



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD  
IZTAPALAPA DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE PROCESOS E HIDRÁULICA  
INGENIERÍA HIDROLÓGICA

"CALIDAD DEL AGUA Y SU IMPACTO EN LA SALUD PÚBLICA DE  
ZUMPANGO DE OCAMPO, ESTADO DE MÉXICO"

YESSICA ISABEL CANUL SALMERÓN

2113011413

ASESOR: M. En C. MARÍA ANTONINA GALVÁN FERNÁNDEZ

DICIEMBRE DE 2016

*V. B. O.*  
*M. Antonina Galván*

## CONTENIDO

Introducción.....	4
<b>Antecedentes</b> .....	4
Zona de estudio.....	5
Hidrografía.....	5
Relieve .....	6
Clima.....	6
Flora y Fauna.....	6
Suelos .....	6
Geología.....	7
<b>Información Socio-económica</b> .....	7
Población .....	7
Asentamientos humanos.....	8
Actividad económica .....	9
<b>Descargas industriales</b> .....	9
<b>Drenaje profundo</b> .....	11
<b>Marco teórico</b> .....	17
<b>Ecuación de estado</b> .....	17
<b>La ecuación de balance</b> .....	17
<b>Generación de indicadores</b> .....	19
<b>Encuesta</b> .....	22
<b>Definición del problema</b> .....	28
<b>Salud Pública</b> .....	29
<b>Enfermedades transmitidas por medio del agua</b> .....	29
<b>Enfermedades de origen hídrico en Zumpango</b> .....	30
<b>Justificación</b> .....	30
<b>Hipótesis</b> .....	31
<b>Objetivo</b> .....	31
<b>Metas</b> .....	31
<b>Materiales y métodos</b> .....	32
<b>Definición de la población</b> .....	35
<b>Datos históricos de precipitación</b> .....	39
<b>Reporte de resultados</b> .....	40
<b>Parámetros físicos</b> .....	40
<b>Observaciones</b> .....	42
<b>Discusión</b> .....	46
<b>Conclusiones</b> .....	47
<b>Literatura citada</b> .....	50

*M. D. Cortés*

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición de la población por edad y sexo.....	7
Tabla 2. Grupos quinquenales de población.....	8
Tabla 3. Contaminantes relacionados a las ramas de trabajo .....	29
Tabla 4. Enfermedades de origen hídrico.....	30
Tabla 5. Parámetros biológicos, físicos y químicos.....	34
Tabla 6. Factores que inciden sobre la salud humana.....	35
Tabla 7. Variables a considerar para el estudio.....	38
Tabla 8. Estaciones .....	39
Tabla 9. Parámetros Físicos.....	40
Tabla 10. Parámetros Químicos.....	41
Tabla 11. Parámetros Biológicos .....	41

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Configuración tentativa de los Lagos de la Cuenca del Valle de México .....	10
Figura 2. Configuración realista de los Lagos de la Cuenca del Valle de México.....	10
Figura 3. Sistema principal del drenaje de Valle de México.....	14
Figura 4. Bordo de la Laguna de Zumpango.....	15
Figura 5. Salida del canal de Santo Tomás a la Laguna de Zumpango.....	16
Figura 6. Diagrama de contaminación del agua (Construcción propia) .....	19
Figura 7. Factores incidentes sobre la toma de decisión (Construcción propia) .....	20
Figura 8. Proceso de Toma de decisión (Construcción propia).....	21
Figura 9. Esquema del río Hutzilo (Construcción propia) .....	31
Figura 10. Factores que inciden en la salud humana (Construcción propia).....	36
Figura 11. Aplicación de encuestas.....	38
Figura 12. Sitio 1 de toma de muestra.....	40
Figura 13. Sitio 2 de toma de muestra.....	40
Figura 14. Sonda.....	40
Figura 15. Incubación de bacterias.....	42
Figura 16. Determinación de E-coli.....	42
Figura 17. Contagios de origen hídrico, 2012.....	42
Figura 18. Contagios de origen hídrico, 2013.....	42
Figura 19. Contagios de origen hídrico, 2014.....	43
Figura 20. Contagios de origen hídrico, 2015.....	43
Figura 21. Contagios relacionados a la alimentación, 2012 .....	43
Figura 22. Contagios relacionados a la alimentación, 2013 .....	43
Figura 23. Contagios relacionados a la alimentación, 2014 .....	44
Figura 24. Contagios relacionados a la alimentación, 2015 .....	44
Figura 25. Gráficas (estación, amibiasis, infecciones intestinales, presencia de coliformes).....	44
Figura 26. Graficas (Promedio hp, amibiasis, infecciones intestinales).....	45
Figura 27. Graficas (promedio hp, hipertensión, Diabetes I y E.R.A.) .....	46

M. A. Cortés

## Introducción

### Antecedentes

El área metropolitana de la Ciudad de México está considerada como una de las más grandes del mundo con una extensión urbanizada de 1700 km<sup>2</sup> y una población estimada en 22 millones de habitantes, le confiere la característica de megalópolis (Galván *et al.*, 2016). Contrario a lo que sucede con otras ciudades, el desarrollo del Distrito Federal ha sido horizontal, invadiendo cada vez más los espacios naturales que le rodean. En este contexto, la situación medioambiental de la Ciudad de México se encuentra en fase de crisis, al confrontarse los espacios urbanos a las periferias por la disposición de residuales como basura y agua. La ciudad de México en su crecimiento descontrolado ha absorbido las zonas naturales que le circundan a través de urbanizaciones no planificadas, a la vez que ha ido externalizando los productos del desbalance medio ambiental, en forma de aguas residuales y basura, la amplia gama de desechos caseros e industriales han ocasionado reducciones importantes en la diversidad de las especies vegetales y animales, en particular las endémicas o los rendimientos de las cosechas, que ha incrementado el problema de la migración campesina local en la búsqueda de empleos permanentes y mejor remunerados.

Una de las áreas agropecuarias de la ciudad de México que mayores daños han sufrido es la zona a la salida del Drenaje general de la ciudad, cuyo deterioro se inicia hace 100 años con la transformación de alrededor de 25,000 hectáreas inundadas de todo el Valle, en zonas agrícolas y que hoy son apenas relictos de los antiguos lagos de Xochimilco, Xico, Texcoco y Zumpango (Tortolero, 2000; García-Calderón y De la Lanza *et al.*, 2002); en particular, la laguna de Zumpango actualmente abarca apenas una superficie de 1500 has. Inundadas en su nivel máximo, que varían a menos de 1000 en época de sequía. Actualmente ha sido caracterizada como un espacio suburbano que colinda con una serie de asentamientos de nueva creación.



La importancia estratégica de la zona está dada por su papel en la regulación de escurrimientos, reabsorción de los compuestos orgánicos derivados de descargas de aguas residuales, estabilización y absorción de residuos sólidos en actividades agrícolas, así como por estar incluido en el plan gubernamental de reactivación de la zona lacustre de la ciudad, integrada por los lagos de Xochimilco-Chalco, Texcoco, Xaltocan y Zumpango, así como los sistemas de canales que los interconectan, que permitirá absorber 467 millones de metros cúbicos de agua tratada, derivados de los 1400 millones de litros/año que la ciudad planea tratar en los próximos años (Plan Nacional Hidráulico, 2007).

### **Zona de estudio**

El municipio de Zumpango se localiza en la parte noroeste del Estado de México, en las coordenadas 19° 43' 10" y los 19° 54' 52" de latitud norte y los 99° 11' 36" y los 99° 58' 12" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Este es uno de los 125 municipios del Estado de México y uno de los 7 municipios que integran la Micro Región Zumpango, la sede de esta región se ubica en la cabecera municipal del municipio homónimo; limita al

norte con Tequixquiac y Hueypoxtla, al oeste con el Teoloyucan, al sur con Xaltenco, Extlalpan y Tecámac, al este con Tizayuca, Estado de Hidalgo, y al oeste con el Huehuetoca y Melchor Ocampo (Bando municipal Zumpango, 2015).

### **Hidrografía**

El principal cuerpo de agua corresponde a la Laguna de Zumpango, el cual tiene una superficie de 1,865 ha y una capacidad de 100 Mm<sup>3</sup>. La laguna funciona como vaso regulador de picos para el sistema del Drenaje Profundo, también controla las avenidas del río Cuautitlán. (Diagnóstico Ambiental Zumpango, Región II SEGEM, 2003). La zona colinda con el parteaguas entre el Valle de México y la cuenca de Pachuca, donde aporta al cauce del Río de las Avenidas de Pachuca, convertido hoy en colector de aguas negras teniendo su destino final el gran canal de desagüe del Valle de México (Palacios *et al.*, 2012).

### **Relieve**

La Región de Zumpango, se encuentra enclavada en el sistema orográfico de la provincia del Eje Volcánico Transversal y las subprovincias de los Lagos y Volcanes de Anáhuac y de las Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo. Tomando como eje la orientación de norte a sur, la orografía inicia con un sistema vinculado con la Sierra de Pachuca, donde sobresale el Cerro Picacho con 2,910 msnm. En otra sección está la Mesa La Ahumada que, comprende la transición del Valle de México al Valle del Mezquital (SEGEM (2003) La Recuperación de la Laguna de Zumpango).

### **Clima**

El clima predominante es templado subhúmedo, con una temperatura anual promedio de 17°C y 436 mm de precipitación/año, con la estación de lluvias definida entre mayo y septiembre. Las heladas se presentan entre octubre y marzo, con la temperatura mínima en un grado bajo cero. (Palacios *et al.*, 2012).

## **Flora y Fauna**

La flora está integrada por magueyes, nopales, mezquites, huizaches, pirúes, pinos, sauces, sabinos, ahuehuetes, ciprés, fresno, encino, alcanfores y eucaliptos; árboles frutales como tejocote, capulín, el manzano y ciruelo y plantas medicinales como gordolobo, Cedrón etc. asimismo, plantas o yerbas silvestres y de ornato. Por la fauna hallen zonas despobladas zarigüeyas, tlacuaches, conejos, ratas de campo, zorrillos, tuzas o topos, tejones, ardillas, búhos, zopilotes, garzas, patos, gallinas de agua, colibríes, golondrinas, verdines, pichones, víbora de cascabel, ajolotes, camaleones, lagartijas, sapos, ranas y variedades de insectos. (Palacios *et al.*, 2012).

## **Suelos**

Los suelos predominantes son aluviales, con el 65% de la cobertura local; se encuentran en los márgenes del Río Avenidas de Pachuca y en las localidades de San Bartolo Cuautlalpan, San Juan Pueblo Nuevo, Colonia 1° de Mayo, San Pedro de la Laguna, Santa María, Santa Cecilia y la zona sur de la Cabecera Municipal. El suelo lacustre se localiza en las márgenes de la Laguna de Zumpango y son considerados no aptos para el desarrollo urbano. En segundo lugar están los vertisoles, con una cobertura de 14%, localizados al norte y oriente de San Bartolo. El resto son pequeñas porciones de Feozem, Cambisol, Gleysol y Litosol. (INEGI, 2004).

## **Geología**

Geológicamente constituida por rocas ígneas de aproximadamente de 10 millones de años de antigüedad. Son de composición clástica, andesítica y basáltica, se encuentran en la parte noroeste del municipio, entre la cota 2,350 y 2550 msnm, en la zona con mayor pendiente de todo el municipio. Se alterna con depósitos piroclásticos y sedimentos fluviales y lacustres producidos por el vulcanismo. (Plan de desarrollo municipal Zumpango 2012).

## Información Socio-económica

### Población

De acuerdo al último censo de población realizado por el INEGI en 2010, Zumpango cuenta con 159,647 habitantes, de los cuales 78,608 son hombres, es decir, el 49.2%, y 81,039 son mujeres, equivalente al 50.8% de la población total, su densidad poblacional es de 664.1 habitantes por kilómetro cuadrado. De 1990 a 2010 el municipio registró un crecimiento poblacional del 123.55%.

*Tabla 1. Composición de la población por edad y sexo*

<b>Composición de la población por edad y sexo</b>	
Población total: Representa el 1.1% de la población de la entidad.	159647
Relación hombres-mujeres Hay 97 hombres por cada 100 mujeres.	97
Edad media: La mitad de la población tiene 25 años o menos.	25
Razón de dependencia por edad: Por cada 100 personas en edad productiva (15 a 64 años) hay 56 en edad dependencia (menores de 15 años o mayores de 64 años).	56.3

*Tabla 2. Grupos quinquenales de población*

<b>Población</b>	habitantes
total	159647
hombres	78608
mujeres	81039
<b>Población por grupos quinquenales de edad</b>	159647
Menores de 1 año	3057
<b>1-4 años</b>	14109
1 año	3202
2 años	3640
3 años	3588
4 años	3679
5-9 años	17723
10-14 años	15684
15-19 años	14301
20-24 años	13544
25-29 años	14017
30-34 años	14490
35-39 años	13573
40-44 años	10091
45-49 años	7597

50-54 años	6180
55-59 años	4335
60-64 años	3114
65-69 años	2216
70-74 años	1659
75-79 años	1118
80-84 años	751
85 y más años	671
No especificado	1453

*Estadística básica municipal Zumpango, 2013*

### **Asentamientos humanos**

Las zonas aptas para el desarrollo urbano en el municipio son las siguientes: La Cabecera Municipal, San Juan Zitlaltepec, San Bartolo Cuautlalpan en las zonas medias y zonas bajas. Cabe mencionar que el área urbana de la Cabecera Municipal, se sitúa sobre suelos aluviales susceptibles a inundarse, por lo que presenta algunas restricciones.

### **Actividad económica**

La Población Económicamente Inactiva (PEI), por condición de edad, es un poco más de la tercera parte de la población del municipio (34.31%), indicativo de un espacio poblacional donde la carga de trabajo está en equilibrio. En lo que se refiere al rubro de Población Económicamente Activa, los hombres tienen mayor presencia, representan el 70% de los habitantes económicamente activos, y solamente un 30% las mujeres. De la Población Económicamente Activa, según las cifras del 2010, el 94.17 corresponde a la población mayor de 12 años con posibilidades de laborar, tiene empleo; mientras el 5.83% está desocupada; comparándola con la entidad, tiene un porcentaje levemente por encima de la media de personas ocupadas. (INEGI, 2010).

### **Descargas industriales**

Las obras hidráulicas realizadas por los mexicas mantuvieron, a la entonces Tenochtitlán, casi sin inundaciones, situación que cambió con la llegada de los españoles, quienes

durante el sitio de la ciudad, la privaron de agua potable, cegaron los canales que la cruzaban y desaguaban en el lago de Texcoco, además se contaban entre 18 y 20 albardones en la Cuenca de México, entre ellos el de Nezahualcóyotl, San Lázaro, Ecatepec entre otros, asimismo diques y calzadas. Todo esto ocasionó que al fundarse la capital de la Nueva España no se contara con protección alguna contra las aguas de los lagos, por lo que a partir de 1553 sufrió de constantes inundaciones. Lo largo de su historia, en la Cuenca del Valle de México se ha llevado a cabo una serie de proyectos encaminados a desalojar sus aguas residuales y pluviales.

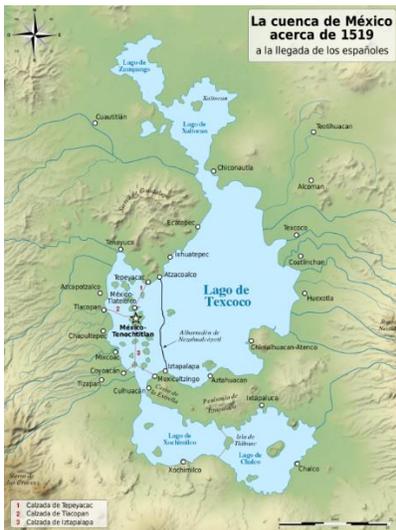


Figura 1. Configuración tentativa de los Lagos de la Cuenca del Valle de México

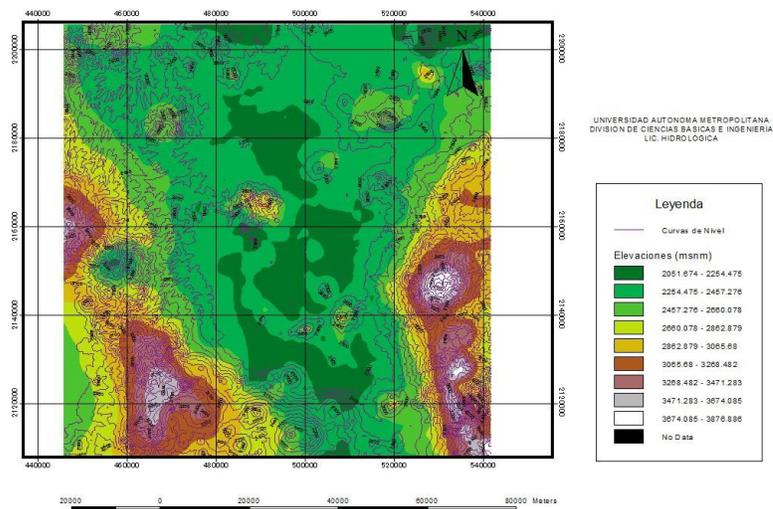


Figura 2. Configuración realista de los Lagos de la Cuenca del Valle de México

Entre 1607 y 1789 se realizó el tajo de Nochistongo, el encargado fue Enrico Martínez quien logró que las aguas del lago de Zumpango empezaran a drenar por el túnel de Nochistongo hacia el valle de Tula, pero la capacidad fue insuficiente y no disminuyó el Volumen de agua requerido. El lago de Texcoco no tenía posibilidades de descargar fuera de la cuenca, para ello se construyó el "Gran Canal" o "Canal del Desagüe", la obra se inició hasta 1866. Se concibió como un canal de 39.5 km, que iniciaba en el lago de Texcoco y culminaba con el túnel de Tequixquiac, de casi 10 km. La obra constituyó la segunda salida artificial para el drenaje del Valle de México y fue terminada en el año 1900, con lo que se pensó que se había dado una solución definitiva a las inundaciones de la ciudad, que por aquellos años albergaba poco menos de un millón de habitantes. El

sistema funcionó más o menos bien hasta 1925, año en el que se presentaron nuevamente inundaciones de gran magnitud. En ese entonces se constató por primera vez que los hundimientos diferenciales hicieron perder su pendiente al sistema de colectores. La explicación científica del fenómeno del hundimiento y su relación con la extracción, mediante pozos, del agua del subsuelo, la dio, en 1947, el doctor Nabor Carrillo.

### **Drenaje profundo**

En 1967 se inició la construcción de El Sistema de Drenaje Profundo. Esta obra constaba, de dos interceptores de 5 m de diámetro y 18 km de longitud, con una profundidad que varía de 30 a 50 m. Los interceptores descargan al Emisor central, de 6.5 m de diámetro y 50 km de longitud. La obra, se inauguró en 1975. (CONAGUA, Archivo Histórico del Agua). Actualmente, el drenaje profundo está compuesto por las estructuras que se describen a continuación:

*Emisor central:* Comienza en la delegación Gustavo A. Madero, atraviesa la autopista México-Querétaro a la altura de Cuautitlán y continúa paralelamente a ésta el puente de Jorobas, donde la vuelve a atravesar. Ahí se dividen las cuencas del Valle de México y del río El Salto. Descarga en este último río a través del portal de salida y las aguas se conducen hasta la presa Requena o al canal El Salto-Tlamaco y posteriormente al río Tula y a la presa Endó, que satisface las demandas de riego de la zona. El río Tula es influente del Moctezuma y éste, a su vez, del Pánuco, que descarga en el Golfo de México. La función más importante del Emisor es conducir fuera de la cuenca del Valle de México las aguas del Sistema del Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

*Interceptor del Poniente:* El interceptor inicia en la zona suroeste de la Ciudad, en la cuenca del Río Magdalena Contreras, atraviesa las delegaciones Álvaro Obregón y Miguel Hidalgo y al municipio de Naucalpan en el Estado de México, llegando a descargar en el Río Hondo en el mismo estado. Con una longitud de 16.5 Km. y un diámetro de 4 m.

En su trayectoria recibe las descargas de 16 colectores en el DF y 3 en el Estado de México. En la lumbrera 14 se cuenta con una estructura de descarga al Interceptor Centro

Poniente del Sistema de Drenaje Profundo del Bosque de Chapultepec. Su función principal es la de captar las aguas provenientes del Poniente de la Ciudad para evitar inundaciones en las partes de la misma.

*Interceptor Centro Poniente:* Se inicia en la lumbrera 14 del Interceptor del Poniente, cerca del Museo de la Comisión Federal de Electricidad, en la segunda sección del Bosque de Chapultepec, y termina en la lumbrera 1 del Emisor Central, en el Cerro del Tenayo. Posee estructuras de captación en cinco lumbreras, que captan a los colectores Rubén Darío, Río San Joaquín, Refinería Trujillo, Salomón Lerdo de Tejada y al Colector 15; benefician a gran parte de las delegaciones de Miguel Hidalgo y Azcapotzalco.

*Interceptor Central:* Este conducto se encuentra construido desde la lumbrera 4A, en el cruce de las avenidas Dr. Vértiz y Obrero Mundial, hasta la lumbrera 0 del Emisor Central, en Cuauhtémoc. Alivia al Río de la Piedad y capta los colectores de Tabasco, 5 de Mayo, Héroes, Río Consulado, Cuitláhuac, Fortuna y Moyobamba. También cuenta con obras de toma de los ríos de Los Remedios, Tlalnepantla, San Javier y Cuauhtémoc. Beneficia a las delegaciones Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Cuauhtémoc y parte de Benito Juárez.

*Interceptor Oriente:* Su tramo norte, principia en las calles de Aglabampo y Troncoso; por esta calle se va hacia el norte hasta la calzada Zaragoza. A partir de aquí, el túnel se deflexiona para continuar en forma paralela al Gran Canal hasta la calzada San Juan de Aragón; donde el túnel se dirige hasta el oriente para alcanzar la Av. Eduardo Molina y así llegar hasta la lumbrera 8C ubicada en la colonia Salvador Díaz Mirón, y termina en la lumbrera 0 del Emisor Central, en Cuauhtémoc.

*Interceptor Centro-Oriente:* Este interceptor une los Interceptores Oriente y Central. Se inicia en la lumbrera 1, ubicada en las calles Dr. Durán y Dr. José María Vértiz y termina en la lumbrera 4, en Aglabampo y Francisco del Paso y Troncoso.

Beneficia a algunas colonias de la zona centro del Distrito Federal. Para esto se construyó una estructura de captación para el Colector 10 en la lumbrera 2, la cual conducirá las aguas del Interceptor Oriente, que a su vez aliviara al río Churubusco y al Interceptor Canal Nacional-Canal de Chalco.

*Interceptor Oriente-Sur:* El trazo de este túnel se inicia en la lumbrera 1, ubicada entre las calles Iztaccíhuatl y Anillo Periférico, en Iztapalapa, para concluir en la lumbrera 5 del Interceptor Oriente, en Francisco del Paso y Troncoso, esquina calzada Ignacio Zaragoza. Su longitud de 13.8 km. con 5m de diámetro y 8 lumbreras en su trayecto. Este Interceptor cuenta con la planta de bombeo Zaragoza de 20 m<sup>3</sup>/s con la cual se podrá aliviar al interceptor Oriente-Sur hacia el entusiasmo del río Churubusco, o invertir su funcionamiento en caso necesario. A través de sus captaciones aliviará a los colectores Luis Manuel Rojas, Canal de San Juan, Zaragoza Norte, Río Churubusco y el Iztaccíhuatl; y a los interceptores Iztapalapa y Oriente-Oriente. Además de la delegación Iztapalapa, se beneficiará a Iztacalco y Venustiano Carranza.

*Interceptor Oriente-Oriente:* Su tramo se inicia en la parte norte de la laguna de regulación “El Salado”, ubicada en el cruce de las avenidas Texcoco y Kennedy, para concluir en la lumbrera 6 del Interceptor Oriente-Sur, en la esquina de Canal de San Juan e Ignacio Zaragoza. Tiene una longitud de 7.2 km., diámetro de 5 y 3.10 m y 5 lumbreras, ya construidas, de las cuales dos son constructivas, y en corto plazo se iniciará la excavación del túnel. Por medio de lumbreras de captación aliviará a los colectores que drenan la zona nororiente de la delegación Iztapalapa, la laguna de regulación “El Salado”, que a su vez recibe la aportación de los colectores Kennedy, Zaragoza Norte y San Miguel Teotongo y los colectores Las Torres, Santa Martha, Ejército de Oriente, entre otros.

*Interceptor Iztapalapa:* Tiene una longitud de 5,500 m y un diámetro de 3.10 m. Capta gran parte de las aguas generales de la Delegación Iztapalapa, las conduce hasta la Planta de bombeo Central de Abasto II de 20 m<sup>3</sup>/s de capacidad, que a su vez las incorpora hacia el Río Churubusco. También recibe de los desfogues de las lagunas Mayor y Menor de

Iztapalapa, que beneficia la parte noreste de esta delegación. El túnel tiene una pendiente de dos metros por kilómetro para permitir que el agua corra por acción de la gravedad.

El Drenaje Profundo sólo desalojaría agua de lluvia y descansaría para su mantenimiento en época de estiaje, sin embargo, ante el crecimiento de la ciudad, las autoridades de la Comisión Nacional del Agua y de la entonces Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) decidieron que las aguas del drenaje de la ciudad serían enviadas al túnel.

El Túnel Emisor Oriente (TEO) es un proyecto hidráulico en construcción desde agosto de 2008. Corre paralelo al Emisor Central del Drenaje Profundo y al Gran Canal del Desagüe. El inicio del túnel en la Lumbreira 0 tiene 26 m de profundidad y la última, en Huehuetoca, Estado de México, alcanza 150 m. Se calcula que la obra sería completada a finales de 2015 y depositará las aguas del Valle de México en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco, en Hidalgo. (Periódico "Excélsior" (14/06/15).



consecuencia la proliferación de lirio acuático en la Laguna, por lo que de 1997 a 1998 fue desecada nuevamente con el fin de erradicar el lirio.



*Figura 4. Bordo de la Laguna de Zumpango*

Actualmente la laguna funciona como vaso regulador y de almacenamiento de los excedentes provenientes del Río Cuautitlán y del Emisor Poniente mediante el canal de Santo Tomás (Figura 5).



*Figura 5. Salida del canal de Santo Tomás a la Laguna de Zumpango.*

(Plan estratégico para la recuperación de la laguna de Zumpango, IMTA, 2012)

Según el Programa Estatal de Protección al Ambiente (PEPA) 1996-1999, en la Laguna de Zumpango y los canales que interconecta el sistema de Drenaje Profundo, hay un alto grado de contaminación, principalmente por descargas industriales, comerciales, de servicios y domésticas, el grueso de las descargas son aguas negras sin tratar, lo que ha provocado problemas de invasión de lirio acuático; por tratarse de canales a cielo abierto hay malos olores y proliferación de fauna nociva. De la misma manera se presenta un grado significativo de contaminación por agroquímicos producto del distrito de riego y zonas agrícolas colindantes.

## Marco teórico

### Ecuación de estado

Una ecuación de estado es la relación que existe entre dos o más propiedades físicas (macro) o químicas (micro). En sistemas de un componente y de una fase, la ecuación de estado incluirá tres propiedades, dos de las cuales pueden ser consideradas como independientes y la tercera es el resultado de la interacción de las dos primeras.

Aunque en principio se podrían plantear relaciones funcionales en que intervengan tres propiedades termodinámicas cualesquiera. Debido a la incompleta comprensión de las interacciones entre los aspectos químico-químicos, químico-físico y físico-físico, especialmente en los estados líquidos y sólido, han sido utilizados métodos empíricos para desarrollar muchas de las ecuaciones de estado de uso general.

La elección de la ecuación a usar en una aplicación dada depende principalmente de la exactitud deseada y de la capacidad del usuario. Como los coeficientes de casi todas las ecuaciones de estado deben ser evaluados ajustando o adaptando las ecuaciones a diversos datos experimentales, estas ecuaciones nunca pueden representar exactamente los datos experimentales, muchas veces estas ecuaciones no representan los datos, limitando la exactitud.

Una ecuación de estado es una ecuación que relaciona, para un sistema en equilibrio termodinámico, las variables de estado que lo describen. Tiene la forma general:

$$f(a, b, c) = 0 \text{ _____} [1]$$

([apuntescientificos.org/ecuacion-estado-ibq.htm](http://apuntescientificos.org/ecuacion-estado-ibq.htm))

### La ecuación de balance

El balance de masa y energía, puede definirse como una contabilidad de entradas y salidas de masa y energía en un proceso o de una parte de éste.

La ecuación de balance está definida, como el cambio en el sistema con respecto del tiempo es igual a las entradas y salidas del sistema referente al tiempo, lo cual se muestra en la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{I - O}{\Delta t} \quad \text{_____} \quad [2]$$

Se tienen las siguientes condiciones del sistema:

- a)  $\Delta t =$  fijo, finito y conocido.
- b)  $\Delta S = I - O$ ; es un sistema cerrado.
- c)  $f(\text{balance})$  en la frontera = 0

De las cuales se obtiene la ecuación de balance:

$$\begin{array}{l} \Delta S [C]_{\text{suelo}}^1 = [H_2O, C] - [C_{\text{planta}}, C_{\text{agua}}, C_{\text{suelo}}] \\ + \Delta S [C]_{\text{agua}}^2 = [C_{\text{alimento}}, C_{\text{agua}}]^2 \end{array}$$


---

SISTEMA

Donde [C], es la concentración de contaminantes.

Se tiene que:

I = descarga de agua residual, drenaje profundo.

O = contaminación en plantas que comen los animales y llegan al ser humano.

En el siguiente diagrama de flujo se observa la transferencia de contaminación del agua hasta llegar al ser humano.

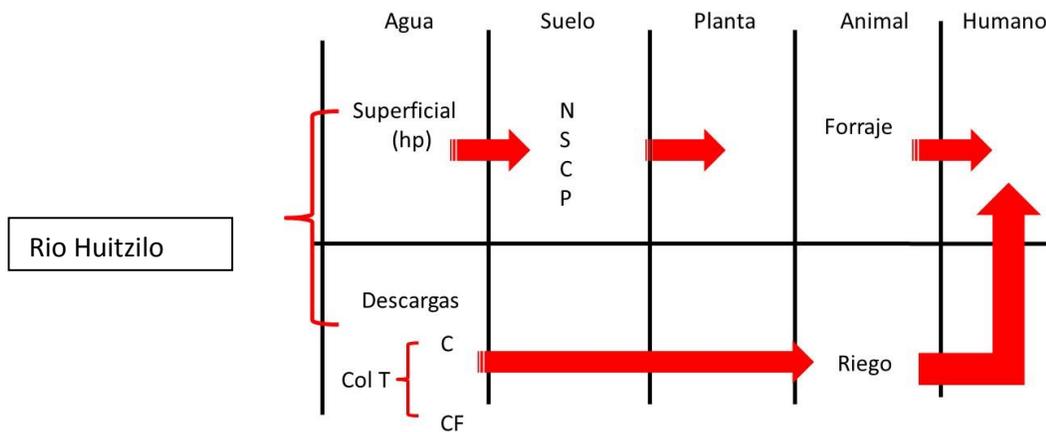


Figura 6. Diagrama de contaminación del agua (Construcción propia)

## Generación de indicadores

De acuerdo con Maslow (1968-1970), los factores que inciden sobre la toma de decisión en un individuo son 3, y están relacionados con sus necesidades expresas de sobrevivencia y bienestar, de tal forma que cada vez que se elige algo, esto define indirectamente nuestras necesidades, formas de pensar y sentir; entonces, de acuerdo con esto, son 3 los niveles de necesidades que afectan nuestra percepción a saber:

- a) Nivel Básico: se refiere a las necesidades de subsistencia del individuo; están fuertemente marcadas por el instinto ya que se refiere al alimento, abrigo y procreación, si alguna de estas necesidades no es suplida, se compromete la sobrevivencia del individuo. Se refiere a las necesidades fisiológicas, por tanto están determinadas por las características del individuo, como peso, talla, edad y su carácter personal las hace de orden único y exclusivo del individuo.
- b) Nivel Secundario: en este nivel se engloban las necesidades relacionadas con la familia o el grupo inmediato y se relacionan al individuo al integrarlo a un grupo social que le reconoce capacidades de protección, guía, mando y autoridad; estas características están asociadas a valores de autoestima y reconocimiento psicológico, por lo que se consideran de éste orden y una parte de su consecución

depende del núcleo familiar y otra del individuo. Este nivel está determinado por características como la cultura, el nivel educativo, el ingreso, etc.

- c) El tercer nivel está relacionado con el entorno social- comunitario, donde el individuo recibe otro tipo de reconocimiento a sus capacidades, como es la organización, la cooperación, el aporte tecnológico y/o económico que determinan la trascendencia del individuo a su entorno familiar. Entonces, este nivel estará determinado por las características de la comunidad a la que pertenece como es su historia, ideología, religión, etc.

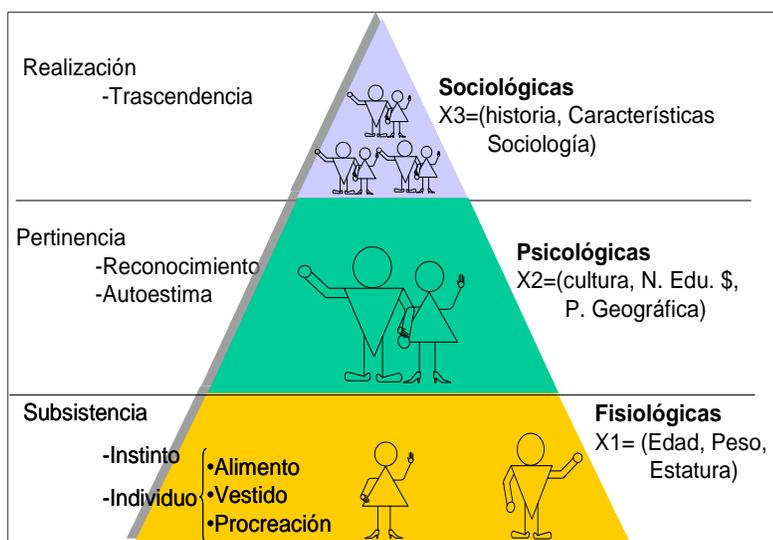


Figura 7. Factores incidentes sobre la toma de decisión (Construcción propia)

Como se aprecia en la Figura 6, cada uno de los niveles tiene una definición específica e independiente de los otros factores y niveles, y a su vez, cada factor se construye a partir de variables que inciden en el indicador y que no se repiten en alguno otro de los niveles, de tal forma que relacionado con el modelo numérico tenemos:

$$X_1 = \text{Fisiológico} = F(\text{peso, edad, estatura}) \underline{\hspace{10em}} [3]$$

$$X_2 = \text{Psicológico} = F(\text{cultura, NE, $, geografía}) \underline{\hspace{10em}} [4]$$

$$X_3 = \text{Sociológico} = F(\text{historía, socio log ía}) \underline{\hspace{10em}} [5]$$

	Motivación	Variable $X_i=(\text{Edad, Peso, Talla})$
Subsistencia ( $X_1$ )	Interna ↓	Edad Peso Talla
Familiar ( $X_2$ )	Interna Externa ↓	Cultura Nivel educativo Ingreso $X_2=(\text{cultura, N-E, \$})$
Comunidad ( $X_3$ )	Externa	Ubicación geográfica Historia Características sociológicas $X_3=(\text{Historia, Carac, })$

Figura 8. Proceso de Toma de decisión (Construcción propia)

Donde se puede construir el indicador, de acuerdo con FEO, dado que los vectores ( $X_i$ ) son independientes entre sí, ya que representan factores diferentes, de la forma:

$$I = A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 \quad \text{_____} [6]$$

En contraparte, el modelo planteado ofrece un sistema de identificación y evaluación más económico y directo, al preguntar de los individuos que más se enferman, a) ¿qué características físicas tienen?, b) ¿cómo son sus hábitos de alimentación e higiene y dónde viven? c) ¿cuáles son sus hábitos y tiempos de trabajo?, en este caso, cada una de las condicionantes tiene un factor de peso dentro del indicador; entonces, aquellos que más se enferman o presentan padecimientos crónicos generarán indicadores altos, mientras que los que menos enferman presentaran indicadores bajos.

Al tener dos dimensiones de análisis, el relacionado con las características de riesgo y las del estado de salud, la intersección de ambos genera un espacio base que se distribuye homogéneamente, de tal forma que:

$$X_1 = \text{Percepción} = F(\text{peso, edad, estatura, cultura, NE, \$}) \quad \text{_____} [7]$$

$$X_2 = \text{Estadoclínico} = F(\text{Sangre, orina, Rx, EF}) \quad \text{_____} [8]$$

Entonces:

$$C_{\text{base}} = \text{Intersección de } X_1 \text{ y } X_2 \text{ _____ [9]}$$

De tal forma que la intersección de ambos espacios tiene las características de:

- Eliminar la “variabilidad” de condiciones, al establecer funciones semi analíticas.
- Establecer funciones que permitan la evaluación sistemática del parámetro a través de variables directas.
- Establecer una metodología de extrapolación para la evaluación de  $X_1$  y  $X_2$ , bajo cualquier condición (dentro del espacio físico) a través de variables de fácil medición.

Finalmente, la utilidad práctica de este planteamiento de investigación se traducirá como una herramienta para la generación de indicadores que vinculen las características físicas del individuo con su percepción de salud. Por ejemplo, se espera concluir: + y sus datos de laboratorio están alterados, tiene un riesgo mayor de presentar daños en la salud.

- Si el individuo presenta síntomas, pero sus datos de laboratorio son normales, se debe realizar un segundo acercamiento a la fase de percepción de salud.
- Si el individuo no presenta síntomas y sus datos de laboratorio están alterados, presenta un
- Si el individuo no presenta síntomas y sus datos de laboratorio son normales, presenta un riesgo nulo de daño en la salud

## Encuesta

Uno de los métodos utilizados es la encuesta; la encuesta está definida, de acuerdo con el Prof. García Ferrado como

*“una investigación realizada sobre una muestra de sujetos representativa de un colectivo más amplio, utilizando procedimientos estandarizados de interrogación con intención de obtener mediciones*

*cuantitativas de una gran variedad de características objetivas y subjetivas de la población.”*

En opinión de García Ferrado *“todo fenómeno social puede ser estudiado a través de las encuestas”*. Enseguida se describen las razones que avalan esta afirmación:

1. Hay estudios experimentales en que no se conocen inicialmente las variables que intervienen y mediante la encuesta (cuestionarios o por entrevista hacen posible determinar las variables de estudio).
2. Las técnicas de encuesta se adaptan a todo tipo de información, y a cualquier población.
3. Las encuestas permiten sistematizar información sobre sucesos acontecidos a los entrevistados.
4. Las encuestas permiten estandarizar los datos para un análisis numérico posterior, obteniéndose gran cantidad de datos a un precio bajo y en un periodo de tiempo corto.

Las encuestas se pueden realizar sobre el total de la población o sobre una parte representativa de la misma que llamaremos muestra. Una encuesta realizada al total de la población es el censo. Las encuestas se suelen realizar sobre una muestra representativa.

Motivos que inducen a tomar muestras de las poblaciones:

- ◆ Cuando la población es muy grande.
- ◆ motivos económicos.
- ◆ falta de personal adecuado.
- ◆ calidad de los resultados.
- ◆ mayor rapidez en recoger los datos y presentar los resultados.

Limitaciones a la toma de muestras representativas;

- i. Cuando se necesita información de todos los elementos de la población.
- ii. Cuando no se domina la técnica de muestreo.
- iii. Cuando la población es muy pequeña.

El resultado de una encuesta depende en gran medida del cuestionario, de la forma de presentarlo, ya que las respuestas no pueden ser mejores que las preguntas pues si estas no son claras, ni precisas o capciosas, las respuestas serán oscuras, imprecisas ambiguas, la estructura de congruencia entre los temas abordados, el diseño de las bases de datos.

### **Pasos para la realización de una encuesta:**

Es necesario definir el objetivo de la encuesta, formulando con precisión los objetivos a alcanzar; se debe analizar y comprender totalmente el problema a investigar, eliminando lo superfluo y centrado el contenido de las encuestas, si es posible en las variables intervinientes y diseñando la muestra.

Metodología para el diseño de la encuesta:

- Diseñar un proyecto en donde intervengan la formulación del problema, la metodología y el posible análisis para obtener los resultados.
- La formulación del cuestionario debe ser realizado meticulosamente y comprobando antes de pasarlo a la muestra representativa de la población.
- El trabajo de campo, consistente en la obtención de los datos. Para ello será preciso seleccionar a los entrevistadores, formarlos y distribuirles el trabajo a realizar en forma homogénea.
- Los datos obtenidos habrá que procesarlos, codificarlos tabularlos para obtener los resultados de la encuesta que serán presentados en el informe y que servirán para posteriores análisis.

Tipos de encuestas.

- a) *Encuestas exhaustivas y parciales*: Se denomina exhaustiva cuando abarca a todas las unidades estadísticas que componen el colectivo, universo, población o conjunto estudiado. Cuando una encuesta no es exhaustiva, se denomina parcial.
- b) *Las encuestas directas e indirectas*. Una encuesta es directa cuando la unidad estadística se observa a través de la investigación propuesta registrándose en el

cuestionario. Será indirecta cuando los datos obtenidos no corresponden al objetivo principal de la encuesta pretendiendo averiguar algo distinto o bien son deducidos de los resultados de anteriores investigaciones estadísticas.

- c) *Encuestas sobre hechos y encuestas de opinión.* Hay un tipo de encuestas cuya misión es averiguar lo que es el público en general piensa acerca de una determinada materia o lo que considera debe hacerse en una circunstancia concreta. Estas encuestas se denominan de opinión y tuvieron su origen en los Estados Unidos. Se realizan con un procedimiento de muestreo y son aplicadas a una parte de la población ya que una de sus ventajas es la enorme rapidez con que se obtienen los resultados. Las encuestas sobre hechos se realizan sobre acontecimientos ya ocurridos o hechos materiales en los que la encuestada contesta de forma concreta.

El cuestionario se puede presentar bajo dos esquemas:

- *Cuestionario individual.* Es en el que contesta de forma individual por escrito y sin que intervenga para nada el encuestador. Se suele enviar por correo y se presenta en forma de boletín o cuadernillo en donde se enumeran las preguntas dejando espacio para cada contestación.
- *Cuestionario-lista.* Es cuestionario es preguntado por al encuestador en una entrevista por uno de los especialistas de la investigación. En una entrevista el encuestador va preguntando al encuestado, anotando las respuestas en unas hojas que contienen una especie de cuadrículas, reservando una columna cada pregunta y una fila a cada uno de los encuestados.
- un tercer tipo consistente en las *escalas sociométricas* que son unos cuestionarios especiales en donde las preguntas tienen atribuido un valor numérico que permite cuantificar los resultados, midiendo su coeficiente intelectual o su rendimiento.

El resultado de una encuesta depende en gran medida del cuestionario, de la forma de presentarlo, ya que las respuestas no pueden ser mejores que las preguntas pues si estas no son claras, ni precisas o capciosas, las respuestas serán oscuras, imprecisas ambiguas, la estructura de congruencia entre los temas abordados, el diseño de las bases de datos.

### ***Tipos de preguntas.***

Las preguntas se deben de hacer de tal forma que las respuestas que se ofrezcan reúnan dos condiciones imprescindibles, el de ser excluyentes y exhaustivas para que de esta forma el encuestador no pueda elegir dos respuestas a la misma pregunta, y al mismo tiempo, que en las respuestas se presenten todas las posibilidades para que ningún encuestado la deje sin contestar por no encontrar la respuesta. Una primera clasificación del tipo de preguntas en cuanto a la contestación del encuestado son: preguntas abiertas (cuya respuesta no viene especificada en el cuestionario, dejando libertad al encuestado para que conteste según su criterio) y preguntas cerradas (aquellas que contienen la respuesta, pudiendo dividirse entre aquellas que tienen solo dos posibles respuestas como sexo, sí o no, etc.), preguntas de elección múltiple que incluyen varias respuestas posibles para elegir una. Cuando el entrevistado responde con sus propias palabras, se denomina abierta y cuando el entrevistado responde con palabras del entrevistado seleccionado una, es cerrada.

Otra clasificación de las preguntas es atendiendo a su función en el cuestionario, destacando.

1. ***Pregunta de filtro:*** Son aquellas que se realizan previamente a otras para a los que no les afecte. *Ejemplo. ¿Tiene coche, piensa comprarse uno?*
2. ***Preguntas de trampa o control:*** Para describir la intención con que se responde. Se incluyen respuestas contradictorias con lo que se pregunta para ver si el encuestado cae en ellas.

3. **Preguntas de introducción o rompehielos:** Para comenzar el cuestionario o para enlazar un tema con otro.
4. **Preguntas muelle, colchón o amortiguadoras:** son preguntas sobre temas peligrosos o inconvenientes formuladas suavemente.
5. **Preguntas batería:** Conjunto de preguntas encadenadas unas con otras completamente.
6. **Preguntas embudo:** Se empieza por cuestiones generales hasta llegar a los puntos esenciales.

## **Definición del problema**

Según datos de la Comisión Nacional del Agua, la capacidad actual del drenaje profundo es de 195 mil litros de aguas negras por segundo desalojados en la presa Requena en el valle del Mezquital. El sistema hidráulico de la cuenca del valle de México, requiere desalojar 315 mil litros por segundo. Por lo tanto existe un déficit hídrico de 120 mil litros por segundo. (Subversiones, Agencia Autónoma de Comunicación” (02/03/15)).

Cuautitlán Izcalli cuenta con una importante base industrial que representa su mayor y más importante potencial económico y que muestra gran diversidad de ramas. Para el desarrollo de esta actividad existen ocho parques industriales; el Complejo Industrial Cuamatla, La Joya, Micro Parque Industrial “FIDEPAR”, Parque Industrial Cuamatla, Parque Industrial Cuautitlán, Parque Industrial La Luz, Parque Industrial San Martín Obispo y el Parque Industrial San Sebastián Xhala

Entre los productos distribuidos se tienen los alimenticios, bebidas y tabaco, textiles y prendas de vestir, productos de madera y papel, sustancias químicas y productos derivados del petróleo, carbón, hule y plástico asimismo productos no metálicos, metálica básica, productos metálicos, maquinaria y equipo.

Las principales sustancias contaminantes son; Sólidos en suspensión, Metales pesados, materia orgánica, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales, metales disueltos, sosas, ácidos, hidrocarburos, Hg, P, fluoruros, cianuros, amoniacio, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos (Bando municipal 2013 de Cuautitlán Izcalli estado de México 05 de febrero de 2013).

## Salud Pública

Para conocer los contaminantes relacionados a las diferentes ramas de trabajo y los síntomas que se tienen, a partir de las normas, se consultaron las siguientes instituciones de salud: La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Latinoamericana para el Fomento de la Investigación de la salud (OLFIS). La información recabada se muestra resumida a continuación:

*Tabla 3. Contaminantes relacionados a las ramas de trabajo*

<b>Ramas de trabajo</b>	<b>Tipo de contaminante</b>	<b>Enfermedad</b>
Agua potable	microbiológico	vómito, diarrea
Alimentos	plaguicidas	problemas gastrointestinales
Textil	minerales	irritación en la piel
Textil	solventes	cáncer problemas de reproducción/desarrollo
metalurgia	plomo	daños al cerebro, riñón, sistema nervioso
	arsénico	lesiones cutáneas, cáncer en la piel
Alimentos		salmonella/ no tifoidea cólera

### Enfermedades transmitidas por medio del agua

Las enfermedades transmitidas por el agua pueden ser de origen bacteriano, por protozoarios o virus, en la Tabla 4 se muestran las principales enfermedades de origen hídrico, su organismo causal, el modo de dispersión y los principales síntomas que presenta una persona contagiada.

*Tabla 4. Enfermedades de origen hídrico*

Enfermedad/Organismo causal	Modo de dispersión	síntomas
Cólera/ <i>Vibrio Cholerae</i>	Ingestión de agua o alimentos contaminados por la bacteria.	Diarrea, vómitos, el paciente puede evacuar de 30 a 40 veces por día.
Disentería bacteriana/ <i>Shigella spp</i>	Vía alimentos contaminados, agua y contacto personal directo.	Diarrea, con presencia de sangre o moco en las evacuaciones.
Leptospirosis/ <i>leptospira</i>	Los huéspedes primarios son los roedores en sus riñones, el paciente se puede contaminar por nadar en aguas contaminadas por orines de roedores.	Fiebre, dolor en las piernas, náusea, vomito, congestión de los vasos sanguíneos conjuntivos alrededor de las corneas de los ojos.
Hepatitis infecciosa/Virus de la hepatitis	Evacuaciones que contienen virus que contaminan agua y alimentos.	Pérdida del apetito, náusea, vómitos y diarrea acompañados de fiebre, escalofríos y dolor abdominal.

*Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Laguna de Zumpango.*

### **Enfermedades de origen hídrico en Zumpango**

De acuerdo a la información recabada de instituciones de salud como son IMSS, ISSTE, Hospital de PEMEX entre otros, se identificaron las enfermedades de origen hídrico en los últimos cuatro años, las cuales son; la Amibiasis intestinal, Ascariasis, Conjuntivitis, Infecciones en vías urinarias, Infecciones intestinales y Otitis.

### **Justificación**

De acuerdo con lo anterior, el agua que lleva el río Huitzilo por ser residual (uso doméstico, industrial y de servicios), y no tener tratamiento, afecta directamente al ser humano provocando un riesgo potencial a la salud, por el consumo-contacto con los contaminantes; los riesgos potenciales varían desde enfermedades gastrointestinales, procesos de degeneración crónica, hasta la muerte. La Figura 9 presenta el diagrama de transferencia.

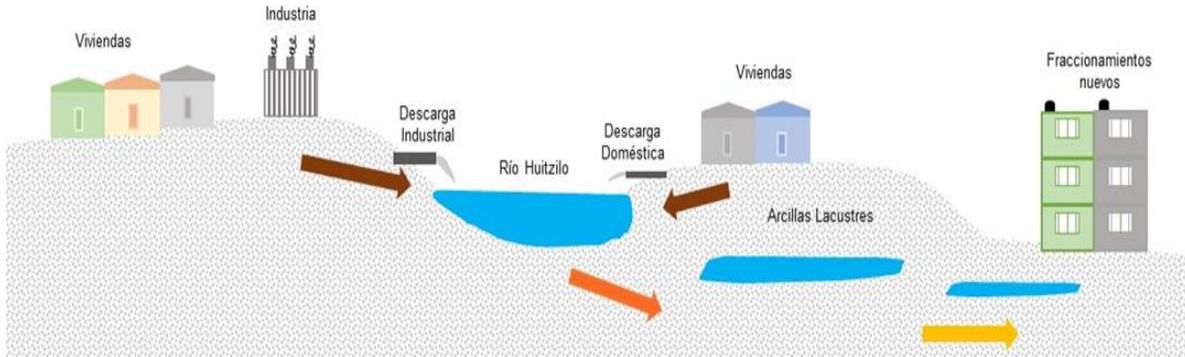


Figura 9. Esquema del río Hutzilo (Construcción propia)

Fuente: construcción propia.

## Hipótesis

Por lo anterior, la salud pública se verá afectada de manera significativa por las descargas de agua residual, que contienen elementos contaminantes en los 3 espectros: físico, biológico y químico, los cuales pueden causar enfermedades de impacto directo (como intestinales), de efectos acumulativos (como el cáncer) o mutagénicos, hasta ocasionar la muerte de los habitantes más vulnerables.

## Objetivo

El objetivo es determinar si las enfermedades reportadas por los habitantes que colindan con el río Hutzilo son imputables a la calidad del agua.

## Metas

1. Describir y analizar las características del agua residual del canal de Zumpango de Ocampo,
2. Describir el sistema humano (unidad familia, en el estrato de salud).
3. Diseñar una encuesta que relacione la calidad del agua con el estado de salud en orden perceptivo
4. Desarrollar un indicador de tipo numérico que relacione la calidad del agua con el estado de salud.

## **Materiales y métodos**

“Norma Mexicana NMX-AA-014-1980, Cuerpos receptores.- muestreo”

**Objetivo y campo de aplicación:** Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas.

### **Definiciones**

1. *Cuerpo Receptor:* Toda red colectora, río, cuenca, cauce, vaso o depósito de aguas que son susceptibles de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.
2. *Descarga:* Conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en algún cuerpo receptor.
3. *Aguas Residuales:* Líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original.
4. *Capacidad de Dilución:* Cantidad de cualquier elemento, compuesto o sustancia que puede recibir un cuerpo receptor en forma tal que no exceda en ningún momento ni lugar la concentración máxima de dicho elemento, compuesto o sustancia establecida en la Norma de Calidad del cuerpo receptor correspondiente, tomando como base el gasto normal de diseño o volumen normal de diseño.
5. *Red de Muestreo:* Conjunto de sitios seleccionados para tomar las muestras.

### **Aparatos y equipo**

Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las mismas. En el caso de los recipientes para muestras a las que se les va a efectuar análisis bacteriológicos deben ser de material resistentes a presiones y temperaturas requeridas para la esterilización. Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes y ser de un material afín al del recipiente.

Los recipientes deben tener una capacidad mínima de 2 dm<sup>3</sup> (litros). En el caso de los recipientes para análisis bacteriológicos la capacidad debe ser no mayor de 250 cm<sup>3</sup>. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro.

Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información:

Cuerpo receptor en estudio, Número y nombre de la estación, Identificación de la descarga, Número de la muestra, Fecha y hora de muestreo, Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo.

- Se debe llevar una hoja de registro con la información que permite identificar el Origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permiten repetir el muestreo.
- La hoja de registro debe contener los resultados de pruebas de campo practicadas en la zona estudiada, temperatura ambiental, temperatura del agua, pH y gasto.
- Descripción detallada de las estaciones de muestreo, de manera que cualquier persona pueda tomar otras muestras en el mismo lugar.

### **Procedimiento**

Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el sitio y hora de muestreo, tener el volumen suficiente, para efectuar con él las determinaciones correspondientes. Se debe establecer una red de muestreo que represente las condiciones particulares del cuerpo receptor, debiéndose tomar las muestras en la parte superior, media o inferior. Con el objeto de conocer las variaciones de las condiciones particulares del cauce receptor, se debe establecer un ciclo anual de muestreo que cubra las épocas de precipitación pluvial y estiaje.

Se debe muestrear y aforar en los siguientes puntos: Aguas arriba de la descarga, a una distancia tal, que no se manifieste influencia de ésta. En la descarga misma, lo más próximo posible a su desembocadura al cuerpo receptor. Asimismo aguas abajo de la descarga, a una distancia tal, que se considere se haya efectuado una mezcla uniforme de la descarga en el cuerpo receptor. Se recomienda muestrear a una distancia tal, que se considere que el cuerpo receptor haya absorbido el efecto de la descarga, para apreciar el grado de recuperación del cuerpo hídrico. Para fines de estudio del cuerpo receptor, se debe muestrear en aquellos sitios en que se aprecien cambios fuertes de sección, caídas, zonas cubiertas de lirio u otros organismos eutroficantes.

Para el muestreo en cuerpos receptores, se debe establecer una red de muestreo que represente las condiciones particulares del cuerpo receptor, debiéndose tomar las muestras en la parte superior, media o inferior, se debe establecer un ciclo anual de muestreo que cubra las épocas de precipitación pluvial y estiaje. Se debe muestrear en aquellos sitios en que se aprecien cambios fuertes de sección, caídas, zonas cubiertas de lirio u otros organismos eutroficantes. En la tabla 5 se muestran los parámetros biológicos, físicos y químicos que deben ser medidos en la muestra de agua y su tiempo máximo de análisis.

*Tabla 5. Parámetros biológicos, físicos y químicos.*

Parámetro	Vol. Mínimo requerido (ml)	Recipiente	Preservación	Tiempo máximo de análisis
Oxígeno disuelto			Analizar inmediatamente	
Temperatura del agua			Analizar inmediatamente	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1000	Plástico	4°C	48 horas
Coliformes fecales y totales	150	Bolsa o frasco de vidrio estéril		24 horas
Conductividad eléctrica			Analizar inmediatamente	
Potencial de hidrógeno (pH)			Analizar inmediatamente	
Sólidos suspendidos	1000	Plástico	4°C	7 días
Sólidos disueltos	500-1000	Plástico	4°C	7 días
Fosforo total	1000	Plástico	4°C	28 días

*Diario Oficial de la Federación, 17/08/2016*

## Definición de la población

Para determinar el efecto de los contaminantes sobre los pobladores que habitan en la cercanía del río Huitzilo, se buscó inicialmente identificar el grado de vulnerabilidad de la población que se consideró más sensible a los efectos de la contaminación del río.

El instrumento utilizado fue un cuestionario base, dividido en tres rubros principales (económico, productivo y de tiempo, de igual manera el tipo de exposición), cuya información permitiera:

1. Identificar las actividades productivas de la población, así como su estilo de vida y hábitos, para así realizar un primer diagnóstico de la intensidad y origen de las exposiciones a los contaminantes.
2. Evaluar los patrones de consumo y demanda de agua y relacionar las condiciones socio-económicas con el grado de higiene de los individuos.

Para ello se analizaron los factores que inciden sobre la salud humana (tabla 6).

*Tabla 6. Factores que inciden sobre la salud humana.*

Condicionante	Factor			
	Salud	Resistencia	Medio de exposición	Tiempo de exposición
Interno	Robustez	Genética	Alimento, agua	Casa, escuela
Externo	Alimentación	Medio Ambiente	Radiación, contacto dérmico	Trabajo

Estos factores se basaron en el universo, es decir la población aledaña al río Huitzilo. Se tienen tres conjuntos, el individuo, el medio ambiente y el tiempo de exposición, la intercepción de los tres (triángulo rojo) implica que se tiene un individuo enfermo, es decir que es vulnerable ya sea por la mala alimentación o debido a su genética, su medio ambiente es adverso y su exposición a éste es muy alta.

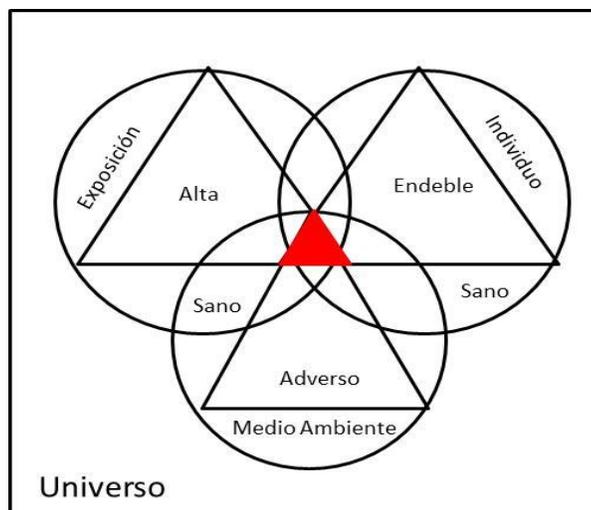


Figura 10. Factores que inciden en la salud humana (Construcción propia)

Los principales tópicos contemplados en la encuesta base son los siguientes:

- Características de la propiedad
- Estructura familiar
- Características de la vivienda
- Actividad productiva
- Economía
- Manejo de agua
- Hábitos, salud y desempeño

Las preguntas incluidas en el cuestionario permitieron evaluar los factores que inciden sobre la calidad de vida de esta población. En este sentido, la vulnerabilidad de los individuos se definió en términos de su susceptibilidad individual para padecer enfermedades, así como de su exposición a diversas fuentes de contaminación (p.ej., a través del alimento y el agua), ya fuera en su casa, escuela o lugar de trabajo. En este sentido, la población más vulnerable sería aquella que presentara condiciones disminuidas en su salud, que viviera en un medio ambiente adverso y que se encontrara altamente expuesta a las fuentes de contaminación.

A partir de los resultados de la prueba piloto del cuestionario base se definieron las siguientes características que deberían cumplir los individuos considerados como la población más vulnerable, para participar en el estudio (tabla 7):

- Los participantes deberían tener más de 5 años de residencia en el sitio y formar de preferencia unidades familiares que hubieran habitado durante varias generaciones en la zona.
- Dentro de cada unidad familiar, al menos un miembro de la pareja debería ser oriundo del lugar.
- Al menos el 70% de las actividades realizadas al día por los participantes deberían realizarse en la zona de influencia de la laguna o preferentemente dentro de la casa, de forma tal que hubiera un contacto directo y continuo con el medio.

Para la definición final de la muestra que se evaluó en lo que toca a su estado de salud, se determinó que esta población debería tener las siguientes características

1. Cada familia representa una unidad productiva, en donde al menos 2 miembros de la familia deberían referir problemáticas de salud persistentes
2. Las sintomatologías reportadas por los miembros de la familia deberían ser lo suficientemente importantes como para determinar a una erogación económica que comprometiera la subsistencia
3. Los individuos convocados al muestreo deberían ser componentes de la familia en al menos 2 generaciones distintas (padre-hijo, abuelo-padre, abuelo-nieto, madre-hija, abuela-madre)
4. Sus prácticas económico-productivas deberían estar asociadas a la localidad.

Tabla 7. Variables a considerar para el estudio.

Variable	Grupo de edad / condicionante por variable			
	Menor de 4 años	Mujer gestante	Tercera edad	Otros
Tiempo de residencia	Nacido en la zona y padres oriundos	De 10 a 5 años	Al menos 15 años	Variable
Actividades	Permanecer en la casa familiar y/o escuela local	Actividades del hogar, en la comunidad	Actividades del hogar, en la comunidad	Actividades en la parcela, en la comunidad mayores al 80%
Consumo	Agua de pozos, alimentos de parcela	Agua de pozos, alimentos de parcela	Agua de pozos, alimentos de parcela	Agua de pozos, alimentos de parcela
Síntomas	Malformación, problemas de aprendizaje, motricidad, crónicos que limiten su desempeño	Problemas durante la gestación	Crónicos en riñones, digestivos, piel, ojos	Problema persistentes en piel, ojos, etc.

En el anexo 1 de este documento se presenta al instrumento (Figura 11)



Figura 11. Aplicación de encuestas

### Datos históricos de precipitación

Los datos de precipitación histórica se utilizaron para comparar la distribución en tiempo de las enfermedades de origen hídrico y la presencia de escurrimientos, al hacer en análisis correspondiente se encontró un coeficiente de correlación que se aproxima a 1. Por lo tanto se observó una buena correlación entre en número de casos de enfermedades y el incremento de la lluvia. Se puede apreciar que las enfermedades tienen la tendencia del ciclo hidrológico, se tienen más casos reportados al generarse mayores escurrimientos.

Se analizaran los datos históricos de precipitación de las estaciones climatológicas más cercanas a la zona de estudio. Para ello se realizaron los polígonos de Thiessen y determinar el área de influencia de cada estación hasta cubrir la zona en estudio. Los datos de las estaciones climatológicas se descargaron de la base de datos ERIC I. Posteriormente se realizó la validación de cada una de las estaciones:

*Tabla 8. Estaciones*

CLAVE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	ERROR %	CLAVE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	ERROR %
15188	482551.17	2196736.76	2304	33	15090	505295.8	2183911.04	2273	1.6
15032	477779.53	2194743.69	2259	3	15129	486723.4	2176537.86	2255	2.9
15096	494764.13	2196729.08	2305	1.8	15022	498194	2173488.1	2260	2.9
13036	502239.89	2194115.37	2277	62.3	15097	517408.1	2178599.89	2309	20.8
13008	506660.28	2195069.01	2305	9	15124	508212.43	2168481.17	2259	1.8
13091	504770.09	2191993.89	2291	24.8	15040	493707.07	2168296.41	2265	1.8
15042	489525.07	2189352.36	2266	1	15098	479786.48	2169627	2264	2.3
15115	482512.26	2186561.97	2251	2.9	15123	517663.21	2175594	2337	2.09
15099	495400.74	2185293.21	2552	2.9	15156	470593.08	2193340.72	2294	3.44

# Reporte de resultados

## Parámetros físicos

Se tomaron seis muestras de agua residual del río Huitzilo, en la figura 12, se observa el sitio donde se toma la muestra 1 y en la figura 13 se toma muestra 2 de las cuales se determinan los parámetros físicos del agua con la sonda (figura 14), los resultados obtenidos se muestran enseguida, se incluyen muestras del año 2013 y 2014, de muestras anteriores.



Figura 12. Sitio 1 de toma de muestra.



Figura 13. Sitio 2 de toma de muestra.



Figura 14. Sonda.

Tabla 9. Parámetros Físicos

Fecha	Temperatura (°C)		Salinidad (UCP)		Conductividad eléctrica (mS/cm)		pH		Ss (mg/l)		St (mg/l)	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
28/06/2013	23.28	23.07	1	0.81	0.22	1.59	4.00	4.01	0	5.52		
10/07/2013	24.12	23.34	2.1	2.00	3.97	3.79						
23/08/2013	17.85	17.73	1.05	0.96	2.04	1.87						
04/12/2013	18.14	17.99	1	0.97	1.96	1.89						
15/01/2014	23.73	23.73	2.17	2.13	4.09	4.01						
19/06/2014	23.88	23.90	2.27	2.29	4.26	4.32						
28/07/2015	19.73	19.70	2.24	2.30	4.19	4.12					2.73	2.70
08/09/2015	18.50	18.48	2.46	2.34	3.93	3.82	4.22	4.80	0	5.52	2.94	2.83
10/11/2015	18.48	18.52	2.01	2.00	3.75	3.64	4.53	4.52	256.82	268.77	2870.00	2450.00
24/11/2015	18.50	18.30	2.03	2.00	3.81	3.33	4.54	4.50	24.57		2877.00	2488.00
12/02/2016	19.06	19.35	1.93	1.89	3.66	3.54	3.96	3.95			2.38	2.33

**Tabla 10. Parámetros Químicos**

Fecha	Fósforo		Fosfato		ORP (mV)	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
28/06/2013	0	0	0	0	840	1250
10/07/2013						
23/08/2013						
04/12/2013						
15/01/2014						
19/06/2014						
8/07/2015						
8/09/2015	0	0	0	0	824.0	1379.4
0/11/2015	0	0	0	0	105.0	130.0
4/11/2015	0	0	0	0	107.0	131.0
12/02/2016	0	0	0	0	718.7	750.9
04/05/2016	0	0	0	0	198.0	255.0

**Tabla 11. Parámetros Biológicos**

Fecha	OD (mg/l)		Carbono Orgánico (mg/l)		M.O. (mg/l)		NMP/1	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
28/06/2013	0.1	0.13	5	5	0.00	22.01		
10/07/2013	0.7	0.09	11.66	10				
23/08/2013	0.09	0.09	5	5				
04/12/2013	0.09	0.09	1.66	1.66				
15/01/2014	0.07	0.07	1.67	1.67				
19/06/2014	0.07	0.07						
28/07/2015	0.09	0.10					112866.94	112866.94
08/09/2015	0.09	0.10			0.00	22.01	2257384.67	3386077.56
10/11/2015	0.08	0.09			370.00	387.21	49160.91	159795.30
24/11/2015	0.08	0.09			218.40		301720.09	1791370.65
12/02/2016	0.09	0.06					3366436766.98	3364415174.99

Con una lámpara de UV, se observa la coloración del agua en cada tubo de los tubos de ensayo. Si el agua se ve turbia se tiene E-coli, si se observa un color verde fosforescente se tiene presencia de coliformes fecales (figura 15 y 16).



Figura 15. Incubación de bacterias.



Figura 16. Determinación de E-coli

## Observaciones

De acuerdo a las enfermedades de origen hídrico registradas en la hoja SUIVE de las instituciones de salud pública, se tienen los últimos 4 años (2012-2013). Se graficó anualmente el número de contagios vs tiempo, lo cual se muestra a continuación:

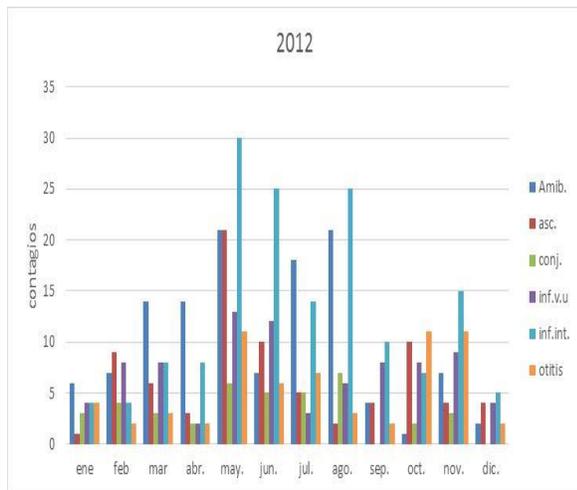


Figura 17. Contagios de origen hídrico, 2012

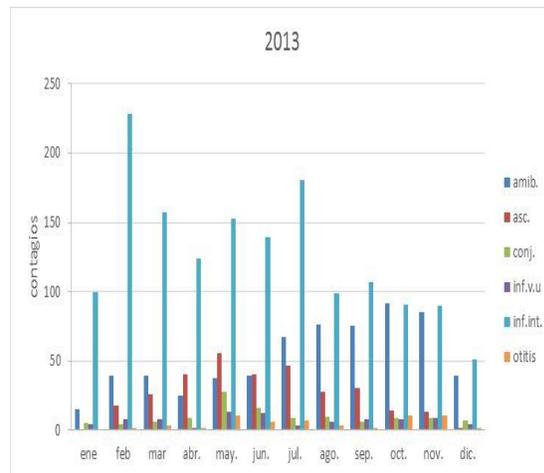


Figura 18. Contagios de origen hídrico, 2013

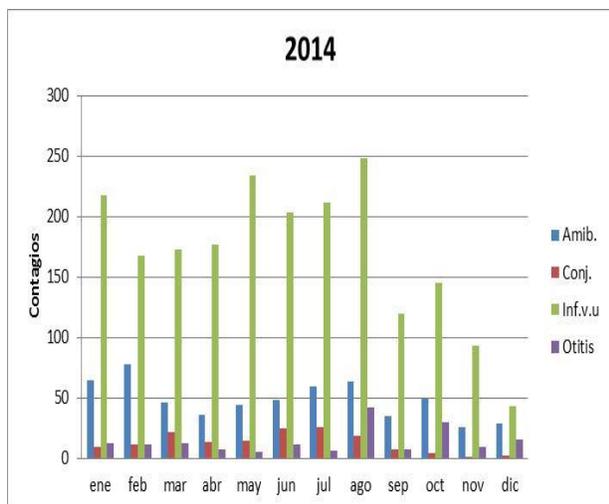


Figura 19. Contagios de origen hídrico, 2014

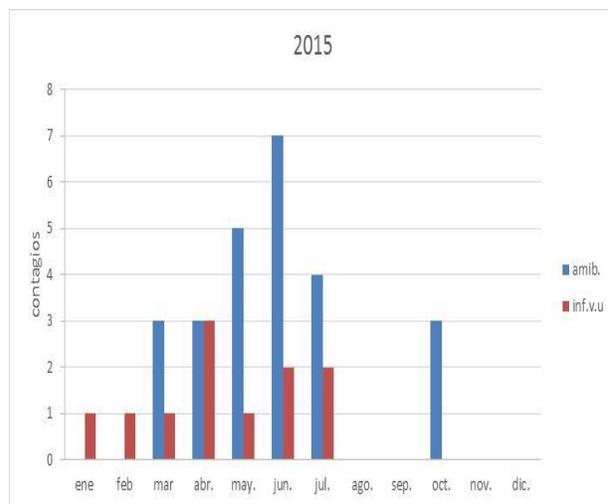


Figura 20. Contagios de origen hídrico, 2015

Asimismo se realizó este análisis para la Hipertensión, Diabetes tipo I e Infecciones Respiratorias, enfermedades de efecto acumulativo, a las cuales están propensos los individuos debido a la exposición a un ambiente contaminado, los resultados se observan en las siguientes graficas:

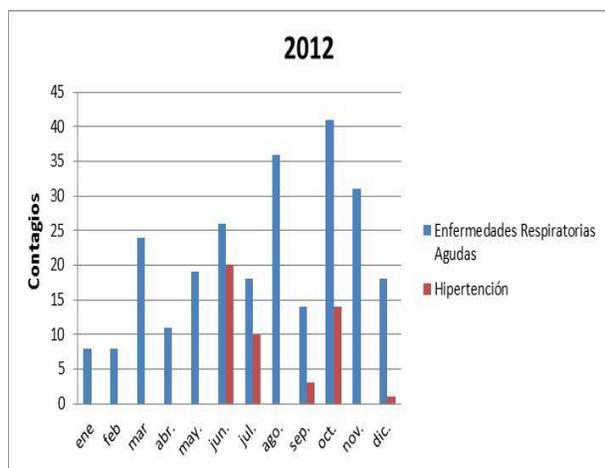


Figura 21. Contagios relacionados a la alimentación, 2012

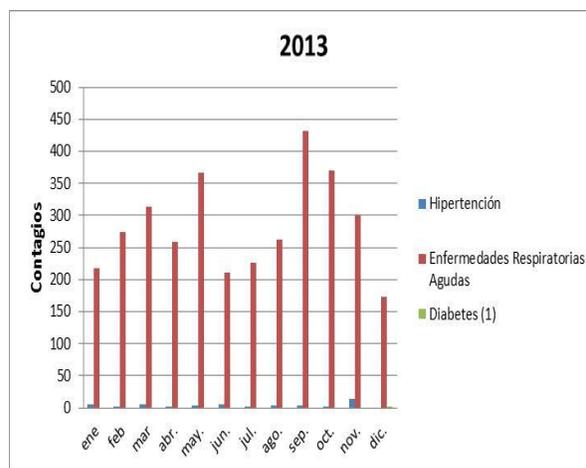


Figura 22. Contagios relacionados a la alimentación, 2013

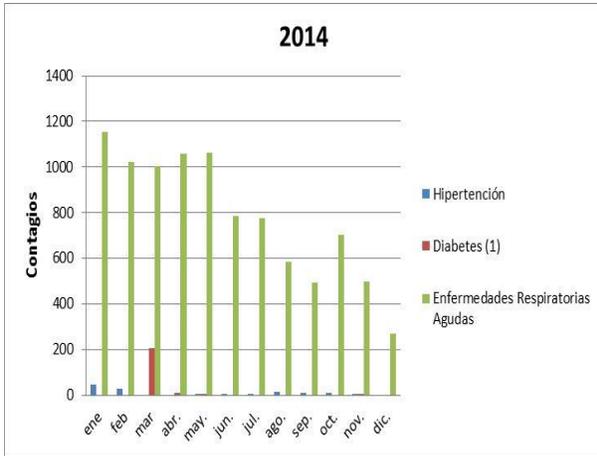


Figura 23. Contagios relacionados a la alimentación, 2014

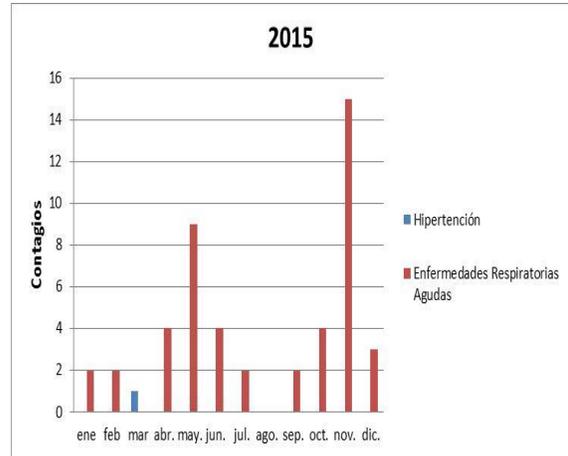


Figura 24. Contagios relacionados a la alimentación, 2015

Como se puede observar, las enfermedades de mayor número de contagios son amibiasis intestinal e infecciones intestinales, ambas enfermedades relacionadas con los parámetros biológicos de calidad del agua. Retomando la noción de correlacionar la presencia de enfermos con la convivencia en un medio adverso, se compara el número de enfermos reportados en 2015 vs la concentración de coliformes totales del mismo año (figura 24).

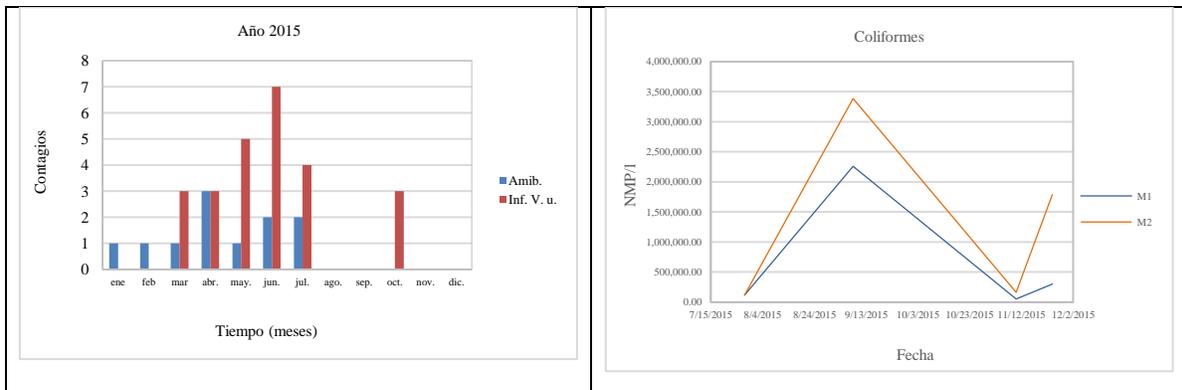


Figura 25. Gráficas (estación, amibiasis, infecciones intestinales, presencia de coliformes)

En cuanto a lluvia se trabajó con el promedio de la precipitación de todas las estaciones, posteriormente se graficó, asimismo los contagios de amibiasis e infecciones intestinales,

a las tres graficas se agregó la ecuación que mejor se ajustó como se observa en la figura 21.

Con estas tres funciones obtenidas se realizó la correlación de funciones, se correlaciono la precipitación vs cada enfermedad (amibiasis e infecciones intestinales), cuyo resultado es:

- i. Correlación hp; amibiasis =0.9961
- ii. Correlación hp; infecciones intestinales =0.9969

Como se observa ambos coeficientes se aproximan a 1, es decir que las enfermedades dependen del agua.

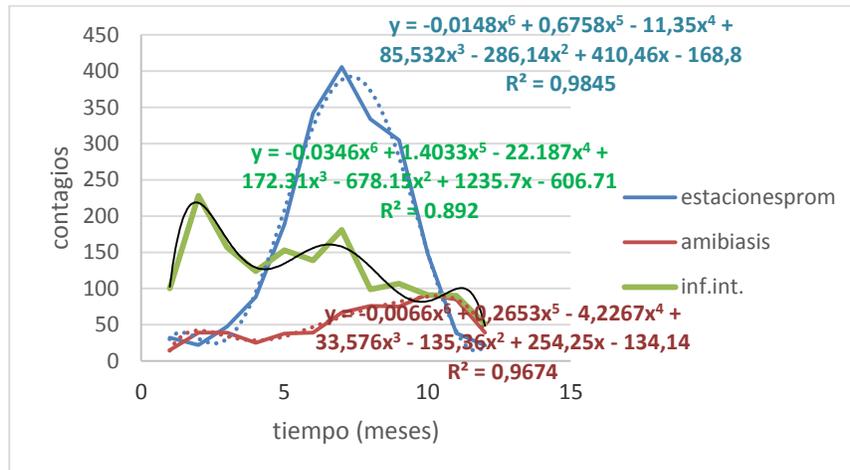


Figura 26. Graficas (Promedio hp, amibiasis, infecciones intestinales).

Ambos coeficientes de correlación se aproximan a 1, aunque el ser humano no tiene contacto directo con el río Huitzilo sin embargo existen otros medios por los cuales se contagian, ya sea por el consumo de frutas y vegetales o de algún tipo de carne.

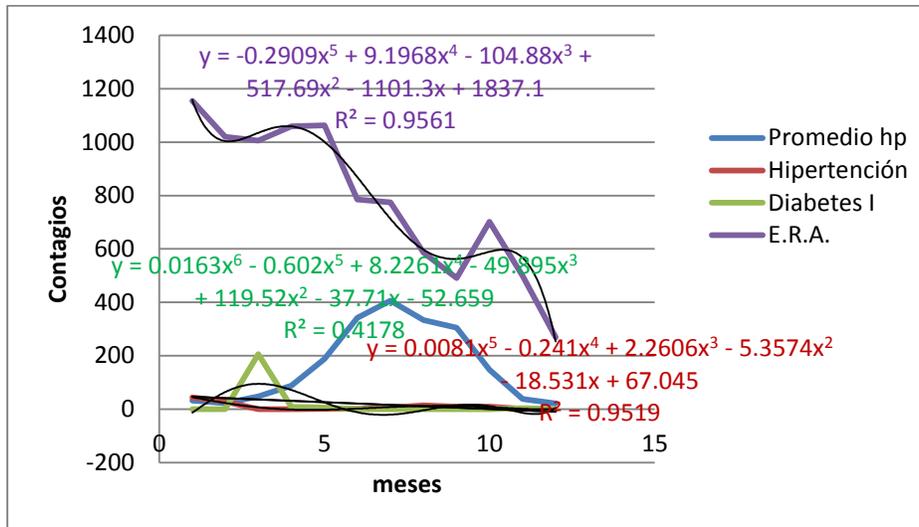


Figura 27. Graficas (promedio hp, hipertensión, Diabetes I y E.R.A.)

Al obtener el coeficiente de correlación se obtiene 0.98, 0.99 y 0.91 respectivamente.

## Discusión

Al analizar estadística y funcionalmente los resultados obtenidos en esta investigación y de acuerdo al modelo conceptual propuesto, figura 10 se tiene que:

1. Existe una relación entre medio ambiente y exposición la cual se evidencio mediante el muestreo de los parámetros de la calidad del agua (Tabla 9, 10 y 11) donde se observó que los parámetros físicos que exceden la norma son los sólidos sedimentables, solidos totales y pH principalmente así como el Oxígeno disuelto y coliformes totales en biológicos, en cuanto a los químicos fue el potencial de óxido reducción.

Se analizaron estadísticamente los contagios de las principales enfermedades de origen hídrico registrados en la hoja SUIVE. Como se puede observar en las figuras 15, 16, 17 y 18, las enfermedades que mayores contagios registran son amibiasis intestinal e infecciones intestinales las cuales son provocadas por la presencia de coliformes totales en el agua.

2. Al correlacionar los datos del ciclo hidrológico contra las enfermedades hídricas registradas en la hoja SUIVE (Figura 22) se encontró un coeficiente de correlación de 0.89 para enfermedades intestinales y 0.96 para amibiasis intestinal, es decir

que existe una relación entre el medio ambiente y el individuo, en la encuesta se pone en evidencia los hábitos de alimentación e higiene, ya que la mayoría de las personas tenían algún depósito de agua, el cual no lavaban muy seguido y en ocasiones consumían esta agua sin ningún tratamiento de potabilización. Ambas graficas tienen la misma tendencia, las cuales representan un polinomio de sexto grado, con tendencia a la baja.

3. Al aplicar la encuesta se observó que las principales enfermedades crónicas degenerativas como la hipertensión y la diabetes (una dieta alta en grasas, calorías y colesterol aumenta su riesgo de tener diabetes), no solo dependen de la genética del individuo sino también de los hábitos de alimentación, la mayoría de la población encuestada consumía carne por lo menos 2 veces a la semana y su consumo de frutas y verduras era escaso. En el caso de la diabetes tipo 1, enseguida se resumen las tres posibles causas:
  1. Infección por algún virus o bacteria.
  2. Consumo de alimentos contaminados por agentes químicos.
  3. Consumo desde pequeños, de leche de vaca contaminada, que conduce al organismo a un desorden de tipo inmune

## **Conclusiones**

Al realizar el monitoreo de la calidad del agua en el río Huitzilo se observó que excede la norma respecto a la tasa máxima permitida de Coliformes Totales, Materia Orgánica principalmente, de igual manera los contaminantes químicos debido a que sobre el río se vierten aguas negras provenientes de la zona industrial de Cuautitlán Izcalli, sin embargo es necesario realizar más análisis para caracterizar el tipo de elementos químicos y determinar un posible tratamiento.

Por otro lado al analizar la precipitación de las estaciones climatológicas aledañas a la zona de estudio se observó el ciclo hidrológico el cual se comparó funcionalmente con la cantidad de Coliformes Totales en el agua, se mostró prácticamente el mismo

comportamiento también se comparó los contagios de enfermedades de origen hídrico con la precipitación y se observó la misma tendencia, se ve claramente que el cuerpo receptor contaminado está vivo ya que conserva sus características hidrológicas, aunque no las químicas y físicas; respecto a las características biológicas, se puede decir que están rebasadas en cuanto a la norma, pero dentro del espectro de biodiversidad; debido a esta razón no se puede tratar como drenaje para ello se propone recharacterizar el objeto de estudio debido a que prácticamente todo el ambiente está contaminado, es decir que para mitigar el impacto ambiental y el impacto a la salud del individuo se pretende reeducar al ser humano para que se adapte y conviva con su medio ambiente aunque sea adverso.

Por lo tanto se concluye que existe correlación entre el número de enfermos y la concentración de coliformes fecales, lo que confirma la hipótesis de que la calidad del agua en el río Huitzilo si afecta la salud.

Por lo tanto esta relación causa-efecto; donde la enfermedad es el efecto, está en función de la precipitación, Coliformes totales y el consumo de alimentos. Es decir que:

$$\text{Enfermedad (efecto)} = f(\text{hp, coliformes, alimentos}) \text{ Causas}$$

Retomando el modelo conceptual (figura 10) en el cual se crearon tres conjuntos se confirmó que el individuo que tiene una salud endeble ya sea debido a su genética o a la mala alimentación, tiene exposición alta y su medio ambiente es muy adverso se tienen las bases para que un individuo se enferme.

Sin embargo, no es posible determinar el punto de contacto entre el agua del río y el humano, dado que supuestamente cuentan con el servicio de agua potable, y la inocuidad de ésta es garantizada por la CAEM (Comisión de Aguas del Estado de México) y la Secretaría de Salud Pública. Es importante entonces, determinar la última fase de transmisión de contaminantes entre el río y el humano.

Debido a todo lo anterior, es indispensable establecer un plan de contingencia, dado que la exposición es evidente, aun cuando el proceso de transmisión no se este del todo determinado. Se gestionan acciones remediales y estructurales, para ello se han creado talleres que abarcan los tres conjuntos del modelo conceptual ya analizado. En los talleres (Ver anexo 2) se pretende que la población reflexione y construya su problemática mediante un lenguaje común para que sean capaces de tomar decisiones que les ayuden a reducir el impacto utilizando y creando las herramientas que tienen a su alcance.

Para el individuo se proponen talleres de alimentación e Higiene, en cuanto a la exposición se han promovido el uso de mosquiteros y entubamiento de drenaje dentro de las casas, a lo que se refiere con el medio ambiente se han realizado faenas de recolección de basura, se pretende colocar humedales biofiltrantes para que absorban contaminantes orgánicos.

## **Literatura citada**

Bando municipal. 2013. Cuautitlán Izcalli estado de México 05 de febrero de 2013

De la Lanza E. G.; García C. J. L. 2002. Lagos y Presas de México. (Eds.) Segunda Edición, AGT Editor, México 680pp.

Diagnóstico Ambiental Zumpango, Región II SEGEM, 2003

Galván F.A.; Bustamante A.; Martínez M. M.; 2016. Construcción de un Indicador para la Valoración de Programas Ambientales en la Cuenca del Valle de México: Aplicación de Metodología. (Generación de Indicadores para la Toma de Decisión en el Manejo Integral de Cuencas. Parte IV).

INEGI, 2010. Censo de Población y Vivienda

Comisión Nacional del Agua. 2007, Plan Nacional Hidráulico. Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F. Tel. (55) 5174-4473 [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)SEGEM.

CONAGUA, Archivo Histórico del Agua

Maslow Abraham, 1970. "Maslow's Hierarchy of Needs". Richmond, Ca: Maurice Bassett Publishing, USA.

NOM-250-SSA1-2014. Proyecto Norma Oficial Mexicana. Agua para uso y consumo humano

Programa Estatal de Protección al Ambiente. 1996-1999, Gobierno del Estado de México.

SEGEM (2003) La Recuperación de la Laguna de Zumpango

Tortolero V. A. 2000. México El agua y su historia. México y sus desafíos hacia el siglo XXI.  
Colección Umbrales del Siglo XXI, 167 pp. [apuntescientificos.org/ecuacion-estado-ibq.htm](http://apuntescientificos.org/ecuacion-estado-ibq.htm)

## ANEXO 2.

Fotografías tomadas durante la realización de los talleres.



