexico city. *Water Resources and Economics*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2022.100210>
- Montero, D. (2020a). El abastecimiento de agua en Iztapalapa. Un análisis institucional. *Revista de Economía Institucional*, 22(43), 301–321. <https://doi.org/10.18601/01245996.v22n43.13>
- Montero, D. (2020b). El agua potable en México y el consumo de agua embotellada. In O. Monroy (Ed.), *Acciones metropolitanas para la gestión sustentable del agua* (pp. 179–194). Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior.
- Montero, D., & Hernández, J. (2024). Entorno institucional y mercado del agua embotellada en México en tiempos del Covid-19. *Agua y Territorio*, 23, 239–255. <https://doi.org/10.17561/at.23.6531>
- Morales, J., & Rodríguez, L. (2011a). The growth of water demand in Mexico City and the over-exploitation of its aquifers. In *Water resources in Mexico: scarcity, degradation, stress, conflicts, management, and policy* (pp. 395–406). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-05432-7_28
- Morales, J., & Rodríguez, L. (2011b). The growth of water demand in Mexico City and the over-exploitation of its aquifers. In *Water resources in México: scarcity, degradation, stress, conflicts, management, and policy* (pp. 395–406). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-05432-7_28
- Morales, J., Rodríguez, L., & Revollo, D. (2018). Inequality in access to drinking water and subsidies between low and high income households in Mexico City. *Water*, 10(1023), 1–16. <https://doi.org/10.3390/w10081023>
- Morales, M. D., & Gori, M. A. (2021). The Effect of Social Behavior on Residential Water Consumption. *Water*, 13(9), 1184. <https://doi.org/10.3390/w13091184>
- Ondé, P. D., & Alvarado, I. J. M. (2019). Análisis de clases latentes como técnica de identificación de tipologías. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 4(1), 251–260.
- ONU-Habitat - *Comprender las dimensiones del problema del agua*. (2024). ONU Habitat. https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?fb_comment_id=1919706488040991_2396617700349865
- Ortega, D. G., & Peña, A. G. (2016). Análisis crítico de las campañas de comunicación para fomentar la "cultura del agua" en México. *Nueva Época*, 26, 223–246.
- Pacheco, R. (2020). Agua embotellada en México, derecho humano al agua e inseguridad hídrica: desafíos de la gobernanza del agua en ciudades mexicanas. In O. Monroy (Ed.), *Acciones metropolitanas*

- para la gestión sustentable del agua* (pp. 149–165). Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior.
- Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes* (Vol. 24). McGraw-hill Madrid.
- Peña, J. (2012). Crisis del agua en Monterrey, Guadalajara, San Luis Potosí, León y la ciudad de México (1950-2010). In *México, DF: UNAM-Universidad Intercultural* (1st ed.).
- Pérez, M., & García, M. (2016). Efficient water-using technologies and habits: A disaggregated analysis in the water sector. *Ecological Economics*, *128*, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.04.011>
- Presidencia de la República. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. México.
- Rajapaksa, D., Gifford, R., Torgler, B., Garcia-Valiñas, M., Athukorala, W., Managi, S., & Wilson, C. (2019). Do monetary and non-monetary incentives influence environmental attitudes and behavior? Evidence from an experimental analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, *149*, 168–176.
- Ratnasiri, S., Wilson, C., Athukorala, W., Garcia, M. A., Torgler, B., & Gifford, R. (2018). Effectiveness of two pricing structures on urban water use and conservation: a quasi-experimental investigation. *Environmental Economics and Policy Studies*, *20*, 547–560. <https://doi.org/10.1007/s10018-017-0205-6>
- Revollo, D. F., Rodríguez, L. T., & Morales, J. N. (2019). Impacto de los subsidios al agua en los hogares pobres de la Ciudad de México. *Gestión y Política Pública*, *XXVIII*(1), 39–67.
- Revollo, D., & Rodríguez, L. (2021). Unequal Access to Water and Its Affordability for Households in Mexico. *Journal of Poverty*. <https://doi.org/10.1080/10875549.2021.1955807>
- Robles, A. I. M., & Maldonado, A. L. F. (2018). *The culture of water care and consumption habits in Querétaro*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Rodríguez, L. T., Revollo, D. F., & Morales, J. N. (2016). Disponibilidad a pagar de los hogares por mejoras en la calidad del agua suministrada en la Ciudad de México. *Revista de Economía*, *33*(87), 9–36.
- Rubin, D. B. (1996). Multiple Imputation after 18+ years. *Journal of the American Statistical Association*, *91*(434), 473–489. <https://doi.org/10.1080/01621459.1996.10476908>
- SACMEX, S. de A. de la C. de M. (2018). *Diagnóstico, logros y desafíos*.
- SACMEX, S. de A. de la C. de M. (2019). *Cumbre de Fondos de Agua*.

- Salazar, A. A., & Pineda, P. N. (2010). Factores que afectan la demanda de agua para uso doméstico en México. *Revista Region y Sociedad*, 22(49), 3.
- Schleich, J., & Hillenbrand, T. (2009). Determinants of residential water demand in Germany. *Ecological Economics*, 68(6), 1756–1769. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.11.012>
- Schreiner, B. (2015). Water pricing: the case of South Africa. In A. Dinar, V. Pochat, & J. Albiac (Eds.), *Water pricing experiences and innovations* (1st ed., pp. 289–311). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16465-6>
- Shandas, V., & Parandvash, G. H. (2010). Integrating urban form and demographics in water-demand management: an empirical case study of Portland, Oregon. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(1), 112–128. <https://doi.org/10.1068/b35036>
- Singha, B., & Eljamal, O. (2020). A review on water conservation and consumption behavior: Leading issues, promoting actions, and managing the policies. In *International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Science(IEICES)* (Vol. 6, pp. 171–178). Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University. <https://doi.org/10.5109/4102484>
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (2022). *Anexo SIP 090173522001679*.
- Sousa, C. O. M., & Dias, F. N. M. M. (2019). Economic incentives for water consumption reduction: case study of the city of São Paulo, Brazil. *Water Policy*, 21(6), 1266–1278.
- Sousa, C. O. M., Teixeira, L. V., & Fouto, N. M. M. D. (2022). Midterm impacts of a water drought experience: evaluation of consumption changes in São Paulo, Brazil. *Water Policy*, 24(1), 179–191. <https://doi.org/10.2166/wp.2021.120>
- StataCorp. (2021). *Stata Multiple-Imputation Reference Manual* (Issue 17). Stata Press Publication.
- Stavenhagen, M., Buurman, J., & Tortajada, C. (2018). *Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe*. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.03.008>
- Swyngedouw, E. (2004). *Social power and the urbanization of water: flows of power* (G. L. Clark, A. Goudie, & C. Peach, Eds.; First). Oxford University Press.
- Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234–240. <https://doi.org/10.2307/143141>
- Torres, J. M. R. (2016). *Informe de Evaluación Específica de Desempeño 2014-2015. Valoración de la información de desempeño presentada en el Programa de Cultura del Agua*.

- Torres, L. (2017). *La gestión del agua potable en la Ciudad de México: los retos hídricos de la CDMX: gobernanza y sustentabilidad*. Instituto Nacional de Administración Pública, AC.
- United Nations. (n.d.). *Objetivos de Desarrollo*. Retrieved February 21, 2022, from <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>
- United Nations. (2017). *Informe del Relator Especial sobre el derecho humano al agua potable y el saneamiento acerca de su misión a México* (p. 21). <https://doi.org/10.18268/bsgm1908v4n1x1>
- United Nations. (2019a). World population prospects 2019: Highlights. In *Department for Economic and Social Affairs: Vol. II*.
- United Nations. (2019b). World Urbanization Prospects 2018 Highlights. In *Department of Economic and Social Affairs*. United Nations.
- Useche, L., & Mesa, D. (2006). Una introducción a la imputación de valores perdidos. *Terra*, 22(31), 127–151.
- Vermunt, J. K., & Magidson, J. (2005). Technical guide for Latent GOLD 4.0: Basic and advanced. *Belmont Massachusetts: Statistical Innovations Inc.*
- Villar, R. H., Hernández, H. M., & Rico, A. A. (2020). ¿Recuperación económica o incremento de la desigualdad urbana? Tendencias de consumo y percepción del precio del agua en los hogares del litoral de Alicante. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 87, 1–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.21138/bage.2994>
- Wafula, P., & Ngigi, T. (2015). Gis based analysis of supply and forecasting piped water demand in Nairobi. *International Journal of Engineering Science Invention*, 4(2), 1–11.
- WHO. (2024). *Guidelines for drinking-water. Small water supplies quality*. World Health Organization.
- Willis, R. M., Stewart, R. A., Giurco, D. P., Talebpour, M. R., & Mousavinejad, A. (2013). End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production*, 60, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.006>
- Wolff, E. (2009). *Poverty and income distribution*. Wiley-Blackwell.
- Xue, P., Hong, T., Dong, B., & Mak, C. (2017). A preliminary investigation of water usage behavior in single-family homes. *Building Simulation*, 10, 949–962. <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0387-7>
- Yu, X., Ghasemizadeh, R., Padilla, I., Meeker, J. D., Cordero, J. F., & Alshawabkeh, A. (2015). Sociodemographic patterns of household water-use costs in Puerto Rico. *Science of the Total Environment*, 524, 300–309. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.043>

Zhao, Y., Bao, Y., & Lee, W. L. (2019). Barriers to Adoption of Water-Saving Habits in Residential Buildings in Hong Kong. *Sustainability*, *11*(7), 2036.

ANEXOS

Anexo 1. Concentrado de variables que explican el consumo de agua según diversas investigaciones.

Variable	Operacionalización	Autor
Habitaciones	Número de cuartos por vivienda	(de Maria & Carvalho, 2013)
Habitaciones	Número de cuartos por vivienda	(Duque et al., 2013)
Habitaciones	Número de cuartos por vivienda	(Yu et al., 2015)
Tamaño del edificio	m ²	(Chang et al., 2010)
Densidad de la construcción	Número de casas/acre	Chang, Parandvash (2010)
Personas	Número de personas	de Maria & Carvalho (2013)
Personas	Número de personas (prom. en el barrio)	Duque & Gutiérrez (2013)
Residentes	Número de personas/vivienda	(Garcia et al., 2019)
Residentes	Número de residentes en el hogar	Yu et al., (2015)
Tamaño familia	No. de integrantes en la familia	(Jaramillo-Mosqueira, 2005)
Ingreso	Promedio mensual de Reales por familia	de Maria & Carvalho (2013)
Ingreso del hogar	Los hogares se dividieron en tres categorías según los ingresos familiares semanales.	(Willis et al., 2013)
Desempleo	% de individuos desempleados en el barrio	Duque & Gutiérrez (2013)
Tubería y gas	% de hogares en el barrio con gas natural	Duque & Gutiérrez (2013)
Electricidad	Costo promedio de la electricidad en los hogares de un área	Yu et al., (2015)
Diferencia	Diferencia entre lo que paga y lo que estaría dispuesto a pagar.	de Maria & Carvalho (2013)
Precio promedio	Ln del precio promedio mensual, precio: por bloques según los m ³ consumidos.	de Maria & Carvalho (2013)
Costo del agua	Pesos pagados por bimestre	Jaramillo-Mosqueira (2005)
Edad	% de individuos en el barrio >60 años	Duque & Gutiérrez (2013)
Adultos	No. de adultos	Jaramillo-Mosqueira (2005)

Educación universitaria	E: % de individuos en el barrio con educación universitaria (pre o posgrado)	Duque & Gutiérrez (2013)
Grado de Educación	Grado de educación alcanzado por la persona que paga el recibo de agua.	Garcia & Salfer (2019)
Edad del edificio	Años de antigüedad del edificio	Chang, Parandvash (2010)
Edad del edificio	Ln de los años de antigüedad del edificio	Garcia & Salfer (2019)
Antigüedad de la construcción	Años/10	Jaramillo-Mosqueira (2005)
Antigüedad		Yu et al., (2015)
Rentada	Si renta o no renta	Garcia & Salfer (2019)
Baños	No. de baños en la vivienda	Garcia & Salfer (2019)
Baño	No. de baños en la vivienda	Jaramillo-Mosqueira (2005)
Área construida	Metros cuadrados construidos	Garcia & Salfer (2019)
Área construida		Jaramillo-Mosqueira (2005)
Tamaño del lote y tanque recolector de agua de lluvia	Tamaño del lote: a) 300-600 m ² ; b) 601-900 m ² ; c) 901-1200m ² Tanque: Binaria (con/sin).	Willis, Stewart, Giurco (2013)
Tanque de agua	Si la vivienda cuenta o no con tanque para almacenar agua	Garcia & Salfer (2019)
Dispositivos ahorradores de agua	a) Si tiene o no inodoro con doble descarga b) Si tiene baño con descarga de 6 litros c) Si tiene o no llaves ahorradoras de agua d) Si tiene instalado más de un dispositivo ahorrador	Garcia & Salfer (2019)
Jardín	Binario: si - no	Jaramillo-Mosqueira (2005)
Aire acondicionado	Binario: si posee AC- no	Jaramillo-Mosqueira (2005)
Valor de la tierra		(Wafula & Ngigi, 2015)
Conexiones al medidor		Wafula & Ngigi (2015)
Drenaje	% de los hogares que cuentan con sistemas públicos de recolección de aguas residuales.	Garcia & Salfer (2019)
Escases de agua	Si hay o no escases	Garcia & Salfer (2019)
Sexo	Número de mujeres en el hogar	Garcia & Salfer (2019)
Densidad de población		Wafula & Ngigi (2015)

Composición del hogar	a) Una persona; b) pareja; c) familia con cuatro o menos personas; d) familia numerosa (más de cuatro personas)	Willis, Stewart, Giurco (2013)
Compra agua embotellada	Si compra, No compra	Garcia & Salfer (2019)
Reutiliza agua de lavadora	Si reutiliza vs No reutiliza	Garcia & Salfer (2019)
Lavado de autos	Si lava su auto utilizando una hidrolavadora vs No utiliza	Garcia & Salfer (2019)
Lavado de áreas al aire libre	Si lava su auto utilizando una hidrolavadora vs No utiliza	Garcia & Salfer (2019)
Riego de jardines	a) No lo riega b) Riega con manguera c) Riega con aspersor	Garcia & Salfer (2019)
Temporada de lluvias	Binaria	Jaramillo-Mosqueira (2005)
Densidad edificios		Wafula & Ngigi (2015)

Anexo 2. ANOVA para los modelos de regresión “hacia adelante”.

ANOVA ^a						
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
1	Regresión	36451277890400.300	1	36451277890400.300	571.913	.000 ^b
	Residual	115297859747583.000	1809	63735688086.005		
	Total	151749137637983.000	1810			
2	Regresión	44499114134480.400	2	22249557067240.200	375.079	.000 ^c
	Residual	107250023503503.000	1808	59319703265.212		
	Total	151749137637983.000	1810			
3	Regresión	48101898429503.200	3	16033966143167.700	279.538	.000 ^d
	Residual	103647239208480.000	1807	57358737802.147		
	Total	151749137637983.000	1810			
4	Regresión	50921912825693.800	4	12730478206423.400	228.026	.000 ^e
	Residual	100827224812289.000	1806	55829028135.265		
	Total	151749137637983.000	1810			
5	Regresión	51800386682897.900	5	10360077336579.600	187.095	.000 ^f
	Residual	99948750955085.300	1805	55373269227.194		
	Total	151749137637983.000	1810			
6	Regresión	52171025256135.500	6	8695170876022.580	157.525	.000 ^g
	Residual	99578112381847.700	1804	55198510189.494		
	Total	151749137637983.000	1810			
7	Regresión	52561861275665.200	7	7508837325095.030	136.494	.000 ^h
	Residual	99187276362318.000	1803	55012355164.902		
	Total	151749137637983.000	1810			
a. Variable dependiente: Agua_pmm						
b. Variables predictoras: (Constante), viv34						
c. Variables predictoras: (Constante), viv34, hogar13						
d. Variables predictoras: (Constante), viv34, hogar13, viv0						
e. Variables predictoras: (Constante), viv34, hogar13, viv0, edu40						
f. Variables predictoras: (Constante), viv34, hogar13, viv0, edu40, hogar3						
g. Variables predictoras: (Constante), viv34, hogar13, viv0, edu40, hogar3, viv2						
h. Variables predictoras: (Constante), viv34, hogar13, viv0, edu40, hogar3, viv2, viv90						