

The background features a stylized globe with a grid of latitude and longitude lines. A large, semi-transparent silhouette of a tree is overlaid on the globe, with its branches extending across the grid. The globe is centered in the upper half of the page.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Geoinformática aplicada a la generación de cartografías temáticas

**Clima, recursos hídricos, vulnerabilidad
social y deforestación**

Luis Carlos Bravo Peña
Luis Carlos Alatorre Cejudo
(Coordinadores)

DR © Luis Carlos Bravo Peña, Luis Carlos Alatorre Cejudo
(por coordinación)

© Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Avenida Plutarco Elías Calles 1210
Fovissste Chamizal, CP 32310
Ciudad Juárez, Chihuahua, México
Tels. +52 (656) 688 2100 al 09

Geoinformática aplicada a la generación de cartografías temáticas: clima, recursos hídricos, vulnerabilidad social y deforestación / Coordinadores Luis Carlos Bravo Peña, Luis Carlos Alatorre Cejudo.-- Ciudad Juárez, Chihuahua: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2019.

184 páginas.

ISBN: 978-607-520-354-6

Contenido: Introducción.-- Cartografías de variables climáticas de la región central de Chihuahua: una serie temporal 2000-2011 de las estaciones climatológicas de Unifrut / Ana Karen García Peña, Luis Carlos Alatorre Cejudo, Luis Carlos Bravo Peña, Lara Cecilia Wiebe Quintana.-- Diagnóstico del funcionamiento hidráulico de la red de agua potable mediante Sistemas de Información Geográfica en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua: recomendaciones / Yadira Iveth Ibarra Pérez, Luis Carlos Alatorre Cejudo, Mario Iván Uc Campos, Luis Carlos Bravo Peña.-- Dinámica del crecimiento del área de inundación de la Laguna de Bustillos utilizando imágenes landsat para el año 2013 / Heber Javier García Cortés, Lara Cecilia Wiebe Quintana, Luis Carlos Alatorre Cejudo, Hugo Luis Rojas Villalobos, María Elena Torres Olave.-- Prospección de indicadores de respuesta frente al abatimiento del acuífero, una exploración entre menonitas y mestizos de la región de Cuauhtémoc, Chihuahua / Jessica Iveth Cera Campos, Luis Carlos Bravo Peña, Luis Carlos Alatorre Cejudo, Ramón Leopoldo Moreno Murrieta, María Elena Torres Olave.-- Predicción de áreas susceptibles a deforestación del suroeste de Chihuahua, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y métodos de regresión lineal múltiple / Héctor Obed Castro Beltrán, Luis Carlos Bravo Peña, María Elena Torres Olave, Lara Cecilia Wiebe Quintana.

Estaciones climatológicas – 2000 -2011 - Chihuahua.

Red de agua potable - Diagnóstico (SIG) - Cuauhtémoc, Chihuahua.

Laguna de Bustillos - Precipitación pluvial.

Recursos hídricos (Indicadores) — Cuauhtémoc, Chihuahua.

Deforestación - Chihuahua - Sistemas de Información Geográfica

HD1696.M6 G46 2019

La edición, diseño y producción editorial de este documento estuvo a cargo de la Dirección General de Comunicación Universitaria, a través de la Subdirección de Editorial y Publicaciones

Coordinación editorial:

Mayola Renova González

Cuidado editorial:

Subdirección de Editorial y Publicaciones

Diseño de portada y diagramación:

Karla María Rascón

Primera edición, 2019

elibros.uacj.mx



Contenido

Introducción 7

Cartografías de variables climáticas de la región central de Chihuahua: una serie temporal 2000-2011 de las estaciones climatológicas de Unifrut

Ana Karen García Peña
Luis Carlos Alatorre Cejudo
Luis Carlos Bravo Peña
Lara Cecilia Wiebe Quintana 9

Diagnóstico del funcionamiento hidráulico de la red de agua potable mediante Sistemas de Información Geográfica en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua: recomendaciones

Yadira Iveth Ibarra Pérez
Luis Carlos Alatorre Cejudo
Mario Iván Uc Campos
Luis Carlos Bravo Peña 33

Dinámica del crecimiento del área de inundación de la Laguna de Bustillos utilizando imágenes landsat para el año 2013

Heber Javier García Cortés
Lara Cecilia Wiebe Quintana
Luis Carlos Alatorre Cejudo
Hugo Luis Rojas Villalobos
María Elena Torres Olave 71

Prospección de indicadores de respuesta frente al abatimiento del acuífero, una exploración entre menonitas y mestizos de la región de Cuauhtémoc, Chihuahua

Jessica Iveth Cera Campos
Luis Carlos Bravo Peña
Luis Carlos Alatorre Cejudo
Ramón Leopoldo Moreno Murrieta
María Elena Torres Olave 101

Predicción de áreas susceptibles a deforestación del suroeste de Chihuahua, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y métodos de regresión lineal múltiple

Héctor Obed Castro Beltrán
Luis Carlos Bravo Peña
María Elena Torres Olave
Lara Cecilia Wiebe Quintana 143

Diagnóstico del funcionamiento hidráulico de la red de agua potable mediante Sistemas de Información Geográfica en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua: recomendaciones

Yadira Iveth Ibarra Pérez
Luis Carlos Alatorre Cejudo
Mario Iván Uc Campos
Luis Carlos Bravo Peña

Resumen

Se realizó un primer diagnóstico sobre las condiciones del funcionamiento hidráulico de la red de agua potable de la Ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua. El trabajo de campo incluyó un muestreo aleatorio de presión (kg cm^{-2}) de suministro, volumen entregado y medido por el organismo operador en tomas domésticas y comerciales, y a su vez el levantamiento de datos para caracterizar las condiciones de las cajas de válvulas. Estos datos fueron georreferenciados con ayuda de la traza urbana, Posteriormente se procedió a aplicar métodos de interpolación geoestadísticos para obtener la distribución espacial de las presiones registradas en la red de agua potable. Este procedimiento permitió identificar todas las áreas que no cumplen con la presión mínima requerida para un buen funcionamiento de la red de distribución del servicio a la población, así como aquellas zonas con potencial riesgo de fugas por los excesos de presión. De igual manera, por

medio de la técnica de polígonos de Thiessen se permitió la identificación de sectores en donde el organismo operador cuenta con ineficiencias. La identificación de estas ineficiencias se centró en cuanto al volumen que entrega contra lo que se factura. Finalmente, se pudo observar la condición en la que operan actualmente las cajas de válvulas mediante un visualizador web. Todo esto demuestra la potencialidad de este tipo de análisis espacial sobre datos relativos al funcionamiento de la red de agua potable de Cuauhtémoc, Chihuahua.

Palabras clave: red de agua potable, eficiencia, diagnóstico, Cuauhtémoc.

Diagnosis of the hydraulic operation of the drinking water by Geographic Information Systems in Ciudad Cuauhtemoc, Chihuahua: recommendations

Abstract

A first diagnosis of the conditions of the hydraulic operation of the city water of the city of Cuauhtémoc, Chihuahua was performed. The field work included a random sampling of pressure (kg cm⁻²) supply, body volume delivered and measured by the operator in domestic and commercial outlets, and hence the collection of data to characterize the state of the valve boxes. These data were georeferenced using the urban layout, then we proceeded to apply methods of geostatistical interpolation to obtain the spatial distribution of the pressures recorded in the city water, which identified all areas that do not meet the minimum requirements of necessary pressure for proper operation and service to the population, as well as areas that could be registering risk to leak caused by excess of pressure. In the same way, the Thiessen polygons technique allowed the identification of sectors permitted where the operating company has inefficiency in the delivered volume compared to the billed volume. Finally, we were able to observe the conditions that in which the valve boxes currently operate by

means of using a web display. All this show the potential of this type of spatial analysis on data relating to the current operation in which the city water of Cuauhtémoc, Chihuahua operates.

Keywords: city water, efficiency, diagnostics, Cuauhtémoc.

Introducción

El agua potable es considerada aquella que cumple con las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que regulan los parámetros mínimos y máximos de elementos disueltos para adquirir la calidad de potable y, sobre todo, aptitud para el consumo humano (OMS, 2006).

La Comisión Nacional del Agua (Conagua) en el año 2012, establece que un sistema de abastecimiento de agua potable tiene como finalidad primordial la de entregar a los habitantes de una localidad agua en cantidad y calidad adecuada para satisfacer sus necesidades, ya que este líquido es vital para la supervivencia (Conagua, 2012).

Por otra parte, la eficiencia para abastecer de agua potable a una región se define como la capacidad de extraer, conducir, regularizar, potabilizar y distribuir el agua de una manera eficiente, y a su vez, que el servicio sea continuo y de gran calidad (ANEAS, 2008). Ahora bien, la eficiencia de una red de agua potable se determina evaluando tres diferentes enfoques: i) ingeniería de producción y distribución, conocida como eficiencia física; ii) de comercialización del servicio, determinada mediante la eficiencia comercial; y iii) de desarrollo institucional, vinculada con la eficiencia administrativa.

El desarrollo institucional se relaciona con la eficiencia administrativa, la cual incide directamente en la eficiencia comercial y eficiencia física, ya que en la ineficiencia administrativa se refleja un mal manejo del servicio. El objetivo principal del organismo operador es vigilar que se ejecuten con eficiencia las actividades técnicas, administrativas y financieras (SMAPA, 2014).

La eficiencia comercial está estrechamente relacionada con la comercialización del servicio, y se describe como el porcentaje que se recupera por medio de facturas que se determinan a los usuarios que reciben el servicio. Se calcula mediante la división de la recaudación a tiempo entre la facturación total dentro del mismo periodo de estudio (Ecuación 1) (Conagua, 2013). Los promedios de eficiencia comercial en el país en el periodo de 2010 a 2013 son aproximadamente del 71.55 %, según datos registrados en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (PIGOO, 2014).

Ecuación 1. Ecuación para determinar la eficiencia comercial

Donde VAP, se determina como el volumen de agua pagado por m³, VAF, es el volumen de agua facturado por m³.

La eficiencia física es la que se encarga de optimizar el proceso de abastecimiento de agua potable desde la fuente hasta el consumidor. Dicha eficiencia está relacionada con la cantidad de agua consumida, que se determina como el volumen de consumidores, y la cantidad de agua producida e introducida a la red (Ecuación 2) (Lutz & Salazar, 2011). Los promedios de eficiencia física en México en el periodo de 2010 a 2013 son aproximadamente del 58.90 %, determinado a partir de datos registrados en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (PIGOO, 2014).

Ecuación 2. Ecuación para determinar la eficiencia física

Donde VAF, se determina como el volumen de agua facturado por m³, y VAPP, como el volumen anual de agua potable producido por m³.

Además de los indicadores antes mencionados para medir la eficiencia del abastecimiento de agua potable, existen

algunos secundarios, que también son importantes y deben tomarse en cuenta, como lo son indicadores que nos muestran el grado de cobertura de agua potable, alcantarillado o saneamiento (Ferro et. al., 2011).

La continuidad del servicio es otro indicador relacionado con la calidad del servicio que reciben los usuarios por parte del organismo operador, que en ocasiones recurre a lo que se conoce como tandeo, con lo cual produce que ciertas colonias o sectores no reciban agua potable durante las 24 horas del día. Finalmente, otro indicador del buen funcionamiento de una red de agua potable es la presión de suministro, la cual debe estar dentro de los rangos propuestos por la norma para evitar el mal funcionamiento hidráulico de la red (SIAPA, 2014).

En las últimas décadas Ciudad Cuauhtémoc registró un crecimiento de 33.5%, consolidándose como la ciudad más importante en la Región Occidente del estado de Chihuahua, lo cual ha incrementado la demanda de agua potable para todos sus usos (Dirección de Planeación Evaluación y Desarrollo del estado de Chihuahua, 2011). Por otra parte, la ciudad se encuentra en una cuenca sobreexplotada, lo que conlleva a que los niveles del acuífero han descendido de tal forma que actualmente se registra un déficit entre la demanda y la oferta del vital líquido (Alatorre et al., 2014).

Cuauhtémoc en el año 2011 contaba con una eficiencia física en su red de agua potable del 59.36%, y en un nuevo estudio se encontró que para el año 2013 tenía una eficiencia del 56.38%, arrojando un valor medio del 57.87% para el periodo 2011-2013, según datos registrados en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (PIGOO, 2014). Cabe destacar que la eficiencia de operación si bien no es muy alta con respecto a la media nacional, los datos revelan que en tan solo dos años disminuyó 3.0 % aproximadamente.

Por otra parte, Ciudad Cuauhtémoc junto con los municipios de la región hacen del estado de Chihuahua el primer productor

nacional de manzana (Enríquez, 2013). Es una región manzanera que cuenta con 7600 hectáreas de perennes, donde el 21.76% (1656 has) están situadas en el área urbana y periurbana, lo cual sin duda hace que exista una competencia por el agua subterránea en la región (Callejas, 2007). En general el uso eficiente del agua en la cuenca de la Laguna de Bustillos es asunto prioritario para la continuación de todas las actividades que se desarrollan en el territorio. Por dar un dato, el 95% del agua subterránea que se extrae, se destina a la producción anual de maíz y manzana, y solo el 5% se utiliza para dar agua potable a la población del municipio (Alatorre et al., 2014).

Es verdad que la agricultura y en particular el cultivo de manzana representa una fuente de ingresos a la comunidad, así como de empleo para los habitantes del municipio, pero es necesario también una regulación y uso más eficiente del agua. Por otra parte, cabe señalar que el cultivo de manzana es del tipo perenne, lo cual hace que se requiera de una importante cantidad de agua, lo que conlleva la problemática de que las huertas que se encuentran dentro de la mancha urbana compitan con la población por el consumo del vital recurso (Enríquez, 2013).

Por todo ello es de gran relevancia diagnosticar y saber el funcionamiento de la red de agua potable en Ciudad Cuauhtémoc. Actualmente la ciudad ya presenta problemas que perjudican a la población: una presión baja y fugas continuas en ciertos sectores de la ciudad; por lo que un diagnóstico oportuno ayudará a mejorar la eficiencia en el abastecimiento, por ejemplo, en zonas que no cumplan con las normas en cuanto a presión de suministro deberán tomarse las medidas pertinentes para elevar estos indicadores.

El objetivo de este trabajo es realizar un diagnóstico para determinar las condiciones de funcionamiento hidráulico de la red de agua potable de la Ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua, mediante los siguientes indicadores: i) presión de suministro en tomas domésticas y comerciales; ii) eficiencia entre el volumen entregado y medido por el organismo operador; y iii) condiciones de las cajas de válvulas.

Objetivo general

En este trabajo se realizó un diagnóstico para determinar las condiciones de funcionamiento hidráulico y de operación actuales de la red de agua potable de la Ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua.

Objetivos específicos

- i) Análisis espacial de las presiones de suministro en tomas domésticas y comerciales.
- ii) Determinación del grado de eficiencia entre el volumen entregado y medido por el organismo operador.
- iii) Análisis de las condiciones actuales con que operan las cajas de válvulas.
- iv) Análisis de correlación espacial entre el índice de marginación poblacional (INEGI) y el cobro.
- iv) Visualizador web de las condiciones de las cajas de válvulas.

Hipótesis

Las condiciones actuales con que opera la red de agua potable de Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, en cuanto a presión, caudales entregada y medida, y las condiciones de las cajas de válvulas, demuestran una baja calidad de servicio por parte del organismo operador.

Materiales y métodos

Área de estudio

La Ciudad de Cuauhtémoc se ubica en la latitud $28^{\circ} 24' 18''$ N y la longitud $106^{\circ} 52' 0''$ W (Enríquez Venzor et al., 2014) (Figura 1). El municipio cuenta con una población de 154 639, de la cual 114 007 se encuentra en esta localidad (INEGI, 2011).

Se sitúa en la región centro-oeste del estado, cuenta con una altitud de 2060 metros sobre el nivel del mar. Colinda al norte con el municipio de Namiquipa; al este con Rivapalacio; al sur con Cusihiuriachi y Gran Morelos; al oeste con Bachíniva y Guerrero (INEGI a, 2010) (Figura 1).

El municipio de Cuauhtémoc ha sufrido un incremento poblacional en los últimos cinco años del 14.65%, como consecuencia de la migración de otros municipios menos prósperos en la zona. Ejemplo de esto es el de Madera, que sufrió un decremento de 8.9% (Enríquez, 2013).

Cuauhtémoc actualmente es la cuarta ciudad más poblada en el estado, esto, en conjunto con su gran cantidad de poblaciones rurales y semiurbanas le convierten en el tercer municipio más poblado del estado con 154 639 habitantes (INEGI b, 2010).

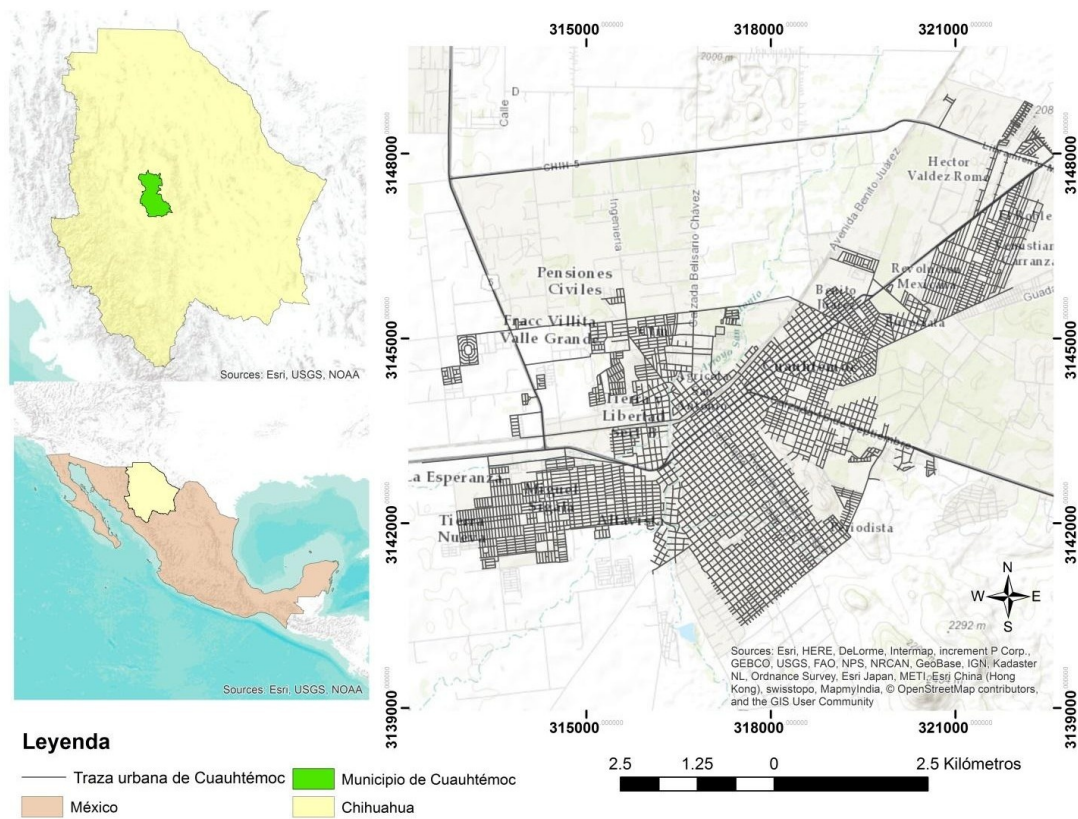


Figura 1. Área de estudio. Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Materiales y métodos

Obtención y depuración de la base de datos

La base de datos que se utilizó en esta investigación surgió del proyecto “Estudio de Incremento de la eficiencia física, hidráulica y energética en el sistema de agua potable en el municipio de Cuauhtémoc en el estado de Chihuahua”, dirigido por el M.I. Víctor Hernández Jacobo (Número de registro: SGAP-OCRB-UACJ-CHIH-13-APAZU-001-RF-CC; Hernández, 2014), adscrito al programa de Ingeniería Civil del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Se levantaron datos de campo en tomas domésticas y comerciales de: presión de suministro, volumen entregado y volumen medido por el organismo operador, y finalmente, datos relativos a las condiciones de las cajas de válvulas.

Análisis espacial de las presiones de suministro en tomas domésticas y comerciales

Para disminuir el riesgo de fugas causadas por tuberías rotas debido a altas presiones en las líneas y para garantizar un suministro eficiente y adecuado a los usuarios, la presión de la línea de abastecimiento a localidades o fraccionamientos y en general de las líneas de bombeo, ya sea para consumo directo, extracción o almacenamiento, debe ser controlada (Romero, 2013). Para ello, la presión debe mantenerse en todos los puntos del sistema en valores tales que la presión máxima sea suficiente para no provocar roturas de tuberías y la presión mínima garantice que el caudal de agua sea suficiente para todos los usos previstos (OMS, 2006).

Para determinar las condiciones de presión de suministro con que opera la red de agua potable se utilizaron 293 puntos aleatorios de muestreo en tomas domésticas y comerciales distribuidos de forma regular en Cuauhtémoc, Chihuahua.

Para medir la presión en tomas doméstica y comercial, se localizaron domicilios que contaran con una llave de jardín

accesible. La medición de presiones se realizó durante el día entre las 11:00 y 14:00 horas, rango de horario donde la demanda es mayor y las presiones hidráulicas tienden a ser las más bajas (Conagua, 2012). La medición se obtuvo con un manómetro de presión con una escala de valores en kg cm^{-2} .

Determinación del grado de eficiencia entre el volumen entregado y medido por el organismo operador

Para determinar el grado de eficiencia entre el volumen entregado y el medido por el organismo operador, se realizó un muestreo en zonas específicas de la ciudad. Para esto de nueva cuenta se requirió que la casa habitación o comercio cuente con una llave de jardín accesible para poder comparar la medición realizada por el aforador instalado en la toma domiciliaria y la medición volumétrica con un aforador nuevo calibrado. Cabe aclarar que se consideró un error del $\pm 15\%$ (1.5 lts por cada 10 lts) de acuerdo con las especificaciones del aforador. De esta manera se pudo determinar el grado de eficiencia recaudatoria del organismo operador, es decir, si cobra lo que realmente se consume en el domicilio.

Análisis de las condiciones actuales en las que operan las cajas de válvulas

La caja de válvulas es la estructura hidráulica complementaria donde se ubican válvulas de control o para la operación de válvulas de seccionamiento tipo mariposa o compuerta, necesarias para la operación de una red de agua potable o de agua tratada (SOAPAP, 2014).

La distribución de las cajas de válvulas de una red hidráulica es de gran importancia, ya que como se mencionó anteriormente, son las encargadas de controlar el suministro en la red de agua potable, por lo que deben de encontrarse en estado accesible por si algún inconveniente llegase a pasar y el gasto del recurso vital sea el menor posible.

En este caso se levantaron 379 puntos, los cuales hacen referencia a la ubicación de las cajas de válvulas en la traza urbana de Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua.

Georreferenciación de la base de datos

Análisis espacial de las presiones de suministro en tomas domésticas y comerciales

Para georreferenciar los datos, se optó por utilizar el programa libre Google Earth (Google, 2015), para obtener las coordenadas de cada punto de muestreo y lograr su localización en un SIG. Posteriormente, se exportaron a ArcMap 10.2, y se sobrepusieron en las AGEB, o polígonos que definen las áreas geoestadísticas básicas de Ciudad de Cuauhtémoc, con base en la homogeneidad de atributos socioeconómicos de la población (educación, ingresos, servicios, etcétera). Este traslape se realizó para ver la localización geográfica de la infraestructura con base en la traza urbana.

Para poder obtener datos espacialmente distribuidos de la presión de suministro a partir de datos puntuales, se realizó una interpolación mediante el módulo geoestadístico de distancia inversa ponderada (IDW) (ArcGIS, 2012). Este modelo asume que los rasgos espaciales que están más cerca son los valores que asignará y de esta forma predecir un valor en un lugar no muestreado utilizando valores que haya alrededor del lugar que se va a predecir, en resumen, los valores de los lugares más próximos al que se va a predecir tendrán más influencia y por lo tanto más peso que los que están más lejos.

Determinación del grado de eficiencia entre el volumen entregado y medido por el organismo operador

Estos datos puntuales se georreferenciaron mediante el mismo procedimiento mencionado en el apartado anterior. Una vez realizada la georreferenciación se procedió a determinar

mediante polígonos de Thiessen el área de contribución o de influencia con base en la localización de los puntos muestreados, lo que conlleva a que cualquier ubicación dentro de un polígono de Thiessen está más cerca de su punto asociado que de cualquier otra entidad de entrada de puntos (ArcGis, 2015).

Una vez obtenidos los datos, se realizó una clasificación para determinar las áreas de la traza urbana que pudieran tener un déficit de cobro o una sobrestimación de este, por lo que se clasificó cualitativamente en: i) cobro igual al consumo, que serían las zonas en donde realmente el organismo operador cobra el volumen de agua que se está entregando-gastando; ii) cobro superior al consumo, donde se está entregando un volumen de agua mayor de lo que se cobra; y finalmente iii) cobro inferior al consumo, que se refiere a las zonas donde se cobra más que el volumen de agua entregada.

Análisis de las condiciones actuales con que operan las cajas de válvulas

Una vez realizada la georreferenciación se procedió a determinar las zonas de influencia de las cajas de válvulas mediante el método de polígonos de Thiessen, mencionada en el apartado anterior.

Obteniendo cada una de las localizaciones de las cajas de válvulas con las que actualmente opera la red de agua potable, se optó por realizar una clasificación cualitativa con base en las condiciones que se encontraron a campo, para de esta forma poder determinar las zonas donde se requiere más atención en el cuidado de las cajas (Tabla 1).

Visualizador web

Una manera más didáctica de visualizar información geográfica es por medio de plataformas web, éstas son llamadas comúnmente como Web Mapping e integran la información geográfica

en servidores locales, los cuales pueden ser de servicios públicos o privados (OSGeo-es, 2014).

Estas plataformas hoy en día son una herramienta muy novedosa y poderosa usada por distintas empresas, instituciones públicas o gubernamentales, ya que facilitan el uso, acceso y distribución de la información dándole un valor agregado al dinamismo que estas ofrecen (Baez, 2013).

Debido a que la información que se genera es de alta importancia o relevancia, en ocasiones no es pertinente que los datos se encuentren disponibles para el acceso público, por lo que se ha optado por realizar dos distintos tipos de visualizadores: el primero en un equipo de acceso restringido solo para el administrador de la base de datos y otro en una cuenta virtual de acceso privado en la red.

Tabla 1. Clasificación de las condiciones de las cajas de válvulas, con base en las condiciones encontradas en la Ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua.

CONDICIONES
Ausencia
Azolvada
Azolvada y falta de equipo
Azolvada y fuga
Falta de equipo
Fuga
Fuga y azolvada
Fuga y contaminada
Fuga y semiazolvada
Inundada
Inundada y falta de equipo
Normal
Obstruida
Sellada
Semiazolvada
Semiazolvada y obstruida
Semiazolvada y semiobstruida
Sesgada

En un equipo

Para este proyecto se empleó el software libre Google Earth™ (GE), en donde por medio de la ubicación geográfica de los puntos en sus coordenadas X e Y se ubicaron en su correspondiente posición local; a continuación se realizó un visualizador, en el cual se aprecian las condiciones físicas o estructurales de las cajas de válvulas para el año 2014, información respectiva del objeto, así como fotos de su localización en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Los procedimientos para los visualizadores en equipo y en GFT, han ofrecido las ventajas de la fácil manipulación de la información generada; así como la posibilidad de seguir una constante actualización del mismo, cabe mencionar que son software libres y de acceso restringido, lo que permite la privacidad de los datos (Pantoja et al, 2014).

Otra de las características más importantes de estas herramientas es la facilidad con la que se maneja la información geográfica (Narori & Catellanos, 2015).

Por esto fue necesario exportar los datos originales de formato *.shp a *.kml, ya que este es el tipo formato que GE puede soportar; posteriormente se vinculó mediante código HTML la ubicación de cada imagen correspondiente al punto que la representa, de esta manera al hacer clic sobre la ubicación se despliegue la información del punto de muestreo, así como la imagen del sitio.

Cuenta privada

Para este tipo de visualizador se requirió una cuenta en Google™ (G-mail), donde se alojaron los datos de manera privada en el Google Drive. Una vez alojados los datos en la nube se procedió a crear una nueva tabla con la herramienta de Fusión de Tablas de Google (GFT, por sus siglas en inglés), la cual permite organizar, gestionar, visualizar y publicar información geográfica, ya sea de manera privada o pública.

Se prosiguió a la vinculación de cada punto de muestreo con la imagen correspondiente a su sitio. Para esto se requirió hacer públicas las imágenes, por lo que se alojaron en la página Zippyshare.com, la cual permite almacenar datos de manera gratuita durante un determinado tiempo.

Comparación de los volúmenes reales y volúmenes medidos con el índice de marginalidad. La marginación es conocida como un fenómeno multidimensional estructural, originado principalmente por los factores económicos, productivos y la exclusión de diversos grupos sociales, por lo que se asocia a la carencia de oportunidades sociales y carencias a las necesidades básicas establecidas como derechos constitucionales (Conapo, 2011).

Entre los indicadores más importantes para determinar el índice de marginación se encuentran; la educación, tipo de vivienda, distribución de la población, e ingresos monetarios (Conapo, 2011).

El estado de Chihuahua es catalogado a nivel nacional con un bajo grado de marginación, en el décimo lugar. Sin embargo, la marginación aún tiene profundos contrastes en la entidad (CTREIG, 2005).

Entre los municipios con muy baja marginación se encuentra Cuauhtémoc, área de estudio (CTREIG, 2005). En esta entidad es posible hallar índices que se clasifican como muy bajo, bajo, medio y alto. Para determinar dichas categorías se toman en cuenta indicadores socioeconómicos: acceso a la educación y la salud, edad, tipo de vivienda en la que habita, así como las características y mobiliario con el que se cuenta, y por último la disponibilidad de servicios básicos (Conapo, 2010). Esta información se despliega espacialmente en forma de polígonos envolventes de áreas homogéneas. Dichos polígonos son las AGEB consideradas en este trabajo.

Resultados

Análisis espacial de las presiones de suministro en tomas domésticas y comerciales

Como resultado de la georreferenciación de los puntos de muestreo de presión de suministro, se obtuvo la distribución espacial de los 293 puntos sobre el área urbana de Cuauhtémoc (Figura 2). En la cartografía se observa que en la zona centro la densidad de puntos fue mayor a la registrada en la periferia del área urbana, sin embargo, se considera que la totalidad del área urbana fue cubierta. Por otro lado, el mapa donde se muestran los datos de presión espacialmente distribuidos obtenidos por el método Geoestadístico IDW representa los distintos rangos de presiones que existen en la ciudad con valores levantados en campo (figura 3).

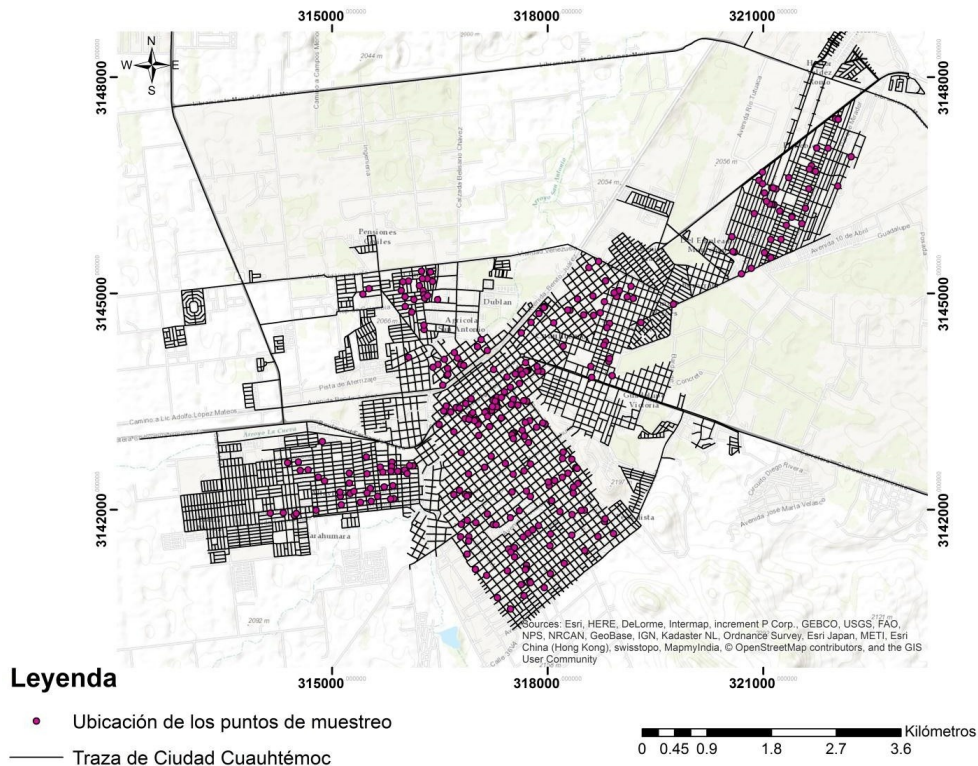


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestros de la presión de suministro en la red de agua potable en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua.

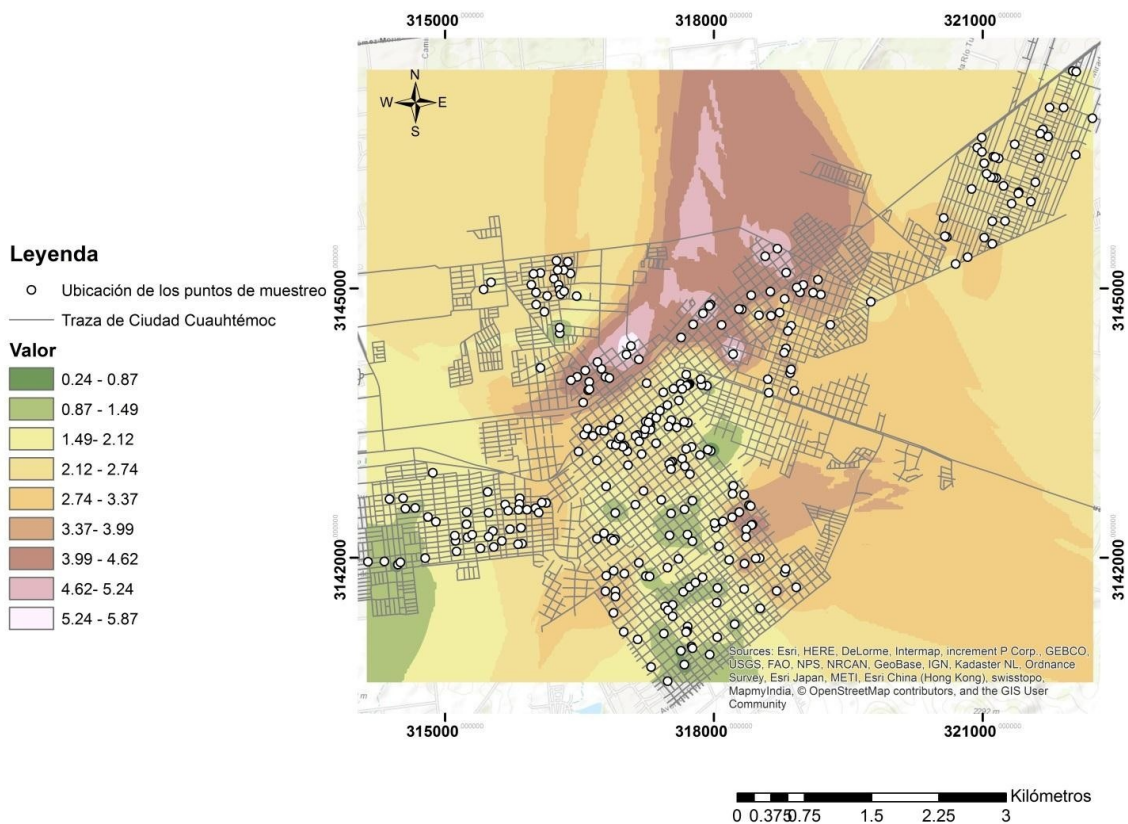
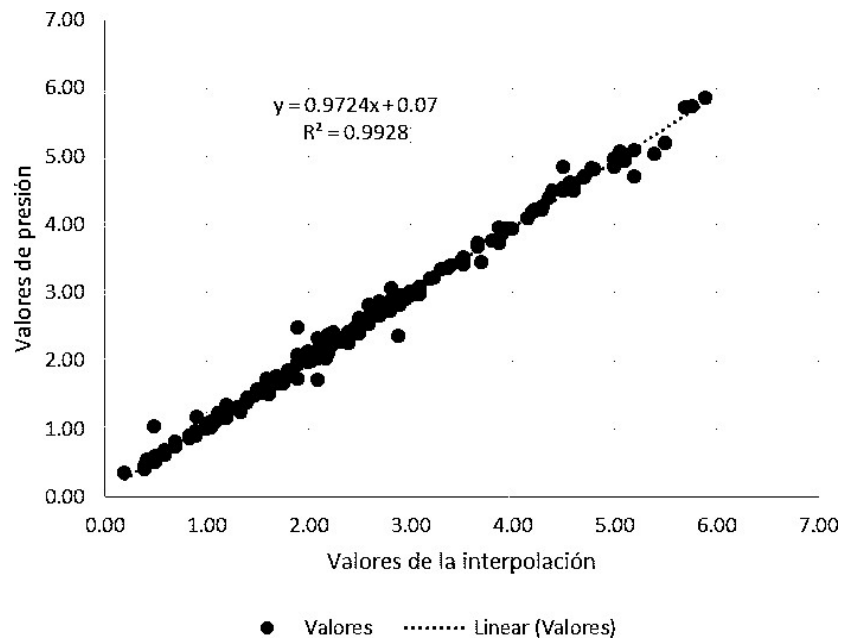


Figura 3. Interpolación de los datos puntuales de presión de suministro en la red de agua potable de ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, mediante el método IDW (Kg/cm-2).

Para demostrar de forma gráfica la correspondencia entre los valores medidos *in situ* y los valores contenidos en la cartografía generada por el método de interpolación IDW, se extrajeron los valores interpolados en cada uno de los puntos, y posteriormente se graficaron contra los valores de los puntos muestreados, obteniendo como resultado un valor de $R= 0.99$, el cual demuestra una correlación muy buena entre los valores medidos y predichos (Gráfica 1).



Gráfica 1. Correlación entre los puntos muestreados y los valores de interpolación IDW.

Una vez validada la cartografía de la distribución espacial de las presiones, se procedió a hacer un análisis más exhaustivo del funcionamiento hidráulico de la red de agua potable, para ello se realizó una reclasificación del resultado de interpolación con IDW, utilizando los siguientes rangos propuestos por el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA, 2014): i) presión baja, de 0 a 1.5 kg cm⁻²; ii) presión normal, de 1.5 a 3.0 kg cm⁻²; iii) presión alta, de 3.0 a 4.5 kg cm⁻²; y, iv) presión muy alta, mayor a 4.5 kg cm⁻². La distribución espacial de esta reclasificación de los valores se observa en la Figura 4. Se obtuvo que aproximadamente el 70% de la ciudad opera en condiciones normales (en color verde), el 9.6 % presenta bajas presiones (distinguidas por un color rosa), las cuales se localizan de forma aislada al sur y suroeste de la ciudad, lo cual puede conducir a un desabasto en casas de dos plantas o mala calidad del servicio de suministro. Por otra parte, al norte y noreste de la ciudad se puede apreciar la presencia de zonas con alta presión en color naranja, que representan el 16.5% del área urbana y muy alta presión en color rojo, con un valor menor aunque no menos

importantes del 3.5%, lo cual puede desencadenar de forma sistemática fugas por los picos de presión y más si la red de agua potable no cuenta con válvulas que los controlen (Tabla 2). Cabe destacar que las zonas que cuentan con presiones altas corresponden a colonias antiguas.

Tabla 2. Porcentaje del área por metros cuadrados en relación con el tipo de clasificación.

Clasificación	Área (m ²)	Área (Has)	Porcentaje (%)
Presión Baja	5061125.6	506.11	9.6
Presión Normal	37012990	3701.29	70.4
Presión Alta	8680730.8	868.07	16.5
Presión Muy Alta	1852419.4	185.24	3.5

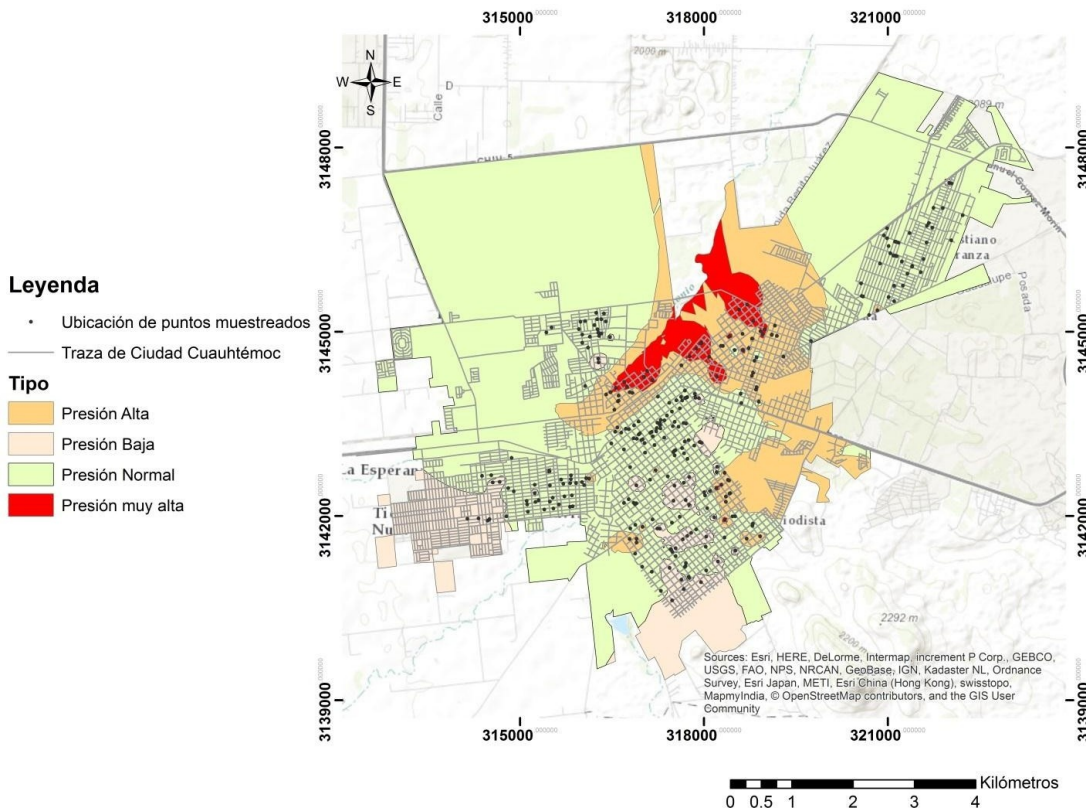


Figura 4. Clasificación de Interpolación de los datos puntuales de presión de suministro en la red de agua potable de ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, mediante el método IDW.

Determinación del grado de eficiencia entre el volumen entregado y medido por el organismo operador

Como resultado de la georreferenciación de los puntos de muestreo de volumen entregado y medido, se obtuvo la distribución espacial de los 293 puntos cubriendo el área urbana satisfactoriamente (Figura 5).



Figura 5. Ubicación de los puntos de muestros de volumen entregado y medido en la red de agua potable en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua.

El resultado de la creación de los polígonos de Thiessen mediante la clasificación de los valores de volumen entregado y medido en la red de agua potable se puede observar en la Figura

6. Este resultado muestra que del área total urbana (5260.07 has), se encontró que el 61.66% se ubica en un rango estable; mientras que en el 27.77% se cobra menos de lo que se consume, y en el 10.56% se cobra más de lo que se consume (Tabla 3).

Con base en los resultados podemos decir que en una gran parte del área urbana los medidores registran un volumen real, es decir, se cobra lo que realmente se gasta, sin embargo, existen zonas en donde los medidores registran anomalías entre el volumen entregado y medido, lo cual se traduce en pérdidas tanto para el organismo operador como para el consumidor. Cabe aclarar que este resultado es con base en puntos aleatorios, y que la condición entre el volumen entregado y medido se relaciona con las condiciones del medidor seleccionado (valor puntual), por ello el resultado (polígonos de Thiessen) debe interpretarse como áreas susceptibles de una inspección más rigurosa (manzana, cuadra, calle, etcétera) dependiendo de la condición identificada. En general, la cartografía puede ayudar a focalizar esfuerzos y hacer más eficiente el uso de recursos económicos para la renovación de medidores o mantenimiento de los mismos.

Tabla 3. Área por metros cuadrados en relación con el número de puntos de muestreo de gastos en el área urbana.

Área Total	Area (has)	Número de puntos	Porcentaje
Cobro igual al consumo	3244.01	138	
Cobro inferior al consumo	1461.11	91	
Cobro superior al consumo	555.6	63	

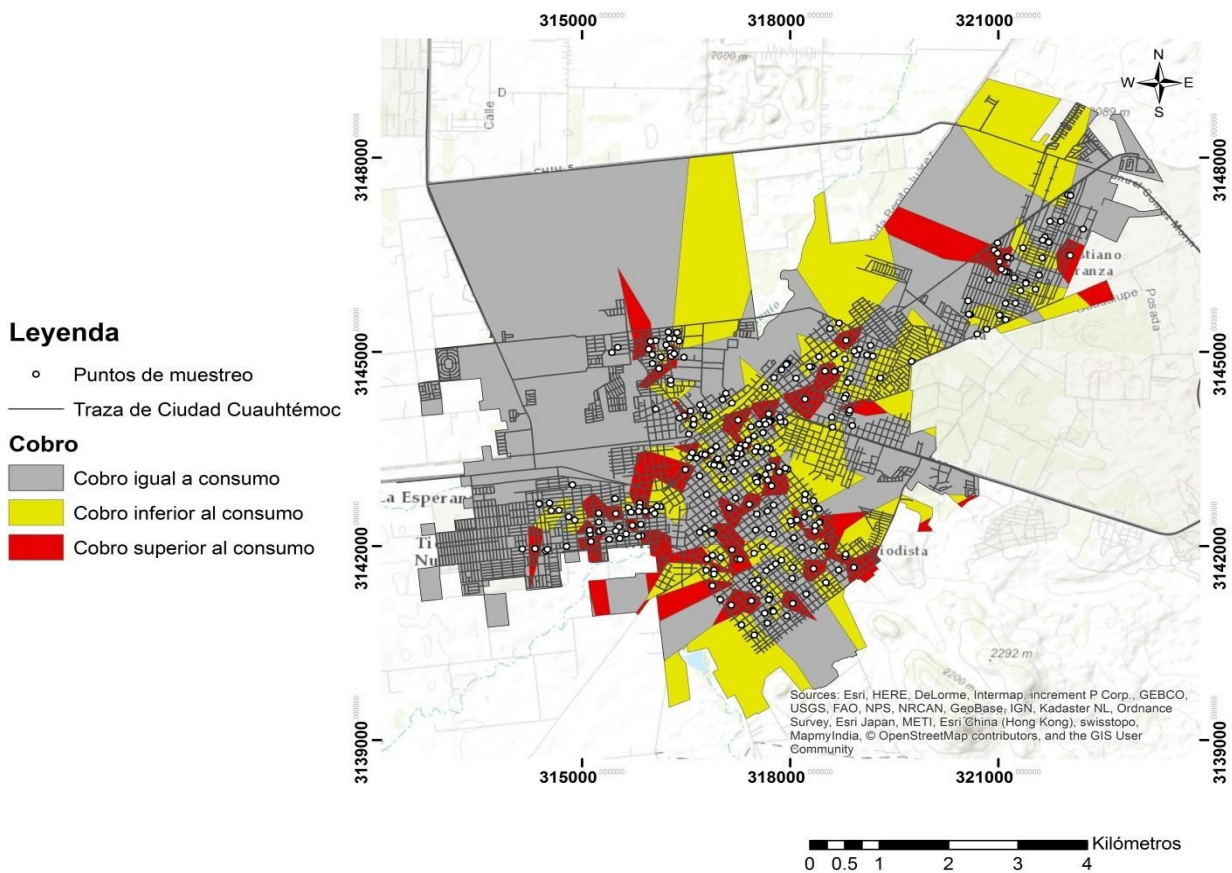


Figura 6. Clasificación de los puntos de muestreos de volumen entregado y medido en la red de agua potable en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua.

Análisis de las condiciones actuales con que operan las cajas de válvulas

Al realizar la georreferenciación de las localizaciones de las cajas de válvulas, se han obtenido 379 registros, cubriendo la totalidad del área urbana (Figura 7). Como se puede observar, la distribución de las cajas de válvulas en el centro de la ciudad es uniforme, mientras que en la parte norte se encuentra un mayor número, también es importante destacar que en la zona suroeste, en donde se localiza el “Barrio Lerdo”, se cuenta con muy pocas cajas de válvulas accesibles o existentes. Esto sin lugar a duda pudiese inferir en una mala operación en el manejo de fugas, mantenimiento y operación de la red de agua potable.

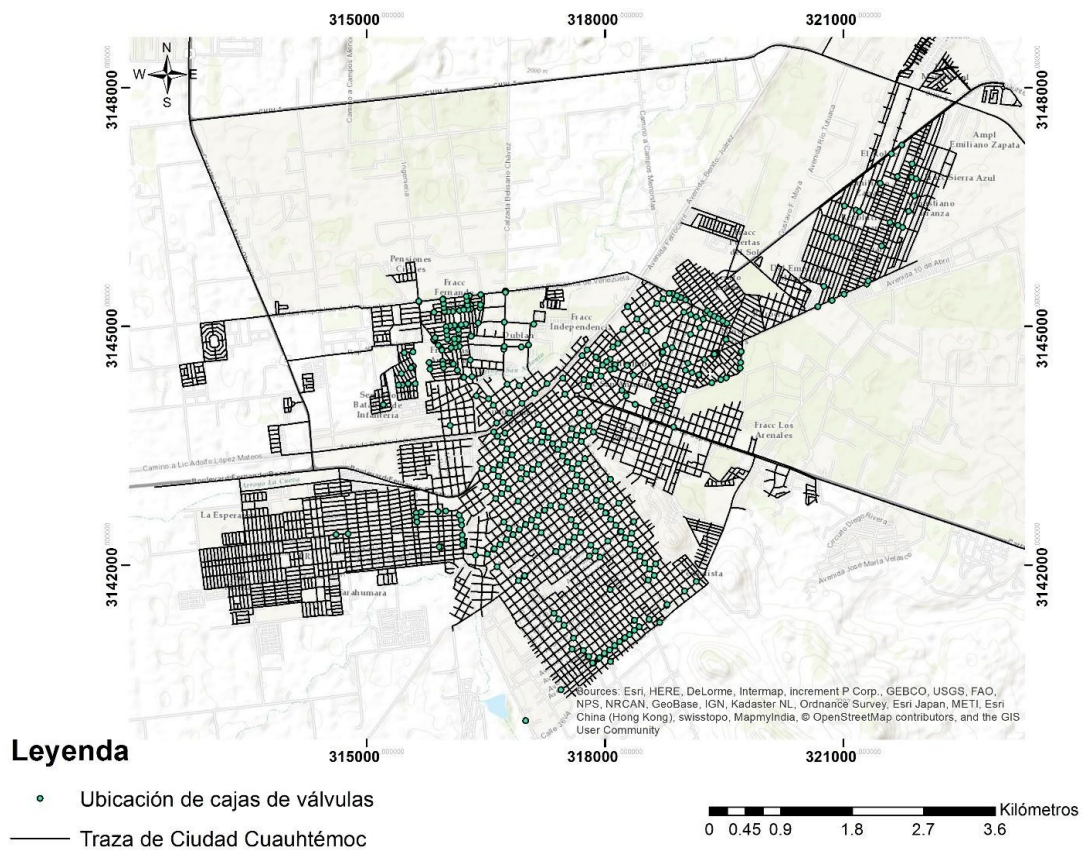


Figura 7. Ubicación de los puntos de muestreos de las condiciones de las cajas de válvulas en la red de agua potable en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua.

El resultado de la creación de los polígonos de Thiessen para determinar el área de influencia de cada una de las cajas de válvulas y su respectiva clasificación de acuerdo con sus condiciones se observan en la Figura 8. Del área total urbana se registraron distintas categorías referentes a las condiciones de las cajas de válvulas: azolvada con 37.92%, inundada con 9.94%, normal con 19.46%, sellada con 7.97%, y semiazolvada con un área de 17.21% (Tabla 4).

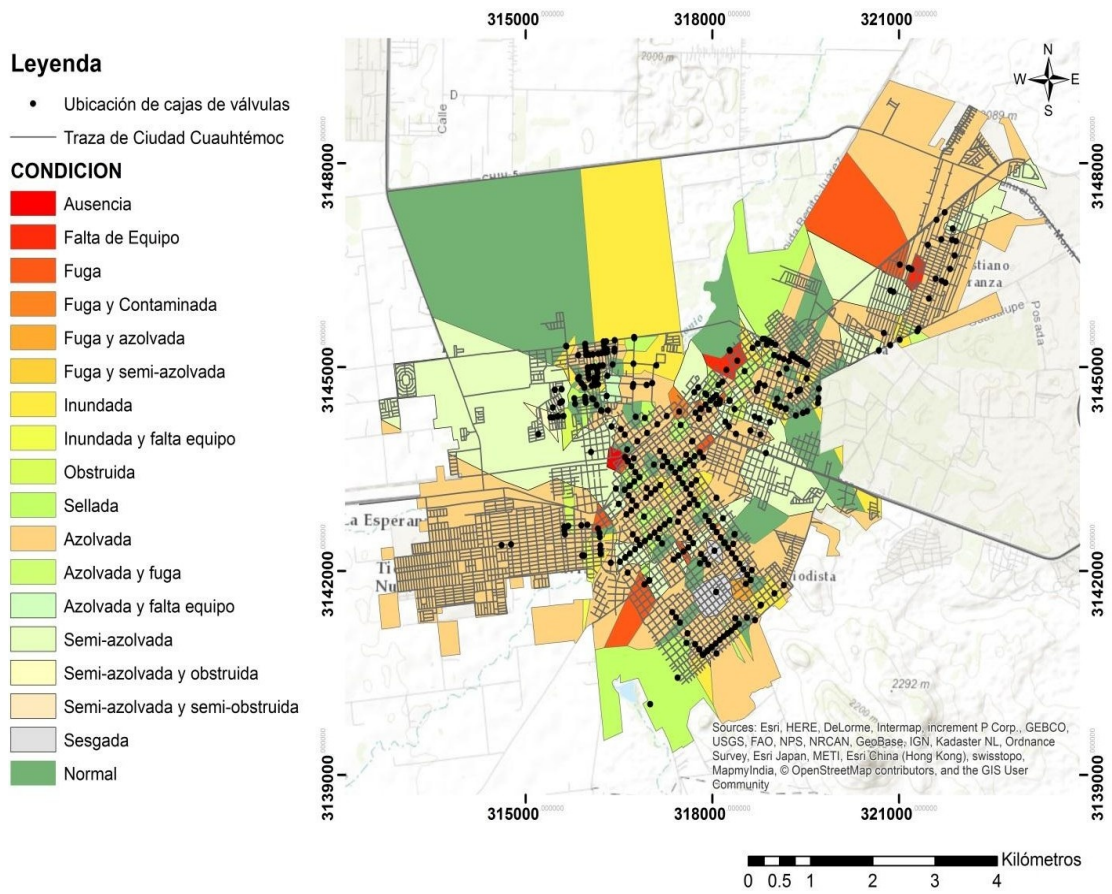


Figura 8. Clasificación de las condiciones de las cajas de válvulas en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua.

Tabla 4. Relación entre el número de cajas registradas y el área asignada por medio de la técnica polígonos de Thiessen.

Condición	Área (Has)	Número de Cajas	Porcentaje del área
Ausencia	6.94	1	0.13
Azolvada	1995.08	167	37.92
Azolvada y falta de equipo	12.60	2	0.23
Azolvada y fuga	5.86	1	0.11
Falta de Equipo	30.03	6	0.57
Fuga	222.34	10	4.22
Fuga y azolvada	9.60	1	0.18
Fuga y contaminada	9.75	1	0.18
Fuga y semi-azolvada	2.25	1	0.04
Inundada	522.99	35	9.94
Inundada y falta equipo	11.31	1	0.21
Normal	1024.26	45	19.46
Obstruida	31.64	4	0.60
Sellada	419.48	48	7.97
Semi-azolvada	905.39	45	17.21
Semi-azolvada y obstruida	10.04	2	0.19
Semi-azolvada y semi-obstruida	1.78	3	0.03
Sesgada	39.32	6	0.74

Correlación entre volúmenes reales y volúmenes medidos con el índice de marginalidad

Para hacer más fácil la interpretación de este apartado, debemos entender que las clasificaciones que hicimos para la relación entre volúmenes reales y volúmenes medidos como estable, negativa y positiva, los traduciremos al concepto de cobro (recaudación del organismo operador), es decir, cobro igual al consumo (volumen real = volumen medido), un cobro inferior al consumo (volumen real es menor volumen medido) y un cobro superior al consumo (volumen real es mayor al volumen medido). Una vez intersectados las categorías de los índices de marginación

contra la clasificación los distintos tipos de cobros, se calcularon las áreas correspondientes, y se determinó que con base en el cobro igual al consumo el 3.44% del área se encuentra en un área con un índice alto de marginación, mientras que para los índices bajo y medio se encontraban 46.95% y 31.76%, respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5. Relación entre el cobro estable y el grado de marginación.

Grado de marginación	Área (m ²)	Área (has)	Porcentaje (%)
Alto	881306.05	88.13	3.44
Bajo	12003750.3	1200.37	46.95
Medio	8120106.74	812.01	31.76
Muy bajo	4660083.58	456.00	17.83

Posteriormente, para la categoría de cobro inferior al consumo, se determinó que tan solo el 1.10% del área se encuentra en zonas con alto grado de marginación, mientras que el índice muy bajo presenta un porcentaje del 25.78, siendo los índices bajo y medio los que mayor influencia tienen en este tipo de cobro con el 32.99% y el 40.10%, respectivamente (Tabla 6).

Tabla 6. Relación entre el cobro inferior al consumo y el grado de marginación.

Cobro inferior al consumo			
Grado de Marginación	Área (m ²)	Área (has)	Porcentaje (%)
Alto	123937.49	12.39	1.10
Bajo	3701372.11	370.13	32.99
Medio	4498944.56	449.89	40.10
Muy Bajo	2892752.75	289.27	25.78

Finalmente, para el cobro superior al consumo, el índice de marginación alto presenta el 2.58% del área, el muy bajo 16.23%, lo que conlleva a que las áreas con una marginación baja y media presente un mayor porcentaje, 37.53% y 43.63%, respectivamente (Tabla 7).

Tabla 7. Relación entre el cobro superior al consumo y el grado de marginación.

Cobro superior al consumo			
Grado de Marginación	Área (m ²)	Área (has)	Porcentaje (%)
Alto	129169.68	12.91	2.58
Bajo	1872854.08	187.28	37.53
Medio	2177438.62	217.74	43.63
Muy Bajo	810094.06	81.00	16.23

Visualizador web

Para demostrar la utilidad de presentar los resultados en un ambiente amigable y dinámico para los usuarios, se decidió hacer dos visualizadores web implementados con el software Google Earth y Google Fusión de tablas, con los cuales es posible mostrar visualmente la ubicación de cada una de las cajas de válvulas sobre el área urbana, y además podemos seleccionar para que nos muestre las condiciones actuales (descripción detallada), así como una fotografía de la ubicación y de la caja de válvula (figuras 9 y 10).

Discusión

El abastecimiento de agua es uno de los principales aspectos que aseguran la sustentabilidad de las ciudades en el mundo, y las limitaciones de las regiones en cuanto a disponibilidad de recursos naturales ha sido una de las principales causas de movimientos poblacionales, principalmente en zonas áridas y semiáridas en el mundo (Shah, 2010).

De acuerdo con lo publicado en las investigaciones realizadas por Díaz-Padilla (2011) y Verbist K. (2010), se menciona que una gran parte del norte y noroeste de México ha sido afectada por fenómenos de sequías prolongadas. Aunado a esto, el estado de Chihuahua tiene una precipitación pluvial anual que oscila entre 250 y 500 mm (Conagua, 2008). En el caso de la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua, la cual cuenta con un clima semi-seco templado, el desarrollo no planificado de la agricultura y la obsolescencia de algunos sistemas de riego han incrementado la demanda de agua en regiones rurales, con lo que se agudiza la competencia por el recurso hídrico necesario para uso público urbano (Gobierno del Estado de Chihuahua, 2004).

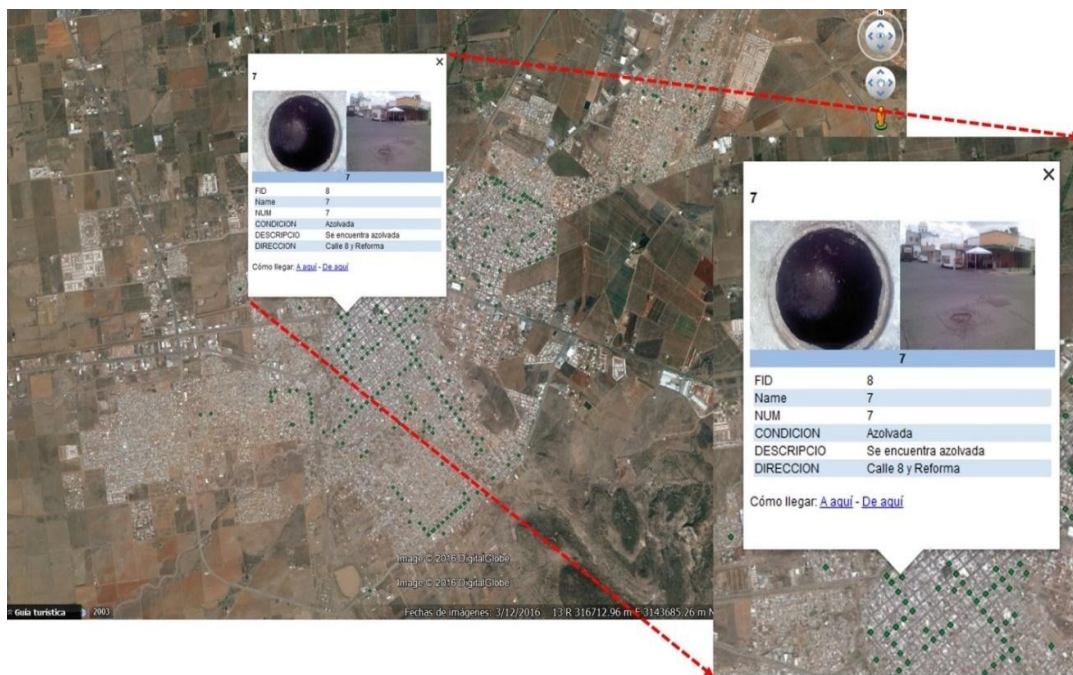


Figura 9. Visualizador web en un equipo de las condiciones de las cajas de válvulas.

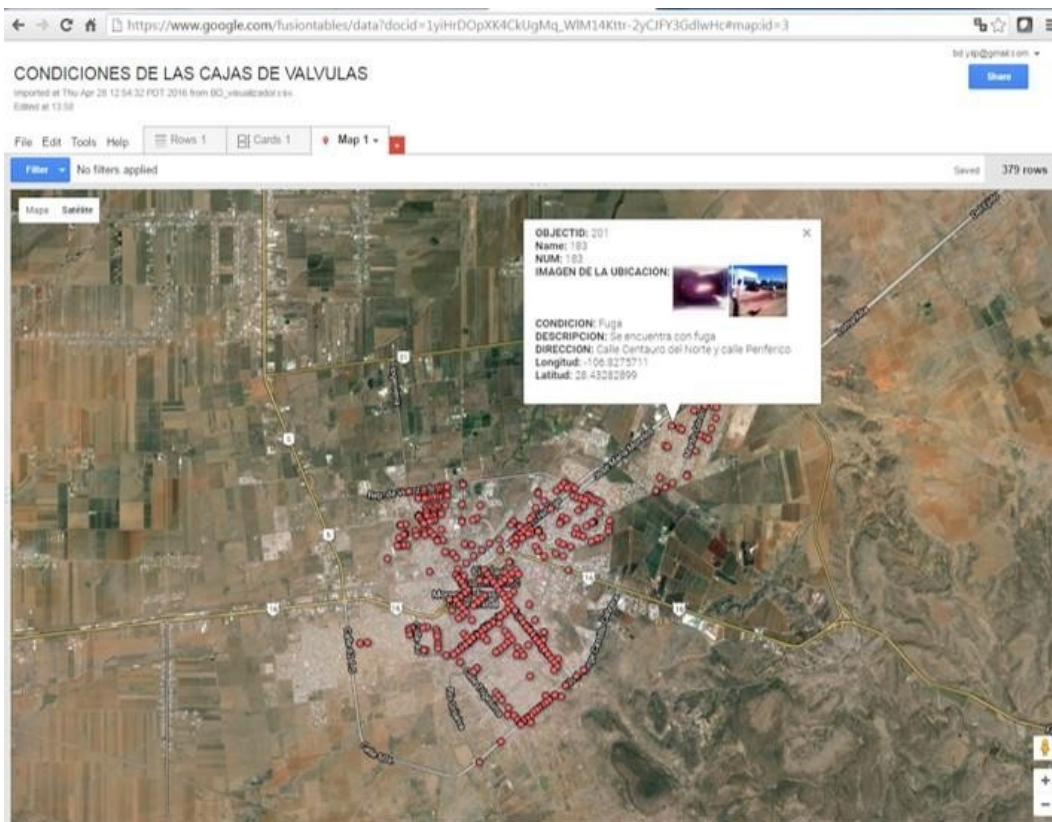


Figura 10. Visualizador web en una cuenta privada de las condiciones de las cajas de válvulas.

En la tesis de Enríquez (2013) se estableció la hipótesis de que existe una fuerte competencia por el agua subterránea del acuífero entre el uso agrícola (específicamente manzano) que se desarrolla en el área periurbana y el uso urbano en Cuauhtémoc, Chihuahua; esto debido a que el agua se extrae del mismo acuífero y los pozos para ambos usos comparte una misma distribución espacial sobre el área de estudio. Los resultados demostraron que existe un desperdicio de agua en la zona de estudio debido en gran medida a los tipos de riego que se utilizan en la actividad frutícola (manzano), y que está perjudicando de cierta forma la necesidad de agua de la población en el área urbana (Enríquez, 2013). Todo esto nos plantea la necesidad de tener en cuenta que si bien el uso agrícola es el que más agua consume en el área de estudio (95% del total) y que es necesario un plan de ordenamiento territorial para el uso eficiente del agua por

esta actividad, también es necesario implementar un plan de mejora para el uso eficiente del agua en la red de agua potable.

Los resultados obtenidos en esta investigación son reveladores en cuanto a la mala condición con que opera actualmente la red de agua potable de Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua. En cuanto a la presión registrada en las distintas zonas del área urbana, se pudieron observar amplios sectores donde el agua no tiene la suficiente presión o, por el contrario, hay áreas donde las presiones exceden las normas oficiales, lo cual se traduce en periodos donde el agua no puede llegar a un segundo piso, incluso de desabasto o en problemas de fugas internas que no se manifiestan en la superficie (ocultas y constantes), lo cual repercute en la calidad del servicio y por ende pérdidas del vital líquido.

Por otra parte, los datos de volumen entregado y volumen medido (real), también son críticos, pues esto demuestra que el organismo operador no está cobrando lo que realmente está entregando en las tomas domiciliarias; hay zonas donde está cobrando más de lo que realmente se está consumiendo y por otro parte existen áreas donde cobra menos con respecto al consumo. Este indicador nos muestra la necesidad de renovar los medidores en tomas domiciliarias, ya que esto incide en el bolsillo del consumidor y también en las arcas del organismo operador/

En general, se tienen un deficiente sistema recaudatorio por concepto de agua potable, lo cual repercute en la carencia de un organismo operador económicamente autosuficiente para el mantenimiento y operación de una red de agua potable.

Finalmente, las condiciones de las válvulas son muy malas; en general, se demuestra que el organismo operador realmente está muy limitado para poder llevar acciones de mantenimiento, mejora y ni siquiera un plan de sectorización para la correcta conducción del agua dentro de la red de agua potable.

Conclusión

En el análisis espacial de las presiones de suministro en tomas domésticas y comerciales es importante destacar que las zonas que cuentan con presión alta serán más aptas para que se presenten fugas; por otra parte, las zonas con presiones bajas podrán sufrir la falta de agua.

El grado de eficiencia que se determinó entre el volumen entregado y medido por el organismo operador, muestra que si bien hay zonas en donde el cobro es correcto, existen otras en donde hay problemas, ya que se cobra más de lo que se utiliza, u otras zonas en donde se cobra menos de lo que en realidad se consume.

La caja de válvulas es la estructura hidráulica complementaria donde se ubican válvulas de control o para la operación de válvulas de seccionamiento tipo mariposa o compuerta, necesarias para la operación de una red de agua potable o de agua tratada (SOAPAP, 2014), por lo que mantenerlas en el estado adecuado es de suma importancia para abastecer a la ciudad de agua potable y desperdiciar lo menos posible este vital recurso.

Como se mencionó en la hipótesis de este trabajo, se compararon los índices de marginación contra el resultado de las categorías de gastos en la ciudad, pero los resultados determinan que el cobro que está establecido en las distintas áreas de la traza urbana es equitativo y no existe alguna discriminación o preferencia.

El visualizador web que se creó en este proyecto no es de uso público, ya que no es pertinente que la información que se generó sea de acceso libre. Sin embargo, esto es de gran aportación tanto para los usuarios como para el organismo operador, ya que permitirá acceder a una base de datos sobre las condiciones con que están operando las cajas de válvulas de la red de agua potable, y en base a esto se podrán tomar las medidas pertinentes para controlar la fugas y desabastos de agua.

Recomendaciones

Existen zonas que cuentan con deficiencia con base en la distribución del agua potable, por lo que se recomienda que las cartografías que se han generado en este proyecto se atiendan estos desabastos de agua.

Por otra parte, las condiciones de las cajas de válvulas son de vital importancia para al momento en que se tenga que cerrar algún sector por la creación de una obra, o bien una fuga que pudiese presentarse. Mantenerlas en un buen estado es indispensable, por lo que la clasificación que se determinó será de gran ayuda para localizar las cajas y darles el mantenimiento necesario.

En cuanto al visualizador web, es recomendable mantener los datos privados, sin embargo, si el uso se quiere hacer público, será necesario utilizar otra metodología tomando en cuenta que se requiere una red de banda ancha para que la información pueda desplegarse.

En general, las recomendaciones más apropiadas para el área de estudio para atender de una forma integral el problema abordado en esta investigación, se pueden resumir en estas acciones:

- 1) Fomentar la inversión gubernamental en el manejo, distribución y saneamiento del agua.
- 2) Aplicar tarifas justas para todos los usuarios del agua (agricultores, industria, urbano, etcétera), para que los organismos operadores sean económicamente autosuficientes.
- 3) Incrementar el uso de aguas tratadas con tratamientos de segundo orden, para riego agrícola y actividades recreativas antes de verterlas a los cuerpos de agua (ríos, lagos, etcétera).
- 4) Incrementar la tecnología y tecnificación de sistemas de riego agrícola.
- 5) Balance entre la extracción y recarga del acuífero.

- 6) Conservar áreas verdes y bosques.
- 7) Mantener, renovar y reparar la infraestructura de la red de distribución de agua potable en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua.
- 8) Desarrollar la cultura en la población y en la clase política para impulsar proyectos que incidan realmente en la mejora en las condiciones en el manejo del agua.
- 9) Contratar y nutrir las instancias gubernamentales de los tres niveles de gobierno, contratando especialistas capaces técnicamente y metodológicamente para abordar esta problemática.

Bibliografía

Alatorre, L. C., Díaz, R. E., Miramontes, S., Bravo, L. C., Sánchez, E. (2014). Spatial and Temporal Evolution of the Static Water Level of the Cuauhtémoc Aquifer during the Years 1973, 1991 and 2000: A Geographical Approach. *Journal of Geographic Information System*, 6, pp. 572-584.

ArcGIS (2012). Cómo funciona IDW. <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000075000000>. (Acceso 10 de septiembre de 2015).

ArcGIS (2015). Crear polígonos de Thiessen. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/analysis/create-thiessen-polygons.htm>. (Acceso 16 de febrero de 2015),

Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México (ANEAS) (2008). *El agua potable*. Ciudad de México, México.

Báez, M. F. (2013). Implementación de un geovisor web para la información geográfica del MIES utilizando bases de datos espaciales y plataformas OpenGIS. Tesis para obtener el grado de Magister en Sistemas de Información Geográfica,

Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Posgrados; Quito, Ecuador.

Callejas, N. (2007). Evaluación de Alianza para el Campo de los Sistemas Producto Frutícolas en el Estado de Chihuahua. SA-GARPA, Chihuahua.

Conagua. (2008). Estadísticas del Agua en México 2008. Recuperado en marzo 23 de 2013, de Conagua: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EM_2008.pdf

Conagua (2012). Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, pp. 1-2.

Conagua (2013). Manual de Indicadores de Gestión Para el "Programa de Seguimiento de Indicadores de Gestión para Cumplimiento de Meta de Eficiencia Global". Comisión Nacional del Agua, p. 11.

Conapo (2010). *Metodología de estimación del índice de marginación urbana*, 2010. Consejo Nacional de Población.

Conapo (2011). *Índice absoluto de marginación 2000-2010*. Consejo Nacional de Población, p. 11.

CTREIG (2005). Chihuahua. Índices de Marginación 2000 y 2005. Comité Técnico Regional de Estadística y de Información Geográfica. Obtenido de <http://ctr.chihuahua.gob.mx/>.

Díaz (2011). Variación espacio-temporal de la precipitación pluvial en México una aproximación a la evaluación de impactos. Tecnología y ciencias del agua.

Díaz-Padilla, G. (2011). Mapeo del índice de aridez y su distribución poblacional en México. *Revista Chapingo*. Serie ciencias forestales y del ambiente, vol. XVII, pp. 267-275.

Dirección de Planeación Evaluación y Desarrollo del estado de Chihuahua (2011). Programa Sectorial de Salud [archivo PDF]. Recuperado de:

<http://www.chihuahua.gob.mx/attach2/sf/uploads/indt-fisc/progser2010-2016/programasectorialsalud.pdf>

Enríquez Venzor, J. C., Alatorre Cejudo, L. C., Wiebe Quintana, L., Amado Álvarez, J., Gutiérrez Ramos, C. A. & Alarcón Cabanero, J. C. (2014). Balance entre el gasto de agua para uso doméstico y producción de manzana en Cuauhtémoc, Chihuahua mediante fotointerpretación. Memoria de la XXVI Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED.

Enríquez Venzor, J. C. (2013). Análisis de la competencia de gasto de agua en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, con las huertas de manzana colindantes con la mancha urbana. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Geoinformática, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Cuauhtémoc, Chihuahua, 31-40 pp.

Ferro, G., Lentini, E. & Romero C. A (2011). *Eficiencia y su medición en prestadores de servicios de agua potable y alcantarillado*. CEPAL.

Gobierno del Estado de Chihuahua. (2004). Plan estatal de desarrollo 2004-2010, agua. Recuperado de: <http://bva.colech.edu.mx/xmlui/handle/1/1024>.

Hernández, V. (2014). Estudio de incremento de la eficiencia física, hidráulica y energética en el sistema de agua potable del municipio de Cuauhtémoc en el estado de Chihuahua. SGAP-OCRB-UACJ-CHIH-13-APAZU-001-RF-CC.

INEGI a (2010). Información nacional. Por entidad federativa y municipios, México, <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=8> (Acceso 28 Agosto 2015).

INEGI b (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chih/poblacion/>

INEGI (2011). Panorama sociodemográfico de Chihuahua. INEGI, México.

- Lutz, L., América, N., Salazar Adams, A. (2011). Evolución y perfiles de eficiencia de los organismos operadores de agua potable en México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, pp. 563-599.
- Norori, J. M. & Catellanos Zelaya, J. (2015). Montaje de un web map service (wms) para la Dirección General de Catastro y Geografía, Honduras. *Revista Ciencias Espaciales*, 6 (1), 520-534 pp.
- OMS (2006). *Guías para la calidad de agua potable*. Biblioteca de la OMS, pp. 27-38.
- OSGeo-es (2014). Web Mapping. <http://panorama-sig-libre.readthedocs.io/es/latest/webmapping/>.
- Pantoja, A., Eitzinger, A., Salazar, C., Tello, J., Atzamanstorfer, K. & Resi, R. (2014).
- PIGOO (2014). Promedio de Eficiencia Física, México. http://www.pigoo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid= (Acceso 1 de septiembre de 2015).
- SIAPA (2014). Criterios y Lineamientos Técnicos para Factibilidades. Sistemas de Control y Monitoreo. SIAPA, pp. 7-20.
- Shah, A. (2010). Land degradation and migration in dry land región in India: extent, nature and determinants. *Environment and Development Economics* 15(2), 173-196.
- SMAPA (2014). *Manual de Organización*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- SOAPAP (2014). Normas y lineamientos técnicos para las Instalaciones de agua potable, agua tratada, drenaje sanitario y drenaje pluvial de los fraccionamientos, condominios y nuevas construcciones con servicio del SOAPAP en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Puebla y Zona Conurbada de su competencia. Puebla, Puebla.

Romero, M. A. (2013). Problemas de redes de abastecimiento de agua potable. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., 31-40 pp.

Verbist K., S. F. (2010). Atlas de Zonas Áridas de América Latina y El Caribe. CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LA.

