



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA AMBIENTAL – AGUA**

CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIABLES DE EXPOSICIÓN EN ENTORNOS URBANOS PARA EVALUAR EL RIESGO DE INGESTIÓN DE CONTAMINANTES PRESENTES EN AGUA POTABLE

**TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN INGENIERÍA**

**PRESENTA
Fis. REBECA RAQUEL ROJAS GRANADOS**

TUTOR PRINCIPAL
M. C. Ma. Inés J. Navarro González, Instituto de Ingeniería

COMITÉ TUTORAL
Dra. María Teresa Orta Ledesma, Instituto de Ingeniería
Dr. Enrique César Valdez, Facultad de Ingeniería
Dra. Sofía Esperanza Garrido Hoyos, IMTA
Dra. María Antonieta Gómez Balandra, IMTA

Ciudad Universitaria, Cd. Mx, enero de 2020.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Enrique César Valdez
Secretario: Dra. Sofía Esperanza Garrido Hoyos
1er. Vocal: Dra. María Teresa Orta Ledesma
2do. Vocal: Dra. María Antonieta Gómez Balandra
3er. Vocal: M. C. Ma. Inés J. Navarro González

Lugares donde se realizó la tesis:

Instituto de Ingeniería, Edificio 5, Ciudad Universitaria, UNAM.

Unidades Territoriales de la Alcaldía de Iztapalapa.

TUTOR DE TESIS:

M. C. Ma. Inés J. Navarro González

FIRMA

DEDICATORIA

A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada durante mis dos años de Maestría.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por ser mi alma mater y seguir dándome un segundo hogar.

Al Instituto de Ingeniería por darme la oportunidad de trabajar en este espacio y conocer a los que lo mantienen en la vanguardia.

A mi tutora, la M. C. Inés Navarro González, por todas sus horas dedicadas a mí y a mi trabajo, su paciencia, sus consejos y sus necesarias reprimendas. Por la oportunidad de ser parte de su equipo. Gracias a ella he crecido como persona y como profesionalista.

A mis sinodales: la Dra. Teresa Orta Ledesma, el Dr. Enrique César Valdez, la Dra. Sofía Esperanza Garrido y la Dra. María Antonieta Gómez Balandra, por su tiempo dedicado a mi trabajo de investigación, sus observaciones y recomendaciones.

A la Ing. Cristina Aráoz Trejo por su atención y ayuda en la parte administrativa.

A mis compañeros de la maestría en Ingeniería Ambiental con los que compartí clases, experiencia, ayuda mutua y aprendí más de la vida: Melisa Portilla, Rafael Antonio, Silvia Cázares, Roberto Reyes, Ximena Gutiérrez, César López, Miryam Martínez, Sergio Zamorano, Yessenia García, Roberto Villanueva, Claudia Gaytán, Pedro Guadarrama, Karen Hernández, Ricardo Salas, Andrea Rodríguez, Christian Delgado, Angélica Trejo, Juan Calva, Guadalupe González, Enrique Romero, Dayanira Gutiérrez, Hugo Quintero, Itzel Rolón, Hiram Guerrero y aquellos que por despiste no he mencionado.

A Roxana Martínez, José Meneses, Lidia López y Paola Ortiz por la ayuda, el ánimo y los consejos brindados para terminar satisfactoriamente mi trabajo de maestría.

A mis amigos de siempre, gracias a ellos la vida tiene más sentido, me han dado su compañía, cariño, risas y enseñanzas en los momentos más difíciles de este proceso formativo como maestra: Karen Valencia, Miguel Méndez, Julieta Reyes, Jaspe Martínez, Tannia Sandoval, Silverio Olivar, Marion Armas, Liliana Reséndiz, Alfredo Santiago, Rodrigo Hernández, Ernesto Belmont y aquellos que sin querer he olvidado mencionar, pero han estado a mi lado.

A mi familia porque ellos me lo han dado todo sin condición: MLGC, SSHG, JCOHH, MPGC, MIMG, RMG, HMG, RCO(†), GIRF, BFM, GIRR(†), ARF, KRRR, MERF(†), PFRE, MRR, ERR, RNRR, BRF, JARM, ARR, ARR, NRF, OCL y ONCR.

CONTENIDO

GLOSARIO.....	ix
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivo general	3
1.4 Objetivos específicos.....	3
1.5 Alcances.....	4
Capítulo 2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 Evaluación de Riesgo Probabilístico.....	5
2.1.1 Identificación de Peligros	10
2.1.2 Caracterización de Peligros	10
2.1.3 Evaluación de la Exposición	11
2.1.4 Caracterización del Riesgo	12
2.2 Consumo por ingestión de agua potable	17
2.2.1 Casos de Estudio de Estimación del Consumo de Agua.....	18
2.2.2 Casos de Estudio de Estimación del Consumo de Agua para una Evaluación de Riesgo.....	23
2.2.3 Exposición de Mn por Ingesta de Agua para una Evaluación de Riesgo.....	25
Capítulo 3 SITIO DE ESTUDIO.....	27
3.1 Aspectos geográficos, demográficos, económicos y políticos.....	27
3.1.1 Población.....	28
3.1.2 Marginación	28
3.2 Problemáticas	29
Capítulo 4 METODOLOGÍA	34
4.1 Cálculo del tamaño de muestra	34
4.2 Diseño de la encuesta	40

4.2.1	Aplicación Piloto de la Encuesta	43
4.2.2	Ruta de Muestreo	46
4.3	Análisis Estadístico	47
4.3.1	Validación	47
4.3.2	Codificación	48
4.3.3	Análisis de las Variables para evaluar el Riesgo.....	49
4.3.4	Funciones de Distribución.....	50
4.3.5	Evaluación del Riesgo Probabilístico	51
Capítulo 5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
5.1	Descripción del Proceso de aplicación de la Encuesta	53
5.2	Validación y Codificación.....	54
5.3	Análisis de Resultados	56
5.3.1	Histogramas de las variables de exposición	65
5.3.2	Funciones de Probabilidad de las Variables de Exposición	68
5.3.3	Estimación del Riesgo Probabilístico.	70
5.4	Discusión.....	76
Capítulo 6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
6.1	Conclusiones.....	81
6.2	Recomendaciones.....	83
REFERENCIAS	.....	85
ANEXOS.....	.....	93
<i>Anexo A</i>	.....	93
<i>Anexo B</i>	.....	96
<i>Anexo C</i>	.....	97
<i>Anexo D</i>	.....	98
<i>Anexo E</i>	.....	99
<i>Anexo F</i>	.....	100

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Metodología para la Evaluación de Riesgo (IPCS, 2009).	6
Tabla 2-2. Herramientas para adquirir contexto en la metodología PRA (WHO, 2010).	8
Tabla 2-3. Niveles de evaluación de riesgo (WHO, 2010).	9
Tabla 2-4. Valores de ingesta de agua (Ershow & Cantor, 1989).	20
Tabla 2-5. Valores de referencia sobre la ingesta total de agua, en L/d.	21
Tabla 2-6. Resumen de datos de la media por consumo de agua (US EPA, 2011).	22
Tabla 2-7. Resumen de trabajos consultados sobre la evaluación de la ingesta de agua.	23
Tabla 2-8. Resumen de trabajos consultados sobre la evaluación de las variables utilizadas para la evaluación de riesgo a la salud de contaminantes químicos por consumo de agua.	24
Tabla 2-9. Regulación y Dosis de Referencia aplicadas al Mn según Agencias Internacionales (US FDA, 2007).	26
Tabla 4-1. Estratos por rangos de edad para la Alcaldía de Iztapalapa elegidos para estimar el tamaño de muestra (INEGI, 2015b).	36
Tabla 4-2. Tamaño de muestra para cada estrato de edad con condiciones de nivel de confianza del 95%, error de la muestra del 5%, varianza del estudio Ershow & Cantor (1989)	37
Tabla 4-3. Tamaño de muestra para cada estrato de la cantidad de UT según el Nivel de Marginación.	38
Tabla 4-4. Cálculo de número de encuestas por rangos de edad y marginación.	39
Tabla 5-1. Ejemplo de la codificación de respuestas abiertas obtenidas.	55
Tabla 5-2. Coeficientes de variabilidad para cada variable.	65
Tabla 5-3. Resumen de las Funciones de Distribución para cada rango de edad, obtenidas con Crystal Ball.	68
Tabla 5-4. Probabilidad de riesgo por la ingesta de agua contaminada con Mn.	71
Tabla 5-5. Datos de probabilidad de riesgo aplicados a la población de Iztapalapa (INEGI, 2015b).	74
Tabla 5-6: Comparación de los resultados del estudio de Ershow & Cantor (1989) y los resultados del actual estudio (2019)	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Estimación Probabilística de Riesgo de exposición (US EPA, 2014)	16
Figura 3-1. Localización de la Alcaldía de Iztapalapa en la Ciudad de México dentro del territorio mexicano.	27
Figura 3-2. Gráfica del número Unidades Territoriales por su nivel de Marginación.....	29
Figura 4-1. Selección de UT donde se aplicará la encuesta.....	46
Figura 5-1. Colonias encuestadas en la Alcaldía de Iztapalapa	56
Figura 5-2. Porcentaje de la frecuencia de abastecimiento de agua para cada nivel de marginación	58
Figura 5-3. Porcentaje de Tandeo para cada nivel de marginación.....	58
Figura 5-4. Representación gráfica del abastecimiento de agua en cada colonia.	59
Figura 5-5. Gráfica de barras apiladas que compara el porcentaje de la población que detectó diferentes colores.....	62
Figura 5-6. Representación de las localidades donde la población detectó color en el agua.	62
Figura 5-7. Gráfica de barras apiladas que compara el porcentaje de la población que detectó los diferentes olores en cada colonia	63
Figura 5-8. Representación gráfica de las localidades donde la población detectó olor en el agua.....	64
Figura 5-9. Distribución empírica de probabilidad de Ingesta de Agua.....	66
Figura 5-10. Distribución empírica de probabilidad de Peso Corporal	67
Figura 5-11. Distribución empírica de probabilidad de Duración de Exposición	67
Figura 5-12. Funciones de Distribución de Probabilidad para las variables de la ecuación de Dosis.....	69
Figura 5-13. Gráfica de probabilidad del HQ para la distribución de probabilidad del Mn en Iztapalapa, aplicado a niños < 15 años.	72
Figura 5-14. Gráfica de probabilidad del HQ para la distribución de probabilidad del Mn en Iztapalapa, aplicado a ≥ 15 años.....	73
Figura 5-15. Diagrama de sensibilidad para las variables que influyen en niños menores de 15 años.....	75
Figura 5-16. Diagrama de sensibilidad para las variables que influyen en adultos mayores de 15 años.....	75

GLOSARIO

Codificación

es asignar números a las respuestas obtenidas o registradas de las variables que constituyen la base de datos usada.

Crystal Ball

es un conjunto de programas basados en la aplicación de modelos predictivos, previsión, simulación y optimización de manera que permite identificar las variables críticas de un análisis que se esté realizando.

Dosis

estimado de la cantidad de una sustancia que ingresa al cuerpo de una persona cuando esta entra en contacto con la sustancia.

Encuesta

serie de preguntas que se hace a muchas personas para reunir datos o para detectar la opinión pública sobre un asunto determinado.

Exposición

estar en contacto con alguna sustancia. Solo se considera la exposición por ingestión.

EPA, *Environmental Protection Agency*

Por sus siglas en inglés, agencia norteamericana encargada de la protección ambiental.

Evaluación de Riesgo a la Salud

proceso concebido para calcular el riesgo para un determinado organismo o (sub)población objetivo, incluyendo la exposición a un agente concreto las características inherentes del agente, así como las características del sistema.

Evaluación de Riesgo a la Salud de Productos Químicos

se remite a métodos y técnicas aplicables a la evaluación de peligros, exposición y daños que suponen los productos químicos, los cuales, pueden diferir de los planteamientos empleados para evaluar los riesgos vinculados a los agentes biológicos.

Evaluación de Riesgo Probabilístico

es un grupo de técnicas computacionales que permite el análisis de variabilidad e incertidumbre para ser incorporada en la exposición y / o evaluaciones de riesgo. La característica principal es que no genera una estimación puntual única, sino que más bien produce una probabilidad y rango que una exposición particular o dosis.

Función de distribución de probabilidad

es una función matemática que asigna a cada suceso definido sobre la variable la probabilidad de que dicho suceso ocurra. En el presente trabajo se usaron Normal, Log-Normal, Uniforme, Beta, Binomial, Binomial negativa, Weibull, Logística e Hipergeométrica dependiendo de sus características.

Incertidumbre

parámetro positivo que indica la dispersión de los valores medidos de una variable.

Ingesta

material alimenticio, en este caso agua, que se incorporan al organismo por la boca en un periodo determinado.

Manganeso

es un elemento químico que se encuentra como elemento libre en la naturaleza, en particular en el agua, su toxicidad sigue siendo estudiada.

Marginación

situación de aislamiento o desventaja económica, profesional, política o de estado social de una persona o grupo social, lo que normalmente le resulta perjudicial.

Muestra

conjunto de cosas, personas o datos elegidos al azar, que se consideran representativos del grupo al que pertenecen y que se toman para estudiar o determinar las características del grupo.

PRA, *Probabilistic Risk Assessment*

Evaluación de Riesgo Probabilístico por sus siglas en inglés.

Riesgo

posibilidad de que se produzca un daño a una persona o población.

Validación

es el proceso que asegura la entrega de datos limpios y claros obtenidos de la encuesta aplicada.

Variabilidad

es una medida de dispersión estadística igual a la diferencia media absoluta de dos valores independientes extraídos de una distribución de probabilidad.

WHO, *World Health Organization*

Organización Mundial de la Salud por sus siglas en inglés. Es el organismo de la Organización de las Naciones Unidas especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial.

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El acceso al agua potable es un Derecho Humano, sin embargo, frecuentemente el abastecimiento del agua potable es inadecuado e insuficiente particularmente en centros urbanos de los países en desarrollo, lo cual representa un problema constante para la salud de la población. El riesgo a la salud a través del consumo de agua potable posiblemente contaminada es un peligro central derivado de este problema, el cual no puede ser estimado sin la información necesaria y un modelo pertinente para la *Evaluación de Riesgo a la Salud de Productos Químicos*, donde se simulen los diferentes contaminantes con sus fuentes modulados por los hábitos de consumo.

La metodología para la *Evaluación de Riesgo Probabilístico* es una herramienta perfeccionada para evaluar riesgos, ampliamente reconocida por la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) y por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés), por proveer información precisa e incorporar el análisis de incertidumbres y de la variabilidad.

La evaluación de riesgos a la salud humana por la exposición a productos químicos puede ayudar a responder las preguntas básicas acerca de los posibles peligros, tales como menciona la WHO (2010): ¿Qué exposiciones químicas plantean los mayores riesgos? ¿Se pueden clasificar los riesgos para permitir que un país, estado o ciudad logre gastar sus recursos de la manera más eficiente para dar protección a sus habitantes? ¿Cuáles son los riesgos de beber esta agua? ¿Debería provenir el agua potable de una fuente diferente, más segura?

Se debe ser consciente que los productos del trabajo de la Evaluación de Riesgo Probabilístico, a menudo se incorporan en las decisiones de política y gestión de riesgos. Este uso de la Evaluación de Riesgo Probabilístico permite tomar decisiones políticas que pueden basarse en los vínculos que se establecen entre las fuentes contaminantes, la exposición humana y los efectos adversos para la salud (WHO, 2010).

1.2 JUSTIFICACIÓN

La importancia de proponer y reportar una metodología eficiente y veraz para la estimación del consumo seguro de agua potable es fundamental para formular una solución concreta al problema de la exposición a un peligro con respecto a una zona específica, como puede ser una zona urbana que es el interés en esta investigación.

Sin embargo, para hacer frente a la problemática del consumo de agua potable posiblemente contaminada y generar estadísticos confiables al aplicar la metodología de Evaluación de Riesgo, es necesario obtener información real y actual que indique patrones de comportamiento urbano; por ejemplo, es necesario contar con datos personales como edad, peso, permanencia de los integrantes de la familia en la vivienda, datos de consumo de agua, formas de almacenamiento de agua, uso de dispositivos domésticos para el tratamiento de agua y consumo promedio de agua embotellada. Esto conduce a establecer los factores que conciernen tanto a este problema como la metodología de recopilación de información más conveniente de acuerdo con los recursos disponibles.

Para ello será necesario definir los escenarios de riesgo de exposición a contaminantes tóxicos en agua potable en una zona urbana, con base en las directrices metodológicas de la EPA (2014) y de la WHO (2010).

La adquisición de información apropiada para un escenario de interés es un reto fundamental en la Evaluación de Riesgo (WHO, 2010), aún más en México, al no existir fuentes donde dicha información se pueda encontrar a través de búsquedas en la literatura, ni facilitados por herramientas electrónicas. Por ejemplo, para México hay dos referencias donde se investigó el volumen del consumo de agua, una en comunidades rurales del estado de Tlaxcala (Navarro, Chávez, & Jiménez, 2011) y la otra en el estado de Sonora en niños urbanos (Grijalva-Haro, Barba-Leyva, & Laborín-Alvarez, 2001). Con respecto al peso o masa corporal, en México hay datos del índice de masa corporal, pero está orientado a problemas de desnutrición y obesidad y no está vinculado a la ingesta diaria de agua que es necesario para la estimación de riesgo. Dada la ausencia de estos datos que permiten caracterizar la exposición, sólo es posible la aplicación de la Evaluación de Riesgo Probabilístico a población rural en México con la información de Navarro *et al.* (2011), pero no para población urbana.

Por ello, en este trabajo se analizaron y evaluaron los factores que pueden influir en la ingestión de agua potable posiblemente contaminada en entornos urbanos.

El procedimiento para recabar la información necesaria para la estimación cuantitativa de riesgo probabilístico fue a través de la aplicación de una encuesta a población urbana de la Ciudad de México.

Se considera que el análisis estadístico de tales resultados y las alternativas que se deriven del trabajo serán la base para analizar la viabilidad de mejorar la calidad del agua de la red de abastecimiento y por consiguiente reducir el consumo de agua embotellada y el gasto familiar que ello implica.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Determinar las características de las variables que definen los *escenarios de exposición* a contaminantes químicos en el agua potable, a partir de la aplicación de una encuesta a una población urbana, para aplicar la metodología de riesgo probabilístico a la salud por la ingestión de agua.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar criterios que se han empleado para obtener el valor de las variables y de los factores de riesgo en escenarios de exposición en una población urbana.
- Establecer los indicadores de la diversidad (variabilidad) de la población bajo estudio a partir del análisis de los datos locales y factores de riesgo que influyen en la caracterización de la exposición.
- Determinar tamaño de muestra, formular los contenidos de la encuesta y encuestar la zona de interés.
- Definir las funciones de distribución de probabilidad para los datos de las variables y factores de riesgo que se obtengan de la encuesta.
- Aplicar a un caso particular de ingestión de agua, los escenarios de exposición desarrollados para la estimación del riesgo probabilístico a la salud.

1.5 ALCANCES

- Se definen escenarios de exposición para la población urbana objeto de estudio y su análisis en relación con otras experiencias internacionales.
- El tamaño de muestra para la encuesta se diseña para recabar las características de exposición de la población, estadísticamente representativa, con un nivel de confianza del 95% para la media de las respuestas y un margen de error de 5%.
- La encuesta se aplica a familias (adultos y niños) de la Alcaldía de Iztapalapa de la Ciudad de México.
- Se hace un análisis estadístico de las respuestas a la encuesta, y se usa un software (*Crystal Ball*) para determinar las funciones de distribución de probabilidad que mejor describan el comportamiento de los datos recabados para caracterizar las variables y factores de riesgo de exposición.
- Se realiza un análisis comparativo de los resultados de esta investigación con la información disponible en las experiencias internacionales para la definición de modelos de exposición.
- Se aplican los resultados de esta investigación al menos a un contaminante específico que no cumple con la norma de agua potable, para estimar la Evaluación de Riesgo Probabilístico a la Salud. Las estimaciones se harán a partir de datos existentes de la calidad del agua de la zona de estudio.

Capítulo 2 MARCO TEÓRICO

2.1 EVALUACIÓN DE RIESGO PROBABILÍSTICO

El estudio de la *Evaluación de Riesgo Probabilístico (Probabilistic Risk Assessment, PRA)* es de crucial importancia para la salud humana. Esta es una herramienta para caracterizar la naturaleza y la magnitud del riesgo a la salud de una población por contaminantes que pueden estar presentes en el ambiente (Phillips & Moya, 2013).

La PRA proporciona estimaciones de la probabilidad a una exposición, riesgo o peligro. Es una metodología analítica utilizada para incorporar información con respecto a la *incertidumbre* y la *variabilidad* de algún factor de interés, de tal forma que proporciona relaciones de una estimación de riesgo con cierto grado de certeza (US EPA, 2014), a diferencia de otras metodologías deterministas, que anteriormente la misma EPA había estado utilizando como son las evaluaciones de riesgo puntual, que sesgan la información y no pueden ser proyectadas.

El Consejo Nacional de Investigación (*National Research Council, NRC*) de la Academia Nacional de Ciencias (*National Academy of Sciences, NAS*) ha sugerido que la EPA adopte un enfoque estratificado para así seleccionar el nivel de detalle necesario para el análisis en la incertidumbre y la variabilidad de la evaluación, de ahí el desarrollo reciente de esta metodología (US EPA, 2014).

Se espera que la caracterización de una población sea cada vez más completa. La diversidad y heterogeneidad de una población varía en el espacio y tiempo; a esto lo conocemos como variabilidad en la PRA; mientras que el conocimiento imperfecto o incompleto del mundo físico define la incertidumbre en la PRA. Estos factores deben ser tomados en cuenta para no dar lugar a sobrestimaciones o subestimaciones de los riesgos calculados (US EPA, 2014).

La Organización Mundial de la Salud establece criterios para recopilar e integrar información sobre los riesgos de una sustancia contaminante para la salud humana y la exposición hacia ésta, para generar relaciones entre la exposición, la dosis y los efectos adversos que el contaminante conlleva.

También se ha encargado de ofrecer un manual (WHO, 2010) con el proceso que debe llevarse a cabo para la Evaluación de Riesgo para fortalecer la homogenización de resultados entre estudios en distintos lugares del mundo y facilitar la comunicación de resultados y soluciones a problemas de riesgo.

La Evaluación de Riesgo es un procedimiento claramente establecido que comienza con la formulación del problema (van Leeuwen & Vermeire, 2007), seguido de cuatro pasos: 1) identificar el peligro, 2) caracterizar el peligro, 3) evaluar la exposición y 4) caracterizar el riesgo (IPCS, 2004). En la Tabla 2-1 se resume la descripción del proceso de la Evaluación de Riesgo.

Tabla 2-1. Metodología para la Evaluación de Riesgo (IPCS, 2009).

Paso	Descripción	Contenido
1. Identificación de peligros	Identificar el tipo y naturaleza de la sustancia contaminante y sus efectos adversos para la salud.	Estudios en humanos Estudios toxicológicos basados en animales. Estudios de toxicología in-vitro Estudios de estructura-actividad
2. Caracterización de peligros	Descripción cualitativa o cuantitativa de propiedades inherentes de un agente que tiene el potencial de causar efectos adversos para la salud	Selección de los datos críticos Mecanismos de acción Variabilidad cinética Variabilidad dinámica Dosis-respuesta para el efecto crítico
3. Evaluación de exposición	Evaluación de la concentración o cantidad de un agente particular que alcanza una población objetivo	Magnitud Frecuencia Duración de exposición Ruta Extensión
4. Caracterización de riesgo	Cuantificación del riesgo y recomendaciones para la toma de decisiones	Probabilidad de ocurrencia Gravedad Población dada Incertidumbres concomitantes

La PRA para la salud humana de las sustancias contaminantes puede llevarse a cabo para evaluar el pasado, las exposiciones actuales y futuras; se puede emplear para aquellos compuestos que cuentan con factores toxicológicos aceptados por la WHO presentes en el agua, suelo, aire, alimentos o que son productos de consumo o de contacto; puede ser cualitativa o cuantitativa y está limitada por la falta de información completa.

Se debe tomar en cuenta que la PRA se basa en el conocimiento científico del comportamiento de los contaminantes, la exposición, la dosis y toxicidad. En términos generales, el riesgo depende de los siguientes factores:

- la cantidad de un producto químico presente en una matriz ambiental (por ejemplo, suelo, agua, aire), en alimentos y/o en un producto,
- la cantidad de contacto (exposición) que una persona tiene con el contaminante en el medio,
- la toxicidad de la sustancia química.

La obtención del conocimiento para describir estos tres factores es la piedra angular de la mayoría de las evaluaciones de riesgo. Como no siempre se dispone de estos datos, muchas evaluaciones de riesgo hacen uso de estimaciones o juicios con respecto a algunos datos o caracterizaciones. En consecuencia, los resultados de la evaluación de riesgo se han asociado a incertidumbres, las cuales deben caracterizarse tanto como sea posible.

Los diversos estudios previos dirigidos a recabar información precisa para hacer estimaciones del potencial de riesgo para la salud, pueden indicar los posibles resultados negativos para la salud y las posibles acciones correctivas. Debe quedar claro que este tipo de estudio no arroja información sobre resultados ni diagnósticos médicos.

Las principales aplicaciones de la evaluación de riesgo, realizadas previamente, consistieron en desarrollar criterios genéricos y específicos para definir acciones de tratamiento, saneamiento o limpieza para el sitio de estudio. Se busca eliminar preocupaciones que se traducen en peligros potenciales y resolver qué químicos en qué concentraciones son los que la investigación, las autoridades competentes y la población deben atender.

A partir de la fuente de contaminación, se puede determinar el potencial de contacto con la contaminación (evaluación de exposición), los posibles efectos en la salud (toxicidad), la dosis (caracterización de la exposición) y hacer un sinfín de combinaciones para determinar los riesgos posibles. Además, se ha estudiado a partir de los peligros potenciales, los posibles contaminantes de la zona, o se evalúan las sustancias, productos y subproductos, y el posible origen o fuente de donde provienen, así como el análisis de la ubicación de los contaminantes y posibles estimaciones de las concentraciones.

En la Tabla 2-2 se plantean algunas preguntas para construir el perfil del contaminante, integrar conocimientos previos, analizar vías de exposición y la caracterización final de riesgo, para asegurar el cumplimiento de la metodología aceptada por la WHO.

Tabla 2-2. Herramientas para adquirir contexto en la metodología PRA (WHO, 2010).

Pregunta	Respuesta
Identificación de peligros	
¿Se conoce la identidad de la sustancia química?	Clara identificación del producto químico en cuestión a través del número de registro del CAS
¿Es la sustancia química potencialmente peligrosa para los seres humanos?	Descripción de riesgos para la salud se obtiene a partir de la información disponible a nivel internacional
Caracterización del peligro / orientación o identificación del valor de referencia	
¿Qué propiedades de la sustancia química tienen el potencial de causar efectos adversos para la salud?	Descripción cualitativa o cuantitativa de las propiedades inherentes de los agentes que tiene el potencial de causar efectos adversos a la salud.
¿Las organizaciones internacionales han establecido lineamientos para los valores de la sustancia química?	Lista de valores de referencia o guía (tasa o concentraciones) para las sustancias químicas disponibles a nivel internacional
¿Qué suposiciones están incorporadas en los lineamientos para los valores de referencia acerca de la exposición y la dosis?	Lista de las suposiciones acerca de las tasas de contacto, absorción y de otros factores incorporados en los lineamientos de los valores guía
¿Esas suposiciones reflejan las condiciones específicas de la población local?	Un valor de referencia que refleje los parámetros de exposición y dosis específicos a la cultura y demografía local
Evaluación de la exposición	
¿De qué manera puede la gente entrar en contacto con el producto contaminante?	Descripción cualitativa de los factores que sean pertinentes y las vías de exposición.
¿Cuál métrica de exposición es adecuada para la caracterización de riesgos a la salud en las condiciones específicas de la población local?	Determinar a partir de los lineamientos si se necesita una concentración o tasa de exposición específica para realizar la caracterización del riesgo
Caracterización del riesgo	
¿De qué manera la exposición estimada se compara con los valores de referencia para la sustancia química?	Una conclusión cuantitativa o cualitativa de riesgo de cáncer o no cancerígeno

En cada paso de la metodología se debe tener en cuenta la magnitud del estudio que se desea generar, ya que la cantidad de información aplicada a cada paso puede variar; en algunos casos se requiere una recopilación de información más detallada en ciertos pasos que en otros, como se muestra en la Tabla 2-3. Los grados de recopilación de información representan niveles de análisis, estos se caracterizan por la cantidad de datos cuantitativos y cualitativos obtenidos para responder a alguna pregunta planteada en las etapas de la PRA.

Tabla 2-3. Niveles de evaluación de riesgo (WHO, 2010).

Nivel	1. Cribado	2. Adaptativo	3. Modelado	4. Nueva evaluación de riesgo
Descripción	Existe información de peligros y datos de exposición en fuentes internacionales	Existen datos del peligro en referencias internacionales que reflejan las condiciones locales y/o datos de exposición locales	Existen datos del peligro en referencias internacionales que reflejan las condiciones locales y/o nuevos datos de la exposición local	Realización de evaluaciones locales del peligro de la exposición
Identificación de peligros	Identificar la sustancia; obtener información sobre los peligros en las referencias internacionales	Identificar la sustancia; obtener información sobre los peligros en las referencias internacionales	Identificar la sustancia; obtener información sobre los peligros en las referencias internacionales	Realizar ensayos experimentales controlados, se reúnen observaciones locales
Caracterización del peligro – identificación de los valores de referencia	Aplicar los valores guía apropiados existentes en las referencias internacionales	Ajustar los valores guía a las condiciones locales	Ajustar los valores guía a las condiciones locales	Establecer nuevos valores de referencia
Evaluación de exposición	Estimaciones cualitativas o cuantitativas existentes.	Estimaciones cualitativas o cuantitativas existentes según las condiciones locales de exposición	Estimación a partir de los modelos	Realizar campañas de medición y estimar a partir de modelos
Caracterización del riesgo	Cualitativa o cuantitativa			

Es pertinente mencionar que con base en la Tabla 2-3, se resalta en la columna “Nivel 4: Nueva evaluación de riesgo” el recuadro de “Descripción” y de “Evaluación de exposición” porque el actual trabajo se centra en este nivel de análisis y se clasifica como tal; y que incluye la caracterización cuantitativa de las condiciones de exposición a través de una campaña de medición local y estimar a partir de modelos; la ejecución de este nivel permite el diseño de una evaluación cuantitativa de la exposición.

La evaluación puede consistir en una encuesta o impulsada por una hipótesis; una campaña de campo requiere un plan para la recolección y análisis de muestras, gestión e interpretación de datos. De igual forma el modelado requiere la herramienta adecuada, la identificación de valores necesarios para parametrizar el modelo y la interpretación de resultados.

Descripción paso a paso de la metodología Evaluación de Riesgo

2.1.1 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

El primer paso es la identificación de peligros donde se determina la identidad y las propiedades peligrosas de la sustancia contaminante y el potencial de dañar la salud humana; implica conocer si ha sido considerado peligroso por las organizaciones internacionales, y en caso afirmativo, en qué grado.

Si la identidad de la sustancia contaminante no se conoce, el evaluador debe recoger información de diferentes fuentes e inferir los tipos de sustancias de interés. En situaciones en las que un proceso industrial o la operación son de interés, el evaluador debe buscar en los documentos sobre el escenario de emisión.

2.1.2 CARACTERIZACIÓN DE PELIGROS

El objetivo de este paso es obtener una descripción cualitativa o cuantitativa de las propiedades inherentes del agente que tiene el potencial de causar efectos adversos para la salud como resultado de la exposición. Hay, sin embargo, sustancias o elementos químicos que son esenciales para el cuerpo humano, y habrá que considerar si la exposición a éstos está por encima de un nivel máximo tolerable.

2.1.3 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

La evaluación de la exposición se utiliza para determinar si una población está en contacto con algún contaminante potencialmente peligroso y de ser así, en qué cantidad, por qué vía y por cuánto tiempo, ya que la caracterización del peligro y del riesgo es dependiente de la vía y la duración de la exposición.

La evaluación de la exposición es una parte importante que integra el método de Evaluación de Riesgo; se requiere medir los factores relacionados con la exposición y las variables con las que este método trabaja son: la frecuencia, la duración y la intensidad del contacto con el contaminante. Estos factores están relacionados con el comportamiento poblacional, sus características que la determinan y la vía de exposición.

Hay elementos necesarios para que exista una exposición y se deben determinar los parámetros para iniciar la parte de la evaluación de la exposición (Biesiada, 2001):

- Una fuente de contaminación (caracterización del ambiente)
- Una población susceptible (con cierta duración de exposición)
- Una vía (ruta de transferencia de la fuente a la población)

Cuando se hace evidente que existe una exposición, y se quiere una descripción cuantitativa de este estadístico, se exige el uso de simulaciones; actualmente la tecnología ha resuelto parcialmente la complejidad del problema, ya que se hace uso de programas como *Crsytal Ball* o *@Risk* que facilitan estos cálculos.

El objetivo principal en esta etapa consiste en el cálculo de una dosis (WHO, 2010) la cual se puede expresar, para el caso de la ingestión de agua, por:

$$D = \frac{C \times TI \times DE \times FE}{PC \times t} \quad (2.1)$$

Donde:

D = Dosis de exposición $\left[\frac{mg}{kg \cdot d} \right]$

C = Concentración de exposición $\left[\frac{mg}{L} \right]$

TI = Tasa de contacto (ingesta) $\left[\frac{L}{d} \right]$

DE = Duración de exposición [años]

FE = Frecuencia de exposición $\left[\frac{d}{año} \right]$

PC = Peso corporal [kg]

t = Tiempo promedio [días]

En esta tesis la vía de exposición de interés es la ingesta de agua potable y la ecuación (2.1) describe la dosis de exposición diaria por ingesta de agua (Martínez, 2016).

2.1.4 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

El último paso para evaluar el riesgo es la caracterización que consiste en la estimación cuantitativa sobre la exposición evaluada.

Por la importancia que significa el contacto o consumo recurrente de algún contaminante, la mayoría de las evaluaciones de riesgo se enfocan en la exposición crónica a compuestos peligrosos, es decir a los daños potenciales a la salud humana por una exposición prolongada.

Sin embargo, para compuestos reconocidos como carcinogénicos para el ser humano, la exposición a cualquier dosis podría tener manifestaciones de desarrollo de cáncer hasta muchos años después de la ingestión y puede ser suficiente con una exposición incidental (Cantor, et al., 1987). Por esta razón, es esencial hacer una distinción fundamental entre las sustancias cancerígenas y no cancerígenas.

En el primer caso se considera como sustancias sin umbral (Biesiada, 2001), es decir, no existe un umbral seguro de exposición por debajo del cual la probabilidad de desarrollar cáncer sea cero.

En el caso de sustancias carcinógenas, el riesgo individual debe entenderse como la probabilidad de ocurrencia de un caso adicional de cáncer a lo largo de la vida en la población evaluada, y se calcula (Biesiada, 2001) multiplicando el factor de pendiente (*Cancer Potency Slope*, CPS) para el desarrollo de un tumor cancerígeno en un órgano específico y la dosis de exposición:

$$R = CPS \times D \quad (2.2)$$

Donde:

R = Riesgo de por vida

D = Dosis de exposición $\left[\frac{mg}{kg \cdot d} \right]$

CPS = Factor de pendiente del cáncer $\left[\frac{kg \cdot d}{mg} \right]$

Por otro lado, se utiliza una diferente estrategia en la evaluación de las exposiciones crónicas a sustancias tóxicas no cancerígenas (US EPA, 1986). La relación dosis-respuesta para tales sustancias sugiere la existencia de un valor umbral de exposición por debajo del cual la sustancia es inofensiva. Este valor de umbral se cuantifica como el nivel de efecto adverso no observado (*No Observed Adverse Effect Level*, NOAEL).

La dosis de referencia (*Deference Dose*, RfD) se deriva teniendo en cuenta posibles incertidumbres (incluyendo por ejemplo la extrapolación entre especies o la fiabilidad de la base de datos). Cuando se ha reportado la dosis de referencia para un contaminante, ésta corresponde a una vía de exposición específica con efectos bien definidos en la salud. La evaluación de este riesgo consiste en comparar la exposición real (dosis) con la dosis de referencia mediante el cálculo del cociente de peligro (*Hazard Quotient*, HQ):

$$HQ = \frac{D}{RfD} \quad (2.3)$$

Si el cociente de peligro es mayor que 1 proporciona evidencia de que existe un riesgo potencial inaceptable para la salud asociado con una dosis de exposición que pudiera ser crónica y a una sustancia dada, de lo contrario, se supone que el riesgo es aceptable.

En todos los casos de evaluación de riesgo, la incertidumbre debe ser discutida con el fin de incorporar los resultados en el contexto evaluado, para añadir integridad al análisis y para gestionar la futura recopilación de datos. Una deficiente descripción de incertidumbres, así como el uso inadecuado de los factores de exposición o errores de cálculo (incluido el procedimiento de redondeo inapropiado) pueden falsear el riesgo, y por lo tanto que los resultados pierdan sentido.

Una de las fuentes de incertidumbre es la variabilidad, es decir, las diferencias interpersonales en los niveles de exposición y en la magnitud de la respuesta individual. Esta fuente particular de incertidumbre se puede modelar de forma fiable mediante la aplicación de simulaciones de Montecarlo.

2.1.4.1 Métodos para la estimación cuantitativa de Riesgo

En la mayoría de las evaluaciones de riesgo se presenta una de dos situaciones (Martínez, 2016):

- 1) Los valores de alguna de las variables importantes no se conocen, pero el proceso asociado al riesgo está suficientemente caracterizado como para poder suponer las relaciones funcionales entre las variables.
- 2) Algún aspecto físico, químico, biológico o de tipo científico-ingenieril del proceso asociado al riesgo es escasamente conocido, entonces las relaciones funcionales entre las variables importantes no pueden asumirse como conocidas.

Estas situaciones determinan si el procedimiento para cuantificar el riesgo a la salud se basa en datos puntuales observados aislados para el escenario de exposición o si se opta por establecer para las variables importantes un comportamiento que muestre la variabilidad del escenario de exposición. A partir de estas opciones, la Evaluación de Riesgo podrá estimarse como puntual o riesgo probabilístico. El objetivo de la *estimación puntual* es utilizar una muestra para calcular un número que representa en cierto sentido una buena suposición del valor verdadero del parámetro (Devore, 2017).

a) Método Puntual

Una estimación puntual de un parámetro θ es un número único que puede ser considerado como valor representativo de θ . Se obtiene seleccionando un estadístico apropiado o en su caso, calculando su valor a partir de datos muestrales dados. El estadístico seleccionado es nombrado *estimador puntual* de θ .

La principal desventaja de este método es que utiliza un solo valor numérico en cada parámetro de la fórmula general, por lo que se tienen que asignar los valores 'más convenientes', dejando fuera las demás posibilidades.

Una alternativa para incluir la variabilidad en la exposición es optar por el método probabilístico para la cuantificación de riesgo, el cual puede ser más adecuado para evaluaciones complejas, incluidas las de agregar exposiciones a diferentes agentes de riesgo y la exposición individual en función del análisis de tiempo, dosis y efectos.

b) Método Probabilístico

Anteriormente se ha mencionado la importancia de este método, en el cual se basará esta tesis para lograr sus objetivos. Los análisis probabilísticos incluyen técnicas que se pueden aplicar formalmente para abordar la incertidumbre y la variabilidad.

Las funciones de distribución de probabilidad representan el grado de confianza que existe en un determinado estado del sistema, por ejemplo, que tenemos los datos apropiados (Cullen, 1999). El análisis de riesgo probabilístico a menudo se define estrictamente para indicar un proceso estadístico utilizado para analizar y evaluar la variabilidad de los datos disponibles o para analizar la incertidumbre a través del conjunto de datos.

En la estimación de la exposición a riesgo por el método probabilístico, cada elemento de la fórmula general de la dosis de exposición está definido por una serie de valores. La estimación probabilística de la exposición es en términos generales, un procedimiento que utiliza modelos matemáticos para representar la probabilidad de encontrar las diferentes dosis de exposición en una población con características específicas. La principal ventaja del método probabilístico es que provee una descripción cuantitativa del grado de variabilidad para los estimadores de la dosis, proporcionando más información acerca de la exposición.

La estimación probabilística de riesgo se apoya en la técnica numérica de la simulación Montecarlo, que hace uso de la probabilidad para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de fenómenos (procesos o eventos) reales. La importancia actual del método Montecarlo se basa en la existencia de problemas que tienen difícil solución por métodos exclusivamente analíticos o numéricos, pero que dependen de factores aleatorios o se pueden asociar a un modelo probabilístico artificial (resolución de integrales de muchas variables, minimización de funciones, etc.). El método Montecarlo se basa en la generación de números aleatorios los cuales se utilizan para calcular probabilidades a través de programas como *Crystal Ball* o *@Risk*.

Usando el método probabilístico, cada parámetro de la ecuación está definido como variables aleatorias con una distribución probabilística como se muestra en la Figura 2-1, donde se esquematiza el cálculo del riesgo de exposición utilizando Montecarlo.

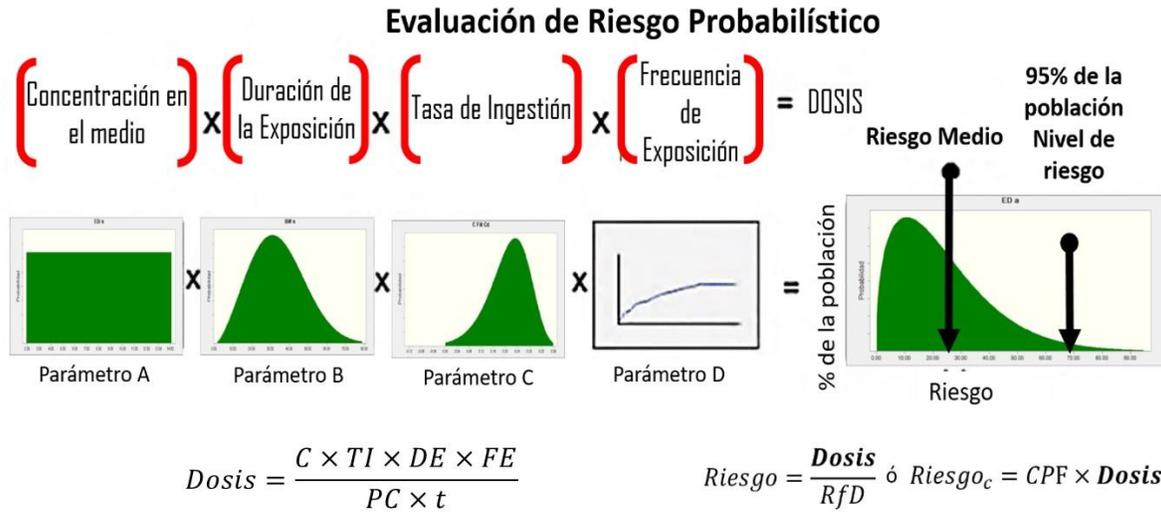


Figura 2-1. Estimación Probabilística de Riesgo de exposición (US EPA, 2014)

El punto fundamental en este método es identificar las funciones de distribución de probabilidad que definen cada variable en las ecuaciones (concentración del contaminante, duración de la exposición, promedio de ingesta, peso corporal, etc.). Además, utilizando los datos obtenidos, se busca el mejor ajuste a una distribución (Log-Normal, Gamma, Exponencial, Normal, etc.)

2.2 CONSUMO POR INGESTIÓN DE AGUA POTABLE

A partir del tema central de esta investigación y como primer objetivo, se busca documentar los parámetros necesarios, los valores específicos y los procedimientos empleados en experiencias en otros países para generar los criterios para caracterizar la exposición a posibles contaminantes en la ingesta de agua potable y elaborar la encuesta para la Alcaldía de Iztapalapa en la Ciudad de México.

En la CDMX la información abierta y transparente del consumo de agua de su población es inexistente, no hay bases de datos a las que un ciudadano, institución o empresa pueda recurrir para determinar los patrones de consumo de la población, ni mucho menos información actualizada y confiable. Generalmente para hacer cálculos, estadísticas y predicciones se usa la media del volumen de agua diario ingerido para adultos de 2 L de agua, recomendada por la OMS (WHO, 2005) y el Instituto Internacional de Ciencias de la Vida, ILSI, por sus siglas en inglés (ILSI NA, 2004), sin considerar el índice de masa corporal (IMC), el sexo, la actividad física ni la edad.

Sin embargo, se sabe que este volumen no es representativo para la población de cada país. Existen estudios de distintos países que evalúan la ingesta de agua potable a partir de diversas fuentes de información y procedimientos y reportan que normalmente sus medias del volumen de agua diario ingerido para adultos están por debajo de la media recomendada, incluso indican que para los altos consumidores llega hasta 3 L/d (Säve-Söderbergh, 2017).

Los estudios de evaluación de ingesta de agua potable, son imprescindibles para obtener datos reales de la población de interés y derivarlos en otros estudios de gran importancia. Por ejemplo, con modelos de demanda de agua precisos es posible realizar evaluaciones de riesgos realistas.

Los patrones de consumo se ven afectados por el entorno en el que coexista una población, por lo que en muchos casos no podría ser aceptable la media recomendada del consumo diario de agua. Por otra parte, también es necesario caracterizar a la población con los parámetros más importantes para realizar evaluaciones de riesgo realista, como son la edad, el IMC o peso y el tiempo que ha estado expuesto en ese ambiente.

Las encuestas son un instrumento que sirven para coleccionar información de la realidad, no son un fin en sí mismas (ITESM, 2005); son una técnica cualitativa/cuantitativa que se acerca al objeto de estudio (la población urbana de la CDMX), que busca relacionar hechos sociales y sus significados para las variables que intervienen en ellos. (Larios & Figueroa, s. f.). Los cuestionarios de las encuestas deben ser directos y claros, para no confundir al encuestado y no producir errores en los datos de las variables que se desean obtener.

Existen distintas metodologías para obtener información específica sobre sectores de la población, pero esta información y su confiabilidad dependen de las organizaciones y sus objetivos. Por ello, en el siguiente apartado se exponen diferentes ejemplos de la experiencia internacional relacionadas con la obtención de datos sobre el consumo de agua de grupos de población específicos.

2.2.1 CASOS DE ESTUDIO DE ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA

Existen estudios clave y relevantes publicados que brindan criterios sobre la ingesta de agua para diversas poblaciones. En estos estudios se encuentran valores recomendables de tasas de ingestión que se puedan utilizar para el estudio de evaluaciones de exposición. Los estudios que se describen en el sitio electrónico de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA) asumen una tasa de ingestión de agua potable de 2 L/día para adultos y 1 L/día para bebés y niños menores de 10 años (US EPA, 2000). Esta tasa incluye agua consumida en forma de jugos y del grifo entre otras bebidas que contienen agua.

El Consejo Nacional de Investigación de EEUU estimó que el consumo diario de agua puede variar con los niveles de actividad física y las fluctuaciones de temperatura y humedad (NRC , 1977). Es razonable suponer que las personas que realizan actividades físicamente exigentes o que viven en regiones más cálidas pueden tener niveles más altos de ingestión de agua. Sin embargo, hay información limitada sobre los efectos del nivel de actividad y las condiciones climáticas en la ingestión de agua.

A continuación, se expone el objetivo y el procedimiento aplicado en algunos estudios para la obtención de datos sobre el consumo de agua, seleccionados de la revisión bibliográfica:

1. Harbin, China (Lu, 2007): China solo tiene el 8% de agua dulce del mundo para satisfacer la demanda de 22% de la población mundial. Una cantidad considerable es para uso residencial. El aumento de la demanda de agua ha llevado a problemas como la sobreexplotación del recurso y daños severos en el equilibrio del ecosistema; además de aumentar el efluente de agua residual. En este estudio se obtuvieron datos del volumen de consumo de agua a través de un cuestionario y entrevistas. Se obtuvieron rangos del promedio de consumo de agua para uso doméstico de 136 a 223 L/hab-d, para cuatro ciudades distintas en China. Sin embargo, no especifican qué porcentaje de esta agua doméstica se usa para beber.
2. EEUU (Goodman, et al., 2013): En este estudio se planteó el objetivo de caracterizar a la población con bajo consumo de agua y establecer relaciones entre sus hábitos y actitudes ante el consumo de agua. Para obtener esta información analizaron los resultados de una encuesta nacional realizada previamente y evaluaron más de 3,000 respuestas. El consumo de agua lo evaluaron a partir de datos reportados de consumo menor a 4 vasos de agua. Este es un ejemplo donde se han elegido encuestas como metodología principal de recolección de datos reales, y donde hay un número de casos considerable donde reportaron no consumir agua.
3. Unión Europea (Mantziki, 2017): Este estudio busca evaluar las asociaciones entre las prácticas de crianza de los hijos y el consumo de agua de los niños. Esta investigación se basa en datos de auto-reporte derivados de un estudio transversal de niños de 6 a 8 años de 7 comunidades europeas (n = 1187). Es un estudio de evaluación prospectiva de dos años.

4. En el estudio de Ershow & Cantor (1989) las tasas diarias de consumo de agua del grifo y agua total se calcularon para varios grupos de edad, para hombres, mujeres y ambos sexos. El agua del grifo se definió como "toda el agua del grifo doméstico se consume directamente como bebida o se usa para preparar alimentos y bebidas".

En este trabajo se utilizó una encuesta que tiene un tamaño suficientemente grande (26,446 individuos) y es una muestra representativa de la población de los EEUU, con respecto a la distribución por edades y la ubicación residencial. Los datos tienen más de 20 años y pueden no ser completamente representativos de los patrones actuales de consumo de agua, pero, en general, las tasas son similares a las presentadas en los estudios actuales. De este estudio se presenta en la Tabla 2-4 la distribución de edades que evaluaron agrupándolas en 10 estratos.

Tabla 2-4. Valores de ingesta de agua (Ershow & Cantor, 1989).

Ingesta total de agua del grifo [L/d] para ambos sexos				
Edad [años]	N	Media	Desviación Estándar	Error Estándar
<0.5	182	0.272	0.247	18
0.5 a 0.9	221	0.328	0.265	18
1 a 3	1,498	0.646	0.390	10
4 a 6	1,702	0.742	0.460	10
7 a 10	2,405	0.787	0.417	9
11 a 14	2,803	0.925	0.521	10
15 a 19	2,998	0.999	0.593	11
20 a 44	7,171	1.255	0.709	8
45 a 64	4,560	1.546	0.723	11
65 a 74	1,663	1.550	0.660	16
>75	878	1.381	0.600	20

De la Tabla 2-4 fue posible obtener valores esperados para cada grupo de edad y sirvió de guía para establecer una estratificación conveniente para el actual estudio. También sirvió para comparar las diferencias al terminar el trabajo de análisis de datos, entre su zona de estudio y de la presente investigación.

La Tabla 2-5 muestra un resumen preliminar de los valores que se tienen como referencia de la ingesta total de agua por asociaciones reconocidas internacionalmente. Estos valores están divididos por grupos etarios y por género.

Tabla 2-5. Valores de referencia sobre la ingesta total de agua, en L/d.

Edades [años]	EE. UU. (IoM, 2004)		Europa (EFSA, 2010)		Mundial (WHO, 2003)	
	Tasa de Ingesta [L/d]		Tasa de Ingesta [L/d]		Tasa de Ingesta [L/d]	
	Fem	Masc	Fem	Masc	Fem	Masc
1 a 2	1.3		1.1-1.2		1	
2 a 3			1.3			
4 a 8	1.7		1.6		2.2	2.9
9 a 13	2.1	2.4	1.9	2.1		
14 a 18	2.3	3.3	2	2.5		
> 18	2.7	3.7				

De la Tabla 2-5 se obtuvo una media general de 2.18 L/d, y una desviación estándar de 0.71 L/d. Estos datos son un referente para analizar el parámetro de Tasa de Ingesta de la encuesta de la presente tesis, como un valor esperado para esta investigación.

Por otra parte, en el documento *Exposure Factors Handbook* (US EPA, 2011), se tienen registrados 28 estudios sobre ingestión de agua donde cada uno especifica los factores estudiados. Esta información aporta algunas formas de agrupar a la población, por edades, por tipos de bebidas, para grupos vulnerables (como mujeres embarazadas) y por estaciones del año, entre otros.

La Tabla 2-6 se elaboró a partir de los estudios recopilados en el documento anteriormente citado, donde se hace un resumen de una selección de algunos trabajos que contribuyeron para las bases de esta investigación. En dicha tabla se exponen las medias generales para poblaciones diversas, sin estratificar por edad ni sexo, no obstante, se estratifica por tipo de fuente; cabe mencionar que los trabajos completos tienen información importante sobre los estratos por edades y sexo.

Tabla 2-6. Resumen de datos de la media por consumo de agua (US EPA, 2011).

País	N	Media [mL/d]	Error medio [mL/día]	Referencia	Observaciones
EEUU	20607	1233		(Kahn & Stralka, 2009)	Cualquier fuente
		1127			de la llave
		163			Embotellada
		128			Otras fuentes
EEUU	18216	1426		(US EPA, 2004)	Cualquier fuente
		869			de la llave
		321			Embotellada
		237			Otras fuentes
Gran Bretaña	3564	1589	0.0203	(Hopkins & Ellis, 1980)	Cualquier fuente
		955	0.0129		de la llave
		1104	0.0143		en casa
EEUU		662	9.9	(US EPA, 1984)	de la llave
EEUU	5258	1390		(Cantor, et al., 1987)	de la llave
EEUU	26081	1193	4.3	(Ershow & Cantor, 1989)	de la llave, ajuste Log-normal
EEUU		1129		(Roseberry & Burmaster, 1992)	de la llave, ajuste Log-normal
EEUU	15128	1150		(USDA, 1995)	Cualquier líquido
		711			Agua simple
		260			café
		114			té

Los resultados del documento que se comenta fueron una excelente guía para obtener otros valores de la media y error estándar, que es una medida de confiabilidad de la media y se emplearon para calcular el tamaño de muestra.

Estos trabajos, como se ha mencionado anteriormente, tienen información para distintos estratos de la población de interés y otras agrupaciones que contribuyen para analizar factores que cambian el comportamiento del consumo de agua.

2.2.2 CASOS DE ESTUDIO DE ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA PARA UNA EVALUACIÓN DE RIESGO

Anteriormente se describieron ejemplos de investigaciones que se han realizado específicamente para estimar el consumo de agua de una población. En esta sección se abordan trabajos de investigación en los que el objetivo fue realizar evaluaciones de riesgo para algún contaminante específico en una zona de estudio.

Para formar la Tabla 2-7, en los trabajos consultados se destaca que para realizar la evaluación de riesgo no se utilizaron las medias del consumo de agua propuestas por las instituciones internacionales, ni valores que se hayan encontrado para otros estudios similares que no tengan afinidad con la zona de importancia, sino que precisamente utilizan otros métodos para estimar el consumo de agua de la región de interés, creando un escenario de exposición fiel a la realidad que se vive en el lugar de estudio.

A partir de 5 trabajos de diferentes países obtenemos la información resumida en la Tabla 2-7, donde se muestran los datos para la estimación del consumo de agua obtenidos a partir de encuestas, especificando país, tamaño de muestra, media de la muestra, desviación estándar de la muestra, distribución estadística y su referencia pertinente:

Tabla 2-7. Resumen de trabajos consultados sobre la evaluación de la ingesta de agua.

País	N	Media [L/d]	Desviación Estándar [L/d]	Distribución	Referencia
Ontario, Canadá	2332	1.39	0.89	Log-normal	(Pintar, et al., 2009)
Bengala, India	423	3.12	1.17	--	(Hossain, 2013)
7 ciudades, India	2734	3.00	0.84	--	(Abdul Shaban, 2007)
Reino Unido		1.55	--	Poisson	(Middleton, 2017)
Dublín, Irlanda		0.96	0.63	Log-normal	(Cummis, 2010)

Por otra parte, se recopiló información de artículos que utilizan el método de PRA para observar de dónde obtienen sus variables y qué datos proponen para calcular el riesgo. De los trabajos presentados en la Tabla 2-8, notemos que la mitad de ellos utilizan las variables en forma de distribución de probabilidad. Los trabajos de Alves *et al.* (2014) y Saha (2017) se basan en datos probabilísticos reportados por la EPA, su diferencia en la variable del peso corporal radica en el rango de edades que utilizó cada uno.

Tabla 2-8. Resumen de trabajos consultados sobre la evaluación de las variables utilizadas para la evaluación de riesgo a la salud de contaminantes químicos por consumo de agua.

País	Tasa de Ingesta de Agua [L/d]			Peso Corporal [kg]			Duración de la Exposición [años]		Referencia
Turquía	LN(1.99, 1.39)			LN(65.56, 13.02)			La ecuación utilizada no incluye esta variable		(Kanvcar, Sofuoglu, & Sofuoglu, 2009)
Pakistán	2		Puntual	72		Puntual	67 años	Puntual	(Muhammada, Shah, & Khan, 2010)
China	0 a 10 años: LN(0.66, 1.48) 11 a 20 años: LN(0.87, 1.69) 21 a 70 años: LN(1.41, 1.56)			0 a 10 años: LN(16.68, 1.48) 11 a 20 años: LN(46.25, 1.18) 21 a 70 años: LN(57.03, 1.69)			0 a 10 años: U(0-10) 11 a 20 años: U(0-10) 21 a 70 años: U(0-50)		(Wu, Zhang, Zhang, & Cheng, 2011)
Países Bajos	2		Puntual	70		Puntual	La ecuación utilizada no incluye esta variable		(Jongh, Kooij, de Voogt, & ter Laak, 2012)
Brasil	LN(1.26, 0.66)			Niños N(16.1, 5.03) Adultos N(67.6, 7.16)			Niños: LN(11.36,13.73) Adultos: LN(11.36, 13.72)		(Alves, 2014)
Portugal	0 a 3 años	0.95	Puntual	0 a 3 años	11.7	Puntual	La ecuación utilizada no aplica esta variable		(Gaffney, 2015)
	3 a 6 años	1.16		3 a 6 años	19				
	6 a 11 años	1.55		6 a 11 años	36				
	11 a 16 años	1.90		11 a 16 años	56				
	16 a 18 años	1.77		16 a 18 años	57				
	> 18 años	2.04		> 18 años	60				
Australia	LN(1.26, 0.66)			Niños N(31.22, 4.73) Adultos N(57.24, 8.68)			Niños: LN(11.36,13.73) Adultos: LN(11.36, 13.72)		(Saha, 2017)
Irán	0 a 2 años	0.08	Puntual	0 a 2 años	10	Puntual	La ecuación utilizada no incluye esta variable		(Yousefi, 2018)
	2 a 6 años	0.85		2 a 6 años	15				
	6 a 16 años	2		6 a 16 años	50				
	> 16 años	2.5		> 16 años	78				

Distribuciones: LN: Log-normal, N:Normal, U: Uniforme

2.2.3 EXPOSICIÓN DE MN POR INGESTA DE AGUA PARA UNA EVALUACIÓN DE RIESGO

El último objetivo de este trabajo es aplicar a un caso particular de ingestión de agua, los valores de las variables obtenidas con las encuestas a los escenarios de exposición desarrollados para la estimación del riesgo probabilístico a la salud.

A partir de la investigación que se realiza del sitio de estudio, la Alcaldía de Iztapalapa, se identifican contaminantes presentes en el agua de la llave (Domínguez Mariani, 2015), los cuales pueden significar un peligro potencial a la salud. Los contaminantes que con mayor frecuencia se reportan son hierro, manganeso y nitrógeno amoniacal (Campos, 2015). También hay clara evidencia de que el agua entubada presenta contaminación por color, olor y sabor que habitantes reportan en el agua de la llave.

Para evaluar el riesgo probabilístico a la salud en esta investigación se contó con datos de concentraciones de manganeso (Mn) detectadas en pozos de abastecimiento de la Alcaldía de Iztapalapa.

El Mn es un elemento esencial para los seres humanos, animales y plantas, y se requiere para el crecimiento, desarrollo y mantenimiento de la salud (US EPA, 1995). El Mn está presente en la mayoría de los tejidos de todos los organismos vivos y está presente naturalmente en las rocas, el suelo, el agua y los alimentos. Las exposiciones orales a dosis altas se asocian con un aumento de los niveles de Mn en los tejidos que puede provocar el desarrollo de efectos neurológicos (Santamaria, 2010).

La neurotoxicidad clínica inducida por el manganeso se asocia con un síndrome de disfunción motora comúnmente denominado manganismo (ATSDR, 2000) (US EPA, 1995). Debido a que el Mn es un elemento esencial y la absorción y excreción están reguladas de manera homeostática, una hipótesis razonable es que no deberían existir efectos adversos para exposiciones bajas. Por lo tanto, debe haber un umbral para la exposición, por debajo del cual los efectos adversos pueden ocurrir solo en raras ocasiones, y la frecuencia de aparición de efectos adversos puede aumentar con exposiciones más altas por encima de ese umbral (Santamaria, 2010).

Los estudios que reporta la EPA para la toxicidad del manganeso se basan en estudios en roedores, por lo que no existe evidencia contundente de la relación que existe entre el manganeso y los efectos neurológicos (US EPA, 1995). Se hallaron artículos relacionados con los efectos del manganeso en humanos en la actualidad, sin embargo, no existen hasta el momento estudios de riesgo como el presentado en este trabajo. Se buscó dentro de las agencias internacionales dedicadas a ofrecer información sobre toxicidad, como la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés) y el Instituto de Medicina (IoM, por sus siglas en inglés), donde se obtuvieron dosis de referencia y la regulación internacional, véase la Tabla 2-9.

El Mn está presente en niveles bajos en el agua potable con concentraciones desde 0.001 a 0.1 mg/L (Pennington, 1986) (ATSDR, 2000). Las ingestas diarias típicas oscilan entre 2 y 9 mg/d para adultos, y aproximadamente el 3-5% se absorbe desde el tracto gastrointestinal. Los estudios de balance de manganeso y los datos de excreción indican que la baja absorción y la rápida eliminación de Mn limitan la toxicidad de Mn tras la ingestión de dosis altas (Barceloux, 1999) (Hilbig, Kersting, & Sichert-Hellert, 2002).

La realización de evaluaciones de riesgo para un elemento esencial como Mn presenta desafíos debido a la necesidad de considerar el equilibrio entre el nivel esencial y la toxicidad. Para cada oligoelemento esencial, hay dos rangos de ingesta asociados con efectos adversos para la salud: las ingestas que son demasiado bajas y pueden conducir a déficits nutricionales, y las ingestas que son demasiado altas y pueden dar lugar a toxicidad. Entre estos dos rangos, hay un rango de ingestas seguras y adecuadas que es compatible con la buena salud; sin embargo, el desafío es definir ese rango cuantitativamente (Olin, 1998).

Tabla 2-9. Regulación y Dosis de Referencia aplicadas al Mn según Agencias Internacionales (US FDA, 2007).

Agencia	Regulación [mg/L]	RfD [mg/kg-d]	Referencia
FDA	0.05	0.10	(US FDA, 2007)
EPA y ATSDR	0.05	0.14	(US EPA, 1995) (US EPA, 2006)
IoM	0.05	0.16	(IoM, 2001)
WHO	0.40	0.20	(WHO, 1973) (WHO, 2004)

Capítulo 3 SITIO DE ESTUDIO

La Alcaldía de Iztapalapa fue seleccionada para este trabajo por su conocida problemática de marginación y problemas de abastecimiento de agua que pueden entenderse como una alta vulnerabilidad para la población y en consecuencia el peor escenario de riesgo para la CDMX.

3.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS, DEMOGRÁFICOS, ECONÓMICOS Y POLÍTICOS

La Alcaldía de Iztapalapa se ubica en la parte oriente de la Ciudad de México, representada en la Figura 3-1, con las siguientes coordenadas extremas como referencias geográficas: al Norte $19^{\circ} 24'$, al Sur $19^{\circ} 17'$ de latitud Norte; y al Este $98^{\circ} 58'$, al Oeste $99^{\circ} 08'$ de longitud Oeste (Jefatura de Gobierno, 2008). Con respecto a la altura sobre el nivel del mar, la Alcaldía en sus partes de planicie tiene una altitud de 2,240 msnm, siendo superada tan sólo por los montículos cerriles de la Sierra de Santa Catarina, El Cerro de la Estrella y El Peñón del Marqués que llegan a alcanzar una altitud máxima de 2,820 msnm.



Figura 3-1. Localización de la Alcaldía de Iztapalapa en la Ciudad de México dentro del territorio mexicano.

La extensión territorial de la Alcaldía de Iztapalapa es de 11,667 ha, que representan el 7.62 % del área total de la Ciudad de México. Cuenta con 230 Colonias que se encuentran listadas en el Anexo A de este documento. Colindancia, al Norte, con la Alcaldía de Iztacalco y el Municipio de Nezahualcóyotl, en el Estado de México; al Oriente, con los Municipios de La Paz y Valle de Chalco Solidaridad, en el Estado de México; al Sur, con las Alcaldías de Tláhuac y Xochimilco; al Poniente, con las Alcaldías de Coyoacán y Benito Juárez.

3.1.1 POBLACIÓN

En el año 2015 la Alcaldía contaba con una población de 1,815,786 habitantes (INEGI, 2015b) localizados en una superficie urbanizada de 10,665.24 ha, tiene una densidad bruta de 170 hab/ha, la superficie urbanizada representa un aproximado del 98.31% del total de la superficie de la Alcaldía. El 1.69% restantes (643.10 ha, aproximadamente) corresponde a suelo natural no urbanizado. En relación con la superficie de su territorio, significa que la Alcaldía tiene una densidad bruta más alta que la de 119 hab/ha registrada en la Ciudad de México (Jefatura de Gobierno, 2008).

La tasa de crecimiento anual poblacional en la Alcaldía de Iztapalapa es de 0.98%. La disminución en la tasa de crecimiento en los últimos tiempos encuentra su justificación en el hecho de que se han agotado las reservas urbanas en la Alcaldía.

Actualmente, Iztapalapa ocupa el primer lugar de la población total de la Ciudad de México, fue receptora de un alto porcentaje de población del Valle de México, sin embargo, no cuenta con espacio suficiente para seguir creciendo con el mismo ritmo de otras décadas, por falta de suelo urbano, motivo por el cual la tasa de crecimiento seguirá disminuyendo.

3.1.2 MARGINACIÓN

El Consejo Nacional de Población refiere que la Alcaldía de Iztapalapa ocupa el 14° lugar de las 16 alcaldías (Jefatura de Gobierno, 2008), desde la perspectiva del bienestar social, presidida por Xochimilco y Milpa Alta. A nivel nacional, ocupa el lugar número 2,366 de 2,458 municipios.

En el documento Programa Delegacional de Desarrollo Urbano en Iztapalapa (Jefatura de Gobierno, 2008), la Alcaldía se agrupó a nivel de *Unidad Territorial* (UT), dimensión que contiene un número de variables disponibles por Área Geoestadística Básica, permitiendo precisar la caracterización sociodemográfica y económica de las 186 Unidades Territoriales que conforman la Alcaldía.

Del total de UT, 65 se presentan con “muy alta marginación”, 45 se presentan con “alta marginación”, 46 con “marginación media” y, en contraste, se encuentran 15 UT con 107,638 habitantes, con grados de “marginación baja” y los 15 restantes, con 71,471 habitantes, presentan una “marginación muy baja”. Esto se representa en la Figura 3-2. En este trabajo juntaremos las marginaciones “baja” y “muy baja” en un solo estrato con mayor representación general.

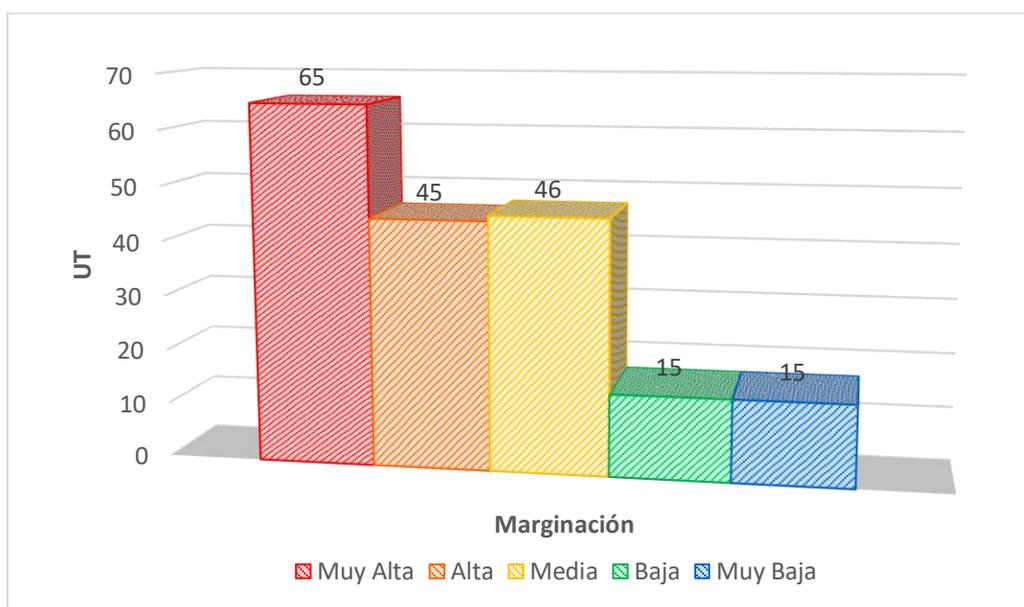


Figura 3-2. Gráfica del número Unidades Territoriales por su nivel de Marginación. (Jefatura de Gobierno, 2008)

3.2 PROBLEMÁTICAS

En los últimos 30 años este territorio, por su accesibilidad, se convirtió en el principal receptor de población, sobre todo de bajos recursos (Jefatura de Gobierno, 2008). Debido a que la ocupación urbana se dio de forma acelerada y anárquica, originó que la urbanización no contara con una estructura adecuada y ordenada, induciendo con ello una problemática caracterizada por:

- Desigualdad de **asignación de los recursos delegacionales**, ya que comparados con otras Alcaldías con menor población y problemas menos agudos, la asignación *per cápita* es inferior.

- Tendencia a la ocupación de suelos propensos a hundimiento, con fallas geológicas o laderas inestables y susceptibles a inundaciones, entre otras, **impactando estructuras de edificaciones, redes de agua potable y drenaje.**

- Coexistencia de actividades **industriales en zonas habitacionales.** Donde las principales actividades son la industria manufacturera y la minería. Iztapalapa es un territorio netamente urbano, por lo que el sector primario presenta la menor participación.

- **Existencia de industrias y otras actividades de riesgo que generan contaminantes a la atmósfera y a las redes de drenaje.** Producción de grandes emanaciones de contaminantes, debido al gran número de vehículos que circula en la Alcaldía. Carencia de una cubierta vegetal que propicie un microclima en la Alcaldía.

El sector industrial tiene instaladas 5,846 unidades económicas en total (Secretaría de Protección Civil, 2014), el subsector más representativo es el de los productos alimenticios, bebidas y tabaco que participa con el 36.08%, con 2,109 unidades; la segunda actividad económica importante es el sector de la industria de la madera y productos de madera, la cual concentra el 9.99% de los establecimientos; en tercer lugar, se encuentran los establecimientos de papel, productos de papel, imprentas y editoriales con el 9.15%. Lo anterior establece que el 55% de las unidades económicas, están concentradas en estos tres subsectores. En este sector, las unidades económicas concentran 35,870 empleos, lo que representa el 45.1% de la población empleada en la industria manufacturera.

- Ocupación acelerada del territorio de manera anárquica, **impidiendo el establecimiento** de reservas territoriales para áreas verdes y **equipamiento urbano**; esto genera zonas con dificultades de integración a la estructura urbana como Santa Catarina y una falta de continuidad en vialidades primarias, tanto en el sentido Norte-Sur como en el Oriente-Poniente. Lo anterior agudizado por la saturación y mezcla vehicular indiscriminada entre el transporte particular, el suburbano, el foráneo y de carga, en las principales vías de acceso al área metropolitana.

- **Afectación en las redes hidráulica y sanitaria**, a través del rompimiento de éstas, así como la existencia de fugas ocasionadas por el tipo de suelo; falta de atención al déficit de 1.50 m³/s en el suministro de agua potable; fugas en las redes de drenaje, las cuales están contaminando los mantos freáticos y la extracción del agua para el consumo humano; existencia de pozos que agudizan los problemas de hundimientos del suelo, al grado de registrarse zonas muy bajas con riesgo de inundaciones.

- Insuficiente número de terrenos, baldíos y dispersos de propiedad particular, para satisfacer las necesidades de la población actual y la adicional esperadas hasta el año 2025.

- Establecimiento de asentamientos humanos irregulares, principalmente sobre suelo de conservación y zonas de riesgo **carentes de todo tipo de servicios, preponderantemente el agua.**

- **Problemas por hundimientos**, cavernas, minas, fallas geológicas y laderas inestables, **debido a la extracción del agua** y la presencia de suelos altamente **compresibles provocando la ruptura de las redes hidráulica y sanitaria** y creando zonas propensas a inundación en época de lluvias. Asimismo, las industrias distribuidas por el territorio son consideradas de riesgo por manejar o almacenar materiales peligrosos.

Se estima que la extracción intensiva y los efectos asociados como el fracturamiento y la subsidencia, han influido en la variación de la composición del agua subterránea de algunas porciones de la cuenca. Tal es el caso muy notorio, de la mala calidad del agua subterránea que procede de pozos ubicados en la Alcaldía de Iztapalapa, que de manera general, presenta coloración café de pálida a muy intensa y aroma fétido, lo que imposibilita el consumo de manera confiable (Domínguez Mariani, 2015). El agua destinada para el uso doméstico de la población que trabaja y vive en las colonias y barrios populares de Iztapalapa, es sabido por los reportes de la población, que presenta con mayor severidad la problemática de la escasez y padece de racionamiento, mala calidad y altos precios por el agua que adquieren de empresas que proveen agua en carros tanque, “pipas”.

Para cubrir sus requerimientos hídricos también se recurre a varias fuentes de abastecimiento externas debido a que las internas han disminuido. Para combatir el desabasto en las colonias más afectadas de Iztapalapa, a través del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), se cuenta con 33 pipas, 31 tráileres y pipas de arrendamiento, y por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) otras 147 pipas que operan de manera regular en las colonias que tienen reportes de escasez.

Como medidas de auxilio tiene el abastecimiento mediante pipas de agua potable (en promedio 3,400 m³/d), derivado de que el abasto se proporciona sólo algunas horas al día, tandeo, en 68 colonias, es decir, en el 38 % del área de la Alcaldía (DI, 2007). En el Anexo B se muestra una lista de las 56 colonias que se abastecieron por tandeo en 2016 (Gaceta Oficial CDMX, 2019). Mientras que en el Anexo C se muestra un mapa con las 68 colonias que se abastecieron por tandeo en 2007 (DI, 2007).

A cada pipa le caben 10 m³ y a cada tráiler 40 m³, se estima que una pipa alcanza para cuatro y hasta ocho familias dependiendo de si cuentan o no con cisterna y en ocasiones el suministro tarda hasta una semana, por lo que la población se ve en la necesidad de contratar pipas comerciales para abastecerse de agua.

Los precios de las pipas completas de 10 m³ se consultaron con cinco proveedores. Cuando el agua potable se surte en pipas, para su comercialización, el precio mínimo ronda los \$150.00 por m³, sin embargo, este precio varía por proveedor y por la estación del año en que se solicita.

La Alcaldía tiene un suministro de agua subterránea proveniente de 78 pozos que aportan 1.3 m³/s, más tres tanques de abastecimiento: Tanque la Caldera (0.7 m³/s), Tanque Xaltepec (0.6 m³/s) y Tanque Cerro de la Estrella con un caudal que proviene del Sistema Cutzamala (1.8 m³/s) además del acueducto Santa Catarina (0.7 m³/s) (DI, 2007).

Sin embargo, el agua de estos pozos se reporta de mala calidad (Sanchez Lara, 2015). La calidad del agua subterránea de la Alcaldía de Iztapalapa se ha venido deteriorando, ubicándose fuera de lo establecido por la NOM-127-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 1995).

Los problemas que se tienen con la extracción creciente, son continuos descensos del nivel más allá del nivel de bombeo e incremento de la mala calidad del agua subterránea, que ocasionan que cuando el agua de un pozo en particular no es recomendable para el abastecimiento, el SACMEX clausura el pozo (Domínguez Mariani, 2015). Este proceso se ha vuelto frecuente en la Alcaldía, lo que representa una reducción significativa del volumen de agua disponible en la misma Alcaldía, propiciando la futura escasez.

En el estudio que realizó Domínguez Mariani (2015) se eligieron 17 pozos al azar de la Alcaldía de Iztapalapa, con el fin de colectar muestras de agua y conocer la composición química en cuanto a iones mayores y traza. Reporta que el agua subterránea de la Alcaldía tiene concentraciones elevadas de Fe^{2+} (0.004 – 0.64 mg/L), Mn^{2+} (0.003 – 0.96 mg/L), Na^+ (91 – 598.1 mg/L), Cl^- (59 – 372.3 mg/L), presencia de materia orgánica (expresada en términos de Demanda Química de Oxígeno, 3.75 – 63.8 mg/L) y conductividad eléctrica en el intervalo de 620 – 2503 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Al comparar las concentraciones del agua subterránea del ion Na^+ con la NOM-127-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 1995) 10 pozos se encontraron fuera de la norma mexicana para agua potable; para Cl^- , 7 de ellos están fuera; para el Fe^{2+} , 3 lo están; y para el Mn^{2+} , 8 la superan.

A partir de las concentraciones de los parámetros medidos en campo y en laboratorio se calcularon los índices de saturación que indican la tendencia a precipitar óxidos ferromagnesianos, carbonatos, fosfatos y silicatos. Esto permite explicar los depósitos de color café a negro en la red de distribución de la demarcación y la turbiedad del agua extraída de pozos.

Las condiciones reductoras del agua subterránea fueron reproducidas, mediante la presencia de gases como H_2S y CH_4 relacionados con la degradación de materia orgánica que se encuentra de forma inherente en el acuitardo. Procesos asociados son la reducción de sulfatos y de nitrificación. De esta manera, se explica el intenso hedor que presenta el agua subterránea de la zona de estudio.

Capítulo 4 METODOLOGÍA

En este capítulo se presentan los pasos metodológicos y los parámetros que son tomados en cuenta para realizar la colecta de datos reales y representativos, la generación de la base de datos validados y codificados, y por último a través del programa *Crystal Ball* la producción de funciones de distribución de probabilidad que apoye el análisis de los datos.

4.1 CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA

A partir de la bibliografía revisada anteriormente (veáse Tablas 2-4 a 2-8) se recopilaron las medias de ingestión de agua y las desviaciones estándar utilizadas por distintos autores, así como los cálculos de factores de peso (ponderación) y los factores de agrupamiento (edad, sexo, localización, marginación, tipo de bebida) aplicables a la Alcaldía de Iztapalapa.

El muestreo estratificado es un diseño de muestreo probabilístico en el que se divide a la población en subgrupos o estratos. La estratificación puede basarse en una amplia variedad de atributos o características de la población como edad, género, nivel socioeconómico, ocupación, etc.

La estratificación es una de las técnicas más difundidas y usadas en muestreo (Valliant, 2000), puesto que tiene funcionalidades estadísticas que la hacen atractiva, por ejemplo, permite tratar con subpoblaciones, aumenta la eficiencia de las estimaciones y contribuye a la administración eficiente de grandes encuestas.

El muestreo estratificado se implementa cuando se puede utilizar una variable auxiliar (factor de interés) para agrupar a los elementos de la población en subconjuntos llamados estratos, con la particularidad de ser homogéneos internamente, pero heterogéneos entre ellos, generando así, las condiciones para una adecuada estratificación (Ruel, Wagner, & Gillespie, 2016).

Las razones para recurrir al muestreo estratificado son:

- Protege contra la posibilidad de obtener una mala muestra.
- Obtiene datos de precisión sobre subgrupos o estratos.
- Mayor eficiencia en la administración y reducción de costos.
- De hacerse correctamente, se obtienen estimaciones más precisas para toda la población.

En la literatura consultada se encuentran diferentes protocolos para el cálculo del tamaño de la muestra dependiendo de la información recopilada. De estos se escoge aquella para estimar una media mediante el muestreo estratificado proporcional (Ruel, Wagner, & Gillespie, 2016):

$$n = \frac{Z^2 \sum_{h=1}^L W_h \sigma_h^2}{E^2} \quad (4.1)$$

donde

n = Tamaño de muestra

Z = Desviación del valor medio para lograr el nivel de confianza deseado

L = Número total de estratos

h = Número de estrato evaluado

W_h = Peso del estrato evaluado

σ_h^2 = Varianza del estrato evaluado

E = Margen de error muestral deseado

La desviación del valor medio aceptado, Z , lo calculamos a partir del nivel de confianza deseado; en este estudio será un nivel de confianza del 95%, por lo tanto:

$$Z = 1.96$$

El número total de estratos, L , depende de la agrupación que se haga según la información del lugar y el beneficio que esta agrupación pueda ofrecernos en términos de información útil. Los indicadores de diversidad de la población que se utilizan en este trabajo son: edad y nivel de marginación.

A pesar de que la información obtenida para los niveles de marginación suele ser difícil de conseguir, la CDMX cuenta con la página web Oficina Virtual de Información Económica (OVIE) (INEGI, SEDECO, 2018), la cual contiene la información necesaria para clasificar el nivel de marginación y el número de habitantes de las colonias de la Alcaldía de Iztapalapa, por lo que se ha optado por estratificar ambos factores edad y marginación.

En la Tabla 4-1 se muestran los estratos elegidos, $L=8$ estratos por edades con los que se decidió trabajar por su compatibilidad con los datos obtenidos en el INEGI (2015) y los estudios anteriormente revisados (Ershow & Cantor, 1989) (Hopkins & Ellis, 1980), conjuntamente hay un gran beneficio al tener diversidad de edades con las que se pueda trabajar por separado.

Tabla 4-1. Estratos por rangos de edad para la Alcaldía de Iztapalapa elegidos para estimar el tamaño de muestra (INEGI, 2015b).

Estrato	Edad [años]	Población [habitantes]	Porcentaje [%]
1	0 a 4	14,5828	8.03
2	5 a 9	15,3575	8.46
3	10 a 14	15,2126	8.38
4	15 a 24	32,5463	17.92
5	25 a 44	57,1867	31.49
6	45 a 64	33,6789	18.55
7	65 o más	10,8765	5.99
8	No especificada	21,373	1.18
TOTAL		1,815,786	100

El peso del estrato, W_h , depende del porcentaje que cada estrato represente con respecto a la población total, en este caso, utilizaremos la columna 4 de la Tabla 4-1 como ponderación.

El margen de error, E , es el riesgo de imprecisión que se está dispuesto a aceptar. Como se ha mencionado en los objetivos, será un error de muestra del 5% que corresponde a $E = 0.05$. A partir de este procedimiento podemos obtener un tamaño de muestra acorde a nuestros objetivos.

Del capítulo 2 en la Tabla 2-4 obtenemos medias y desviaciones estándar generales para las distintas edades. En ella se muestran los datos de cada estrato utilizando las varianzas del estudio clave de Ershow & Cantor (1989), en específico se tomaron las varianzas para los estratos de 1 a 3 años, de 7 a 10, de 11 a 14, de 15 a 19, de 20 a 44, de 45 a 64, de 65 a 74 y para la población con edad no especificada se repitió la varianza con mayor ponderación de 20 a 44 años.

Tabla 4-2. Tamaño de muestra para cada estrato de edad con condiciones de nivel de confianza del 95%, error de la muestra del 5%, varianza del estudio Ershow & Cantor (1989)

Estrato	Rango de edad [años]	Población [hab]	Ponderación (W_h)	Varianza de la tasa de ingesta (σ_h^2)	Tamaño de muestras (n_h)
1	< 5	145,828	0.0803	0.152	49
2	5 a 9	153,575	0.0846	0.174	52
3	10 a 14	152,126	0.0838	0.271	52
4	15 a 24	325,463	0.1792	0.352	110
5	25 a 44	571,867	0.3149	0.503	194
6	45 a 64	336,789	0.1855	0.523	114
7	65 o más	108,765	0.0599	0.436	37
8	No especificada	21,373	0.0118	0.503	7
TOTAL		1,815,786	1		615

Por otra parte, se considera también el cálculo para el nivel de marginación, utilizando el mismo método y la ecuación (4.1), tomando en cuenta el número de Unidades Territoriales de cada nivel de marginación.

Para los niveles de marginación, los estratos elegidos son Muy Alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja (Jefatura de Gobierno, 2008) (INEGI, SEDECO, 2018), $L = 5$, esto se puede observar en el encabezado de la Tabla 4-3.

En este caso el peso del estrato, W_h , depende del porcentaje que cada estrato represente con respecto a la cantidad de UT (Jefatura de Gobierno, 2008), la fila 3 de la Tabla 4-3 muestra los datos correspondientes de la ponderación.

Se seleccionó la desviación estándar del trabajo de Ershow & Cantor (1989) para toda la población por ser un estudio detallado y, también, compatible con las desviaciones estándar para los estratos en edades de este mismo autor, este dato se encuentra en la fila 3 de la Tabla 4-3. Igualmente el margen de error, E , será un error de muestra del 5% que corresponde a $E = 0.05$ que cumple con lo mencionado en los objetivos. A partir de este procedimiento podemos obtener un tamaño de muestra acorde a nuestros objetivos. Los cálculos se muestran en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Tamaño de muestra para cada estrato de la cantidad de UT según el Nivel de Marginación.

Variables	Total	Marginación					Referencia
		Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja	
UT (N)	186	65	45	46	15	15	
Ponderación (W)	1.00	0.3495	0.2419	0.2473	0.0806	0.0806	
Varianza (σ^2)	0.493	0.493	0.493	0.493	0.493	0.493	(Ershow & Cantor, 1989)
Tamaño de Muestra para cada estrato (n_h)	757	265	183	187	61	61	
Encuestas en cada colonia.		30	30	30	30	30	
UT por entrevistar	25	9	6	6	2	2	

Con base en la Tabla 4-3, el Tamaño de Muestra total es de 757 y la fila 4 representa el Tamaño de Muestra para cada estrato de nivel de marginación, es decir, el Tamaño de Muestra total (n) multiplicado por el porcentaje de ponderación (W_h).

Para elegir el número de encuestas en un mínimo de colonias que sigan siendo representativas, se propuso un número que pueda ser completado en un día. Se observó que al utilizar 30 encuestas por colonia (fila 5, Tabla 4-3) encontrábamos el número óptimo a visitar por cada nivel de marginación, que por resultado arrojó un total de 25 colonias (fila 6. Tabla 4-3).

Este método resultó ser conveniente para obtener un tamaño de muestra y proponer una ruta plausible en tiempo y con la diversidad de parámetros que este estudio requiere.

Después de realizar las dos estimaciones de tamaño de muestra, por estratos de rangos de edades y por nivel de marginación, se decidió que la cantidad adecuada de encuestas sería 757, para así cumplir la representatividad de los estratos de marginación.

Entonces se generó una matriz (Tabla 4-4) para conjuntar la estratificación proporcional por edades y por nivel de marginación, así es posible determinar la cantidad de encuestas por edad que habrá que realizar en cada UT y establecer una ruta a seguir para la aplicación de la encuesta descrita más adelante en la sección 4.2.2.

Tabla 4-4. Cálculo de número de encuestas por rangos de edad y marginación.

		UT \ Hab	Edad [años]							
			(00 a 04)	(05 a 09)	(10 a 14)	(15 a 24)	(25 a 44)	(45 a 64)		(65 o más)
			2.4	2.6	2.6	5.5	9.6	5.7	1.8	
Marginación	Muy Alta	9	22	23	23	51	86	53	15	273
	Alta	6	14	16	16	33	58	34	11	182
	Media	6	14	16	16	33	58	34	11	182
	Baja	2	5	5	5	11	19	11	4	60
	Muy Baja	2	5	5	5	11	19	11	4	60
		25	60	65	65	139	240	143	45	757

Ubicándonos en cada renglón de la Tabla 4-4, encontramos la cantidad de habitantes que hallaríamos en cada estrato de edades al hacer 30 encuestas. Este número se obtiene de multiplicar el factor de ponderación por 30; y al multiplicarlo por la cantidad de individuos y por el número de UT nos devuelve el número aproximado de encuestas que hay que realizar. Con esto cumplimos con los requerimientos de representatividad de cada estrato de ambos parámetros.

Los resultados de la Tabla 4-4 deben interpretarse sólo como una aproximación del número de encuestas a realizar, ya que la cantidad de encuestas son números enteros y el cálculo se obtiene en decimales, por lo que es conveniente decidir que aproximación es la más adecuada.

4.2 DISEÑO DE LA ENCUESTA

A partir de la revisión de estudios se ha verificado la validez, importancia, ventajas y desventajas de utilizar encuestas como medio de recopilación de datos reales.

Este trabajo propone una encuesta del tipo descriptivo para reflejar y documentar las actitudes y condiciones que existen en este momento; busca definir la realidad, examinar el fenómeno de ingesta de agua y caracterizar el escenario en que está inmersa la población y así diferenciarlo de otros casos.

El uso de preguntas en su mayoría cerradas ayuda a delimitar las respuestas, para recopilar la información necesaria de forma breve, concisa y específica; de esta manera seccionar con mayor rapidez y facilidad el análisis de la diversidad de respuestas mediante un cuestionario impreso que se aplicará por hogar.

El documento *Rapid Assessment of Drinking–Water Quality* (WHO, 2012) es una guía que tiene como objetivo dar recomendaciones del uso de herramientas, métodos y procedimientos para hacer evaluaciones rápidas. Se enfoca en recolectar datos masivos únicos para obtener información de referencia, que resulta en un conjunto de datos representativos de una zona poblacional.

En nuestro caso aplicamos la guía de evaluación rápida para auxiliarnos en la selección de indicadores y parámetros que deben incluirse en la encuesta; se basa en priorizar aquellos indicadores o parámetros que tendrán mayor impacto en el consumo de agua, especialmente en los grupos más vulnerables.

Para diseñar la encuesta debemos conocer la situación actual de la zona de estudio y los factores que influyen en el consumo de agua. Las preguntas, por tanto, fueron elaboradas con los siguientes parámetros y criterios:

- Vulnerabilidad (sexo, edad, peso)
- Escasez, suministrarse por distintas fuentes y almacenarla de diferentes formas.
- Marginación y gasto promedio para este recurso.
- Consumo e ingesta.
- Parámetros que indican algún riesgo conocido para la salud y
- Criterios organolépticos que puedan causar el rechazo del agua.

Con estos parámetros se decide estructurar la encuesta en las siguientes partes:

1. Información general.
2. Suministro y manejo del agua en el hogar.
3. Presupuesto para agua potable.
4. Usos del agua en el hogar.
5. Ingesta individual de agua.
6. Padecimientos relacionados a la ingesta del agua.
7. Percepción acerca del agua potable.

Descripción de la encuesta propuesta

La primera parte “**Información general**” consiste en 6 preguntas que nos darán la información básica del encuestado. Con estas respuestas tendremos la información necesaria para poder identificar los diferentes estratos a los que pertenece cada encuestado.

Las preguntas que se hacen son: dirección, número de personas que habitan el hogar, y también: sexo, edad, peso y tiempo de residencia en la Alcaldía de cada persona. Los datos de peso y tiempo de residencia corresponden a dos de las variables necesarias para estimar la dosis de ingestión diaria en un estudio de riesgo, ecuación (2.1).

La sección “**Suministro y manejo del agua en el hogar**” busca recabar información de las formas en que los hogares tienen acceso al agua potable y en qué condiciones la mantienen, es importante esta sección por las conocidas deficiencias del sistema de abastecimiento que hay en Iztapalapa y se espera se reflejen las características de la zona como la alta tasa de marginación.

Esta sección cuenta con 12 preguntas: fuente de suministro para el hogar, existencia de toma de agua, existencia de abastecimiento continuo, abastecimiento por tandeo, frecuencia de abastecimiento, otras formas de abastecimiento, formas de almacenamiento, limpieza y desinfección de recipientes. Los datos de la fuente de suministro y frecuencia de acceso al agua también intervienen en la definición del escenario de exposición para la estimación de la dosis de ingestión diaria.

En la sección “**Presupuesto para agua potable**” se busca estimar el impacto económico para satisfacer esta necesidad básica. Las preguntas de esta sección son: el gasto bimestral del agua de la red hidráulica, el gasto mensual en pipas y el gasto semanal en agua embotellada.

La sección “**Usos del agua en el hogar**” tiene como fin revelar usos que no sean ingesta: para lavar, limpieza y cocinar. Contiene 3 preguntas: usos de agua de la llave, usos de agua de pipa y usos de agua embotellada.

En el apartado “**Ingesta individual de agua**” se indaga la tasa de ingesta de agua en las diferentes opciones como pueden ser agua de grifo, agua de pipa o agua embotellada. Las preguntas principales son: ingesta de agua del grifo, ingesta de agua de pipa, ingesta de agua embotellada, número de vasos en los distintos horarios del día, y frecuencia de compra por volumen de agua embotellada.

En la división “**Padecimientos relacionados a la ingesta del agua**” se desea encontrar una relación entre el suministro, manejo del agua e ingesta con las enfermedades derivadas del agua que se han reportado. Las principales enfermedades notificadas por el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica serán encuestadas preguntando únicamente los síntomas fácilmente identificables por la población: diarrea aguda, infección intestinal, intoxicación bacteriana y gastritis.

Por último, la sección “**Percepción acerca del agua potable**” desea indagar la percepción general de la población acerca del agua entubada, pues si existe desconfianza en la red hidráulica, ésta afecta en las decisiones de consumo, y ocasiona el incremento del gasto al pagar por este recurso de forma privada, generando descontento. Las principales preguntas son sobre: la percepción de olor, sabor, color, turbiedad, dureza y contaminación biológica.

4.2.1 APLICACIÓN PILOTO DE LA ENCUESTA

Para este trabajo de investigación deseamos que la encuesta sea eficiente, que cumpla con los objetivos y que el proceso se lleve a cabo con el menor número de dificultades. Al utilizar encuestas como método de investigación, una manera de verificar la efectividad de ésta es hacer una encuesta piloto que ayudará a detectar sesgos, preguntas mal planteadas o mal precisadas, los límites que se tienen o que se requieren, etcétera.

Este proyecto de investigación implica dinero, tiempo y esfuerzo, por lo que es necesario llevar a cabo diversas pruebas antes de empezar el proceso y así corregir desperfectos antes de la encuesta real que involucre una gran cantidad de participantes.

De acuerdo con el estudio de Connelly (2008), la muestra de una encuesta piloto debe de ser de un 10% de la muestra proyectada. Mientras que en otros estudios sugieren entre 10 y 30 participantes (Isaac, 1995).

En las evaluaciones piloto se debe utilizar la misma precisión aceptable que se ha elegido de $E = \pm 0.05$ con un nivel de confianza del 95%, para garantizar los resultados, no obstante se pueden utilizar otros valores para aumentar la precisión y el riesgo de errores.

En términos generales, el control del sesgo (o la prevención de encuestas sesgadas) se considera más importante que la precisión. Por lo que es de suma importancia revisar que en la encuesta piloto se obtengan los indicadores necesarios para generar una Evaluación de Riesgo Probabilístico a la salud.



CUESTIONARIO

HÁBITOS DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LOS INTEGRANTES DEL HOGAR



El presente cuestionario tiene como propósito recabar información sobre el consumo de agua potable en la Alcaldía de Iztapalapa.

DOMICILIO:	CALLE:			
Marginación	Colonia:	C. P.		
	Muy Alta	Alta	Media	Baja

INFORMACIÓN DEL SUMINISTRO Y MANEJO DEL AGUA EN EL HOGAR

1	¿SU HOGAR CUENTA CON TOMA DE AGUA?	SÍ	NO			
2	¿EN ESTE AÑO LE HA LLEGADO A FALTAR EL AGUA POR 24 HORAS O MÁS?	SÍ	NO			
3	¿CON QUÉ FRECUENCIA LLEGA EL AGUA?	DIARIO TODO EL DÍA	DIARIO ALGUNAS HORAS	CADA 3 DÍAS	CADA 4 o MÁS DÍAS	NO TIENE ACCESO A AGUA ENTUBADA
3.a	¿A QUÉ HORA ESPECÍFICA DEL DÍA?	MAÑANA	TARDE	NOCHE	VARIABLE	
1.a	¿SE SUMINISTRA AGUA DE OTRA FORMA?					
	OTRA TOMA (ACARREO)	SIEMPRE	A VECES	NUNCA		
	PIPA	SIEMPRE	A VECES	NUNCA		
	AGUA EMBOTELLADA	SIEMPRE	A VECES	NUNCA		
	OTRO (ESPECIFIQUE):					
4	¿CÓMO SE DISTRIBUYE EL AGUA EN EL HOGAR?	TUBERÍA INTERNA	MANGUERA	ACARREO		
	OTRO (ESPECIFIQUE):					
5	¿COMÓ ALMACENA EL AGUA?	CISTERNA	TINACO	OTRO		
		TAMBO	CUBETAS	BOTELLAS	RECIPIENTES	
5.a	¿UTILIZA TAPAS PARA CUBRIR EL AGUA?	SIEMPRE	A VECES	NUNCA		
6	¿REALIZA LIMPIEZA DE LOS RECIPIENTES?	CADA 2 MESES	CADA 6 MESES	CADA AÑO		
		NUNCA	OTRO:			
6.a	¿REALIZA DESINFECCIÓN DE LOS RECIPIENTES?	SIEMPRE	A VECES	NUNCA		

USOS DEL AGUA EN EL HOGAR

¿ EN QUÉ ACTIVIDADES UTILIZA EL AGUA DE LAS SIGUIENTES FUENTES?

7	AGUA DE LA LLAVE	SIEMPRE	A VECES	NUNCA
	LAVAR TRASTES			
	LAVAR ROPA			
	LAVAR PISOS			
	COCINAR			
8	AGUA DE PIPA	SIEMPRE	A VECES	NUNCA
	LAVAR TRASTES			
	LAVAR ROPA			
	LAVAR PISOS			
	COCINAR			
9	AGUA EMBOTELLADA	SIEMPRE	A VECES	NUNCA
	LAVAR TRASTES			
	LAVAR ROPA			
	LAVAR PISOS			
	COCINAR			

PRESUPUESTO PARA AGUA POTABLE

10	¿CUÁNTO ESTIMA GASTAR EN AGUA BIMESTRALMENTE?	
11	¿CUÁNTO ESTIMA GASTAR EN PIPAS MENSUALMENTE?	
12	¿CUÁNTO ESTIMA GASTAR EN AGUA EMBOTELLADA SEMANALMENTE?	

INFORMACIÓN DE LOS INTEGRANTES DEL HOGAR:

14	¿Cuántas personas habitan su hogar?:	1	2	3	4	5	6	7
15	Sexo de cada integrante	F M	F M	F M	F M	F M	F M	F M
16	Edad de cada integrante (años)							
17	Peso de cada integrante (Kg)							
18	¿Cuánto tiempo han residido .en su actual hogar?							

INGESTA DE AGUA EN EL HOGAR (SIMPLE, SABORIZADA, TÉ O CAFÉ) POR CADA MIEMBRO DEL HOGAR

S= SIEMPRE, A= A VECES, N= NUNCA

		1			2			3			4			5			6			7		
19	BEBE AGUA DE LA LLAVE	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N
20	BEBE AGUA DE PIPA	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N
21	¿TRATA EL AGUA PARA BEBER?	SIEMPRE						A VECES						NUNCA								
	HERVIR																					
	CLORAR																					
	YODO																					
	FILTRO COMERCIAL																					
	OTRO																					
22	BEBE AGUA EMBOTELLADA	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N	S	A	N
23	PRESENTACIÓN																					
	500 ml																					
	1 l																					
	1.5 l																					
	2 l																					
	5 l																					
	10 l																					
	20 l																					

24	NÚMERO DE VASOS	1	2	3	4	5	6	7
	MÁÑANA / DESAYUNO							
	TARDE / COMIDA							
	NOCHE / CENA							
	TOTAL							

PADECIMIENTOS RELACIONADOS A LA INGESTA DE AGUA

EN LOS ÚLTIMOS 6 MESES HA PADECIDO:

	1	2	3	4	5	6	7
Diarrea aguda							
Infecciones intestinales							
Intoxicación bacteriana							

EN LOS ÚLTIMOS 2 AÑOS HA PADECIDO:

	1	2	3	4	5	6	7
Gastritis							

PERCEPCIÓN DEL AGUA DEL HOGAR

29	TIENE OLOR	NO	SI	A QUÉ HUELE	_____
30	TIENE SABOR	NO	SI	A QUÉ SABE	_____
31	TIENE COLOR	NO	SI	QUÉ COLOR	_____
32	ESTA TURBIA	NO	SI	QUÉ TANTO	_____
33	SE FORMA SARRO	NO	SI		_____
34	TIENE GUSANOS	NO	SI	DE QUÉ TIPO	_____

4.2.2 RUTA DE MUESTREO

En la sección 4.1 a partir del cálculo por muestreo estratificado proporcional del tamaño de muestra por edad (Tabla 4-2) y por marginación (Tabla 4-3) se obtuvieron 757 encuestas por realizar en 25 UT estratificadas y ponderadas por nivel de marginación: 9 Muy Alta, 6 Alta, 6 Media y 4 Baja (incluye Baja y Muy Baja). Además, se encontró la cantidad óptima de encuestas por estratos de ambos factores (Tabla 4-4).

Tomando en cuenta las 25 UT, se seleccionó la ruta a partir de la población que está reportada en cada colonia (SIDESO, 2003) (INEGI, SEDECO, 2018); para incorporar la representatividad de la Alcaldía y la vulnerabilidad en la distribución del agua en las UT, se eligieron las de mayor población y demanda del recurso.

La representación de la ruta que será encuestada se observa en la Figura 4-1. El listado de las colonias que se eligieron se puede consultar en el Anexo D.

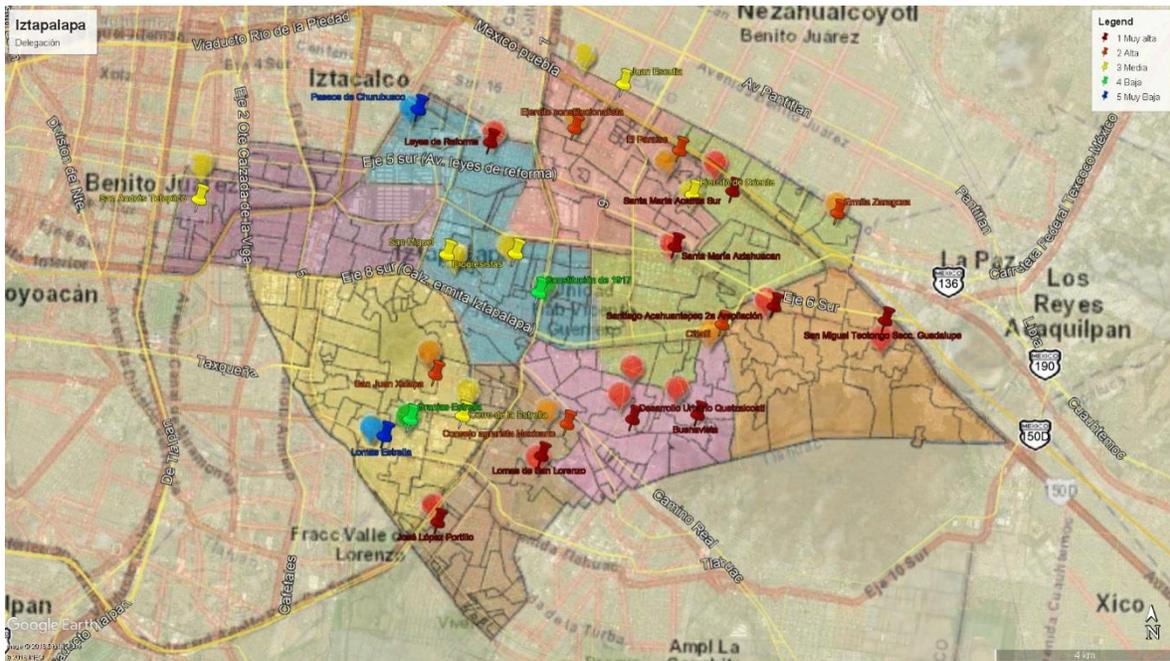


Figura 4-1. Selección de UT donde se aplicará la encuesta.

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La estrategia de análisis de los datos de encuestas se establece desde la fase de planeación del protocolo al incorporar las variables necesarias para generar los indicadores requeridos, así como la adecuada recolección, registro y manejo de los datos. El éxito de todo proceso de análisis dependerá de la calidad de los datos y de la correcta aplicación e interpretación de herramientas de la estadística descriptiva.

4.3.1 VALIDACIÓN

La validez de una encuesta se define como la congruencia entre la información medida y la información real. El proceso de validación tiene como función principal corregir las inconsistencias de la información recabada (Ruel, Wagner, & Gillespie, 2016).

La validación es parte integral del proceso de generación de información; inicia desde la definición de variables, el diseño de las preguntas, instrucciones de llenado de los instrumentos, revisión de los datos asentados, adopción de criterios; así como los programas de tratamiento y procesamiento de la información, hasta el análisis de resultados.

El proceso de validación parte de la existencia de errores como son la omisión o falta de respuesta, la multirespuesta, los valores inadmisibles o fuera de rango, el no respetar frases en la aplicación de preguntas y las incongruencias entre respuestas.

Entre las causas que generan errores, destacan: problemas en el diseño del cuestionario, imprecisiones o falta de instrucciones, capacitación inadecuada, carencia de supervisión, incomprensión del informante y poca capacidad del entrevistador para hacer aclaraciones, dando lugar al registro incorrecto o incompleto; adicionalmente durante el proceso de captura se llegan a presentar algunos errores. (INEGI, 2015a)

La permanencia de dichos errores en los resultados emitidos, puede significar distorsiones y reflejos estadísticos inadecuados de los fenómenos que fueron medidos, por lo que una vez concluida la captura, se debe llevar a cabo la validación, lo que garantiza la congruencia en la información.

Se revisan los valores de las variables y su congruencia, y se les asigna un valor definitivo para generar un archivo con valores coherentes antes de la conformación de la base de datos de análisis.

- Validez del contenido: grado con que se cubren los factores buscados.
- Validez del criterio: grado de relación entre las pruebas y los estándares.
- Validez de la construcción: grado de relación entre la medición y la realidad.

Por dicha razón durante la aplicación de la encuesta se debe elaborar un ajuste del número de encuestas faltantes para el cumplimiento con los criterios del número de encuestas para cada uno de los rangos de edad y de marginación establecidos en esta metodología.

4.3.2 CODIFICACIÓN

La codificación de una encuesta puede referirse a dos cosas:

- 1) La atribución numérica a las alternativas de respuesta de una pregunta o a su posterior ingreso a un software de análisis estadístico.
- 2) Cuando hay preguntas abiertas u opciones abiertas, se han de crear códigos para las nuevas alternativas. Esto facilitará la tarea de análisis estadístico y sociológico.

Identificar a cada pregunta por separado. Cada pregunta representa una variable e incluso dentro de una pregunta puede existir más de una variable. Una pregunta que tiene una respuesta cerrada, pero pide una respuesta abierta para aclarar la respuesta tiene dos variables, que consiste en la primera pregunta, seguida de la respuesta por escrito, que es la segunda variable. Si el cuestionario tiene preguntas que permiten a los encuestados elegir múltiples respuestas, cada una de las respuestas se convierte en una variable.

En la presente encuesta, la mayoría de las opciones de respuesta son cerradas y binarias, pero existen respuestas de opción múltiple ya codificadas, y además existe el caso de preguntas con respuesta abierta que serán codificadas con el criterio según las respuestas.

Se utilizan preguntas abiertas cuando no hay suficiente información para crear categorías por separado, y esta es una buena forma de que aparezcan en boca de los que contesten.

Para hacer un análisis cuantitativo no se pueden utilizar variables de texto, por lo que la codificación convierte las variables textuales en numéricas. Generalmente se crean variables nominales u ordinales, rara vez se utilizan variables continuas (Ruel, Wagner, & Gillespie, 2016)

4.3.3 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES PARA EVALUAR EL RIESGO

Las funciones de densidad de probabilidad o distribuciones de probabilidad de las variables se obtendrán de la ecuación (2.1):

$$D = \frac{C \times TI \times DE \times FE}{PC \times t} \quad (2.1)$$

Donde:

D = Dosis de exposición $\left[\frac{mg}{kg \cdot d}\right]$

FE = Frecuencia de exposición $\left[\frac{d}{año}\right]$

C = Concentración de exposición $\left[\frac{mg}{L}\right]$

PC = Peso corporal $[kg]$

TI = Tasa de Ingesta $\left[\frac{L}{d}\right]$

t = Tiempo promedio $[días]$

DE = Duración de exposición $[años]$

La Frecuencia de Exposición (FE) se estimará con base en la cantidad de días u horas diarias que los encuestados reporten que llega el agua al hogar. Es pertinente eliminar del estudio de riesgo aquella población que no cuenta con toma de agua. La Duración de la Exposición (DE) corresponderá al tiempo que llevan viviendo en la Alcaldía. La Tasa de Ingesta (TI) y el Peso Corporal (PC) se estimarán con las respuestas que proporcionen a las preguntas concretas correspondientes.

Por otra parte, con datos del SACMEX, se obtendrán concentraciones (C) de contaminantes en el agua de la Alcaldía Iztapalapa, se elegirá(n) aquella(s) que no cumpla(n) con la NOM-127-SSA1-1994 y tenga(n) el valor del RfD , que es de suma importancia para medir el riesgo; en este caso el Mn cumple con estas características.

La encuesta tiene distintos niveles de representatividad, respuesta representativa para la Alcaldía, para la colonia, para el hogar y para el individuo. Para analizar los datos obtenidos de la encuesta, se separan datos del nivel que queremos caracterizar.

Posteriormente se ejecutan herramientas que ofrezcan describir el escenario. Los gráficos e informes generados por la herramienta de Análisis de riesgos son los siguientes:

- Histograma: Informa acerca de los posibles valores a tomar por las variables resultantes del modelo y la probabilidad asociada a cada uno de ellos. El Histograma muestra los posibles valores de las variables que podrán ser alcanzados con un nivel de confianza determinado (probabilidad de ocurrencia asociada al valor).

4.3.4 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

Una vez identificadas las variables para estimar el riesgo, que permiten estimar la dosis de exposición, interesa conocer cuál es el comportamiento de dichas variables, es decir, cuál va a ser su rango de variación para cada uno de los periodos de proyección.

Es necesario identificar la función de probabilidad que se asocia a cada una de las variables, es decir, la función de distribución que explica y refleja el comportamiento de la variable definida por la respuesta a la encuesta aplicada a la población.

Con ayuda del programa *Crystal Ball* se eligen los datos obtenidos para cada variable de la ecuación (2.1): C, TI, PC y DE; el programa se encargará de ajustar los datos a funciones de distribución. El programa dará una gama de opciones de funciones de distribución que puedan describir el comportamiento de los datos, se identificará aquellas que se consideren mejor ajustadas, porque serán las que mejor describen y reflejan el comportamiento de la variable.

4.3.5 EVALUACIÓN DEL RIESGO PROBABILÍSTICO

Habiendo obtenido las funciones de distribución de probabilidad para cada variable de la ecuación (2.1), se calculará la dosis de exposición que será a su vez una función de distribución. Con el programa *Crystal Ball* (Oracle, 2019) se harán aproximaciones de manera probabilística aplicando simulaciones Montecarlo, de 10,000 iteraciones, con base en los tipos de distribución de probabilidad de cada variable en el cálculo de la Dosis.

En seguida se calcula el riesgo, a partir de la ecuación (2.3):

$$HQ = \frac{D}{RfD} \quad (2.3)$$

Si el cociente de peligro es mayor que uno, proporciona evidencia de que existe un riesgo potencial inaceptable para la salud asociado con la exposición crónica y a una sustancia dada, de lo contrario, se supone que el riesgo es aceptable.

Capítulo 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la metodología descrita en el Capítulo 4.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE LA ENCUESTA

Se comprobó el diseño del cuestionario, esto consistió en hacer una prueba piloto; se aplicó la encuesta a 150 personas de la Alcaldía de Iztapalapa, de 5 diferentes colonias y que cumplieran con las proporciones de ponderación de rangos de edades y marginación.

A partir de los datos recabados se generó una base de datos, con la cual se localizaron los indicadores con mayor relevancia y preguntas confusas o sesgadas. A partir de ese análisis se realizaron modificaciones en el cuestionario para optimizar la encuesta y obtener información necesaria que definen los escenarios de exposición de la población encuestada, y posteriormente aplicar la metodología de riesgo probabilístico a la salud por la ingestión de agua. Las modificaciones consistieron en mover el orden de las preguntas para propiciar la confianza en el encuestado y algunas precisiones en las preguntas para no duplicar la obtención de información.

Como se mencionó en el Capítulo 4, la ruta de muestreo se eligió basándose en el lugar geográfico de las colonias con mayor población que cumplieran con los criterios de marginación para que representen proporcionalmente a toda la población de la Alcaldía.

Más de la mitad de las colonias visitadas se encuentran cerca de la ruta de un transporte público, lo que facilitó la movilidad hacia éstas.

El protocolo usado en la encuesta fue:

1. Dentro de la ruta seleccionada se eligieron preferentemente las casas particulares por su fácil acceso, en comparación de unidades habitacionales o edificios.
2. Una vez que se llamó a la puerta se explicaba la razón de la visita.
3. Se encontró que la gente reaccionaba con mayor apertura al presentarse por parte de la UNAM con el respectivo gafete-credencial y bata.
4. La gente también mostraba mayor interés a contestar al mencionar que el estudio puede favorecer el servicio de agua a futuro.
5. Se observó que en las colonias de alta marginación la tasa de respuesta fue mucho mayor, en comparación con las colonias de baja marginación.
6. En general, la tasa de gente que cooperaba fue del 70% aproximadamente de los hogares a los que se llamó.
7. La mayoría de las veces la persona que contestó la encuesta fue la jefa del hogar y con su permiso se podía encuestar a los demás integrantes del hogar, en comparación con la respuesta de los hombres que eran menos cooperativos.
8. Se siguió el orden establecido de las preguntas de la encuesta que mostró ser el adecuado.
9. Se calculó un tiempo efectivo de encuesta de 10 minutos.

5.2 VALIDACIÓN Y CODIFICACIÓN

En total se encuestaron 281 hogares y se obtuvieron datos para 1,316 personas. Después de la etapa de validación de datos se eliminaron 17 encuestas a hogares con datos de 46 personas, pues no aportaban información congruente, por lo que se analizaron 264 hogares con 1,270 encuestas personales validadas.

Para validar los datos obtenidos se utilizó el método descrito en la sección 4.3.1, se cruzó la información de las respuestas para que no hubiera contradicciones, por ejemplo, aquellos que no tienen toma de agua no podían tener respuesta de la frecuencia de llegada del agua; en el caso de que la información fue incongruente se eliminaron esas respuestas. Parte del proceso de validación fue eliminar las respuestas en los casos que no contestaron.

Cuando se cumplió con el tamaño de muestra diseñado para la aplicación de la encuesta se procedió a codificar, a partir del método de la sección 4.3.2, para no dejar variables sin tomar en cuenta.

Se obtuvieron dos tipos de respuesta: cerradas y abiertas. Aquellas que fueron cerradas son, por ejemplo, respuestas de tipo Sí/No o Siempre/A veces/Nunca y también aquellas que tienen opciones determinadas, como la frecuencia con la que llega el agua o la hora del día en que llega ésta.

Las preguntas con respuestas abiertas codificadas fueron: otras fuentes de suministro de agua, formas de almacenamiento del agua, la frecuencia con que se limpian los recipientes de almacenamiento, precio del agua de la llave, de pipa y embotellada; número de integrantes del hogar, edad, peso, tiempo de residencia y número de vasos que bebe; a qué huele, a qué sabe y qué color tiene el agua (véase Tabla 5-1). Las respuestas mismas generaron las categorías de clasificación.

Tabla 5-1. Ejemplo de la codificación de respuestas abiertas obtenidas.

Color	Olor	Sabor
Amarilla	Azufre	Azufre
Café	Caño	Caño
Verde	Cloro	Cloro
Gris	Estancada	Estancada
Negra	Metal	Metal
	Tierra	Tierra

La sección de 'ingesta' de la encuesta entregó datos sobre los hábitos comunes de beber agua potable.

- El 85% nunca bebe agua de la llave, el 13% a veces y el 2% siempre.

- El 31% de los encuestados siempre tratan el agua antes de usarla, de ellos:
 - ❖ El 35% hierve el agua.
 - ❖ El 17% la clora.
 - ❖ El 48% usa filtros comerciales.

- El 86% siempre bebe agua embotellada y el 13% algunas veces.

- El 86% siempre compra garrafones de 20 L y el resto compra otras presentaciones menores.

De la sección "suministro y manejo del agua en el hogar" se obtuvo la siguiente información:

- El 99% de los hogares encuestados cuentan con toma de agua, en la siguiente proporción:
 - ❖ Al 50% el agua le llega 'Diario, algunas horas'
 - ❖ Al 33%, 'Diario, todo el día' y
 - ❖ Al 16% restante, el agua le llega 'Cada 3 días o más'

Se le conoce como *suministro por tandeo* al hecho que el agua llegue 'Diario, algunas horas' o 'Cada 3 días o más'. Este método de suministro aplica al 66% de la población con toma de agua.

En las Figuras 5-2 y 5-3 se aprecia que existe un grave problema de abastecimiento, por el cual el agua no llega de forma continua. Notemos que el suministro por tandeo es un problema generalizado en toda la alcaldía, no existe una tendencia que dependa del nivel de marginación.

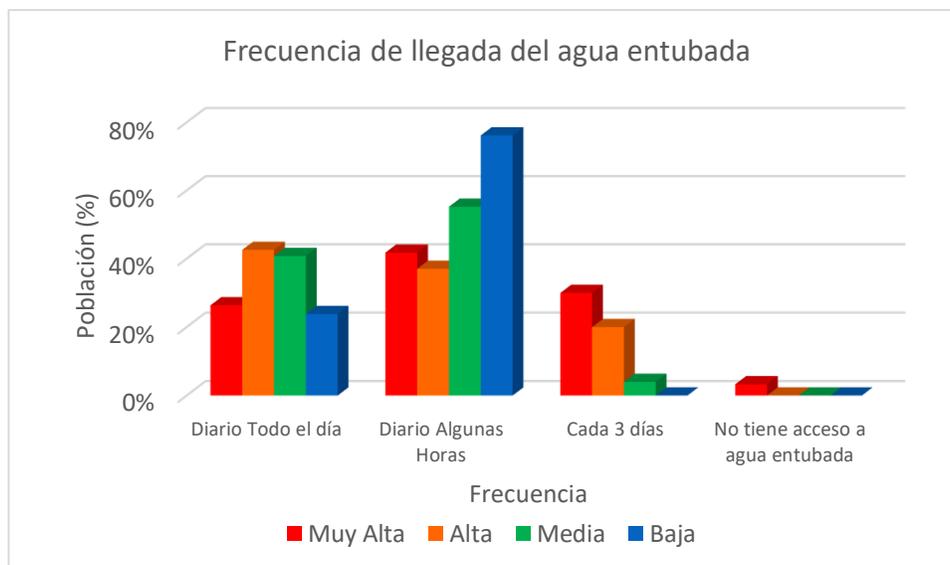


Figura 5-2. Porcentaje de la frecuencia de abastecimiento de agua para cada nivel de marginación

No obstante, en la Figura 5-2 sí existe una diferencia importante entre el tandeo para los de Muy Alta y Baja marginación; los de Muy Alta marginación les puede llegar el agua cada 3 días o más y en este nivel de marginación es donde hay casos donde no tienen un sistema de tubería, por lo que en su hogar no tiene acceso directo al agua, mientras que en el tandeo que sufren los de Baja marginación es por horario, es decir, que les llega diario el agua a una hora específica.

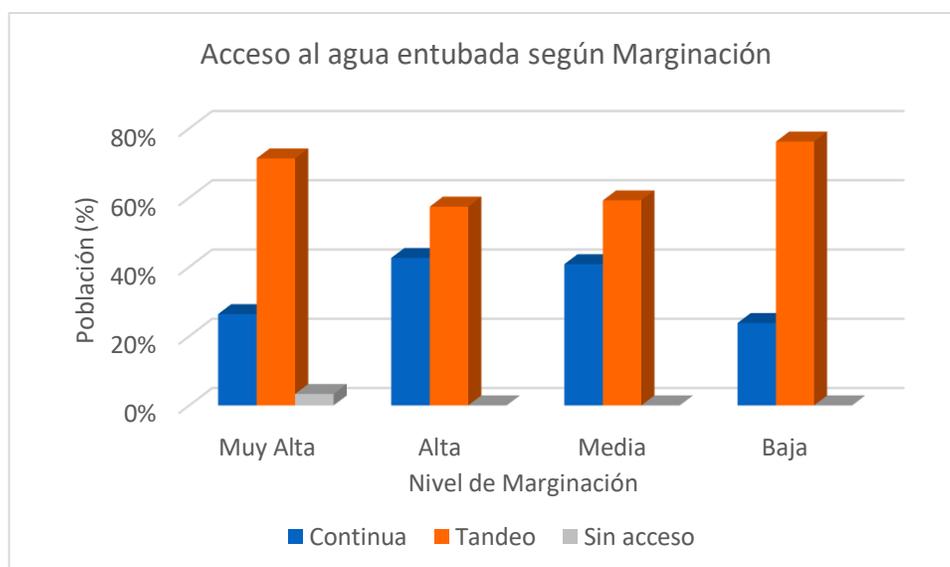


Figura 5-3. Porcentaje de Tandeo para cada nivel de marginación

Cabe resaltar que las zonas donde se reportó que el abastecimiento es de 3 días o más, son zonas de la Sierra de Santa Catarina (Figura 5-4), independientemente al nivel socioeconómico de la zona, el bombeo de agua es mucho menos efectivo y la presión resulta insuficiente para vencer la altura, pero principalmente obedece a la escasez de agua para distribuir en la zon. A pesar de contar con una programación, la Alcaldía no siempre puede cumplir con ella, debido a las fallas inesperadas que se presentan en la infraestructura del sistema de agua potable. Cuando se presentan este tipo de fallas, la situación más crítica la enfrentan los habitantes que reciben agua por tandeo una vez por semana, ya que, si el programa falla una vez, los habitantes reportan que el agua les llegará hasta dos semanas después de la última carga (Quintero, 2007).

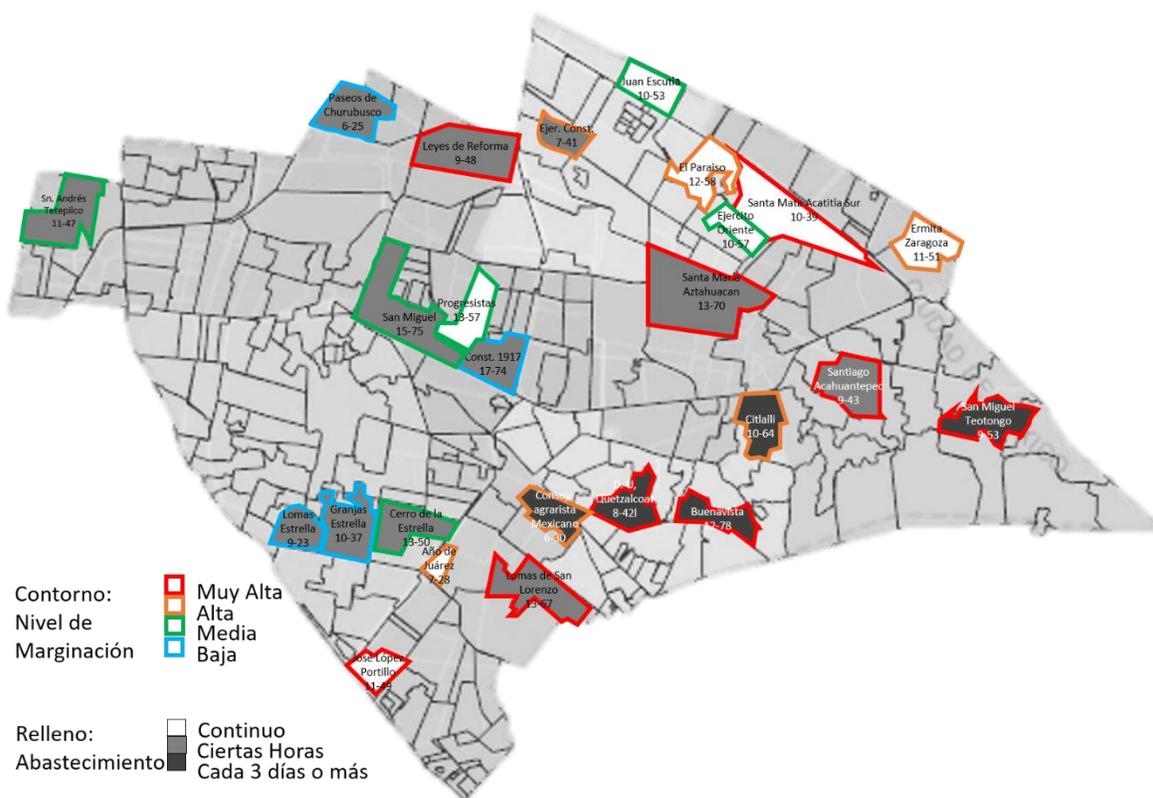


Figura 5-4. Representación gráfica del abastecimiento de agua en cada colonia.

- Otras fuentes de agua a las que recurren los encuestados para compensar la falta o la mala calidad del agua que suministra el sistema de abastecimiento, sin excluir las otras opciones, son:
 - ❖ El 99% compra 'Agua Embotellada'.
 - ❖ El 37% pide 'Pipa'.
 - ❖ El 15% acude a 'Otra toma'.

- Los hogares encuestados distribuyen el agua, sin excluirse las opciones, con:
 - ❖ Tubería interna, el 83%
 - ❖ Mangueras, el 15%
 - ❖ Acarreo, el 11%
- Los hogares cuentan con diferentes formas de almacenamiento y pueden utilizar más de un método:
 - ❖ El 72% tienen tinaco
 - ❖ El 57% cuentan con cisterna
 - ❖ El 25% almacena en tambos
 - ❖ El 13% acumula el agua en otros recipientes.
- La frecuencia con la que realizan la limpieza a los recipientes de almacenamiento varían:
 - ❖ El 40% hace la limpieza 'cada año o más'
 - ❖ El 34% realiza la limpieza 'cada 6 meses'
 - ❖ El 22% lo realiza 'cada 2 meses o menos'
 - ❖ El 4% nunca realiza limpieza
- El 80% de los hogares encuestados dicen hacer desinfección a la hora de la limpieza de los recipientes.

En la sección "usos del agua" se separan los usos dependiendo la fuente:

- Para el agua de la llave, los encuestados contestaron que:
 - ❖ El 95% siempre la usa para lavar trastes.
 - ❖ El 97% siempre la usa para lavar ropa.
 - ❖ El 97% siempre la usa para lavar pisos.
 - ❖ El 9% siempre la usa para cocinar.
- Para aquellos que solicitan el agua de pipa, contestaron:
 - ❖ El 100% la usa para lavar trastes, ropa o piso.
 - ❖ El 96% nunca la usa para cocinar.

- Para el uso del agua embotellada, los encuestados contestaron que:
 - ❖ Menos del 1% la utiliza para lavar trastes, ropa o pisos.
 - ❖ El 81% la usa para cocinar.
- El 10% usa a veces agua de la llave y a veces agua embotellada para cocinar.

En la sección de “presupuesto” los encuestados estimaron su gasto según la fuente:

- ❖ Para el agua de la llave, el rango del precio al bimestre con mayor número de respuestas fue el de \$150 a \$250 con un 38%.
- ❖ Para el agua de pipa, el rango del precio al mes con mayor número de respuestas fue el de \$0 a \$500 con un 87%, dónde \$0 corresponde al caso de pipas gratuitas del gobierno.
- ❖ Para el agua embotellada, el rango del precio a la semana con mayor número de respuestas fue el de \$7 a \$100 con el 65%.

La sección de ‘padecimientos relacionados con la ingesta de agua’ se obtuvo que:

- Solo el 8% ha padecido diarrea aguda en los últimos 6 meses.
- El 7% ha sido diagnosticado con Infección intestinal en los últimos 6 meses.
- Al 2% se le ha detectado intoxicación bacteriana en los últimos 6 meses.
- El 16% padece gastritis.

En la sección de ‘percepción del agua de la llave’:

- El 76% de la población encuestada detectó color en el agua de la llave
 - ❖ Los colores mencionados con mayor frecuencia fueron: amarilla con el 44% y café con el 35%

A partir del dato anterior se generó una gráfica de barras apiladas (Figura 5-5) dónde se ilustran los porcentajes de habitantes que detectaron color en el agua y se pueden comparar por colonia, que se pueden ubicar en el mapa de la Figura 5-6.

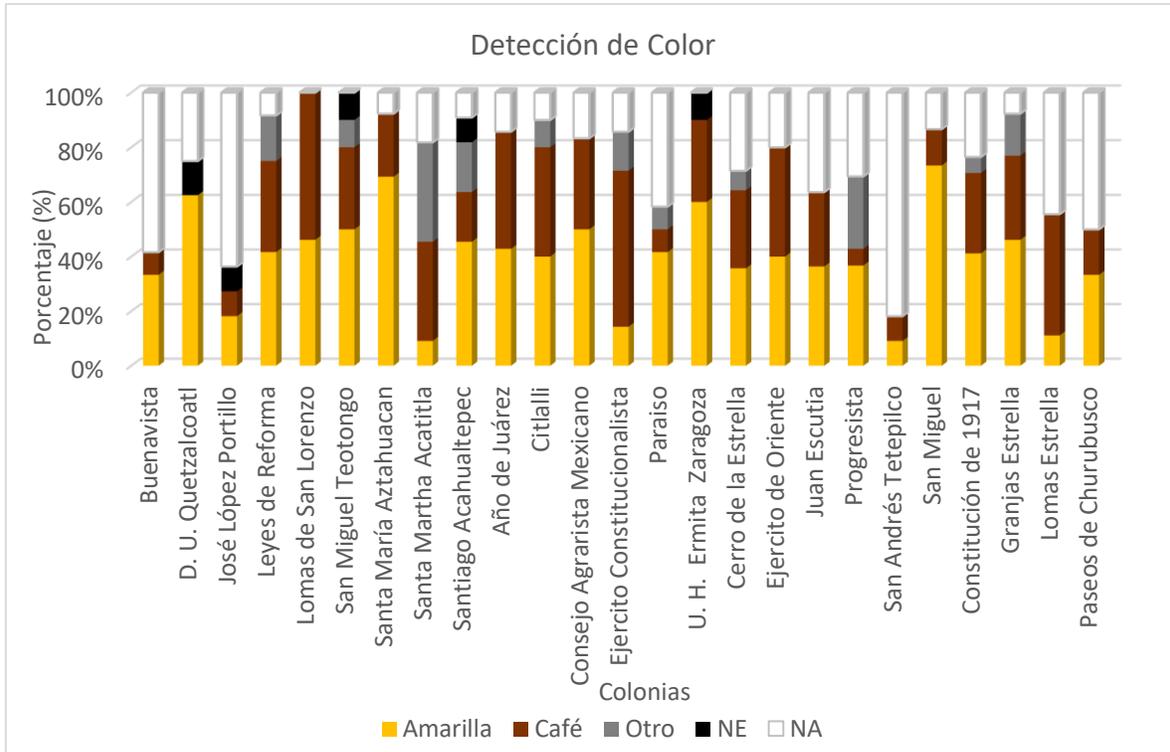


Figura 5-5. Gráfica de barras apiladas que compara el porcentaje de la población que detectó diferentes colores en cada colonia. El listado de las colonias con los resultados numéricos se puede consultar en el Anexo E.

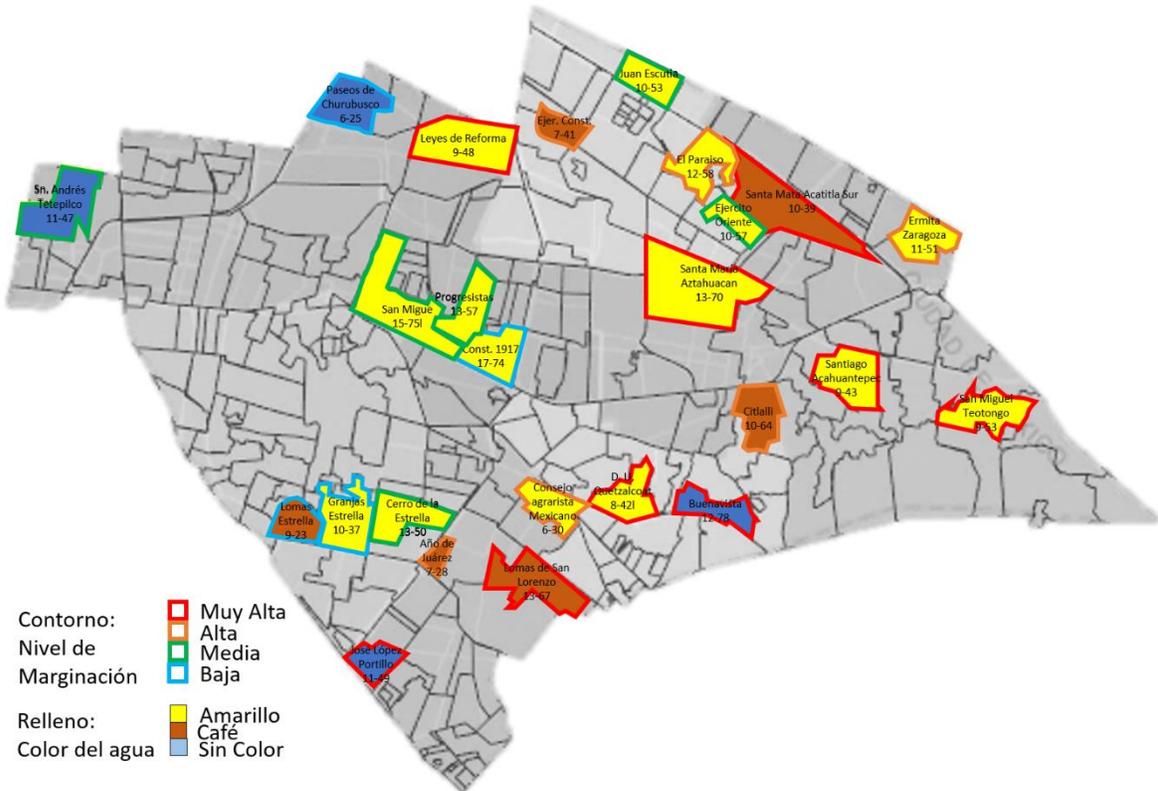


Figura 5-6. Representación de las localidades donde la población detectó color en el agua.

- De la misma sección, el 69% detectó olor en el agua de la llave
 - ❖ Los olores mayormente mencionados fueron: estancada con el 24%, cloro con el 23%, y caño con el 21%.

En la Figura 5-7 se puede notar que existen colonias donde la población detectó repetidamente olores característicos en el agua de la llave, los más preocupantes son el olor a agua estancada, caño y a azufre, por ser evidencias de descomposición de materia orgánica y presencia de sulfuros

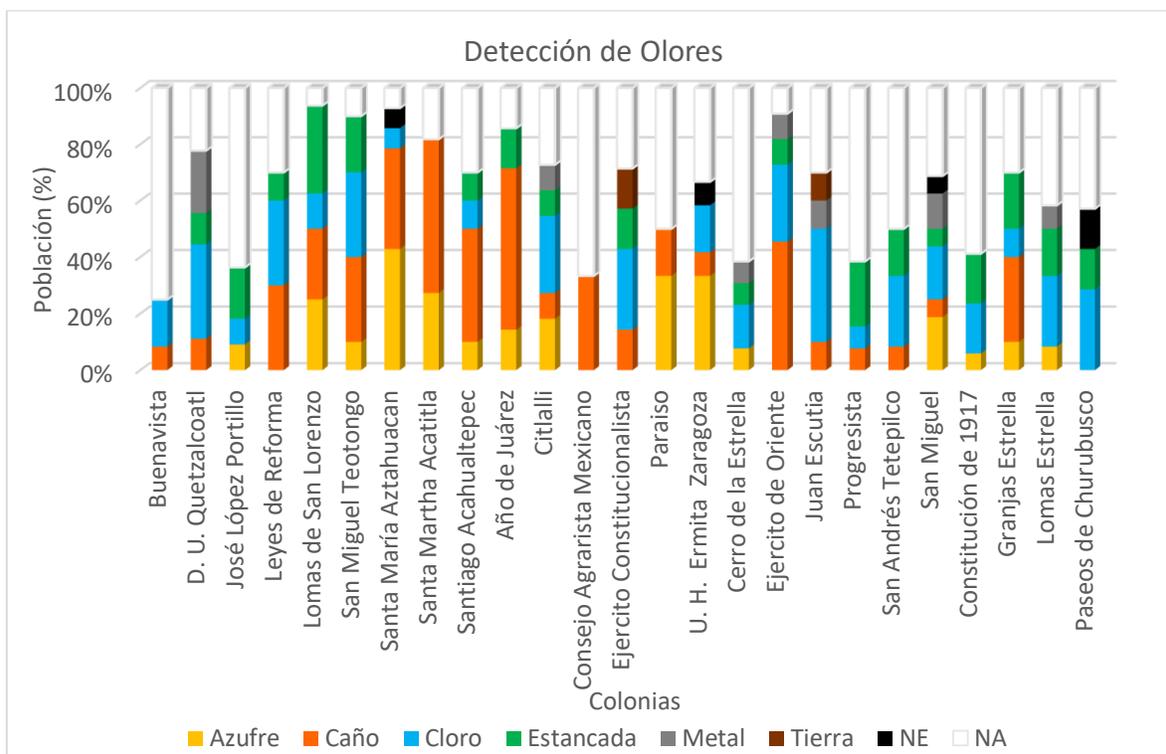


Figura 5-7. Gráfica de barras apiladas que compara el porcentaje de la población que detectó los diferentes olores en cada colonia

La Figura 5-8 representa la localización de las colonias donde un porcentaje de la población encuestada detectó olor en el agua. Notemos que donde el 70% o más de la población detectó olor, son zonas de la Sierra de Santa Catarina, independientemente al nivel socioeconómico de la zona.

5.3.1 HISTOGRAMAS DE LAS VARIABLES DE EXPOSICIÓN

En este trabajo es importante obtener datos característicos de la población de interés. Se obtuvieron los estadísticos básicos para las variables Tasa de Ingestión, Duración de la Exposición (Tiempo de Residencia) y Peso Corporal. La Tabla 5-2 es de gran utilidad para estudios posteriores que deseen expandir el entendimiento del escenario de exposición para este grupo social y poder compararlo con otros grupos.

Tabla 5-2. Coeficientes de variabilidad para cada variable.

Donde N = Tamaño de Muestra, μ = Media, σ = Desviación Estándar, σ/μ = Coeficiente de variabilidad, TI = Tasa de Ingesta, PC = Peso Corporal y DE = Duración de Exposición

Rangos de Edad	N	μ TI	σ TI	σ/μ TI	μ PC	σ PC	σ/μ PC	μ DE	σ DE	σ/μ DE
[años]	[hab]	[L/d]	[L/d]	[%]	[kg]	[kg]	[%]	[años]	[años]	[%]
0 a 4	73	0.59	0.30	51	10.65	3.07	29	2.27	1.27	56
5 a 9	88	0.87	0.38	44	21.87	3.39	16	6.45	1.99	31
10 a 14	97	1.22	0.50	41	41.78	9.62	23	11.30	2.85	25
Niños (<15)	258	1.00	0.51	51	26.75	18.19	68	7.22	4.28	59
Adultos (≥ 15)	902	1.37	0.58	42	67.44	13.61	20	27.02	15.98	59
15 a 64	782	1.40	0.57	41	67.38	13.59	20	24.55	13.65	56
65 o más	120	1.15	0.58	50	67.84	11.50	17	43.11	20.53	48

Se obtuvieron distribuciones empíricas de probabilidad para las variables Tasa de Ingestión, Duración de la Exposición (Tiempo de Residencia) y Peso Corporal. De la Figura 5-9 a la Figura 5-11, se muestran las distribuciones empíricas para el rango de edad de 25 a 44 años. Este método se siguió para todos los rangos de edades.

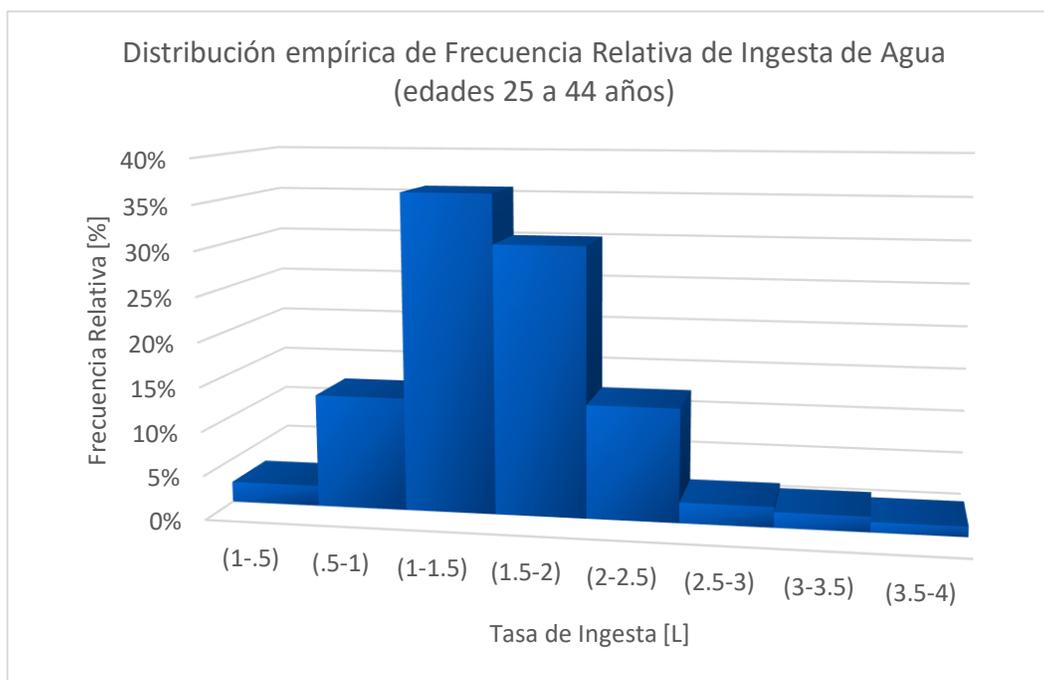


Figura 5-9. Distribución empírica de probabilidad de Ingesta de Agua para el rango de edades de 25 a 44 años

Los histogramas de los datos para la Tasa de Ingestión y el Peso para cada grupo de edad (Figuras 5-9 y 5-10) muestran largas colas a la derecha, que coincide con los gráficos *Log-Normal* de los datos agrupados como se verá más adelante en las gráficas de función de distribución.

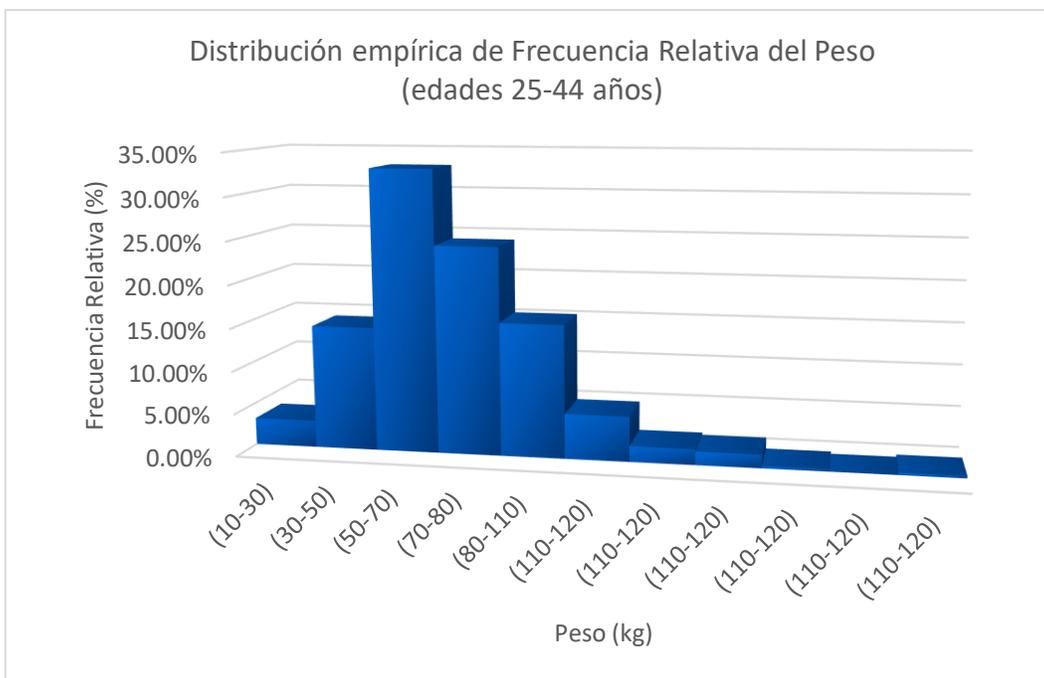


Figura 5-10. Distribución empírica de probabilidad de Peso Corporal para el rango de edades de 25 a 44 años

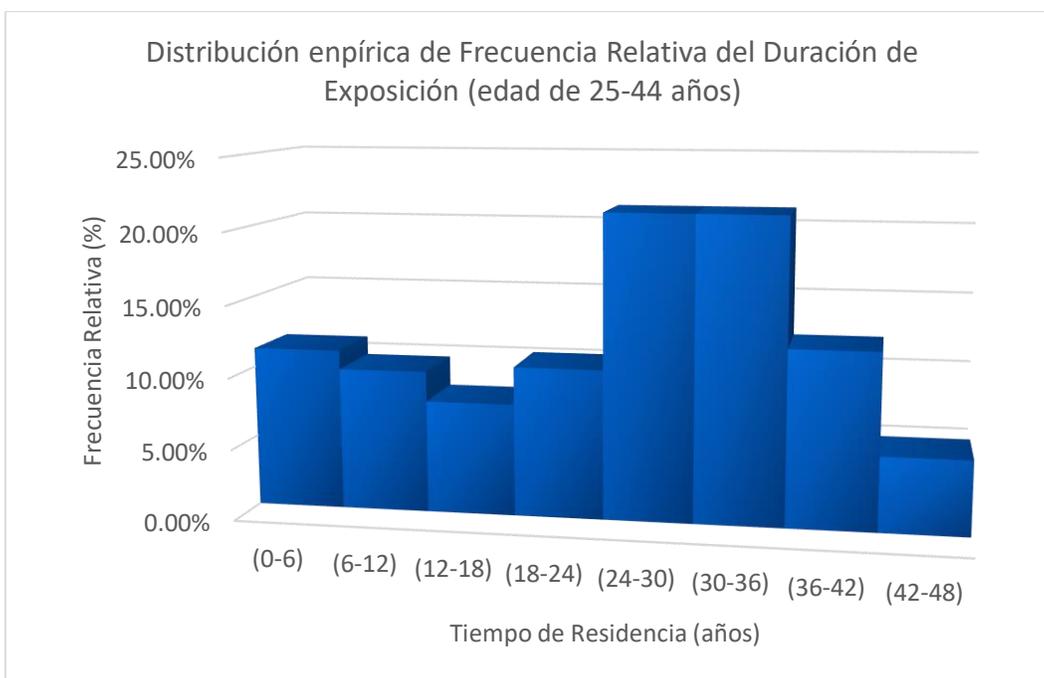


Figura 5-11. Distribución empírica de probabilidad de Duración de Exposición para el rango de edades de 25 a 44 años

5.3.2 FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE LAS VARIABLES DE EXPOSICIÓN

A partir de los datos obtenidos a través de la encuesta, con el programa *Crystal Ball* se generaron las siguientes distribuciones de densidad de probabilidad para las variables necesarias para estimar la *Dosis de Exposición*, ecuación (2.1), según los rangos de edad (Tabla 5-3):

$$D = \frac{C \times TI \times DE \times FE}{PC \times t} \quad (2.1)$$

Tabla 5-3. Resumen de las Funciones de Distribución para cada rango de edad, obtenidas con *Crystal Ball*.
N = número de los análisis de agua obtenidas en Iztapalapa.

Rangos de Edad [años]	Concentración de Mn [mg/L] N=110	Tamaño de Muestra [hab]	Tasa de Ingesta [L/d]	Peso Corporal [kg]	Duración de Exposición [años]
0 a 4	Log-normal (0.42, 1.01)	73	Beta (4.61, 65.69)	Binomial (92, 011)	Logística (2.24, 0.78)
5 a 9		88	Log-normal (0.87, 0.38)	Binomial (46, 0.47)	Hipergeométrica (1259, 478, 17)
10 a 14		97	Log-normal (1.22, 0.50)	Binomial negativa (13, 0.31)	Hipergeométrica (11398, 3141, 41)
Niños (<15)		258	Log-normal (1.00, 0.51)	Binomial negativa (2, 0.07)	Weibull (14.53, 3.36)
Adultos (>15)		902	Log-normal (1.37, 0.58)	Binomial negativa (18, 0.26)	Log-normal (27.02, 15.98)
15 a 64		782	Log-normal (1.40, 0.57)	Binomial negativa (18, 0.26)	Log-normal (24.55, 13.65)
65 o más		120	Log-normal (1.15, 0.58)	Binomial negativa (23, 0.34)	Binomial-negativa (4, 0.09)

A continuación, en la Figura 5-12 se muestran los dos grupos más importantes en los rangos de edad, con 258 datos los niños menores de 15 años y con 908 datos los adultos, población de 15 años o más.

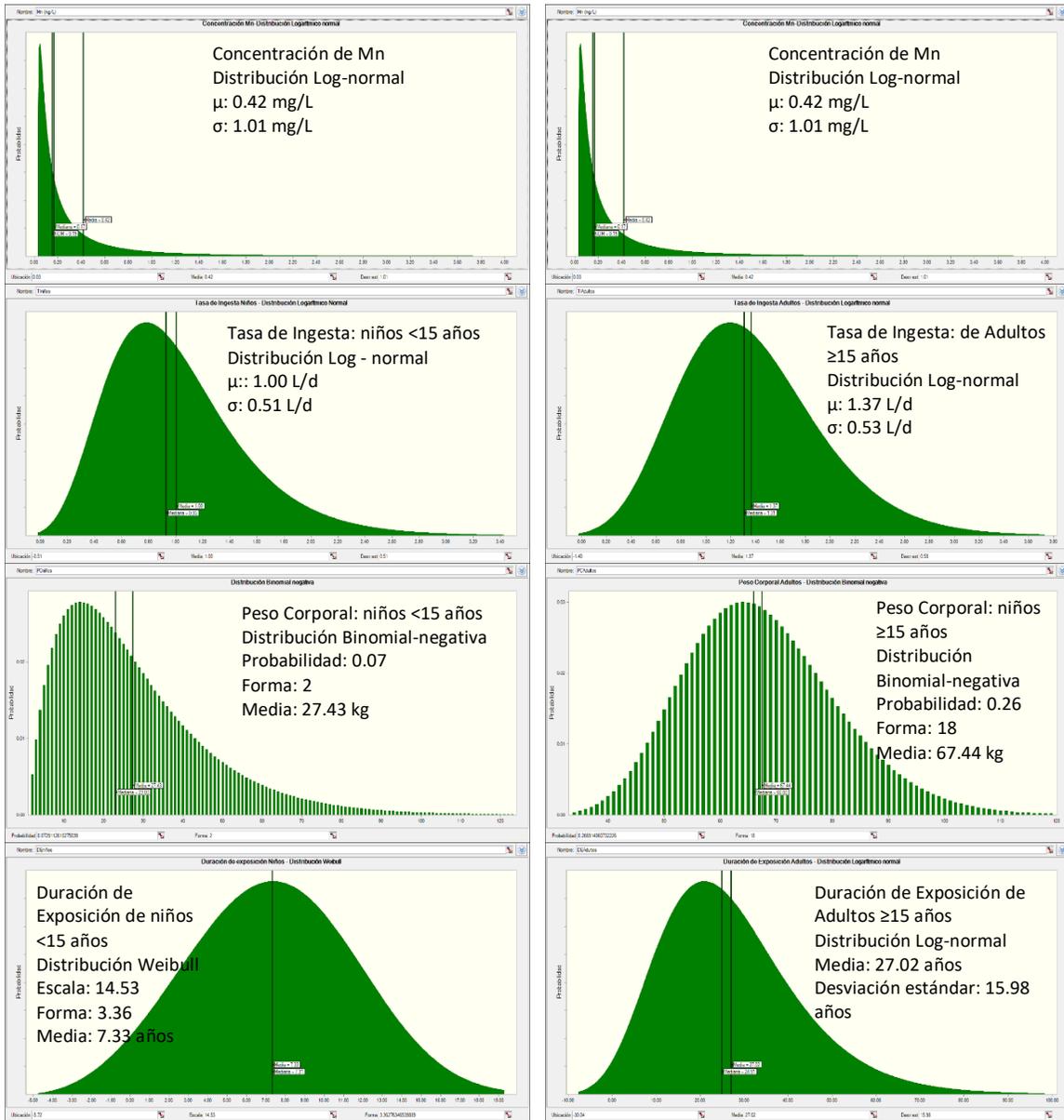


Figura 5-12. Funciones de Distribución de Probabilidad para las variables de la ecuación de Dosis de Exposición, (de arriba para abajo) Concentración del Mn, Tasa de Ingesta, Peso Corporal, Duración de la Exposición, (izquierda) Niños con 258 datos, (derecha) Adultos con 908 datos.

5.3.3 ESTIMACIÓN DEL RIESGO PROBABILÍSTICO.

El análisis estadístico condujo a identificar la función de densidad de probabilidad que mejor se aproximó a los datos, para sustentar al modelo de riesgo probabilístico para cada grupo de población (Tabla 5-3). Las variables del modelo de riesgo, son: C la distribución que resultó de los datos que caracterizan la concentración de Manganeso en el agua del sitio de estudio, TI está representada por la distribución que caracteriza los hábitos de consumo diario de agua, PC corresponde a la distribución que mejor se aproxime a los valores de peso corporal reportado, análogamente DE corresponde a la distribución que represente el tiempo que los encuestados reportaron estar viviendo en el sitio de estudio.

Otra variable en el modelo de riesgo, relacionada con la población expuesta, es la frecuencia de exposición, FE , que tomó un valor constante porque el consumo de agua ocurre todos los días del año, por lo que su valor anual es $EF = 365$ días. Sin embargo, para aquellas colonias en las cuales las condiciones de tandeo son evidentes, se hizo este mismo análisis para dos frecuencias de exposición diferentes, para aquellos que les llega el agua un día sí y un día no entonces, $FE = 156$ días y para aquellos que el suministro de agua es cada 3 o más días $FE = 104$ días.

La variable tiempo promedio es un factor de conversión de años a días para la duración de exposición, $t = 365$ días. Como resultado de la ecuación (2.1), *Dosis de exposición*, se obtiene otra función de distribución, a la cual se aplica la ecuación (2.3), con la cual se calculó el cociente de peligro:

$$HQ = \frac{D}{RfD} \quad (2.3)$$

Donde la dosis de referencia del manganeso $RfD_{Mn} = 0.14$ mg/kg-d se tomó de la EPA y la ATSDR (US EPA, 1995) (US EPA, 2006).

Se efectuó la cuantificación del riesgo probabilístico a través de 10,000 iteraciones con el software *Crystal Ball*. En cada iteración se obtiene un valor adimensional el cual expresa que para toda aquella *Dosis* diaria de exposición (mg/kg-d) mayor a la dosis de referencia RfD representará un peligro potencial a la salud humana. Es decir, cuando el $HQ \geq 1$ es una advertencia de que existe un riesgo potencial inaceptable para la salud asociado con la exposición crónica a manganeso.

Tabla 5-4. Probabilidad de riesgo por la ingesta de agua contaminada con Mn.

Rango de Edad [años]	Percentil para HQ = 1 para suministro continuo de agua [%]	Percentil para HQ = 1 para tandeo de un día [%]	Percentil para HQ = 1 para tandeo de 3 días o más [%]
0 a 4	91	97	98
5 a 9	82	92	96
10 a 14	76	90	94
Niños < 15 años	75	88	92
Adultos ≥ 15 años	72	87	91
15 a 64	68	85	90
65+	57	78	85

La Tabla 5-4 y las Figuras 5-13 y 5-14 muestran el valor que toma el percentil para el cual $HQ = 1$, es decir, la probabilidad de que la población de Iztapalapa, con las actuales características de exposición, no presente un riesgo anual para la salud.

En términos de riesgo es importante resaltar que, para el consumo diario de agua, los niños (< 15 años) tienen un riesgo del 25% de tomar una dosis no segura para la salud y los adultos (≥ 15 años) tienen un riesgo del 28%, estas cifras no son despreciables para la población total de la Alcaldía de Iztapalapa que recibe un suministro continuo.

En los escenarios de exposición para aquellas localidades con tandeo de un día o de tres días o más, evidentemente el riesgo es menor, no obstante, la caracterización de esta variable es importante para estudios que recopilen y asocien la calidad del agua embotellada.

Notemos que en general para los niños el percentil donde $HQ = 1$ es mayor que para los adultos, esto significa que existe una mayor probabilidad de que los infantes ingieran una dosis segura de Mn. Por el contrario, es importante notar que el grupo de población con mayor vulnerabilidad son los adultos de 65 o más años, ya que, para el escenario de suministro continuo de agua con las características de contaminación de Mn en el agua potable, sólo existe un 57% de probabilidad de que su dosis de exposición sea segura y 43% de probabilidades de que represente un riesgo para la salud.

La Figura 5-13 ilustra que hay un 75% de probabilidad que la dosis diaria de exposición a agua que contiene Mn es segura ($HQ < 1$) para la población que cumpla con las características de niños menores de 15 años.

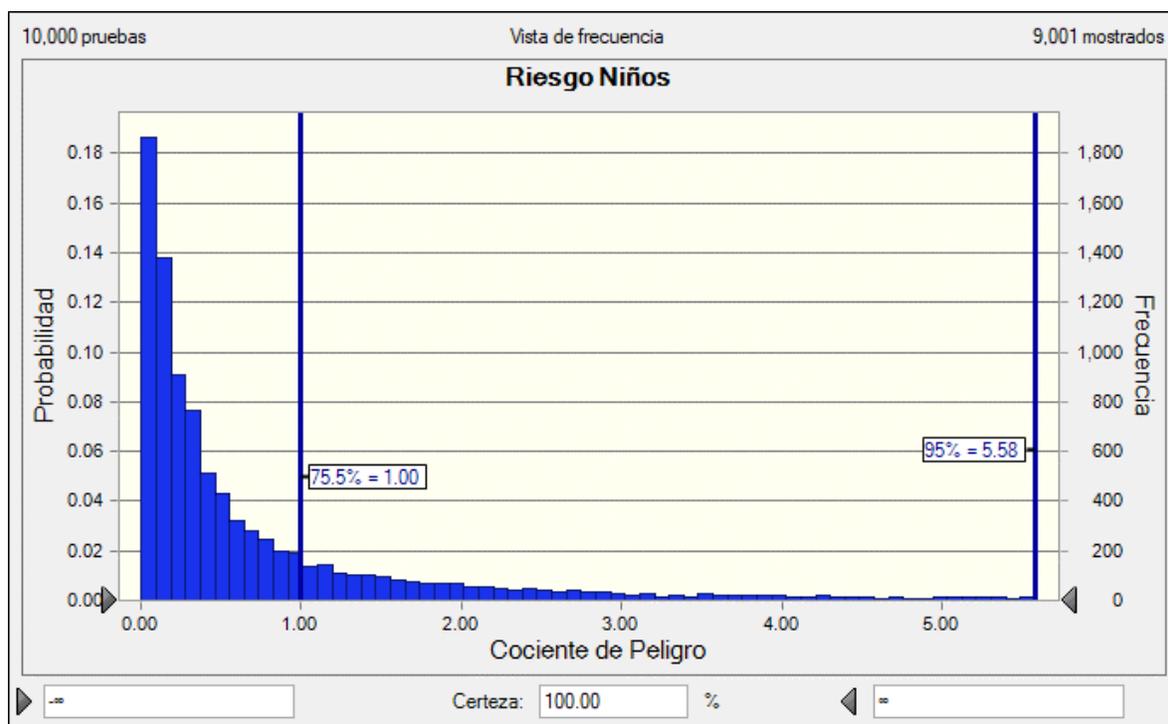


Figura 5-13. Gráfica de probabilidad del HQ para la distribución de probabilidad del Mn en Iztapalapa, aplicado a niños < 15 años.

La Figura 5-14 ilustra que hay un 72% de probabilidad que la dosis diaria de exposición a agua que contiene Mn es segura ($HQ < 1$) para la población que cumpla con las características de adultos de 15 o más años.

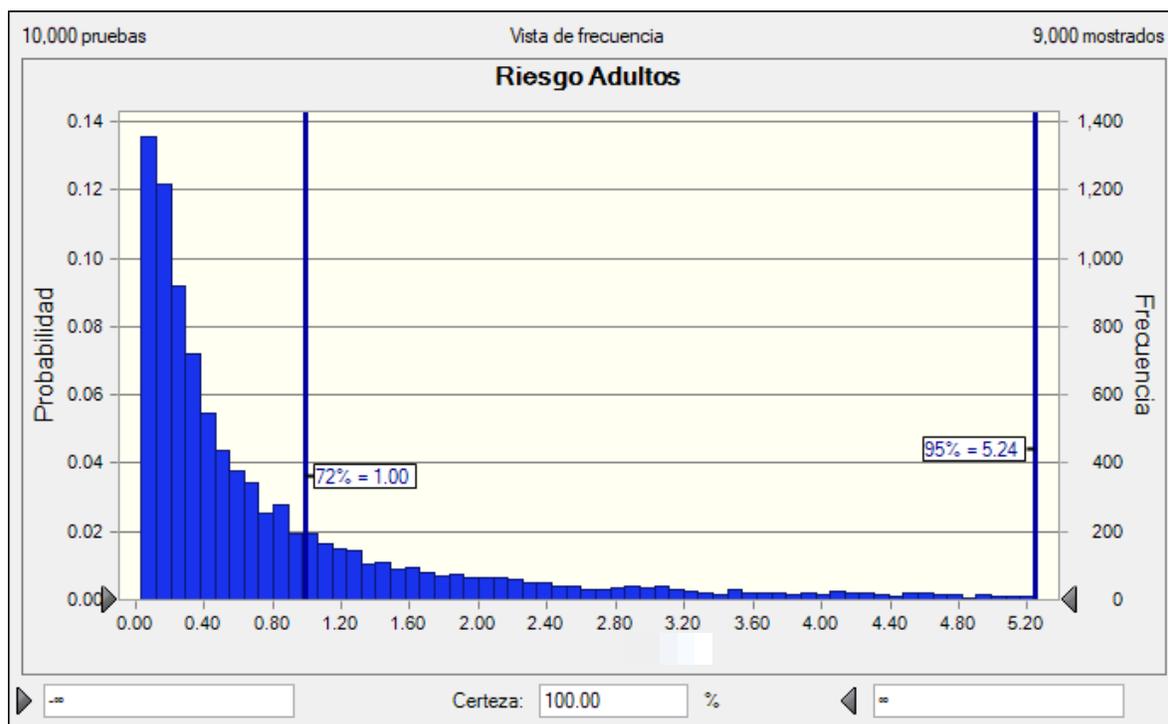


Figura 5-14. Gráfica de probabilidad del HQ para la distribución de probabilidad del Mn en Iztapalapa, aplicado a ≥ 15 años.

Este trabajo tiene el alcance de extrapolar y aplicar estos resultados a la población de la Alcaldía de Iztapalapa. En la Tabla 5-3 se observan los datos de la población de Iztapalapa por rango de edad, y la probabilidad de riesgo obtenida de la Tabla 5-5 correspondiente a $HQ > 1$.

Tabla 5-5. Datos de probabilidad de riesgo aplicados a la población de Iztapalapa (INEGI, 2015b).

Rango de edad [años]	Población 2016 [hab]	Probabilidad de Riesgo [%]	Población en Riesgo [hab]
0 a 4	145,828	9	13,125
5 a 9	153,575	18	27,644
10 a 14	152,126	24	36,510
Niños	451,529	25	112,882
Adultos	1,342,884	28	376,008
15 a 64	1,234,119	32	394,918
65 o más	108,765	43	46,769

En la columna de 'Población en Riesgo' se muestra la cantidad de habitantes que pueden mostrar daños a la salud por el consumo de Mn presente en el agua potable de la red hidráulica. Notemos que la población más afectada son los adultos mayores. Cabe aclarar que se hizo la evaluación para la población en general de la Alcaldía de Iztapalapa, no se tomó en cuenta la diferencia de población que tiene suministro de agua continuo o por tandeo. Según los resultados del actual estudio, el 33% de la población tiene un suministro continuo.

El análisis de sensibilidad, Figuras 5-15 y 5-16, es una herramienta para estimar qué variables son las que mayor contribuyen al riesgo, es decir, evalúa la probabilidad en función de los parámetros de entrada.

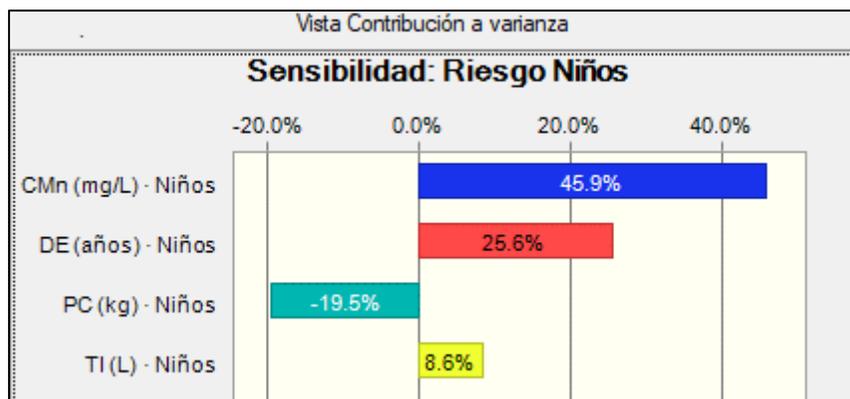


Figura 5-15. Diagrama de sensibilidad para las variables que influyen en niños menores de 15 años.

Observando las Figuras 5-15 y 5-16, el cociente de peligro HQ varía dependiendo principalmente de la concentración del Mn; a continuación del Tiempo de Residencia en la Alcaldía (Duración de la Exposición). Notemos que existen diferencias considerables entre los niños y los adultos en relación a los porcentajes, en los niños el Peso Corporal es una variable que contribuye inversamente en mayor proporción que la Tasa de Ingesta, por el contrario, en los adultos el Peso Corporal no es una variable que afecte significativamente el cálculo.

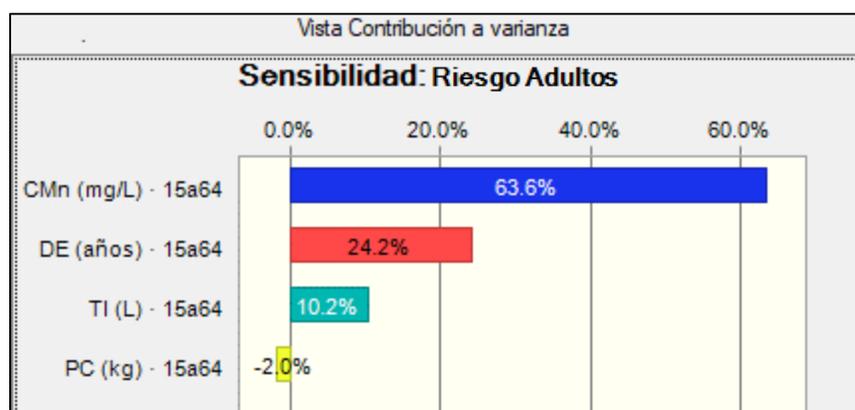


Figura 5-16. Diagrama de sensibilidad para las variables que influyen en adultos mayores de 15 años.

5.4 DISCUSIÓN

Esta sección es crucial para discutir los aspectos decisivos que influyeron en los resultados y así perfeccionar futuras investigaciones y dominar cada aspecto de este trabajo. A partir de esta investigación fue posible determinar las características de las variables que definen los escenarios de exposición a contaminantes químicos en el agua potable a partir de la aplicación de una encuesta a una población urbana, para aplicar la metodología de riesgo probabilístico a la salud por la ingestión de agua.

La encuesta es un recurso recomendado para la metodología empleada. Se obtuvieron datos reales y representativos de la población que de ninguna otra forma pueden obtenerse. No obstante, el trabajo de encuestar es una técnica por sí misma muy laboriosa y específica, por estas razones es importante que las instituciones dedicadas a la recopilación de información de la población incorporen variables como las consideradas en las encuestas aplicadas en esta investigación, con el propósito de actualizar y renovar datos que puedan ser utilizados en investigaciones como esta.

La encuesta es uno de los aspectos que necesitan mayor atención por su nivel de influencia y posible alteración de la información proporcionada por los encuestados. Para obtener una encuesta que dé los resultados esperados y comparables con otras investigaciones internacionales, es indispensable tener valores de referencia. Las preguntas deben estar encaminadas a los objetivos. En este trabajo los valores de referencia de las variables e indicadores que caracterizan a la población fueron determinadas por los trabajos previos, en este caso, las varianzas de Ershow & Cantor (1989) para la Tasa de Ingesta y en guías autorizadas por organizaciones internacionales.

Esta investigación aporta valores promedio y desviaciones estándar para las variables, las cuales serán un referente para posteriores investigaciones.

En la Tabla 5-6 se presenta una comparación de los resultados del actual trabajo para la tasa de ingesta de agua con los de Ershow & Cantor en EEUU en 1989, notemos que estos dos estudios muestran un consumo de agua similar de las poblaciones estudiadas, el coeficiente de variabilidad es comparable y en ciertos casos menores. Estos resultados son remarcables a pesar de la diferencia de tamaño de muestra; cabe considerar que el estudio de Ershow & Cantor se realizó para la población de Estados Unidos, y la presente investigación sólo considera una alcaldía de la Ciudad de México, lo cual explica la diferencia de los tamaños de muestra correspondientes a ambos estudios.

Tabla 5-6: Comparación de los resultados del estudio de Ershow & Cantor (1989) y los resultados del actual estudio (2019)

Datos del estudio de Ershow & Cantor					
Rango de Edad (años)	Población (N)	Media Tasa de Ingesta (μ) [L]	Desviación Estándar (σ) [L]	Varianza (σ^2)	Coeficiente de variabilidad (σ/μ) [%]
1 a 3	1,498	0.646	0.390	0.152	60.4
7 a 10	2,405	0.787	0.417	0.174	53.0
11 a 14	2,803	0.925	0.521	0.271	56.3
15 a 19	2,998	0.999	0.593	0.352	59.4
20 a 44	7,171	1.255	0.709	0.503	56.5
45 a 64	4,560	1.546	0.723	0.523	46.8
65 a 74	1,663	1.550	0.660	0.436	42.6
Datos del actual estudio a partir de las funciones de distribución					
Rango de Edad (años)	Población (N)	Media Tasa de Ingesta (μ) [L]	Desviación Estándar (σ) [L]	Varianza (σ^2)	Coeficiente de variabilidad (σ/μ) [%]
0 a 4	73	0.066	0.029	0.001	44.7
5 a 9	88	0.870	0.380	0.144	43.7
10 a 14	97	1.220	0.500	0.250	41.0
15 a 24	258	1.000	0.510	0.260	51.0
25 a 44	902	1.370	0.580	0.336	42.3
45 a 64	782	1.400	0.570	0.325	40.7
65 o más	120	1.150	0.580	0.336	50.4

Si comparamos con los estándares internacionales de la Tabla 2-5 podemos ver que el comportamiento de la ingesta de agua en la alcaldía de Iztapalapa es menor a las recomendaciones expresadas en la tabla.

El tamaño de muestra es representativo para la Alcaldía de Iztapalapa siguiendo la metodología de muestreo estratificado, se reconoce que esta investigación no aplica para la representatividad de un grupo de edad o marginación en específico, por tanto, que no es el objetivo. Para obtener información específica para los diferentes sectores de la población es obligatorio acotar al sector de interés, esto se podría hacer una encuesta mucho más grande para que el tamaño de muestra del grupo acotado sea estadísticamente significativo o hacer una encuesta específicamente a ese grupo, por ejemplo, para el rango de 0 a 4 años es conveniente aumentar el tamaño de muestra para que sea representativa. Por el contrario, no hubo diferencias considerables de las variables entre los niveles de marginación.

Con respecto a la dotación de agua, es importante considerar el hecho de que las colonias de baja marginación se encuentren en áreas planas, esto permite que el recurso almacenado en los tanques se distribuya por gravedad y con la presión suficiente. La cercanía con las Alcaldías Benito Juárez e Iztacalco las favorece, ya que mientras más cerca se encuentren del poniente de la CDMX podrán gozar de buena presión de agua, debido a que las fuentes externas que abastecen a la Ciudad de México se encuentran precisamente al poniente de la demarcación (Quintero, 2007). Sin embargo, la encuesta arrojó, que toda la alcaldía sufre en general de escasez de agua sin importar el nivel de marginación de la colonia.

La estructura del cuestionario diseñado fue eficiente para obtener las variables que se identificaron para describir el escenario de exposición: Tasa de Ingesta, Peso Corporal, Tiempo de Residencia en el actual hogar. A partir de la Tabla 2-8 y la Tabla 5-1 se pueden comparar los valores obtenidos y las funciones de distribución. Para la Tasa de Ingesta de agua potable los valores y la distribución son comparables con otros trabajos de evaluaciones de riesgo. Para la variable de Peso Corporal la media es comparable con los demás trabajos, no obstante, la distribución de probabilidad en este trabajo es una Binomial Negativa a diferencia de otros con distribuciones Log-normal y Normal. Para la variable de

Duración de Exposición los datos que se obtuvieron en este trabajo son más exactos que los reportados en otros países, esto fue gracias a la calidad de la encuesta, en los casos de otros países omitían esta variable, la obtenían de lo propuesto en la EPA o en el mejor de los casos proponían una distribución Uniforme.

Comparando con otros estudios (Zeng, y otros, 2009) (Kanvcar, Sofuoglu, & Sofuoglu, 2009) (Santamaria, 2010) (O'Neal, 2015), se encontró que las concentraciones de Mn en agua de estos estudios son menores a las estudiadas en el actual trabajo, del orden de $HQ \leq 0.047$; las evaluaciones de riesgo para manganeso son escasas; se llegan a realizar junto con otros metales con atención a arsénico con mucha frecuencia.

Iztapalapa es una alcaldía que desde hace 30 años ha sufrido grandes cambios y crecimiento poblacional, urbano y económico. Esto se refleja en nuestra caracterización del Escenario de Exposición. Podemos notar la diversidad y heterogeneidad en las variables caracterizadas en este estudio, hay colonias fundadas hace relativamente pocos años y otras existentes desde el inicio de la alcaldía, esto se refleja en la *Duración de Exposición*. Por otro lado, la geomorfología afecta la *Frecuencia de Exposición*. También tenemos que el conocimiento imperfecto o incompleto del escenario define la *incertidumbre*, por ejemplo, en este trabajo no se aplicó la encuesta en las 230 colonias de la alcaldía de Iztapalapa.

A partir del análisis estadístico de los resultados, se observaron distintos problemas a resolver con respecto al consumo de agua de la red hidráulica. El problema más preocupante es que el agua de la llave sea percibida por la población como no potable, causando un gran gasto en agua embotellada, afectando a la economía de los pobladores de una de las alcaldías que se consideran más pobres de la ciudad. Otro gran problema es la falta de red de distribución de agua en algunas zonas, causando un gasto extra en pipas.

Capítulo 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en el análisis de la base de datos obtenida de la aplicación de la Encuesta sobre Hábitos de Consumo de Agua Potable de los integrantes del Hogar en la Alcaldía de Iztapalapa, se identificaron las variables que determinan un escenario de exposición a contaminantes químicos en el agua potable y se estimó el Riesgo Probabilístico a la Salud por ingesta de manganeso, contaminante encontrado en el sitio de estudio, para mostrar la contribución de esta investigación a la evaluación de riesgo a la salud en entornos urbanos.

6.1 CONCLUSIONES

A partir del análisis de resultados:

Se identificaron criterios empleados para estimar las variables de un escenario de exposición de población urbana, los resultados de la metodología aplicada fueron comparables con otros estudios similares de la bibliografía internacional y la EPA.

Se establecieron indicadores de diversidad de la población a partir de los datos locales que influyen en la caracterización de la exposición, rangos de edad y nivel de marginación.

Se determinó el tamaño de muestra (281 hogares y 1,316 encuestas individuales, estratificados por rangos de edad y nivel de marginación), se formuló el contenido de la encuesta a través de los criterios anteriormente identificados y se encuestó la zona de interés. El tamaño de muestra fue suficiente para generar funciones de probabilidad que describen el comportamiento de las variables: Tasa de ingesta, Peso Corporal y Duración de Exposición del modelo de exposición. Las medidas de variación (desviación estándar y varianza) empleadas para estimar el tamaño de la muestra, permitieron comprobar que el nivel de confianza cumple con los objetivos del trabajo.

Se definieron las funciones de probabilidad para cada una de las variables, que permitieron abarcar a una población diversa. Además, se logró recoger datos importantes de otras variables presentes en la Alcaldía: frecuencia de suministro de agua, periodicidad en el tandeo, alto consumo de agua embotellada, presencia de condiciones organolépticas indeseables en el agua de suministro.

Se realizó un análisis comparativo a estudios de otros países (contrastando Tablas 2-8 con 5-3 y 5-6), la Tasa de Ingesta obtenida es comparable porque su función de distribución de probabilidad es una Log-normal que coincide con otros trabajos. El Peso Corporal es comparable con aquellos trabajos que obtengan una función de distribución Binomial-Negativa, se enfatiza que los trabajos revisados hasta el momento utilizan una distribución Normal proporcionada por la misma EPA y no datos obtenidos del lugar de estudio. La Duración de Exposición no es comparable hasta el momento con resultados en otros estudios, ya que algunos prefieren eliminar esta variable de la ecuación utilizada y otros utilizan una distribución Uniforme dependiendo del grupo etario.

Se aplicó el caso del manganeso como caso particular de un contaminante que no cumple con la NOM-127-SSA1-1994 de agua potable para estimar la Evaluación de Riesgo Probabilístico en la Alcaldía de Iztapalapa. Debido a las características de la población existe una probabilidad de riesgo a la salud del 25% para niños < 15 años y 28% para adultos \geq 15 años. El 92% de la población encuestada afirma nunca beber agua de la llave. Por lo cual, la actual Evaluación de Riesgo por ingestión de agua contaminada con manganeso es aplicable para el 8% de la población que bebe agua de la llave.

6.2 RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones que se derivan del presente trabajo son:

- Encuestar a un mayor número de niños < 15 años, para reducir el valor de la varianza, en específico se recomienda al menos 100 encuestas para cada estrato de niños: entre 0 a 4, 5 a 9 y 10 a 14 años, igualmente es pertinente para adultos mayores de 65.
- Perfeccionar la encuesta para la toma de datos de las variables principales, según el nivel de recursos del trabajo de investigación y el grado de exactitud que se quiera lograr. Para tener mayor precisión en la cantidad de agua que beben al día, es decir, la Tasa de Ingesta, llevar un seguimiento de las personas encuestadas por medio de comunicación directa, ya sea vía telefónica, mensajería o correo. Y para la variable del Peso Corporal, llevar una báscula.
- Corregir el apartado del gasto económico, especificar cuántos garrafones se compran a la semana y el costo de cada garrafón. En el apartado de Padecimientos Relacionados, profundizar la relación entre los padecimientos relacionados por ingesta de agua contaminada y los contaminantes reportados en la zona.
- Llevar a cabo análisis de muestras reales del agua del grifo en los hogares de la Alcaldía de Iztapalapa para comprobar las concentraciones de manganeso.
- Hacer un estudio dirigido a la Evaluación de Riesgo Probabilístico **¡Error! Marcador no definido.** por la ingesta de agua de garrafón, que incluya el análisis de la calidad del agua que se vende en una gran cantidad de locales de la Alcaldía, ya que el 92% de la población consume agua embotellada.
- Reconocer este proyecto de investigación como una ventana de oportunidad para entender a profundidad el comportamiento intrínseco de la población mexicana y aportar para ella soluciones que optimicen nuestros recursos.

REFERENCIAS

- Abdul Shaban, R. N. (09 de Junio de 2007). Water Consumption Patterns in Domestic Households in Major Cities. *Economic and Political Weekly*, 2190-2197.
- Alves, R. I., Sampaio, C. F., Nadal, M., & Schuhmacher, M. (2014). Metal concentrations in surface water and sediments from Pardo River, Brazil: Human health risks. *Environmental Research* 133, 149–155.
- ATSDR. (2000). *Toxicological Profile for Manganese*. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Barceloux, D. G. (1999). Manganese. *J. Toxicol. Clin. Toxicol.* 37, 293-307.
- Biesiada, M. (2001). Simulations in Health Risk Assessment. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 14(4), 397-402.
- Campos, A. (2015). *Tesina: Potabilización del Agua para suministro en la Ciudad de México*. Ciudad de México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Cantor, K., Hoover, R., Hartge, P., Mason, T., Silverman, D., Altman, R., . . . Al, E. (1987). Bladder cancer, drinking water source, and tap water consumption: A case-control study. *Journal of the National Cancer Institute*, 79(6), 1269-1279.
- Connelly, L. M. (2008). Pilot studies. *Medsurg Nursing*, 17(6), 411-2.
- Cullen, A. C. (1999). *Probabilistic Techniques in Exposure Assessment: A Handbook for Dealing with Variability and Uncertainty in Models and Inputs*. New York: Springer Science & Business Media.
- Cummis, E. K. (2010). Quantitative risk assessment of Cryptosporidium in tap water in Ireland. *Science of the Total Environment*, 408, 740-753.
- Devore, J. B. (2017). *Modern Mathematical Statistics with Applications*. Belmont, CA: Thomson Broock/Cole.
- DI. (2007). *Diagnóstico de la problemática del agua en la Delegación Iztapalapa, D.G. Servicios Urbanos*. Ciudad de México: Delegación Iztapalapa. Obtenido de <http://www.aldf.gob.mx/archivo-d58b4c42b30d13de6722aa2cc16b3720.pdf>
- Domínguez Mariani, E. (2015). Determination of hydrogeochemical processes associated with the composition of water from supply wells for the inhabitants of the Iztapalapa District, D.F., Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2), 299-313.
- EFSA. (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. *European Food Safety Agency*, 8.

- Ershow, A., & Cantor, K. (1989). *Total Water and Tapwater Intake in the United States: Population-Based Estimates of Quantities and Sources*. Technical Report.
- Gaceta Oficial CDMX. (2019). *Resolución de carácter general mediante la cual se determinan y se dan a conocer las zonas en las que los contribuyentes de los derechos por el suministro de agua en sistema medido, de uso doméstico o mixto, reciben el servicio por tandeo*. Ciudad de México: Gaceta Oficial CDMX.
- Gaffney, V. J. (2015). Occurrence of pharmaceuticals in a water supply system and related human health risk assessment. *Water Research* 72, 199-208.
- Goodman, A. B., Blanck, H. M., Sherry, B., Park, S., Nebeling, L., & Yaroch, A. L. (2013). Behaviors and Attitudes Associated With Low Drinking Water Intake Among US Adults, Food Attitudes and Behaviors Survey 2007. *Preventing chronic disease*, 10, E51. d, 10, 1-10.
- Grijalva-Haro, M. I., Barba-Leyva, M. E., & Laborín-Alvarez, A. (2001). Ingestión y excreción de fluoruros en niños de Hermosillo. *Salud Pública de México*, 43 (2), 127-134.
- Hilbig, A., Kersting, M., & Sichert-Hellert, W. (2002). Measured consumption of tap water in German infants and young children as background for potential health risk assessments. *Food Addit. Contam.*, 19, 829-836. Obtenido de <http://dx.doi.org/10>.
- Hopkins, S., & Ellis, J. (1980). *Drinking water consumption in Great Britain: a survey of drinking habits with special reference to tap-water-based beverages*. Wiltshire, Great Britain: Water Research Centre.
- Hossain, M. A. (2013). Water consumption patterns and factors contributing to water. *NIH-PA*, 19.
- ILSI NA. (2004). *Hydration: Fluid for Life*. U. S.: ILSI North America.
- INEGI. (2015a). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares : ENIGH 2014 : criterios de validación*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2015b). *Número de habitantes en el 2015*. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) Recuperado el 1 de Abril de 2018, de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/inter_censal/estados2015/702825079741.pdf
- INEGI, SEDECO. (2018). *OVIE*. Obtenido de <http://www.ovie.sedecodf.gob.mx/OVIEWEB/#!>

- IoM. (2001). *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc*. Washington, D.C.: The National Academies Press. From <https://www.nap.edu/read/10026/chapter/1>
- IoM. (2004). Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride and sulfate. (*Institute of Medicine of the National Academies*).
- IPCS. (2004). *IPCS risk assessment terminology. Part 1: IPCS/OECD key generic terms used*. Geneva: International Programme on Chemical Safety.
- IPCS. (2009). *Principles for modelling dose–response for the risk assessment of chemicals*. Geneva: International Programme on Chemical Safety.
- Isaac, S. M. (1995). *Handbook in research and evaluation*. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Services.
- ITESM. (Mayo de 2005). *Metodología para llevar a cabo una encuesta*. Recuperado el 03 de Octubre de 2019, de http://www.cca.org.mx/funcionarios/cursos/ap066/material/m2met_enc.pdf
- Jefatura de Gobierno. (2008). *Decreto que contiene el programa delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Iztapalapa*. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Jongh, C. M. (2012). Screening and human health risk assessment of pharmaceuticals and their transformation products in Dutch surface waters and drinking water. *Science of the Total Environment* 427-428, 70–77.
- Kahn, H., & Stralka, K. (2008). Estimates of water ingestion for women in pregnant, lactating, and non-pregnant and non-lactating child-bearing age groups based on USDA's 1994-96, 1998 continuing survey of food intake by individuals. *Human and Ecological Risk Assessment*, 14(6), 1273-1290. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10807030802494618>
- Kahn, H., & Stralka, K. (2009). Estimated daily average per capita water ingestion by child and adult age categories based on USDA's 1994-1996 and 1998 continuing survey of food intakes by individuals. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 19(4), 396-404.
- Kanvcar, P., Sofuoglu, A., & Sofuoglu, S. C. (2009). A health risk assessment for exposure to trace metals via drinking water ingestion pathway. *Int. J. Hyg. Environ. Health*(212), 216-227.

- Larios, I. N., & Figueroa, G. (s. f.). *¿Qué es una encuesta?* Recuperado el 03 de Octubre de 2019, de Universidad de Sonora:
<http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/queesunaencuesta.pdf>
- Lu, T. (2007). *Tesis de Maestría: Research of domestic water consumption: a field study in Harbin, China*. Loughborough, UK: Loughborough University.
- Mantziki, K. (2017). Water Consumption in European Children: Associations with Intake of Fruit Juices, Soft Drinks and Related Parenting Practices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 583.
- Martínez, R. (2016). *Tesis de Maestría: Evaluación del Riesgo Microbiológico y Químico del Reúso Indirecto de Agua Residual Para Consumo Humano con Base en el Tratamiento por Barreras Múltiples*. Ciudad de México: Posgrado UNAM.
- Middleton, D. A. (2017). Arsenic in drinking water: sources and human exposure. En *Best Practice Guide on the Control of Arsenic in Drinking Water*. Manchester: IWA Publishing.
- Muhammada, S., Shah, M. T., & Khan, S. (2010). Arsenic health risk assessment in drinking water and source apportionment using multivariate statistical techniques in Kohistan region, northern Pakistan. *Food and Chemical Toxicology* 48, 2855–2864.
- Navarro, I., Chávez, A., & Jiménez, B. (2011). Risk Assessment of the Unplanned Reuse of an Aquifer Recharged with Wastewater as a Source of Drinking Water. *Proceedings of 8th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse*, 26.
- NRC . (1977). *Drinking water and health*. Washington, DC: National Research Council).
- Olin, S. S. (1998). Between a rock and a hard place: Methods for setting dietary allowances and exposure limits for essential minerals.S. *J. Nutr.* 128, 364S–367.
- O'Neal, S. L. (2015). Manganese Toxicity Upon Overexposure: a Decade in Review. *Curr Envir Health Rot* 2, 315-328.
- Oracle. (2019). *Crystal Ball ver. 11.1 software*. USA.
- Palacio, C. (2015). *Método de Montecarlo*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de Universidad Autónoma de Madrid:
https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/carlosp/html/pid/montecarlo.html
- Pennington, J. A. (1986). Mineral content of foods an total diets: The Selected Minerals in Food Survey. *J. Am. Diet Assoc.* 86, 879-891.

- Phillips, L., & Moya, J. (2013). The evolution of EPA's Exposure Factors Handbook and its future as an exposure assessment resource. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 23, 13-21.
- Pintar, K. D., D., W.-T., Charron, D., Pollari, F., McEwen, S., Fazil, A., . . . Majowicz, S. (2009). Water consumption habits of a south-western Ontario community. *Journal of Water and Health*, 7(2), 276-292.
- Quintero, C. E. (2007). Política pública y participación social: visiones alternativas. (J. Sosa, Ed.) *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad*, XIII(39), 205-212.
- Roseberry, A., & Burmaster, D. (1992). Lognormal distributions for water intake by children and adults. 12(1), 99-104 .
- Ruel, E., Wagner, W. E., & Gillespie, B. J. (2016). *The practice of Survey Research*. London: SAGE.
- Saha, N. e. (2017). Industrial metal pollution in water and probabilistic assessment of human health risk. *Journal of Environmental Management* 185, 70-78.
- Sanchez Lara, A. C. (2015). *El problema de abastecimiento de agua en la delegación Iztapalapa: opciones para mejorar su calidad y eficiencia*. Ciudad de México: Tesis profesional, UNAM.
- Santamaria, A. S. (2010). Risk assessment of an essential element: Manganese. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 128-155.
- Säve-Söderbergh. (2017). Drinking water consumption patterns among adults—SMS as a novel tool for collection of repeated self-reported water consumption. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 1-9.
- Secretaría de Protección Civil. (2014). *Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México: Iztapalapa*. CDMX.
- Secretaría de Salud. (1995). *NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- SIDESO. (2003). *Sistema de Información de Desarrollo Social*. Recuperado el 03 de 08 de 2019, de <http://www.sideso.cdmx.gob.mx/index.php?id=63>
- Soller, J. A. (2010). Estimated human health risks from exposure to recreational waters impacted by human and non-human sources of faecal contamination. *Water Research*(44), 4674-4691.

- Sosa, J. (2006). *Política pública y participación social: visiones alternativas*. Ciudad de México: Desarrollo Institucional de la Vida Pública, A.C.
- US EPA. (1984). *An estimation of the daily average food intake by age and sex for use in assessing the radionuclide intake of individuals in the general population*. U.S. Environmental Protection Agency.
- US EPA. (1986). *Guidelines for human health risk assessment of chemical mixtures* (Vols. 51(185):34014-34025). Washington DC: Federal Register.
- US EPA. (1995). *Manganese; CASRN 743-96-5*. National Center for Environmental Assessment: Integrated Risk Information System.
- US EPA. (2000). *Methodology for deriving ambient water quality criteria for the protection of human health*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- US EPA. (2004). *Estimated per capita water ingestion and body weight in the United States: An update*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water.
- US EPA. (2006). *National recommended water quality criteria*. Washington, DC: U. S. Environmental Protection Agency. Obtenido de <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/nrwqc-2006.pdf>
- US EPA. (2011). *Exposure Factors Handbook*. Washington, DC: EPA.
- US EPA. (2011). *Exposure Factors Handbook: 2011 Edition*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- US EPA. (2014). *Risk Assessment Forum White Paper: Probabilistic Risk Assessment Methods and Case Studies*. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- US FDA. (2007). *Bottled water. U.S. Food and Drug Administration*. Beverages. Code of Federal Regulations. Obtenido de <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcr/CFRSearch.cfm>
- USDA. (1995). *Food and nutrient intakes by individuals in the United States, 1 day, 1989–91*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.
- Valliant, R. D. (2000). *Finite Population Sampling and*. New York: Wiley.
- van Leeuwen, C. J., & Vermeire, T. G. (2007). *Risk assessment of chemicals: an introduction* (2nd ed.). Dordrecht: Springer.
- WHO. (1973). *Trace Elements in Human Nutrition*. Geneva: World Health Organization. Obtenido de

- https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41057/WHO_TRS_532_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- WHO. (2003). Domestic water quantity, service level and health. *World Health Organization*.
- WHO. (2004). *Guidelines for Drinking-water Quality Vol. 1 3th ed.* Geneva: World Health Organization. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf
- WHO. (2005). *Nutrients in Drinking Water*. Geneva: World Health Organization.
- WHO. (2010). *Human Health Risk Assessment Toolkit: Chemical Hazards*. Ottawa.
- WHO. (2012). *Rapid Assessment of Drinking - Water Quality. A Handbook for Implementation*. Geneva: World Health Organization.
- Wu, B., Zhang, Y., Zhang, X.-X., & Cheng, S.-P. (2011). Health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the source water and drinking water of China: Quantitative analysis based on published monitoring data. *Science of the Total Environment* 410-411, 112–118.
- Yousefi, M. (2018). Health risk assessment to fluoride in drinking water of rural residents living in the Poldasht city, Northwest of Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 148, 426–430.
- Zeng, G., Liang, J., Guo, S., Shi, L., Xiang, L., Li, X., & Du, C. (2009). Spatial analysis of human health risk associated with ingesting manganese in Huangxing Town, Middle China. *Chemosphere* 77, 368–375.

ANEXOS

ANEXO A. Lista de las 230 colonias de la Alcaldía de Iztapalapa (Jefatura de Gobierno, 2008).

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 Apatlaco | 42 U. H. Voceadores de México |
| 2 Purísima Atlazolpa | 43 Juan Escutia |
| 3 U. H. Los Picos VI-VIII | 44 Tepalcates |
| 4 San José Aculco | 45 Reforma Educativa |
| 5 Aculco | 46 U. Ejército Constitucionalista I, II y III |
| 6 Nueva Rosita | 47 U. H. Guelatao de Juárez I y II |
| 7 Jardines de Churubusco | 48 U. H. Ignacio Zaragoza |
| 8 Magdalena Atlazolpa | 49 Chinampac de Juárez |
| 9 Ampliación El Triunfo | 50 Complejo Industrial Ecológico Finsa |
| 10 El Triunfo | 51 Los Reyes Culhuacán |
| 11 Zacahuitzco | 52 Valle del Sur |
| 12 San Andrés Tetepilco | 53 San Antonio Culhuacán |
| 13 El Retoño | 54 Tula |
| 14 San Juanico Nextipac | 55 Culhuacán |
| 15 U. H. La Viga | 56 U. H. Valle de Luces |
| 16 El Sifón | 57 Valle de Luces 2ª Sección |
| 17 Ampliación El Sifón | 58 Valle de Luces 1ª Sección |
| 18 Escuadrón 201 | 59 Valle de Luces 3ª Sección |
| 19 Sector Popular | 60 El Mirador |
| 20 Unidad Modelo | 61 Fraccionamiento Real del Moral |
| 21 Ampliación Sinatel | 62 Dr. Alfonso Ortiz Tirado |
| 22 Justo Sierra | 63 Paseos de Churubusco |
| 23 Banjidal | 64 Fraccionamiento Paseos de Churubusco |
| 24 El Prado | 65 Central de Abasto |
| 25 Sinatel | 66 Cuchillas del Moral II y III |
| 26 Emperador Cacama | 67 Cuchillas del Moral I |
| 27 U. H. Xopa | 68 Leyes de Reforma 2ª Sección |
| 28 Héroes de Churubusco | 69 Sideral |
| 29 Mexicaltzingo | 70 Leyes de Reforma 3ª Sección |
| 30 Granjas Esmeralda | 71 Margarita Maza de Juárez |
| 31 Progreso del Sur | 72 Guadalupe del Moral |
| 32 Minerva | 73 Barrio de San Pedro |
| 33 Los Cipreses | 74 Barrio de San José |
| 34 Santa Isabel Industrial | 75 Barrio de la Asunción |
| 35 Ampliación Ricardo Flores Magón | 76 Barrio de San Ignacio |
| 36 Ricardo Flores Magón | 77 Barrio de Santa Bárbara |
| 37 El Santuario | 78 Granjas San Antonio |
| 38 Ampliación El Santuario | 79 Barrio de San Lucas |
| 39 Estrella del Sur | 80 Barrio de San Pablo |
| 40 Los Reyes | 81 La Norma |
| 41 U. H. La Valenciana | 82 Gavilán |

- | | |
|---|--|
| 83 Gavilán I, II, III y IV | 129 Santa Martha Acatitla |
| 84 Barrio de San Miguel | 130 El Edén |
| 85 Leyes de Reforma 1ª Sección | 131 San Sebastián Tecoloxtitla |
| 86 Eva Sámano de López Mateos | 132 Santa Martha Acatitla Sur |
| 87 Albarrada | 133 Ejército de Agua Prieta |
| 88 Paseos de Churubusco | 134 El Paraíso |
| 89 San Miguel 2ª Ampliación | 135 U. H. Ejército de Oriente Indeco II ISSSTE |
| 90 Real del Moral | 136 Álvaro Obregón |
| 91 Predio D.F. | 137 U. H. Ejército de Oriente |
| 92 Ejidal Santa María Aztahuacan | 138 U. H. Cooperativa Biatlón |
| 93 Ampliación Santa María Aztahuacan | 139 U. H. San Lorenzo Tezonco |
| 94 Ojito de Agua | 140 El Rodeo |
| 95 Santa María Aztahuacan | 141 U. H. Bellavista |
| 96 Monte Albán | 142 San Juan Estrella |
| 97 Paraje Zacatepec | 143 Casa Blanca |
| 98 Citlalli | 144 Presidentes de México |
| 99 Palmitas | 145 Puente Blanco |
| 100 Tenorios | 146 Consejo Agrarista Mexicano |
| 101 Conjunto de Telefonía Contel | 147 Insurgentes |
| 102 Renovación | 148 Hank González |
| 103 U. H. Vicente Guerrero I al VII | 149 La Explanada, El Retiro |
| 104 U. H. Albarrada | 150 La Polvorilla |
| 105 Las Américas | 151 El Triángulo |
| 106 Progresista | 152 Xalpa |
| 107 La Regadera | 153 San Pablo II |
| 108 Constitución de 1917 | 154 San Pablo I |
| 109 Colonial Iztapalapa | 155 Lomas de la Estancia |
| 110 Jacarandas | 156 Miguel de la Madrid |
| 111 U. H. Santa Cruz Meyehualco | 157 Ixtlahuacan |
| 112 Parque Recreativo Santa Cruz Meyehualco | 158 San Miguel Teotongo |
| 113 Parque Cuitláhuac | 159 Ampliación Emiliano Zapata |
| 114 U. H. Guelatao de Juárez III | 160 Emiliano Zapata |
| 115 U. H. Guelatao de Juárez IV | 161 Lomas de Zaragoza |
| 116 U. H. Guelatao de Juárez V | 162 Santiago Acahualtepec |
| 117 U. H. Frente 10 | 163 Santiago Acahualtepec 1ª Ampliación |
| 118 U. H. Cabeza de Juárez | 164 Ampliación Veracruzana |
| 119 U. H. Frente 9 | 165 Estado de Veracruz |
| 120 U. H. Frente 8 | 166 Lomas El Manto |
| 121 U. H. Frente 6 y 7 | 167 Plan de Iguala |
| 122 San Lorenzo Xicoténcatl | 168 El Molino Iztapalapa |
| 123 Ampliación Santa Martha Acatitla | 169 San Miguel 8ª Ampliación |
| 124 U. H. Solidaridad | 170 El Manto |
| 125 U. H. Fuentes de Zaragoza | 171 San Juan Cerro |
| 126 Parque Ecológico El Salado | 172 Los Ángeles |
| 127 La Colmena | 173 Santiago Acahualtepec 2ª Ampliación |
| 128 U. H. Ermita Zaragoza | 174 U. H. Cuitláhuac El Rosal |

- | | | | |
|-----|--------------------------------|-----|--------------------------------------|
| 175 | Los Ángeles Apanoaya | 203 | Estrella Culhuacán |
| 176 | La Era I y II | 204 | Fuego Nuevo |
| 177 | Santa Cruz Meyehualco | 205 | San Simón Culhuacán |
| 178 | U. H. Santa María Aztahuacán | 206 | Santa María del Monte |
| 179 | Reforma Política | 207 | Parque Nacional Cerro de la Estrella |
| 180 | Buenavista | 208 | Panteón Civil San Nicolás Tolentino |
| 181 | San José Buenavista | 209 | San Juan Xalpa |
| 182 | Lomas de Santa Veracruz | 210 | Benito Juárez |
| 183 | Desarrollo Urbano Quetzalcóatl | 211 | Cerro de la Estrella |
| 184 | Las Peñas | 212 | Año de Juárez |
| 185 | Francisco Villa | 213 | Lomas de San Lorenzo |
| 186 | Paraje San Juan | 214 | San Lorenzo Tezonco |
| 187 | Paraje San Juan 2ª Ampliación | 215 | Panteón Civil San Lorenzo Tezonco |
| 188 | San Juan Joya | 216 | Guadalupe |
| 189 | San Antonio | 217 | San Antonio |
| 190 | San Lorenzo | 218 | San Lorenzo |
| 191 | El Rosario | 219 | Triángulo de las Agujas |
| 192 | El Molino Tezonco | 220 | Lomas Estrella 2ª Sección |
| 193 | La Planta | 221 | Siracusa 240 |
| 194 | Predio El Molino | 222 | San Nicolás Tolentino |
| 195 | Jardín de San Lorenzo Tezonco | 223 | Lomas Estrella |
| 196 | Valle de San Lorenzo | 224 | Benito Juárez |
| 197 | José López Portillo | 225 | Estado de Anáhuac |
| 198 | La Esperanza | 226 | Granjas Estrella |
| 199 | Girasoles Tulyehualco | 227 | Lomas Estrella 1ª Sección |
| 200 | Mixcóatl | 228 | Santa María Tomatlán |
| 201 | El Vergel | 229 | San Andrés Tomatlán |
| 202 | Estación Migratoria FaveSedena | 230 | 12 de Diciembre |

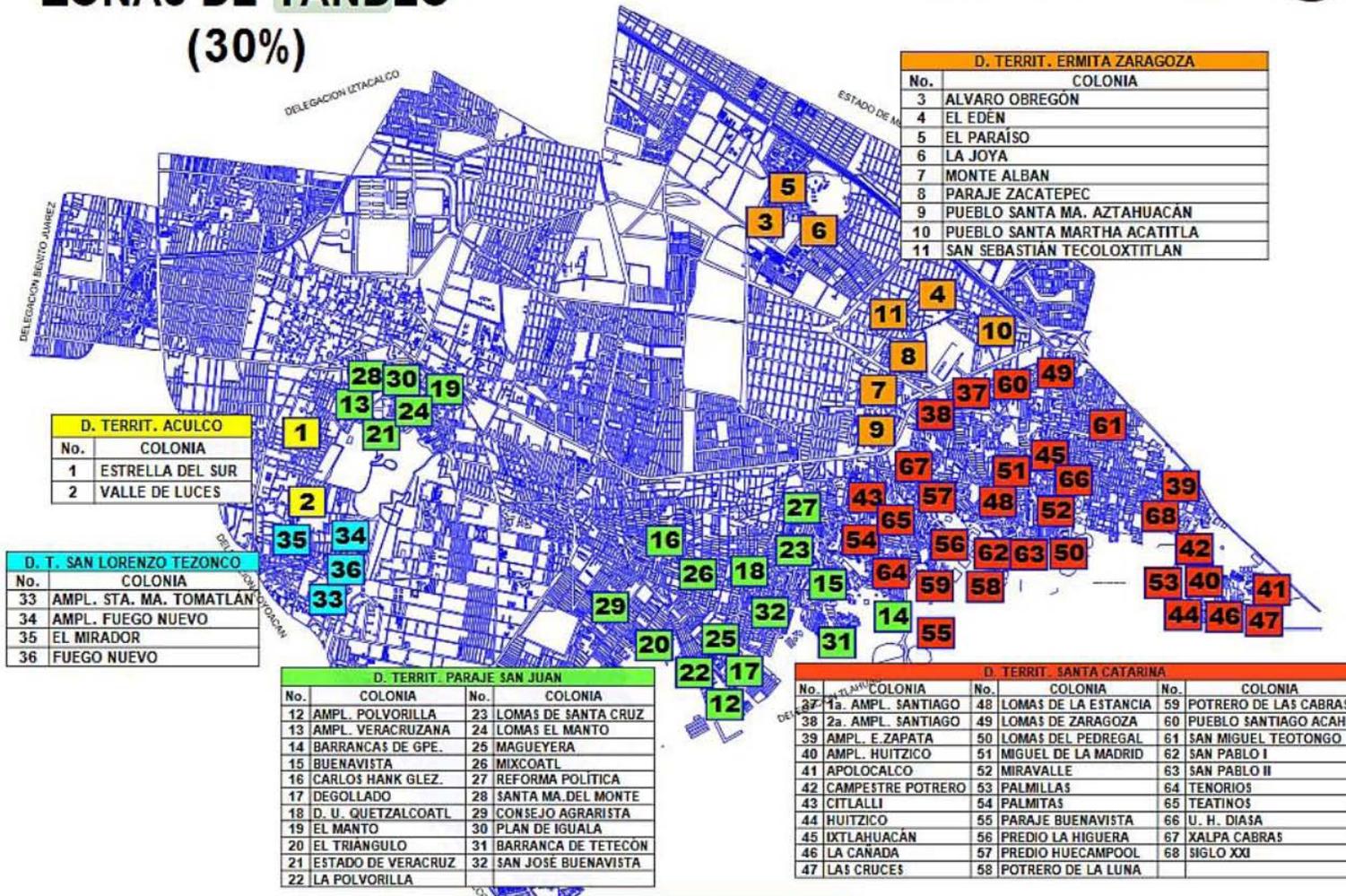
ANEXO B. Lista de colonias de la Alcaldía de Iztapalapa que tienen abastecimiento por tandeo (Gaceta Oficial CDMX, 2019).

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 El Mirador | 29 Barrio San Ignacio |
| 2 El Molino Tezonco | 30 Barrio La Asunción |
| 3 El Paraíso | 31 Barrio San Pablo |
| 4 Jardines De San Lorenzo Tezonco | 32 Barrio San Pedro |
| 5 Monte Albán | 33 Barrio San Antonio |
| 6 Paraje San Juan | 34 Barrio San Lorenzo |
| 7 Paraje Zacatepec | 35 El Manto |
| 8 Presidentes De México | 36 Francisco Villa |
| 9 Pueblo San Sebastián Tecoloxtitlan | 37 Guadalupe Del Moral |
| 10 Ampliación Fuego Nuevo | 38 Insurgentes |
| 11 Ampliación Veracruzana | 39 Jacarandas |
| 12 Estado De Veracruz | 40 La Era |
| 13 Fuego Nuevo | 41 La Purísima |
| 14 U. H. La Colmena | 42 Leyes De Reforma |
| 15 Reforma Política | 43 Los Ángeles |
| 16 Santa Maria Del Monte | 44 Los Ángeles Apanoaya |
| 17 Valle De Luces | 45 Pueblo Santa Cruz Meyehualco |
| 18 Santa Maria Aztahuacan | 46 Puente Blanco |
| 19 Pueblo Santa Martha Acatitla | 47 Paraje San Juan Cerro |
| 20 Ermita Zaragoza | 48 Sideral |
| 21 Ampliación Las Peñas | 49 Uscovi |
| 22 Pueblo Santa Maria Aztahuacan | 50 Valle De San Lorenzo |
| 23 Paraje San Juan 2a Ampliación | 51 Álvaro Obregón |
| 24 Paraje San Juan 2a Sección | 52 Año De Juárez |
| 25 Barrio San Miguel | 53 Unidad Santa Cruz Meyehualco |
| 26 Barrio San Lucas | 54 La Planta |
| 27 Barrio San Jose | 55 Unidad Habitacional Allapetlalli |
| 28 Barrio Santa Bárbara | 56 El Edén |

ZONAS DE TANDEO (30%)



Delegación Iztapalapa
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS URBANOS



68 COLONIAS

ANEXO C. Mapa de colonias de la Alcaldía de Iztapalapa que tienen abastecimiento por tandeo. (DI, 2007).

ANEXO D. Lista de colonias de la Alcaldía de Iztapalapa que se eligieron para ser encuestadas por mayor número de población y Nivel de Marginación.

	NOMBRE DE LA COLONIA	HABITANTES (SIDESO, 2003)	NIVEL DE MARGINACIÓN
1	Desarrollo Urbano Quetzalcóatl del Sur	33780	Muy Alto
2	Desarrollo Urbano Quetzalcóatl del Norte	30532	Muy Alto
3	Leyes de Reforma 3era Sección	25093	Muy Alto
4	Lomas de San Lorenzo	24669	Muy Alto
5	Ejidal Santa María Aztahuacán	22901	Muy Alto
6	San Miguel Teotongo Sección Palmas Guadalupe	21888	Muy Alto
7	Buenavista	20613	Muy Alto
8	José López Portillo	20038	Muy Alto
9	Santiago Acahualtepec 2da Ampliación	19560	Muy Alto
10	Santa Martha Acatitla Sur	18863	Muy Alto
11	San Juan Xalpa	28315	Alto
12	Unidad Habitacional Ermita Zaragoza	25322	Alto
13	Consejo Agrarista Mexicano	24655	Alto
14	Unidad Habitacional Ejército Constitucionalista SM III	19999	Alto
15	El Paraíso	17118	Alto
16	Citlali	16876	Alto
17	Barrio de San Miguel	25084	Medio
18	Cerro de la Estrella	22198	Medio
19	Unidad Habitacional Ejército de Oriente Zona Peñón	21446	Medio
20	Progresista	20979	Medio
21	San Andrés Tetepilco	20290	Medio
22	Juan Escutia	20285	Medio
23	Granjas Estrella	17713	Bajo
24	Constitución de 1917	15515	Bajo
25	Paseos de Churubusco	14871	Muy Bajo
26	Lomas Estrella	11989	Muy Bajo

La representación geográfica de las colonias listadas en el Anexo C, se encuentra en la Figura 4-1.

ANEXO E. Porcentaje de la población que reportaron colores predominantes en el agua de la llave, para cada colonia.

Colonias	Color				
	Amarilla	Café	Otro	NE	NA
Buenavista	33%	8%	0%	0%	58%
D. U. Quetzalcoatl	63%	0%	0%	13%	25%
José López Portillo	18%	9%	0%	9%	64%
Leyes de Reforma	56%	44%	22%	0%	11%
Lomas de San Lorenzo	46%	54%	0%	0%	0%
San Miguel Teotongo	56%	33%	11%	11%	0%
Santa María Aztahuacan	69%	23%	0%	0%	8%
Santa Martha Acatitla	10%	40%	40%	0%	20%
Santiago Acahualtepec	56%	22%	22%	11%	11%
Año de Juárez	43%	43%	0%	0%	14%
Citlalli	40%	40%	10%	0%	10%
Consejo Agrarista Mexicano	50%	33%	0%	0%	17%
Ejército Constitucionalista	14%	57%	14%	0%	14%
Paraíso	42%	8%	8%	0%	42%
U. H. Ermita Zaragoza	55%	27%	0%	9%	0%
Cerro de la Estrella	38%	31%	8%	0%	31%
Ejército de Oriente	40%	40%	0%	0%	20%
Juan Escutia	40%	30%	0%	0%	40%
Progresista	46%	8%	33%	0%	38%
San Andrés Tetepilco	9%	9%	0%	0%	82%
San Miguel	73%	13%	0%	0%	13%
Constitución de 1917	41%	29%	6%	0%	24%
Granjas Estrella	60%	40%	20%	0%	10%
Lomas Estrella	11%	44%	0%	0%	44%
Paseos de Churubusco	33%	17%	0%	0%	50%

La representación gráfica de las colonias listadas en el Anexo E, se encuentra en la Figura 5-9

ANEXO F. Porcentaje de la población que reportó olores predominantes en el agua de la llave, para cada colonia.

Colonias	Olor							
	Azufre	Caño	Cloro	Estancada	Metal	Tierra	NE	NA
Buenavista		8%	17%					75%
D. U. Quetzalcoatl		13%	38%	13%	25%			25%
José López Portillo	9%		9%	18%				64%
Leyes de Reforma		33%	33%	11%				33%
Lomas de San Lorenzo	31%	31%	15%	38%				8%
San Miguel Teotongo	11%	33%	33%	22%				11%
Santa María Aztahuacan	46%	38%	8%				8%	8%
Santa Martha Acatitla	27%	55%						18%
Santiago Acahualtepec	11%	44%	11%	11%				33%
Año de Juárez	14%	57%		14%				14%
Citlalli	20%	10%	30%	10%	10%			30%
Consejo Agrarista Mexicano		33%						67%
Ejército Constitucionalista		14%	29%	14%		14%		29%
Paraíso	33%	17%						50%
U. H. Ermita Zaragoza	36%	9%	18%				9%	36%
Cerro de la Estrella	8%		15%	8%	8%			62%
Ejército de Oriente		50%	30%	10%	10%			10%
Juan Escutia		10%	40%		10%	10%		30%
Progresista		8%	8%	23%				62%
San Andrés Tetepilco		9%	27%	18%				55%
San Miguel	20%	7%	20%	7%	13%		7%	33%
Constitución de 1917	6%		18%	18%				59%
Granjas Estrella	10%	30%	10%	20%				30%
Lomas Estrella	11%		33%	22%	11%			56%
Paseos de Churubusco			33%	17%			17%	50%

Porcentaje de población que detecto olor descrito por rango de grises: gris oscuro > 70 %, gris medio = 50 a 70 %, gris claro =40 a 50 % y blanco < 50 %. La representación gráfica de las colonias listadas en el Anexo E, se encuentra en la Figura 5-9.