



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores,  
Unidad Morelia

AGRICULTURA PERIURBANA, CALIDAD Y USO DE  
AGUAS RESIDUALES EN TARÍMBARO,  
MICHOACÁN

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

AÍDA FIGUEROA PASOS

DIRECTORA DE TESIS: DRA. YADIRA MIREYA MÉNDEZ LEMUS  
CO-DIRECTOR: DR. JOSÉ ANTONIO VIEYRA MEDRANO

MORELIA, MICHOACÁN

MAYO, 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



ESCUELA  
NACIONAL  
de ESTUDIOS  
SUPERIORES  
UNIDAD MORELIA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA  
SECRETARÍA GENERAL  
SERVICIOS ESCOLARES

LIC. IVONNE RAMÍREZ WENCES  
DIRECTORA DE GESTIÓN ESTRATÉGICA Y PRIMER INGRESO  
ENCARGADA DEL DESPACHO DE LA DIRECCIÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
P R E S E N T E

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 01** del H. **Consejo Técnico** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia celebrada el día **22 de enero del 2015**, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el Examen Profesional de la alumna **Aída Figueroa Pasos** con número de cuenta **307013341**, de la **Licenciatura en Ciencias Ambientales**, con la tesis titulada: "**Agricultura Periurbana, calidad y uso de aguas residuales en Tarímbaro, Michoacán**", bajo la dirección de la Tutora.- **Dra. Yadira Mireya Méndez Lemus** y como Co-Tutor.- **Dr. José Antonio Vieyra Medrano**.

Presidente: Dra. Ana Isabel Moreno Calles  
Vocal: M.C. Alejandra Patricia Larrazábal De la Vía  
Secretario: Dra. Yadira Mireya Méndez Lemus  
Suplente: Dr. José Antonio Vieyra Medrano  
Suplente: Dra. Lorena Poncela Rodríguez

Sin otro particular quedo de usted.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Morelia, Michoacán, a 18 de mayo de 2016.

  
**DR. FERNANDO ANTONIO ROSETE VERGÉS**  
**SECRETARÍA GENERAL**

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Licenciatura en Ciencias Ambientales y al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental por brindarme un espacio de aprendizaje inigualable.

A DGAPA-UNAM por la beca de titulación obtenida a través del Proyecto PAPIIT con clave RA301113 titulado: Periferia urbana y hogares campesinos: El rol del capital social en la adaptación de los sistemas agropecuarios al proceso de peri-urbanización de la ciudad de Morelia.

A mis asesores de tesis, la Dra. Yadira Mireya Méndez Lemus, por todo su apoyo, su enorme paciencia y guía en este trabajo. Al Dr. José Antonio Vieyra Medrano por todo su apoyo en la realización de este trabajo.

A la M. en C. Rosaura Páez Bistrain por todo su apoyo técnico, asesoría en la preparación y salidas de campo, en el apoyo del laboratorio de suelos y agua, así como la revisión en la tesis... muchísimas gracias.

A la M. en C. Alejandra Patricia Larrazábal de la Vía por ser parte de mis revisores de tesis, por su apoyo durante las salidas de campo y por abrirme las puertas de su cubículo para compartir mañanas y tardes de trabajo, amistad y café.

A la Dra. Ana Isabel Calles Moreno y a la Dra. Lorena Poncela por ser parte de mis revisores de tesis.

A la atención y apoyo administrativo recibido por el Lic. Alejandro Rebollar y el Psc. Mauricio Ríos Rojas

A la administración del Municipio de Tarímbaro, a la Secretaría de Desarrollo Rural del mismo, así como al Módulo de Riego No. 3 “Asociación de Productores y Agricultores del Valle de Álvaro Obregón Tarímbaro A.C.”

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A Ti por sembrar este sueño en mi corazón, por acompañar mi camino y darle fuerza a esta semilla para seguir creciendo.

A mis padres Sarita y Efraín por su invaluable apoyo y confianza, por demostrarme que la vida está llena de retos, que nunca hay que darse por vencido; pero sobre todo, por el amor que me han dado. No tengo más palabras para agradecerles, sólo decirles que los amo.

A mis hermanos Isabel, Arely y Efraín, que siempre estarán en mi corazón, gracias por enseñarme a compartir y por regalarme momentos tan especiales en mi vida.

A mi otra hermana Zule, gracias por hacer de esta travesía algo extraordinario, sin ti, no hubiera sido igual. Gracias por enseñarme a conocer, mirar, compartir y amar de otra manera.

A mi queridísima Luzorquídea, primeramente por su apoyo durante la realización de mi tesis, asimismo por escucharme y abrirme las puertas de su familia.

A mi familia moreliana y a aquellos con los que compartí un hogar; Cas, Mariana, Rich, Néstor, Andrés, Daniel y Tavo, sin ustedes no me hubiera divertido tanto. Gracias por cuidarme, los quiero.

A Iván y Alex por su amistad, así como el apoyo, las sugerencias, la colaboración en mi tesis y por supuesto, esos ratos de café y trabajo.

A todos mis profesores de la carrera, por todas las enseñanzas que me regalaron.

A Jonathan y Sandra que de alguna manera colaboraron en la realización de este proyecto.

A todos aquellos amigos chilangos, que estuvieron ahí...

...Siempre Gracias.

*“Hay hombres que luchan un día y son buenos. Hay otros que luchan un año y son mejores. Hay quienes luchan muchos años, y son muy buenos. Pero hay los que luchan toda la vida, esos son los imprescindibles.”*

*Bertolt Brecht*

## Resumen

El modelo de crecimiento actual de las ciudades en regiones en desarrollo afecta la calidad y disponibilidad de los recursos de los que dependen los medios de vida agropecuarios que se localizan en las periferias de las urbes, repercutiendo en su productividad y poniendo en riesgo su existencia. El recurso hídrico es uno de ellos, ya que su demanda se encuentra en aumento en diferentes sectores como el doméstico e industrial, compitiendo así, con el agrícola. Las aguas residuales han asumido un papel importante ante esta problemática, al ser a veces, el único recurso disponible. El caso de la ciudad de Morelia no es la excepción, el incremento de su población y expansión física sin control, sobrepasó el límite al norte de su territorio; así, las descargas de aguas residuales aumentan sin tratarse debidamente, afectando el sector agrícola. El recurso hídrico obtenido a través de pozos es más escaso y los productores optan por utilizar en mayor medida el agua del Distrito, es decir, el agua que corre a través de canales de riego, la cual lleva una serie de compuestos que tienen implicaciones para los cultivos, productores y consumidores. Por ello, el objeto de estudio fue hacer un análisis la calidad de las aguas residuales utilizadas en los sistemas agrícolas periurbanos dentro del Municipio de Tarímbaro. Para ello, se realizó una identificación de las fuentes y el área de irrigación a fin de distinguir quienes utilizan aguas residuales. Para el análisis de calidad de aguas residuales se identificaron diversos puntos de muestreo para obtener las características físico-químicas, bacteriológicas y de metales pesados.

## Abstract

The current growth model of the cities in developing regions affects the quality and availability of the resources that they depend the livelihoods of agriculture and livestock which are located in the periphery of the cities, impacting their productivity and endangering its existence. The water resource is one of them, since their demand is increasing in different sectors such as the domestic and industry, thus competing with agriculture. Wastewater has assumed an important role to this problem, being sometimes the only one available. The case of the city of Morelia is no an exception, increasing its population and the urban sprawl, surpasses the limit north of its territory; so, wastewater discharges increases without treatment, affecting the agriculture. Water resource obtained through wells is scarce and producers choose to make a greater use of the District's water, that is, water flowing through canals, which carries a series of compounds that have implications for crops, producers and consumers. Therefore, the object of this study was to analyze the quality of wastewater used in the peri-urban agriculture systems within the Municipality of Tarímbaro. To do this identification of sources and the irrigation area in order to distinguish the ones who uses this water. For the analysis of quality wastewater sampling points were identified for the physico-chemical, biological and heavy metal characteristics.

Tabla de contenido	
Introducción .....	8
Problema de Investigación .....	9
Objetivos: .....	11
Justificación.....	11
<b>Capítulo 1.....</b>	<b>13</b>
1.1 Crecimiento y Expansión Urbana .....	13
1.2 Periurbanización y Sistemas Agrícolas Periurbanos .....	15
1.3 Las Aguas Residuales en los Sistemas Agrícolas Periurbanos en regiones en desarrollo .....	17
1.4 Calidad de las aguas residuales en los Sistemas Agrícolas Periurbanos en México .....	18
<b>Capítulo 2: Proceso Metodológico .....</b>	<b>26</b>
2.1 Área de Estudio: .....	26
2.1.1 Ubicación Geográfica .....	26
2.1.2 Condiciones Biofísicas .....	28
2.1.3 Condiciones Socioeconómicas .....	28
2.2 Diseño de Investigación .....	28
2.2.1 Etapa 1. Identificación del flujo, ciclo del uso y área de irrigación de las aguas residuales (AR) en Tarímbaro .....	28
2.2.2 Etapa 2. Hacer una caracterización fisicoquímica, bacteriológica y de metales pesados de las aguas residuales que se usan para riego en los sistemas agrícolas periurbanos de Tarímbaro, Michoacán .....	32
<b>Capítulo 3: Resultados y Discusión.....</b>	<b>41</b>
3.1 Flujo y fuentes de contaminación de las aguas residuales utilizadas en los sistemas agrícolas de Tarímbaro .....	41
3.2 Área de Irrigación con aguas residuales en Tarímbaro .....	43
3.3 Calendario hidroagrícola .....	44
3.4 Caracterización fisicoquímica, bacteriológica y de metales pesados del sitio de en los sistemas agrícolas periurbanos de Tarímbaro .....	47
3.4.1. Caracterización fisicoquímica, bacteriológica y de metales pesados del sitio de estudio ..	47
3.4.2. Ubicación espacial y discusión de parámetros en los SAPs.....	52
<b>Capítulo 4. Conclusiones .....</b>	<b>65</b>
<b>Recomendaciones generales: .....</b>	<b>67</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>69</b>
<b>Anexo .....</b>	<b>71</b>

## Introducción

Hoy en día las aguas residuales, sobre todo las no tratadas, son un foco de atención en los países en desarrollo; debido a la importancia que están adquiriendo para el riego en la agricultura urbana y peri-urbana (Rutkowski, et al., 2006). Esto ocurre en muchas regiones del mundo, y aunque esta práctica tiene ya siglos, es indudable el aumento en el uso de agua de baja calidad para este tipo de agricultura (Scott, Faruqui y Raschid-Sally, 2007; Allen, Dávila, y Hofmann, 2005).

Independientemente de la calidad de las mismas, el uso de las aguas residuales en la agricultura urbana y periurbana es una práctica necesaria y valiosa, en la que se reciclan los desechos de las ciudades debido a que en muchos casos es el único recurso disponible para dicha actividad (Qadir, 2008). Con un adecuado tratamiento, las aguas residuales, son una fuente de nutrientes que favorecen la fertilidad de los suelos y el crecimiento de los cultivos, ayudando a disminuir los costos de producción (Qadir et al., 2007). En este contexto para la agricultura urbana y periurbana, este recurso sin duda es la opción más viable para satisfacer sus necesidades, como las mencionadas anteriormente (Scott et al., 2007). Desde la perspectiva de las condiciones reales de tratamiento, las aguas residuales presentan riesgos en la salud humana, en el suelo, en el ambiente y económicos a largo plazo (Buechler et al., 2006; Krestchmer, 2002).

Por ejemplo, las aguas residuales contienen una serie de contaminantes que reflejan los lugares de donde provienen y si fueron tratadas o no. Además, éstos pueden afectar a las personas que las manejan directamente y a las personas que consumen los productos irrigados con ellas (Buechler et al., 2006). Asimismo, dañan la fertilidad o composición del suelo, afectan la economía de los agricultores al restringir el tipo de cultivo y alteran el ciclo del agua (FAO, 2013). En Latinoamérica por ejemplo, el creciente empleo de estas aguas ha dado origen a la necesidad de regular el uso de este recurso a las prácticas agrícolas. A través de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se han elaborado una serie de guías para este fin (WHO, 2006).

México no es la excepción, puesto que en el país se generan 6.7 miles de millones de m<sup>3</sup> al año de aguas residuales, de las cuales sólo se tratan el 40% (CONAGUA, 2009). A pesar de

que se estima que la cifra aumentará hasta alcanzar los 9.2 miles de millones de m<sup>3</sup> en los próximos 20 años (CONAGUA, 2011), se espera que el tratamiento de aguas residuales supere el 60% (Peña, 2013). En un estudio realizado por Escalante (2001) se calculó que del total de plantas de tratamiento de aguas residuales en operación, el agua residual tratada total utilizada para la agricultura era de 3563 l/s, es decir sólo un 33%. Aunque este estudio tiene ya un poco más de una década, deja claro que en México la proporción de agua residual tratada usada en la agricultura es baja.

## Problema de Investigación

Morelia, capital del estado de Michoacán, es considerada como una ciudad intermedia, la cual ha crecido en población y se ha expandido físicamente hacia sus periferias rurales, en particular hacia el norte en donde ha afectado la parte sur del municipio de Tarímbaro. Este fenómeno ha provocado el aumento en la demanda de agua para satisfacción de las necesidades domésticas, comerciales e industriales de la ciudad y sus zonas aledañas (Ávila, 2007).

No basta con mencionar la presión hídrica para exponer las problemáticas de este recurso. De acuerdo con Ávila (2007) se generaban aproximadamente 2 142 litros/segundo de aguas residuales que se descargan al Río Grande de Morelia. Así, las descargas de este río riegan el Valle de Morelia-Queréndaro<sup>1</sup> y terminan en el Lago de Cuitzeo (Pompa, 1997). Cabe aclarar que en el transcurso sólo existe una planta de tratamiento, que se encuentra en la localidad de Atapaneo, en el municipio de Charo. Dicha planta solo tiene la capacidad de tratar las descargas que se producen dentro del anillo periférico de la ciudad, y no las de la Ciudad Industrial, ubicada al poniente de la ciudad de Morelia, ni de las nuevas colonias que se localizan fuera de dicho anillo; es decir, en la periferia de la ciudad. El esfuerzo de tratar el agua en la planta de Atapaneo se ve afectado, cuando estas aguas se mezclan con las descargas de los municipios por donde sigue su curso el efluente que llega al lago de Cuitzeo (Atapaneo, 2013). Existe, por ejemplo, una industria de celulosa localizada en el sur del

---

<sup>1</sup> El cual se localiza dentro del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro, al noreste del estado de Michoacán. Comprende los municipios de Álvaro Obregón, Copándaro, Charo, Chucándiro, Indaparapeo, Queréndaro, Morelia, Tarímbaro y Zinapécuaro (Rodríguez, 2012).

Municipio de Morelia y, cuyas descargas dan al Río Grande, de la misma manera que la Ciudad Industrial y todas las demás descargas municipales contribuyen con sales y elementos tóxicos (Martínez, 1991 citado en Ávila, 2007; Mejía, 1987 citado en Ávila, 2007; Martínez, et al. 1996). Por lo anterior, se deduce que dichas aguas posiblemente contengan niveles importantes de metales pesados, que no las hacen aptas para el uso agrícola.

El municipio de Tarímbaro es de interés particular para este estudio porque por un lado es el más afectado por la expansión del periurbano de Morelia, y por el otro es un municipio eminentemente agrícola. Tarímbaro produce una cantidad significativa de alimentos para consumo local y regional que van desde las hortalizas hasta el forraje y los granos (Diagnóstico Territorial de Tarímbaro, 2010); de ahí, su importancia económica y alimenticia para la capital del Estado. De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal de Tarímbaro 2013, se destina casi el 60%<sup>2</sup> de su territorio a la agricultura, del cual 4000 hectáreas son de riego, que equivalen aproximadamente al 44%<sup>3</sup> del total de la actividad agrícola. En la agricultura de riego del municipio se emplea diferentes fuentes de agua; por un lado agua de pozos y manantiales con lo que se riegan principalmente las hortalizas, por el otro aguas residuales provenientes de la Ciudad de Morelia para diferentes tipos de cultivos; en particular granos, forraje y alfalfa (Diagnóstico Territorial de Tarímbaro, 2010).

Anteriormente se han hecho estudios fisicoquímicos y de percepción sobre la calidad del agua cerca de la zona<sup>4</sup>; sobre todo se han hecho mediciones de coliformes fecales, algunos parámetros fisicoquímicos y de la presencia de metales pesados. Los resultados de dichos estudios han detectado que la calidad de dichas aguas sobrepasan los límites máximos permisibles de las normas oficiales mexicanas. Sin embargo, estos estudios se realizaron antes de la construcción de la planta de tratamiento de Atapaneo, la cual inició operaciones en el año 2007 (CNA, 2011). En varios sitios de muestreo se tomaron antes de llegar a Tarímbaro o mucho después de pasar el municipio, casi hasta el Lago de Cuitzeo pero no en

---

2 Valor porcentual 58.18%

3 Valor porcentual de 44.4%

<sup>4</sup> a) UMSNH 1991. (Citado en Ávila, 2007 y Entrevista OOAPAS, 2013). b) Romero, 2001 (Citado en García, 2007). Puntos de muestreo: Salidas de la Presa Cointzio, Derivadora de Quirio, Puente la Aldea, Cruce Palo Blanco con Rosa de Castilla, Cruce Río Rectificado con Izirtzimeo y Descarga Dren Central de Queréndaro y Lago de Cuitzeo. c) CNA, 2009 (Citado en García, 2010) Río Grande. d) Martínez et al. 2000. En descargas de aguas residuales de la Industria Papelera.

Tarímbaro. Dada la relevancia de las aguas residuales en este municipio y el desconocimiento de la calidad de las mismas para uso agrícola en este estudio se interesa en analizar la calidad de las aguas residuales que se usan específicamente en Tarímbaro con fines agrícolas.

Bajo dicha problemática se plantea el objetivo general y los específicos que guiarán el desarrollo de la presente investigación.

## Objetivos:

### General

Analizar la calidad de las aguas residuales que se usan para riego en los sistemas agrícolas periurbanos del municipio de Tarímbaro, Michoacán.

### Particulares

- a) Identificar el flujo de las aguas residuales en el municipio de Tarímbaro y las fuentes de contaminación
- b) Identificar la zona de riego y ciclo de uso de las aguas residuales en los sistemas agrícolas
- c) Hacer una caracterización fisicoquímica, bacteriológica y de metales pesados de las aguas residuales que se usan para riego en los sistemas agrícolas periurbanos de Tarímbaro, Michoacán

## Justificación

El conocimiento de la calidad del agua puede ayudar a mejorar la gestión de la misma para uso agrícola en el Municipio de Tarímbaro, específicamente a la Asociación de Productores y Agricultores de Tarímbaro y Álvaro Obregón, (Módulo de Riego 3) la cual opera, administra y conserva la infraestructura dentro de su área. Es decir, a partir de la información generada se pueden tomar medidas de seguridad para prevenir enfermedades en los productores agropecuarios de la zona, así como en los consumidores, por la contaminación de cultivos o de tener contacto directo con tales aguas (Contreras, 2004).

En cuanto al suelo y cultivos, conocer la calidad de las aguas residuales podría ayudar a mejorar los procesos productivos de la agricultura periurbana al optimizar el uso de fertilizantes, herbicidas y pesticidas. Asimismo puede ayudar a determinar efectos de contaminación por metales pesados en los suelos o en el rendimiento de los cultivos, es decir su capacidad de crecimiento óptimo (Flores, 2008).

Además, esto último permitiría conocer los riesgos por contaminación, por ejemplo en los acuíferos, debido a la filtración de sustancias tóxicas en el suelo. Finalmente, la información generada puede ayudar a gestionar y/o mejorar infraestructura hidroagrícola, entre otros aspectos, instalar o adecuar plantas de tratamiento para eliminar los elementos tóxicos en las aguas residuales para la agricultura de la zona (CONAGUA, 2010).

## Capítulo 1.

### 1.1 Crecimiento y Expansión Urbana

El crecimiento poblacional a nivel mundial se ha dado de manera acelerada en los últimos 60 años; en 1959 se rebasaron los 3000 millones y para el año 2011, se alcanzaron los 7000 millones de personas en el mundo (UNFPA, 2011). Según datos de la ONU (2009), un poco más de la mitad de la población mundial total vive en zonas urbanas; ya que para el 2009 se registraron 3 420 millones de habitantes urbanos, lo que significó 50.1%. Si bien la población urbana ha crecido significativamente, la expansión física de las ciudades es la que tiende a crecer más rápido que la población misma. En este sentido, la superficie donde ya hay zonas edificadas de 100000 o más habitantes, la tendencia es que estas superficies aumenten hasta en un 175%, en un plazo de 30 años, del 2000 al 2030 (UNFPA, 2007).

Lo anterior hace evidente la necesidad de diferenciar entre crecimiento urbano y urbanización, dos términos que a pesar de ser usados por muchos autores como sinónimos, no significan lo mismo. “El crecimiento urbano puede ser entendido como la suma de tres procesos: el incremento natural (nacimientos menos muertes), la migración urbana (inmigración menos migración) y la expansión física de las ciudades” (Brockerhoff, 2000; Potter 1992 citado en Méndez, 2007).

Mientras que el proceso de urbanización es el incremento de la proporción de la población urbana de un país en relación a su población total (UN-Habitat, 2010; Satterthwaite, 2010). Esta proporción se considera como el grado o nivel de urbanización, que se mide en porcentaje; mientras que la velocidad a la cual el grado de urbanización cambia, se le conoce como tasa de urbanización (Satterthwaite, 2010).

El hecho de que la población mundial se esté convirtiendo en urbana mayoritariamente, ha surgido a partir de diferentes fenómenos en el mundo (UN-Habitat, 2010).

Uno de estos fenómenos se dispara entre los años de 1940 y 1970 en los Estados Unidos; donde comienzan a expandirse los suburbios. En un principio, estos lugares se encontraban distantes de la ciudad y habitados por gente de clase alta. Sin embargo, después de la segunda guerra mundial, debido a ciertas políticas públicas y al cambio en el *modus vivendi*, la gente de clase media fue ocupando también estos suburbios (Nivón, 2003). Entre algunos motivos

de lo antes mencionado, se debió a la búsqueda de una mejor calidad de vida, a la incorporación del automóvil en la vida del estadounidense y a la expansión de las vías de comunicación (Nivón, 2003; UNFPA, 2007). Este tipo de desarrollo urbano fue creando ciudades con un menor número de habitantes en la zona central y fue favoreciendo una mayor expansión física y demográfica en la periferia urbana, acompañado de más actividades económicas terciarias (Ávila, 2009).

En la década de los setenta, los patrones de crecimiento urbano en la región de Latinoamérica y otras regiones consideradas en desarrollo por la ONU (UNFPA, 2011) fueron dándose a partir de poblaciones de bajos ingresos, las cuáles comenzaron a desplazarse hacia las afueras de las ciudades (Aguilar, 2006). Este mismo proceso se originó en Europa, debido a la desindustrialización de las ciudades; este fenómeno entre otras razones, dio lugar a que las grandes empresas buscaran impulsar estrategias de descentralización en su producción y comercio. De tal manera que se impulsó un proceso de urbanización, en el que además de la movilización de las empresas, varios grupos de familias se mudaron a las afueras. Este movimiento a su vez demandó, un conjunto de servicios para los nuevos habitantes, provocando el florecimiento de la terciarización en las ciudades (De Mattos, 2006).

Para la década de los noventa el fenómeno de la globalización y las políticas de liberación económica provocaron que estas regiones tuvieran una mayor expansión urbana (Lattes, 1995; Mattos, 2006;). Del mismo modo, la globalización y políticas produjeron en la sociedad cierta desigualdad, exclusión, fragmentación, segregación y crecimiento de tugurios; debido al aumento en la rentabilidad del capital a costa de la disminución de los salarios (Aguilar, 2006; De Mattos, 2006).

Para el año 2010, la región latinoamericana constaba de 590 082 millones habitantes (CEPAL, 2012), de los cuáles 465 246 millones fueron considerados como población urbana (CEPAL, 2012), lo cual es casi el 80% de la población total de la región (UN, 2012); lo que la sitúa como la segunda más urbanizada en cuestión de proporción respecto a las demás regiones del mundo (UN-HABITAT, 2008). Fue a principios de los años sesenta cuando la región en su mayoría pasó a ser urbana (UN-2012); sin embargo, cada país ha llevado a cabo diferentes procesos y ritmos de crecimiento poblacional y urbano. Por ejemplo, México ocupaba el tercer lugar en población urbana en 2010, casi el 80% del país se consideraba así, según datos de la ONU-Habitat (2012).

## 1.2 Periurbanización y Sistemas Agrícolas Periurbanos

Las ciudades en la región latinoamericana se han expandido hacia los espacios rurales más próximos a su límite territorial (Ávila, 2009; Dascal y Villagrán, 1995). Este fenómeno ha propiciado el surgimiento de un concepto que permita entender la coexistencia de ambas expresiones, tanto rural, como urbana (Ávila, 2009).

Así surge el término de *periurbanización*, por el cual no existe un consenso; por un lado es explicado como un lugar, por otro, como concepto o como proceso (Narrain, 2010). Esto se debe a las diversas formas en las que se aborda o se visualiza un proceso o en su defecto un territorio, según sea el caso (Phillips, et al. 1999). Así que, la mejor definición que se puede adoptar para explicar la realidad de un lugar, debe ser por sus características propias. En este caso se define a la Periurbanización como un proceso y al lugar o territorio, como el periurbano. Este último se describe como un espacio circundante a una ciudad donde convergen elementos rurales y urbanos en el que se dan flujos e interacciones de actividades y relaciones sociales, políticas, económicas y biofísicas (Allen, 2003 citado en Narrain, 2010; Bowyer-Bower, 2006; Brook y Puroshottoman, 2003; Lacquinta y Drescher, 2001; Shinde, 2006).

En el caso de Latinoamérica estas áreas son muy heterogéneas y habitadas por gente de diferente índole social y económico; y en ciertos casos en los sitios que se asientan pueden hacerlo incluso ilegalmente (Ávila, 2004).

Igualmente, las áreas periurbanas se extienden sobre tierras principalmente agrícolas, las cuáles juegan un papel importante, ya que generan empleo y alimento para consumo local y regional (Ávila, 2004; Dascal y Villagrán, 1995). De hecho, a nivel mundial “*Dos terceras partes de hogares urbanos y periurbanos están involucrados en prácticas agrícolas*” (Ávila, 2004: pg. 112). Por ello, estas áreas tienen ciertas dinámicas particulares, que dan lugar a la agricultura periurbana (Ávila, 2004).

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), este tipo de agricultura se define como: “*La que ocurre alrededor de los límites de las ciudades de todo el mundo e incluye productos de agricultura y ganadería, pesca y silvicultura en el área periurbana. También incluye productos no*

*maderables del bosque, así como servicios ecológicos provistos por la agricultura, pesca y bosque” (FAO, 1999: pg. 9).*

Es necesario describir más la importancia local y regional de la agricultura en el periurbano. Para este fin se adoptará el término de Sistemas Agrícolas Periurbanos (SAPs) haciendo referencia a los sitios dónde se desarrollan actividades agrícolas colindantes a una ciudad (tomando en cuenta el término “periurbano”, que anteriormente se mencionó). Estos sistemas, traen consigo implicaciones sociales, políticas, económicas, biológicas y físicas (Veenhuizen, 2007).

De acuerdo a cierto modo de vida y prácticas culturales que sostienen las comunidades locales en los SAPs, les ha permitido adaptarse más fácilmente a los cambios socioeconómicos y políticos que ocurren en ciertos períodos; en comparación a lo que sucede en otras comunidades más rurales (Canabal, 2000; citado en Ávila, 2004; Veenhuizen, 2007). Los SAPs tienen la capacidad de contribuir a la seguridad alimentaria (Ávila, 2004) y de igual manera se han convertido en medios de vida donde las familias o los productores locales perciben ingresos que sustentan sus vidas, así como sus fuentes de empleos (Ávila, 2004). En algunos casos se consideran sistemas de autoconsumo y como anteriormente se mencionó, son proveedores de productos básicos agrícolas para las ciudades colindantes (FAO-COAG, 1999 citado en Ávila, 2004; Veenhuizen, 2007). Aunque así como proveen productos alimenticios, estos sistemas, también se pueden considerar depósitos de los desechos urbanos; tal es el caso de las aguas residuales domésticas e industriales o como los residuos sólidos urbanos. Los cuáles al final son empleados por los mismos SAPs para su producción agrícola (Buechler et al., 2006; Cofie et al., 2006 citado en Veenhuizen, 2007).

Los espacios en los cuales los SAPs se sitúan, son ambientes conflictivos al enfrentarse a situaciones de presión, sobretodo de las urbes (Ávila, 2009). No sólo es la presión urbana, estos espacios también se ven afectados por la falta de planeación; de hecho, el territorio no urbanizado se va anexando a las áreas urbanas por su valor inmobiliario. En varias ocasiones, los SAPs provocan una competencia entre agricultores, sobre todo los más alejados de las ciudades, ya que éstos deben darle un valor agregado a sus productos para que se logren vender (Ávila, 2009). Una de las situaciones que presentan los SAPs, es que debido a la necesidad del recurso hídrico, la única opción que tienen para satisfacer la falta del recurso

y seguir funcionando, es utilizar las aguas residuales para el riego agrícola (IWMI-CIID, 2003; Qadir, 2008; Cirelli, 2004; Allen et al., 2005).

### 1.3 Las Aguas Residuales en los Sistemas Agrícolas Periurbanos en regiones en desarrollo

El riego con aguas residuales es una práctica antigua, que se ha tornado cada vez más importante, sobre todo para la agricultura periurbana (Buechler et al., 2006; IWMI-CIID, 2003; Van der Hoek et al., 2002). Esto se relaciona con la falta de recursos hídricos, por un lado por las condiciones climatológicas de un sitio que provocan escasez del líquido y por otro, la contaminación del agua provocada por las zonas urbanas. De igual manera, la falta de infraestructura y planeación en el saneamiento de aguas residuales contribuye al uso de aguas residuales en la agricultura periurbana (Ensink et al., 2002; Rutkowski et al., 2006).

De acuerdo a Van der Hoek (2004: pgs.17-18) las aguas residuales son “*Una combinación de algunos o todos los siguientes componentes: el efluente doméstico que consiste en aguas negras (excreta, orina y sólidos relacionados) y aguas grises (aguas residuales de la cocina y baño); agua proveniente de establecimientos comerciales e instituciones, incluyendo los hospitales; el efluente industrial; agua de lluvia y escorrentías urbanas*”.

La cantidad de aguas residuales generadas en América Latina es de aprox. 400 m<sup>3</sup>/ s (Peasy et al., 2000), en el caso particular de México se generan 212 m<sup>3</sup>/s (6.7 miles de millones m<sup>3</sup> al año), según datos de Conagua (2012). Asimismo se calculó que se regaron 500 000 hectáreas agrícolas en América Latina con aguas residuales para el año 2000 (Chanduvi, 2000 citado en Rutkowski et al., 2006), de las cuales 350 000 hectáreas fueron tan sólo de México (Peasy, et al., 2000, citado en Rutkowski et al., 2006).

El uso de las aguas residuales en los SAPs posee ciertas características ambivalentes, ya que por un lado tiene grandes ventajas y por otro, algunos riesgos (Ensink et al., 2002; Buechler, et al., 2006). La ventaja social que comprende esta práctica, es que las aguas residuales son un recurso disponible para el propio funcionamiento de los SAPs (Qadir et al., 2008). En cuanto a las ventajas económicas, debido a la escasez del agua, este recurso hídrico ayuda a reducir costos en el riego (Morillas, 2000); puede también generar un ahorro en la inversión de fertilizantes. Debido a su alto contenido en nutrientes necesarios para los cultivos, ayuda

a que los costos sean bajos en la disposición y eliminación de los residuos urbanos (Ensink et al., 2002). En cuestiones biofísicas, las aguas residuales aportan nutrientes como nitrógeno y fósforo, que aumentan la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos (Kretschmer y Ribbe, 2002); al mismo tiempo el uso de estas aguas pueden convertirse en un medio de conservación del recurso hídrico, por el ahorro al no usar otro tipo de fuentes, así como recargar los acuíferos a través de la infiltración de agua (Kretschmer et al., 2002; Ensink et al., 2002).

Sin embargo, los riesgos que llevan estas aguas en cuestiones biofísicas son muy importantes, ya que tienen una capacidad muy alta de dañar los suelos, debido a las sustancias tóxicas que acarrean, además los excesos en nutrientes, como lo son las sales, que pueden dañar la fertilidad de los mismos. En cuanto a los riesgos en la salud, es necesario considerarlos, ya que estos pueden no sólo dañar a los productores, sino que los cultivos pueden llevar dichas sustancias nocivas hasta los consumidores (Kretschmer et al., 2002; Ensink et al., 2002).

Por lo tanto, las aguas residuales para uso en el riego agrícola, así como para cualquier uso, deberán tener ciertos estándares de calidad la cual se debe conocer para prevenir el deterioro ecológico y asegurar el bienestar de la población (NOM-CCA-032-ECOL/1993). Esto se debe hacer sobre todo por la salud pública, ya que es una de las razones con mayor peso para evaluar la calidad de estas aguas.

#### 1.4 Calidad de las aguas residuales en los Sistemas Agrícolas Periurbanos en México

Al evaluar la calidad de las aguas residuales es necesario medir ciertos parámetros, como los físicoquímicos, bacteriológicos y en algunos otros casos la obtención de índices como el de salinidad y sodio y la presencia de los metales pesados, etc. (NOM-CCA-032-ECOL/1993; Letey, 2003 citado en Cortés et al., 2009).

A continuación se describirán brevemente varios puntos que se involucran en la calidad de las aguas residuales en México, como los factores que la afectan, las repercusiones que tiene su utilización en la salud humana, en la fertilidad del suelo y en los cultivos, así como algunos parámetros e índices que se utilizan para evaluar dicha calidad.

- a) Factores que afectan la calidad de las aguas

La calidad del agua residual estará afectada por diversos factores que tienen que ver con los usos previos del agua, las condiciones climatológicas, infraestructura, tipo de contaminantes y tipo de tratamiento como se describe en la Tabla 1:

*Tabla 1. Factores que afectan la Calidad de las Aguas Residuales*

<b>Factores</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Origen</b>	Industrial
<b>Usos previos del agua</b>	Agropecuario Doméstico
<b>Condiciones climatológicas</b>	Temperatura, precipitación, evaporación
<b>Tipo de infraestructura</b>	Revestimiento de canales Aguas residuales tratadas Aguas residuales crudas
<b>Tipo de contaminante</b>	Bacterias Metales Pesados Salinidad Compuestos orgánicos e inorgánicos
<b>Tipo de tratamiento</b>	Primario Secundario Lodos Estanques

*Fuente: Elaboración propia a partir de: CNA, 2004; Sánchez, Qadir, 2006; Jiménez, 2001*

b) Las repercusiones en la salud

El uso de las aguas residuales para la agricultura representa cierto riesgo a la salud de las personas que tienen contacto directo e indirecto con las mismas. Esto ocurre debido a que las aguas residuales pueden contener virus, bacterias, protozoos y helmintos, los cuáles producen diferentes enfermedades, y se pueden encontrar dependiendo de la región, las condiciones sanitarias y el nivel de tratamiento que se les dé (Duncan y Cairncross, 1990;

WHO, 2006). Algunos de estos patógenos son capaces de sobrevivir al ambiente, incluso multiplicarse, y ser un foco de infección para los seres humanos, a través de diferentes mecanismos. (WHO, 2006). Estos mecanismos pueden ser por contacto directo con dichas aguas y cultivos irrigados, así como su consumo y también de animales y derivados (WHO, 2006).

Uno de los riesgos que existen pueden darse a partir de la orina, heces de animales o de personas. Para tomar en cuenta ciertos estándares en la calidad de agua, una bacteria que se toma en consideración es la *Escherichia coli*, ya que con ella se pueden producir enfermedades como la gastroenteritis (WHO, 2006). Otros de los elementos que pueden ser un problema en la salud, son los metales pesados, debido a que en ciertas concentraciones tienen un gran nivel de toxicidad; aunque la disponibilidad de éstos se deberá principalmente a sus formas químicas, ya que los cultivos tienen ciertas características fisiológicas que colaboran en dicho proceso (Contreras et al., 2004; Mancilla et al., 2011).

c) Las Repercusiones en el suelo y cultivos:

El suelo puede ser afectado por el uso descontrolado o continuo de las aguas residuales, ya que los contaminantes que llegan a él se van acumulando; asimismo los patógenos, los cuáles se transmiten a los cultivos, y a su vez, a los seres humanos (Qadir, 2005 en Qadir, 2006; WHO, 2006). En el caso de los patógenos, pueden permanecer en condiciones muy frías, y si los cultivos se almacenan bajo condiciones de refrigeración pueden hacer más fácil la sobrevivencia de los primeros (WHO, 2006). Asimismo, la presencia de metales pesados en las aguas residuales, es una condición que puede afectar el suelo, debido a que se acumulan en este y en los cultivos (Mancilla et al., 2011).

d) Parámetros<sup>5</sup> que evalúan la calidad de las aguas residuales

En el caso de México se utilizan varios parámetros para medir la calidad de las aguas residuales, es por ello que en la Tabla 2 se hace referencia a éstos y la importancia que tienen para tal fin.

---

<sup>5</sup> Parámetro: Propiedad del agua utilizada para caracterizarla (NMX-AA-089-2-1992)

Tabla 2. Parámetros: su importancia y funcionamiento para medir la calidad de las aguas residuales

Parámetro	Importancia y Funcionamiento	Unidad	Referencias
<b>pH</b>	<p>Es la concentración del ion Hidrógeno, el cuál brinda las condiciones de neutralidad acidez o alcalinidad.</p> <p>Los valores altos o bajos pueden ser tóxicos para organismos acuáticos. Se utiliza para evaluar las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático o para controlar procesos en el tratamiento de aguas residuales como precipitación, floculación, sistemas biológicos anaerobios, desinfección, porque la velocidad de las reacciones depende de éste. En las descargas domésticas el pH, tiende a ser alcalino, va entre valores de 7 y 8; mientras que en las descargas industriales se esperarían valores más ácidos o básicos, dependiendo de los reactivos empleados. En cualquier caso son perjudiciales para las cañerías, equipos de bombeo e impactan en los sitios de disposición final.</p>	pH 1-146	<p>Aguilar (coord.), 2010; NMX-AA-008-SCFI-2011; Jiménez, 2001</p>
<b>Oxígeno Disuelto (OD)</b>	<p>El OD variará dependiendo de varios factores y reacciones que tenga con la atmósfera, microorganismos, plantas. Así como la temperatura y altitud, ya que el agua tiene mayores concentraciones de OD en altas temperaturas.</p>	mg/ L	<p>NMX-AA-012-SCFI-2001 y EPA, 2012 (<a href="http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms52.cfm">http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms52.cfm</a>)</p>

<sup>6</sup> (1-6: ácido; 7- neutro; 8-9 alcalino o básico) Rango normal apto para cultivos en general 6.5-8.4 (Ayers y Wescott, 1985).

*Tabla 2 (continuación). Parámetros: su importancia y funcionamiento para medir la calidad de las aguas residuales*

<p><b>Alcalinidad</b></p>	<p>Es la forma en que se mide la capacidad del agua para neutralizar contaminantes ácidos. Es decir, que los compuestos alcalinos como los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos pueden bajar la acidez del agua (lo que incrementa el valor del pH). Un nivel alto de alcalinidad puede ser negativo para los cultivos, dependiendo de la composición química. Las aguas domésticas tienden a tener de 50- 200 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. Uno de los efectos de la alcalinidad es la reacción con ciertos cationes del agua y estos forman precipitados.</p>	<p>CaCO<sub>3</sub> en mg /L</p>	<p>EPA, 2012; Jiménez, 2001</p>
<p><b>Dureza</b></p>	<p>La dureza está relacionada con la presencia de sales de los iones calcio y magnesio. La dureza es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales. Las aguas duras contienen de 150- 300 mg/L, éstas son buenas para la irrigación, conocidas como cálcicas o magnésicas.</p>	<p>mg/L (CaCO<sub>3</sub>)</p>	<p>NMX-AA-072- SCFI-2001; Jiménez, 2001</p>
<p><b>Temperatura</b></p>	<p>La temperatura influye en la actividad biológica, química y física en el agua, afectando los tratamientos y el abastecimiento para el agua. Se necesita medir la temperatura para identificar la presencia de compuestos y contaminantes en el agua. Además, es un criterio de calidad del agua establecido como límite máximo permitido en las descargas de agua residuales. Normalmente las aguas residuales tienen temperaturas más altas que el agua potable, por los vertidos de agua caliente provenientes de las casas y las actividades industriales.</p>	<p>°C</p>	<p>NMX-AA-007- SCFI-2000; Jiménez, 2001</p>
<p><b>Conductividad Eléctrica</b></p>	<p>Es la representación de la capacidad de una solución para transportar corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura; además, es un buen indicador de contaminación en los cuerpos de agua. Generalmente los ácidos, las bases y las sales son buenas conductoras.</p>	<p>μS/ cm</p>	<p>NMX-AA-093- SCFI-2000; Jiménez, 2001</p>

*Tabla 2 (continuación). Parámetros: su importancia y funcionamiento para medir la calidad de las aguas residuales*

<p><b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b></p>	<p>Son sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en un elemento filtrante. Dichos sólidos pueden originar la formación de un área expuesta a adsorber químicos o materia orgánica que degrade la calidad del agua. Estas afectan las actividades agrícolas porque taponan el suelo debido a su retención en la superficie, disminuyen infiltración del suelo e impiden la germinación de las semillas</p> <p>La deposición de estos en las hojas inhibe la actividad fotosintética, disminuye el crecimiento y la comerciabilidad de los cultivos, tapa los aspersores y acelera el uso de los sistemas de riego. Además la materia en suspensión favorece el crecimiento de microorganismos que agravan los problemas ya mencionados. Por otro lado, en suelos arenosos o con poca materia orgánica puede ser benéfica, ya que puede mejorar la estructura e incrementa la capacidad de retención de agua.</p> <p>La remoción de los SST del agua para el riego agrícola es muy costosa, pero el uso de embalses, presa o estanque puede ser favorable.</p>	<p>mg/L</p>	<p>NMX-AA-034-SCFI-2001; Jiménez, 2001.</p>
<p><b>Sólidos Sedimentables (SS)</b></p>	<p>Materiales que se detectan en el fondo de un recipiente debido a la sedimentación de estos; los cuales pueden ser removidos por desarenación o sedimentación primaria.</p> <p>Las aguas naturales, residuales o residuales tratadas con altos contenidos de sólidos sedimentables no pueden ser utilizadas en forma directa por las industrias o las plantas potabilizadoras.</p>	<p>ml/ L</p>	<p>NMX-AA-004-SCFI-2000; Jiménez , 2001</p>
<p><b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b></p>	<p>Materia orgánica e inorgánica e un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.</p>	<p>mg/L</p>	<p>NMX-AA-030-SCFI-2001</p>
<p><b>Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 (DBO5)</b></p>	<p>Es la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos degraden materia orgánica en un lapso de cinco días a 20° C; bajo la inhibición de procesos fotosintéticos. Este mide a todos los compuestos biodegradables.</p> <p>El agua residual doméstica oscila entre 200 y 300 mg/L. Este parámetro es importante para el tratamiento de aguas residuales.</p>	<p>mg/L</p>	<p>NMX-AA-028-SCFI-2001 y Jiménez, 2001</p>

Tabla 2(continuación). Parámetros: su importancia y funcionamiento para medir la calidad de las aguas residuales

<p><b>Bacterias (Coliformes totales y <i>E. coli</i>)</b></p>	<p>La <i>E. coli</i> es un coliforme que se utiliza como indicador de contaminación fecal. La USEPA<sup>7</sup> reconoce a ésta como el mejor indicador de riesgo a la salud en agua potable, y es más recomendable que probar en coliformes fecales. El grupo de los coliformes fecales representa aproximadamente el 90% de los coliformes totales en las excretas humanas. Los coliformes fecales revelan contaminación en el agua y posiblemente presencia de patógenos.</p>	<p>No. <i>E.coli</i>/ 100 ml Y No.Coliformes/ mL</p>	<p>Micrology Laboratories; Jiménez, 2001</p>
<p><b>Metales pesados<sup>8</sup></b></p>	<p>Son necesarios para los seres vivos, sin embargo, pueden llegar a ser tóxicos, ya que se acumulan rápidamente y pueden ser difícil de eliminar (Jiménez, 2001). El efecto de éstos, se debe más a sus formas disponibles, que a sus concentraciones y la capacidad de plantas y cultivos para absorberlos (Rosas, 2001); aunque esto no se acumularán sin antes haber sobrepasado la capacidad del mismo suelo (WHO, 2006). Los metales pesados, pueden asociarse con otros minerales como carbonatos, sulfatos y otros y se ligan al suelo con un pH arriba de 6.5 y/ con un alto contenido de materia orgánica (WHO, 2006). Sin embargo, los vertidos que más daño podrían causar a los cultivos, son los industriales, más que los domésticos (WHO, 2006).</p>		<p>WHO, 2006; Jiménez, 2001; Rosas, 2001.</p>

<sup>7</sup> United States Environmental Protection Agency

<sup>8</sup> Químicamente se entiende por metal pesado aquel cuya densidad es mayor a 5 g/cm<sup>3</sup>, pero la costumbre ha hecho que la connotación se emplee para los que son tóxicos y que abarcan los grupos de transición y postransición (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn); al igual que los metaloides (As y Se)

Tabla 2(continuación). Parámetros: su importancia y funcionamiento para medir la calidad de las aguas residuales

<p><b>Cationes y Aniones</b></p>	<p>Para caracterizar mejor el agua residual se mide la concentración de ciertos elementos como los cationes y aniones, debido a que la interacción entre estos, determina las características químicas del agua (Tchobanoglous y Schroeder, 1985, citado en Aguilar, 2009).</p> <p>Algunos cationes identificados pueden ser el Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio y Litio, mientras que los aniones pueden ser como Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Nitrato, Bromuro, Fosfato y Sulfato. Por ejemplo, el sodio (Na) en exceso puede afectar el suelo. El calcio (Ca) y magnesio (Mg), forman parte de la estructura del suelo. En cuanto a los aniones, el Fluoruro, por ejemplo, es un elemento deseable en el agua, mientras que el Cloruro corroe los metales de los sistemas de distribución. El sulfato, también puede corroer metales e incluso el concreto.</p>		<p>Jiménez, 2001; EPA, 1993</p>
<p><b>Relación Adsorción Sodio (RAS)</b></p>	<p>La calidad del agua de riego, además de los parámetros anteriores, también se puede determinar a partir de la RAS. Esto, debido a que iones como calcio (Ca) y magnesio (Mg), forman parte de la estructura del suelo, pero al regarse con aguas con altos contenidos de sodio (Na) intercambiable, puede hacer que el suelo se vuelva impermeable, bajo ciertas reacciones. Este riesgo, puede ser medido a través del RAS (<math>RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}</math>) y salinidad del agua.</p> <p>A partir de la RAS y la Conductividad Eléctrica, se puede obtener una Clasificación de Agua de Riego por Peligro de Salinidad y Sodicidad, de acuerdo a Richards 1954 (Ver tabla en Anexo). En esta clasificación hay cuatro categorías y se pueden obtener 16 combinaciones.</p> <p>Todo ello, con el fin de obtener una clasificación del agua de riego en cuanto a obtener un índice que explique mejor la concentración de sales o iones que podrían perjudicar los suelos agrícolas.</p>	<p>Richards 1954 (Ver tabla en Anexo).</p>	<p>Ayers y Westcot, 1985, citado en Cortés et al., 2009; Cortés et al., 2009.</p>

A partir de este marco se pretende abordar el proceso de la investigación para dar un panorama general de la calidad de las aguas residuales utilizadas en los sistemas agrícolas periurbanos en Tarímbaro Michoacán.

<sup>9</sup> INIFAP, 2009

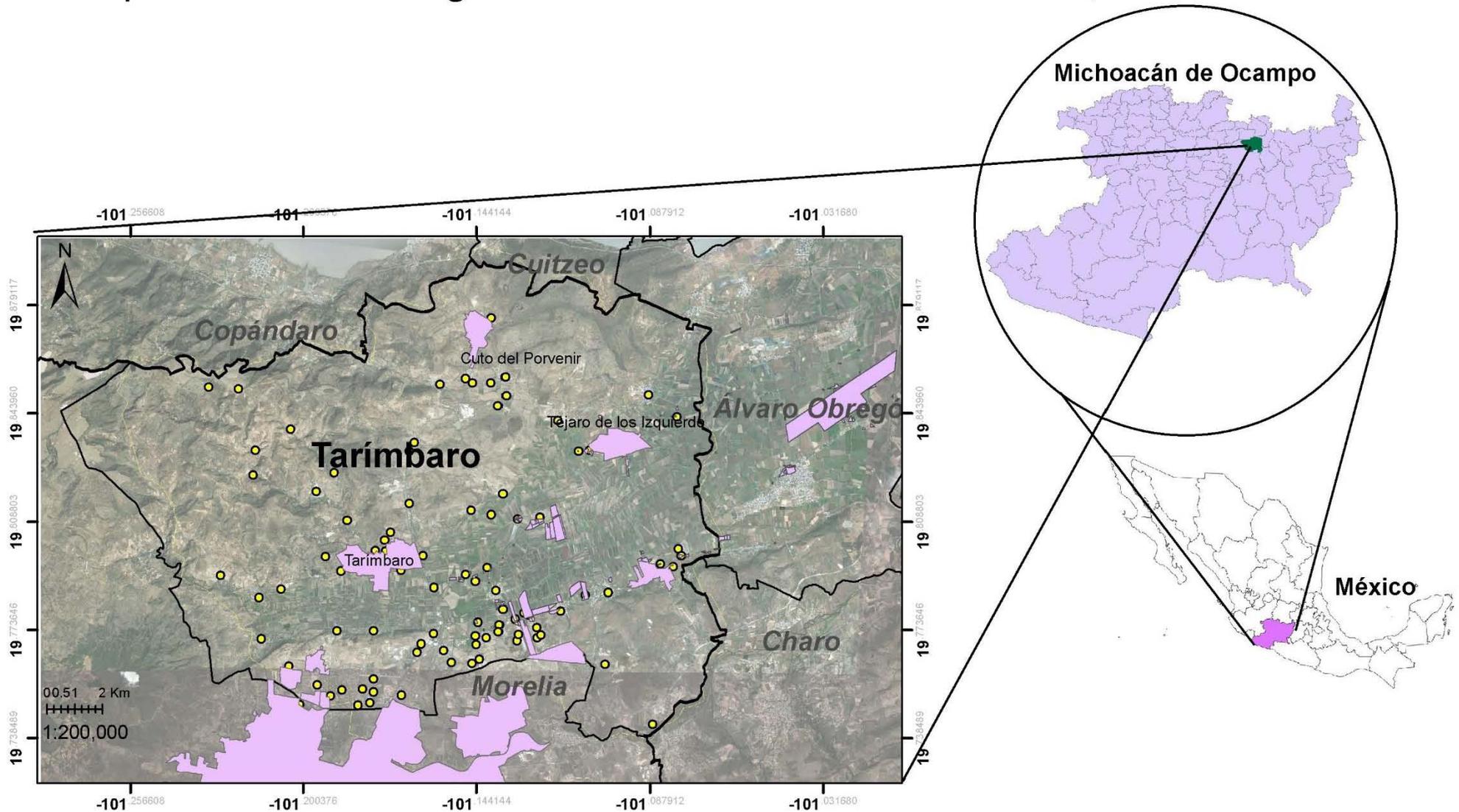
## Capítulo 2: Proceso Metodológico

### 2.1 Área de Estudio:

#### 2.1.1 Ubicación Geográfica

El sitio de estudio de este trabajo se ubica dentro del municipio de Tarímbaro, Michoacán (Mapa 1). El cuál se localiza al norte del estado, en las coordenadas geográficas de 19° 48° Latitud Norte y en 101° 10° Longitud Oeste; colindando al Norte con los municipios de Copándaro y Cuitzeo, al sur con Morelia y Charo, del lado este con Álvaro Obregón y del lado oeste con Chucándiro (Diagnóstico Territorial Tarímbaro, 2010). (INEGI, 2009). Su extensión territorial es de 258.57 kilómetros cuadrados (Plan de Desarrollo Municipal Tarímbaro, 2012).

# Mapa 1. Sistemas Agrícolas Periurbanos de Tarímbaro, Michoacán



Referencias Cartográficas:  
Marco Geoestadístico 2010 INEGI  
Fotografía Aérea digital de 2010 de Google Earth  
Elaboración: Aída Figueroa Pasos  
Edición Cartográfica: Módulo de Riego 03  
"Asociación de productores y agricultores de  
Tarímbaro y Álvaro Obregón"

Leyenda  
Tipo de Poblaciones

- Localidades urbanas
- Localidades rurales
- Límite Municipal

### 2.1.2 Condiciones Biofísicas

El municipio de Tarímbaro oscila entre los 1900 y 2400 msnm. El rango de su temperatura fluctúa entre los 16 ° a 18 ° C y tiene un rango de precipitación de 600 a 800 mm al año, asimismo mantiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw).

Tarímbaro pertenece a la región hidrológica 12 Lerma-Santiago. En las cuencas de L. de Pátzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriria. Sus ríos principales son el Río San Marcos, el Río Grande, el Río Viejo y el Río Joconoles (INEGI, 2009). Los suelos más abundantes del municipio son phaeozem (55.41%), vertisol (40.07%), luvisol (1.94%) y leptosol (0.15%) (INEGI, 2009). El uso de suelo del municipio se divide en agricultura (58.18%), zona urbana (2.32%) vegetación: selva (22.53%), pastizal (16.40%) y bosque (0.46%). (Diagnóstico Territorial Tarímbaro, 2010).

### 2.1.3 Condiciones Socioeconómicas

El municipio de Tarímbaro se divide en 74 asentamientos urbanos, 3 Tenencias y la Cabecera Municipal (Plan de Desarrollo Municipal de Tarímbaro, 2012). En el 2010 contaba con una población de 78 623 habitantes (INEGI, 2010).

Tarímbaro se considera un municipio agrícola, el cual dedica cinco mil hectáreas a la agricultura de temporal, mientras que cuatro mil hectáreas son de riego (Plan de Desarrollo Municipal Tarímbaro, 2012). Entre sus principales cultivos se encuentran: Maíz, Hortalizas, Forrajes, Sorgo, Flores y Trigo (Diagnóstico Territorial Tarímbaro, 2010).

## 2.2 Diseño de Investigación

Para alcanzar los objetivos de esta investigación, se planeó dividirla en dos etapas las cuales se describen a continuación.

### 2.2.1 Etapa 1. Identificación del flujo, ciclo del uso y área de irrigación de las aguas residuales (AR) en Tarímbaro

Dentro de esta etapa se alcanzaron los dos primeros objetivos particulares planteados en esta investigación. Para obtenerlos, se describen en los siguientes diagramas.

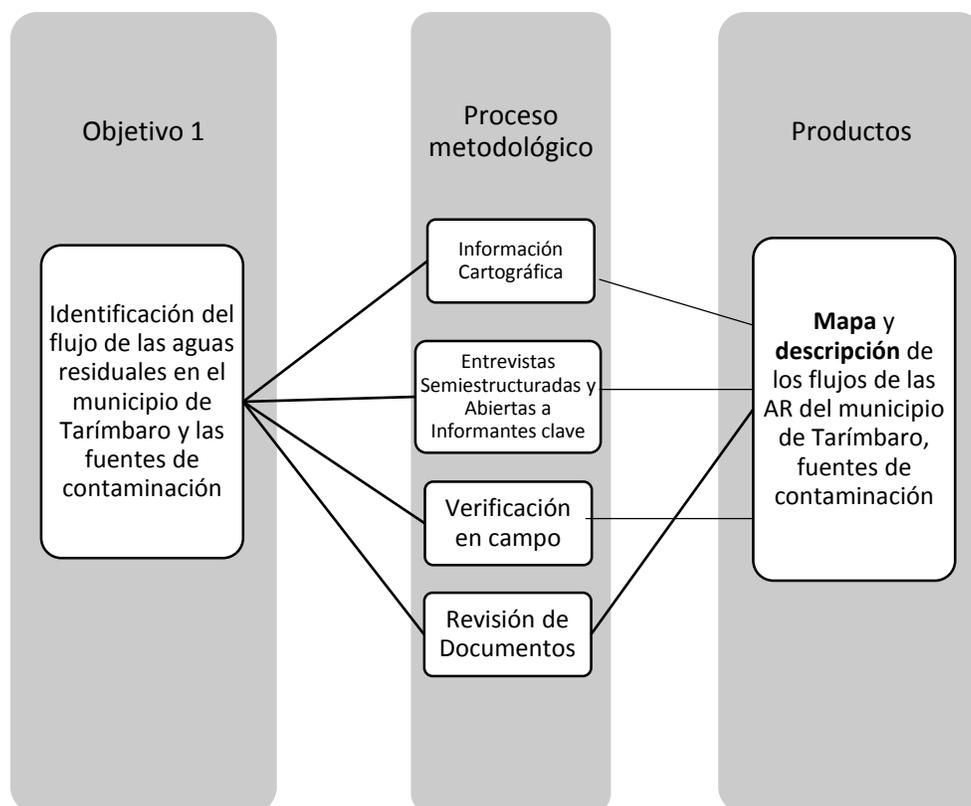


Figura 1. Diagrama del Objetivo 1. Fuente: Elaboración propia

### a) Identificación del flujo de AR en Tarímbaro

De acuerdo al **objetivo 1**, se identificó el flujo de las aguas residuales en el municipio de Tarímbaro y las principales fuentes de contaminación. A partir de este proceso se obtuvo un mapa y se describieron brevemente los sitios más importantes dentro de este flujo.

### b) Identificación de la zona de riego de AR Tarímbaro

Para alcanzar el **objetivo 2**, se describió brevemente el área de irrigación, los ciclos de uso de las aguas para riego de ciertos cultivos de otoño-invierno, asimismo, se elaboró un calendario hidroagrícola para representar gráficamente este planteamiento y ubicar la fecha de muestreo que posteriormente se explicará en la segunda etapa.

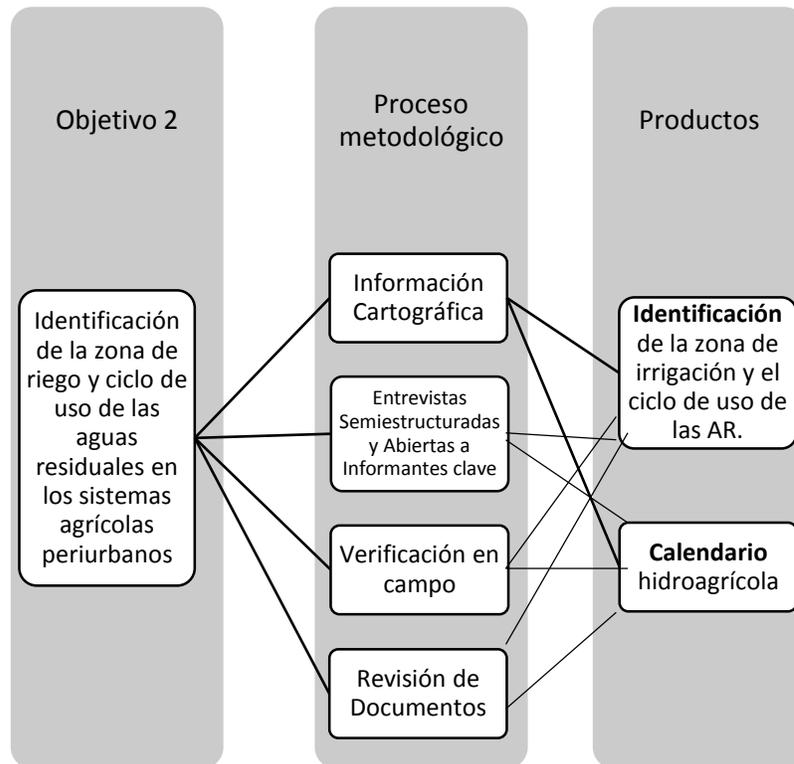


Figura 2. Diagrama del Objetivo 2. Fuente: Elaboración propia

## Métodos

Para obtener los resultados de los Objetivos 1 y 2 se emplearon los siguientes métodos:

a) Información cartográfica: Para elaborar el mapa se utilizaron insumos de tres principales fuentes; un archivo vector en formato shapefile del Módulo de Riego 03 (2012), una imagen satelital de Google Earth 2010 y el Marco Geoestadístico 2010 del INEGI. Dicho mapa se elaboró en el Sistema de Información Geográfica ARC GIS 9.3 a una escala de trabajo de 1:25000. Se sobrepusieron las tres capas de información antes mencionadas, resaltando los sitios más importantes dentro del flujo de las aguas residuales (Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Atapaneo, canales y drenes principales, el Río Grande, municipios colindantes de Tarímbaro y el área de irrigación con aguas residuales). La información

obtenida a partir de puntos que se mencionan adelante (entrevistas semiestructuradas y abiertas, verificación en campo y revisión de literatura). Al elaborar este mapa se pretendió ubicar la zona dentro del municipio de Tarímbaro que utiliza aguas residuales, contando con la ayuda de la información de las entrevistas. Finalmente, al sobrelapar las capas se encontró que la zona oriente es la que más recurre al uso de estas aguas.

b) Entrevista semiestructurada: Se llevó a cabo una entrevista semiestructurada (*Anexo 2*) a un informante clave del Módulo de Riego 3 “Asociación de Productores y agricultores de Tarímbaro y Álvaro Obregón”. En dicha entrevista se utilizó un mapa para que los informantes pudieran ubicar gráficamente la información.

c) Entrevistas abiertas: Se realizaron tres entrevistas abiertas a informantes clave: el Secretario de Desarrollo Rural de Tarímbaro, en el año 2012; el encargado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Atapaneo en el mes de enero del 2013; esta última entrevista se elaboró dentro de una visita guiada a la planta. La tercera se hizo al encargado de Calidad de Agua en el Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia, en el año 2013.

d) Verificación en campo: Se realizaron dos salidas de campo, una el 7 y la otra el 14 de agosto del 2012. El propósito fue verificar la ubicación y el flujo de los canales, drenes y ríos, previamente identificados. Para ello se empleó un GPS, un mapa del municipio de Tarímbaro con la capa de carreteras, corrientes principales y localidades. Los sitios importantes se marcaron y describieron brevemente en el GPS y en el mapa.

e) Revisión de documentos:

**Obj. P. 1:** Se llevó a cabo revisión de literatura (Ávila, 2007, Pompa, 2009; García, 2007) sobre la zona de estudio, para complementar la información obtenida de las entrevistas y la verificación en campo sobre el flujo de las aguas residuales.

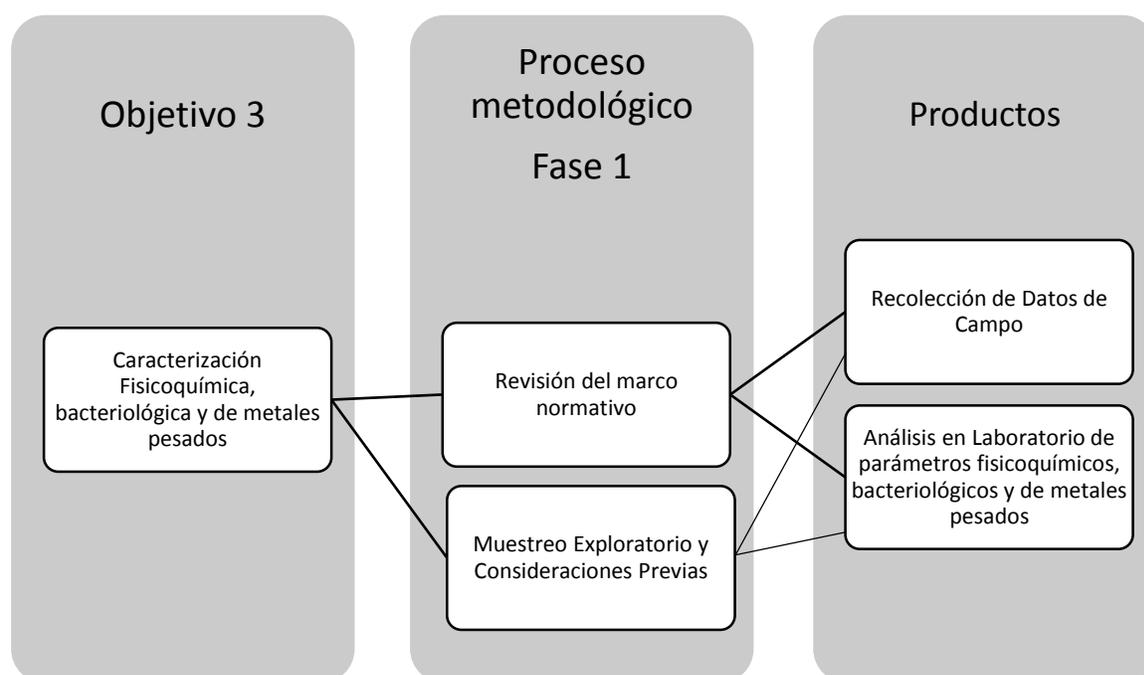
**Obj. P. 2:** Para describir el área de irrigación y elaborar el calendario hidroagrícola se tomó en cuenta el Diagnóstico Territorial de Tarímbaro (2010); proporcionado por la Secretaría de Desarrollo Rural de Tarímbaro; además se revisó el Plan de Riegos 2012 que fue dado por el Módulo de Riego No. 3. En dichos documentos se informa sobre los cultivos que son regados por aguas residuales, las fechas y tipo de fuentes de las aguas residuales y los sitios donde se usan.

### 2.2.2 Etapa 2. Hacer una caracterización fisicoquímica, bacteriológica y de metales pesados de las aguas residuales que se usan para riego en los sistemas agrícolas periurbanos de Tarímbaro, Michoacán

En esta etapa se analizó la calidad de las aguas residuales en los sistemas agrícolas del municipio de Tarímbaro. Dicho análisis se realizó en dos fases: la primera fue la obtención de datos y la segundo, el análisis de los mismos.

#### Fase 1 Obtención de resultados

Para hacer la recolección de datos en campo y laboratorio, se tomaron ciertas consideraciones con base en información previa, así como en la normatividad mexicana (Figura 2).



*Figura 2. Diagrama sobre la obtención de datos para el análisis de las AR. Fuente: Elaboración propia*

Como primer paso, se tomaron en consideración los resultados obtenidos en la primera etapa, ya que fueron esenciales para identificar el área de irrigación y los puntos de muestreo. Para definir los parámetros de campo, y entender sus principios y normas, se tomó en cuenta el

marco normativo mexicano (Tabla 3 y 4), así como el método Coliscan® Easygel® Microbiology laboratories, LLC para los análisis de bacterias.

*Tabla 3. Parámetros obtenidos en Campo, sus Principios, Normas y Materiales empleados.*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Parámetro en Campo</b>	<b>Principio y Norma</b>	<b>Materiales</b>
<b>Temperatura del Agua y Aire</b>	El principio se basa en las propiedades de la materia de dilatarse o contraerse con los cambios de temperatura o a propiedades eléctricas y físicas de los materiales con los que se realizará la medición; estas propiedades son siempre las mismas para una temperatura dada lo que permite graduar los instrumentos de medición. La temperatura se mide con un instrumento debidamente calibrado y debe efectuarse en el lugar de muestreo <b>(NMX-AA-007-SCFI-2000)</b>	Multiparamétrico marca y modelo HACH HQd/IntelliCAL™  Termómetro de alcohol
<b>Ph</b>	El método se fundamenta en la existencia de una diferencia de potencial entre las dos caras de una membrana de vidrio, expuestas a disoluciones acuosas que difieren en su valor de pH. En primera aproximación, a temperatura constante, la magnitud de esta diferencia de potencial es directamente proporcional a la diferencia de pH entre dichas disoluciones. En este método, se efectúa la determinación electrométrica del pH con base en la definición operacional antes expuesta. Sin embargo, en lugar de utilizar el electrodo de hidrógeno, se utiliza el electrodo de membrana de vidrio y un electrodo de referencia comercial. Debido a que el electrodo de vidrio y los electrodos de referencia comerciales tienen un comportamiento imperfecto, es preciso calibrar el dispositivo de determinación del pH con dos disoluciones patrón. <b>(NMX-AA-008-SCFI-2000)</b>	Multiparamétrico marca y modelo HACH HQd/IntelliCAL™
<b>Conductividad Eléctrica</b>	Este método se basa en la propiedad que adquiere el agua de conducir la corriente eléctrica cuando tiene iones disueltos. La conducción de la corriente eléctrica en agua, puede explicarse por medio de la disociación electrolítica. <b>(NMX-AA-093-SCFI-2000)</b>	Multiparamétrico marca y modelo HACH HQd/IntelliCAL™
<b>Oxígeno Disuelto</b>	En el método electrométrico los electrodos de membrana sensible al oxígeno, ya sean galvánicos o polarizados están constituidos por dos electrodos de metal en contacto con un electrolito soporte, separado de la disolución de muestra por medio de una membrana selectiva. <b>(NMX-AA-012-SCFI-2001)</b>	Multiparamétrico marca y modelo HACH HQd/IntelliCAL™

Tabla 4. Parámetros obtenidos en Laboratorio, sus Principios, Normas y Materiales empleados Fuente: Elaboración propia

<b>Parámetro en Laboratorio</b>	<b>Principio y Norma</b>	<b>Materiales</b>
<b>Turbidez</b>	Este método se basa en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas y la intensidad de luz dispersada por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones; a mayor dispersión de luz corresponde una mayor turbiedad. Las lecturas son realizadas empleando un turbidímetro calibrado con una suspensión de referencia de formacina preparada bajo condiciones específicas. El polímero de formacina ha sido elegido como referencia debido a que es fácil de preparar y en cuanto a sus propiedades de dispersión de luz es más reproducible que otros como arcilla o agua turbia natural. La turbiedad de una suspensión de concentración específica de formacina se define como el equivalente a 40 UNT, esta suspensión tiene una turbiedad aproximada de 40 unidades Jackson si se determina en el turbidímetro de bujía, por lo tanto las unidades nefelométricas basadas en el empleo de formacina se aproximarán a las unidades del turbidímetro de bujía pero no serán idénticas. El aparato empleado en esta determinación consiste en un nefelómetro con una fuente de luz para iluminar la muestra y uno o varios detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la dirección del haz de luz incidente <b>(NMX-AA-038-SCFI-2001)</b>	Turbidímetro: Modelo y marca HACH 2100N
<b>Dureza</b>	El método se basa en la formación de complejos por la sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético con los iones calcio y magnesio. El método consiste en una valoración empleando un indicador visual de punto final, el negro de eriocromo T, que es de color rojo en la presencia de calcio y magnesio y vira a azul cuando estos se encuentran acomplejados o ausentes. El complejo del EDTA con el calcio y el magnesio es más fuerte que el que estos iones forman con el negro de eriocromo T, de manera que la competencia por los iones se desplaza hacia la formación de los complejos con EDTA desapareciendo el color rojo de la disolución y tornándose azul <b>(NMX-AA-072-SCFI-2001)</b>	Equipo, Material, Reactivos y patrones indicados en la Norma: <b>(NMX-AA-072-SCFI-2001)</b>
<b>Alcalinidad</b>	Este método está basado en la medición de la acidez o alcalinidad en el agua por medio de una valoración de la muestra empleando como disolución valorante un álcali o un ácido según sea el caso de concentración perfectamente conocida <b>(NMX-AA-036-SCFI-2001)</b> .	Equipo Marca y Modelo: Metro OHM - 848 Titrimo Plus
<b>Sólidos Sedimentables</b>	La materia sedimentable se define como la cantidad de sólidos que en un tiempo determinado se depositan en el fondo de un recipiente en condiciones estáticas. El método propuesto es volumétrico <b>(NMX-AA-004-SCFI-2000)</b> .	Materiales indicados en la norma: <b>NMX-AA-004-SCFI-2000</b>
<b>Sólidos suspendidos Totales</b>	El principio de este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas así como la cantidad de materia orgánica contenidos en aguas naturales y residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas	Materiales y Reactivos indicados en la Norma: <b>NMX-AA-034-SCFI-2001</b>

	específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos (NMX-AA-034-SCFI-2001).	
<b>DQO</b>	Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotométricamente para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente (NMX-AA-030-SCFI-2001).	Digestión de la muestra usando un reactor, Marca y Modelo: HACH DRB200 Y Espectrofotómetro Marca y Modelo HACH DR5000
<b>DBO5</b>	El método se basa en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C.	Sistema de Incubación, con sistema de agitación inductiva, Marca y Modelo: WTW- OXITOP® BOX
<b>Aniones</b>	METHOD 300.1 DETERMINATION OF INORGANIC ANIONS IN DRINKING WATER BY ION CHROMATOGRAPHY	Cromatógrafo , Marca y Modelo: MetrOHM 883 Basic IC Plus.
<b>Cationes</b>	Standard Test Method for Determination of Dissolved Alkali and Alkaline Earth Cations and Ammonium in Water and Wastewater by Ion Chromatography	Este se calibró con soluciones multielemento con (6) niveles de concentración
<b>Bacterias (E. Coli y Coliformes Totales)</b>	Se utilizó la prueba de Easygel, el cuál es una prueba de calidad de agua que utiliza el método del sustrato de una enzima para proveer bacterias de Coliformes totales y E. Coli, presentes en una muestra entre 0.5 mL y 5 mL, dependiendo de la calidad microbiológica de la muestra de agua. (Chuang, et al., 2011)	Coliscan® Easygel® Incubadora BINDER
<b>Metales pesados</b>	Estos análisis se realizaron bajo los estándares de calidad del Laboratorio de Físicoquímica Marina en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM	a) Digestión de Microondas b) ICP Masas

b) Asimismo, se realizó un muestreo exploratorio de la descarga de aguas residuales de la ciudad de Morelia, en diferentes sitios de los canales en Tarímbaro, Michoacán. Dicho muestreo tuvo el propósito de evaluar las condiciones físicas de los sitios, de los cuáles se pretendía tomar los datos. Este muestreo se llevó a cabo el 13 de noviembre del 2012 en tres puntos seleccionados (Anexo 3), en el que se midieron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. A partir de la información que se obtuvo del muestreo exploratorio, se establecieron 10 puntos de toma de muestras, bajo las siguientes consideraciones:

- Las recomendaciones en las entrevistas
- Distribución medianamente equitativa a lo largo del canal (Río Joconoles)

- Accesibilidad al sitio
- Toma de muestra en sitios con suficiente agua, para no tomar sedimentos
- La toma de las muestras se realizó únicamente de las descargas de aguas residuales, ya que el muestreo se realizó antes del 1 de enero 2013, fecha en la que se abren las compuertas de la Presa de Cointzio
- Los lineamientos de las normas mexicanas de muestreo en cuerpos receptores NMX—AA—014-1980

c) La colecta de datos se realizó el 5 de diciembre del 2012, en 10 puntos estratégicos en la zona de riego de aguas residuales en Tarímbaro (Tabla 5) con las consideraciones antes expuestas.

*Tabla 5. Sitios de Muestreo*

<b>CLAVE</b>	<b>SITIO DE MUESTREO</b>
<b>S1</b>	Uruétaro
<b>S2</b>	Cuitzillo El Grande
<b>S3</b>	La Palma
<b>S4</b>	La Corona
<b>S5</b>	Por la Magdalena
<b>S6</b>	Termina Canal
<b>S7</b>	El Altozano
<b>S8</b>	Cruce con Río Viejo
<b>S9</b>	Paraíso Escondido (El Lometón)
<b>S10</b>	Téjaro

*Fuente: elaboración propia*

d) En la recolección de datos, se identificaron las muestras y se tomaron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, unos se obtuvieron directamente en campo y otros en el laboratorio. (Figura 3).

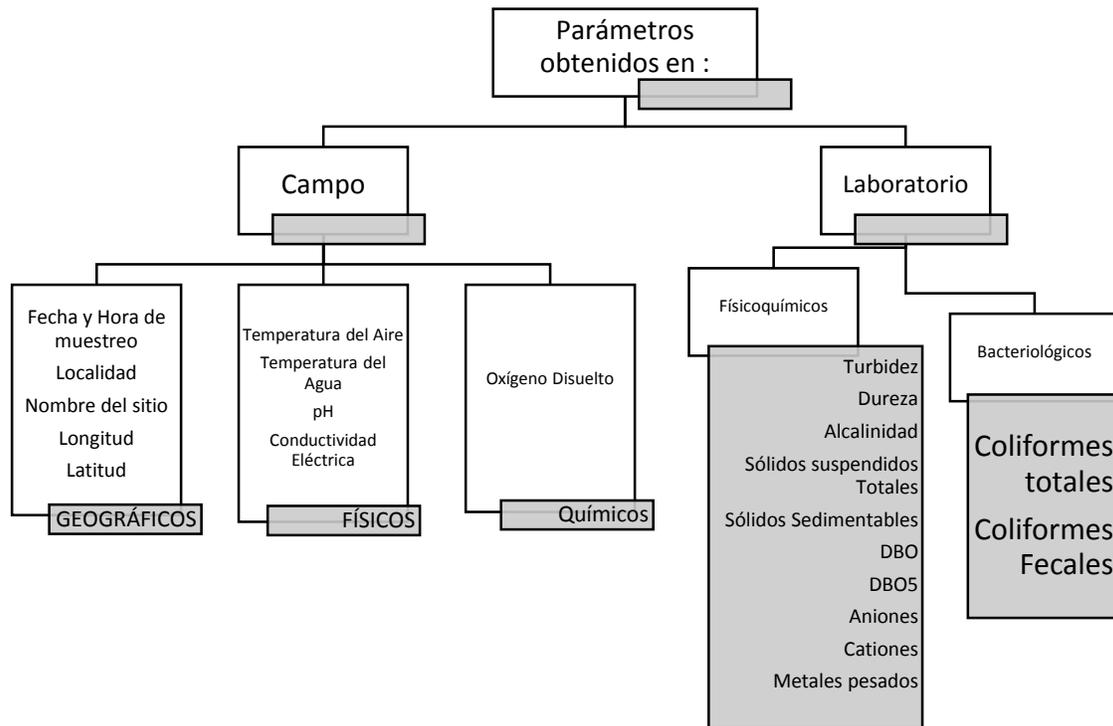


Figura 3. Parámetros y Datos obtenidos en Campo y en Laboratorio para el análisis de las aguas residuales. Fuente: Elaboración propia

Se elaboró un formato para registrar los valores obtenidos en campo (Anexo 4) los cuáles se dividen en:

- Datos geográficos: Fecha de muestreo, hora de muestreo, localidad, sitio de muestreo (Nombre), longitud, latitud.
- Datos Físico-Químicos: Temperatura del aire, temperatura del agua, ph, CE, Oxígeno disuelto, ancho del transecto, en algunos se midió la velocidad.
- Se midieron los parámetros de pH, temperatura del agua, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto utilizando el multiparamétrico marca y modelo HACH

HQd/IntelliCAL™, respectivamente. Se siguieron las instrucciones del manual de operación del equipo para asegurar la calidad de los datos. La temperatura del aire se midió utilizando un termómetro de alcohol

## Fase 2: Análisis de Datos

Esta fase se describe en los siguientes procesos y productos (Figura 4).

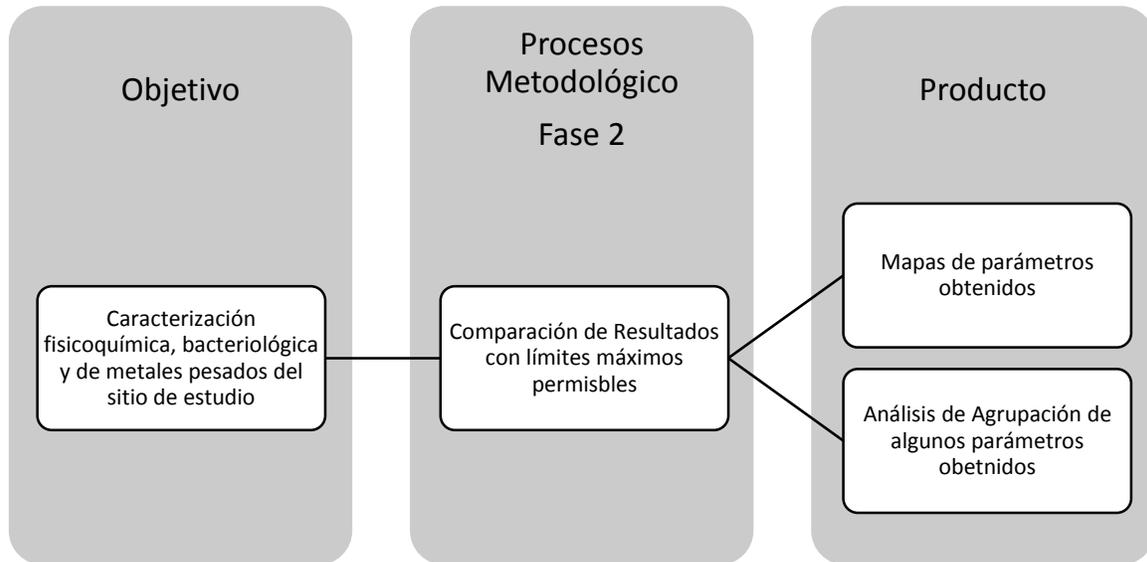


Figura 4: Diagrama de flujo del análisis de datos. Fuente: Elaboración propia.

- a) Después de la obtención de resultados, se hizo una caracterización fisicoquímica y bacteriológica del sitio de estudio.
- b) A partir de dicha caracterización, se compararon los resultados de los parámetros con los límites máximos permisibles disponibles (Tabla 6) de las aguas residuales para uso agrícola de acuerdo al Marco Normativo Mexicano, como es la NORMA 032 NOM-CCA/032-ECOL/1993<sup>10</sup>, que establece los límites máximos permisibles de

<sup>10</sup> Norma que se toma sólo como referencia, porque establece en específico límites máximos para su disposición mediante riego agrícola, mientras que la Nom-ECOL-01-1996, establece límites máximos de contaminantes en descargas de aguas residuales. Sin embargo la NOM-01-1996, es la vigente.

contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola, la NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, asimismo los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89.

*Tabla 6. Límites Máximos Permisibles según la Normatividad Mexicana*

Norma	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES									
	pH	CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	DBO 5 (mg/L)	SST (mg/L)	E. coli	Boro(B) mg/L	Aluminio (Al) mg/L	Cobre(Cu) mg/L	Arsénico (As) mg/L	Cadmio (Cd) mg/L
<b>NOM 032</b>	<b>6.5- 8.5</b>	<b>2000</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>CE- CCA- 001/89</b>	ND	ND	ND	50	<b>1000 (NMP/1 00ml)</b>	<b>0.7</b>	<b>5</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.01</b>
<b>NOM- ECOL 001-96</b>	ND	ND	200	200	ND	ND	ND	1.5	0.4	0.4

- c) Más adelante, se elaboraron ocho mapas con los valores obtenidos en los diez puntos de muestreo de los siguientes parámetros: pH, DQO, DBO5, conductividad eléctrica, dureza, la sumatoria de los metales pesados y la clasificación sobre salinidad y sodio. De acuerdo a Ayers y Westcott (1985), la conductividad eléctrica, el pH y la relación adsorción socio (RAS) son parámetros importantes a evaluar en la calidad del agua que se utiliza para riego; de la misma manera, la DBO, el oxígeno disuelto, la dureza son parámetros que evalúa la CNA para obtener un índice de calidad de agua (Cortés, et al. 2009). Es por ello que se tomaron en cuenta los parámetros mencionados anteriormente. La sumatoria de metales pesados también se agregó al análisis en mapeo, por ser uno de los principales factores por los cuáles se llevó a cabo este estudio.

- d) Finalmente, se realizó un análisis de agrupación de los datos obtenidos de algunos parámetros del estudio, que podrían tener una mayor relación o explicación de lo que sucedía en el muestreo del área de irrigación. Para dichos análisis se utilizó el programa estadístico de software de uso libre “R” t. Este análisis se le conoce como análisis de agrupación jerárquica, en el cual se puede visualizar la posible similitud de sitios a través de un dendograma.

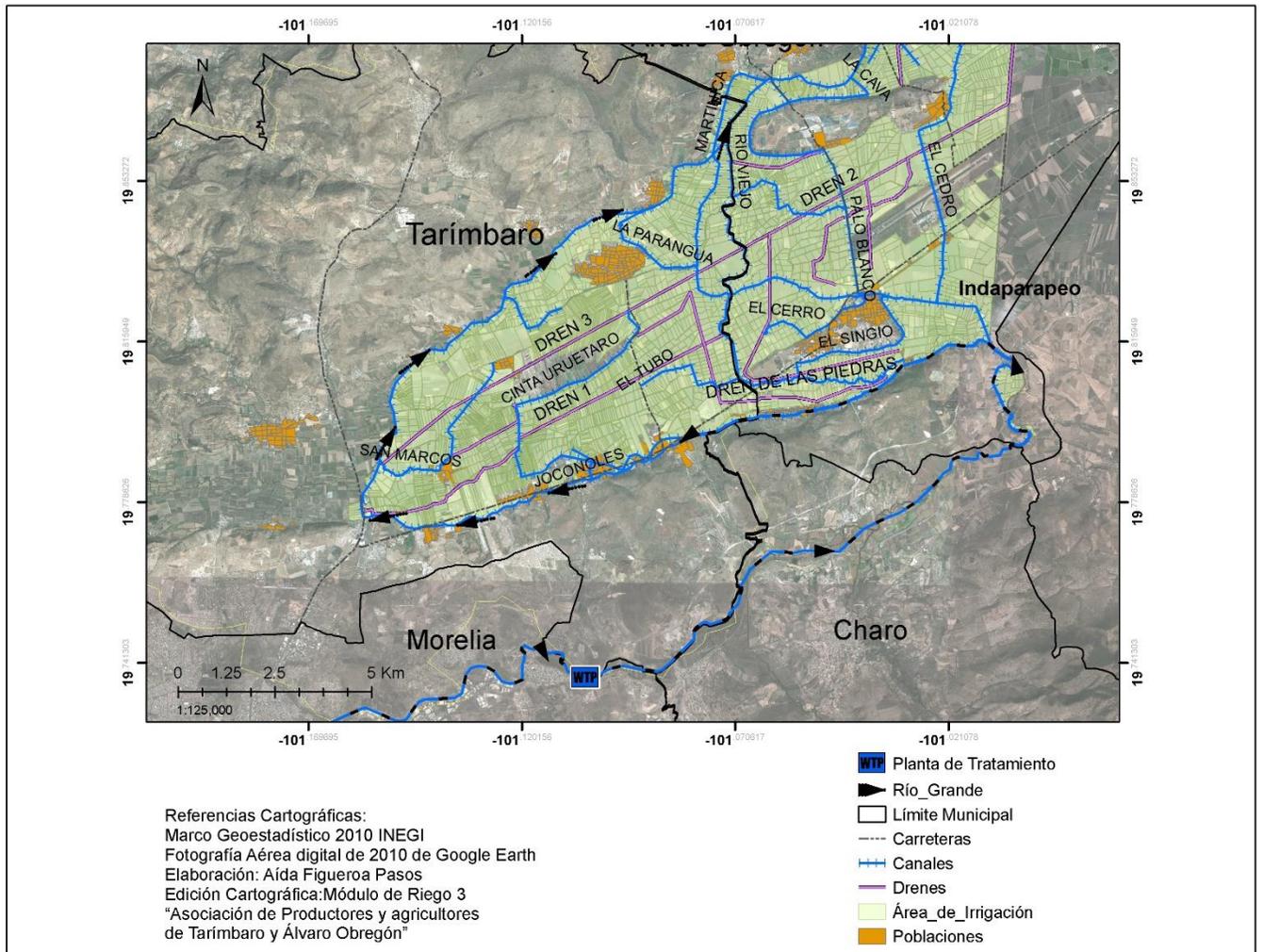
De tal manera, que a partir de las anteriores actividades y análisis se obtuvieron los siguientes resultados, descritos en el Capítulo 3.

## **Capítulo 3: Resultados y Discusión**

Este capítulo está organizado conforme a los objetivos particulares: Por lo que en primera instancia se hará una explicación sobre el primer objetivo particular, es decir, la identificación del flujo y fuentes de contaminación de las aguas residuales. En segundo lugar, se explicará sobre la zona de riego con aguas residuales, así como el ciclo de uso de dichas aguas (objetivo 2). Por último, se muestra la caracterización fisicoquímica, una comparación con los límites máximos permisibles mexicanos, la ubicación geográfica de algunos resultados del análisis y su discusión, así como la presentación de un dendograma (análisis de agrupación jerárquica) donde se discute la relación de algunos resultados (objetivo 3).

### **3.1 Flujo y fuentes de contaminación de las aguas residuales utilizadas en los sistemas agrícolas de Tarímbaro**

Como se mencionó anteriormente el río Grande lleva los desechos urbanos de Morelia y está alimentado de otros afluentes como el Río Chiquito, Itzicuaró y la Presa de Cointzio. Esta última aporta agua en una determinada época del año (a partir del 1 de enero, hasta finales de mayo) ya que abre sus compuertas el 1 de enero, según información del Módulo de Riego 3 (Mapa 2).



Mapa 2. Flujo y área de irrigación de aguas residuales en los sistemas agrícolas periurbanos

El río continúa, pasando por los municipios de Indaparapeo y Álvaro Obregón, pasando en este último por la Derivadora de Quirio, la cual suministra el agua que se dirige a Tarímbaro, y donde se convierte en el Canal de Joconoles.

En el municipio de Tarímbaro, el canal de Joconoles, pasa paralelamente a la carretera a Zinapécuaro y junto a las localidades de Uruetaro, Cotzio Chico y Grande, la Palma, entre otras. Dichos asentamientos humanos descargan sus aguas al paso del canal, sin ningún tratamiento.

Más adelante, el canal circula por debajo de la carretera que va hacia Salamanca; siguiendo hacia el interior de la zona agrícola oriente. Después el Joconoles se intercepta con el Río

San Marcos, proveniente de afluentes del cerro del Quinceo, que viene del poniente del municipio y atraviesa la cabecera municipal del mismo. Continúa su paso por el área de irrigación, dirigiéndose hacia el cruce con el Río Viejo de Morelia en la parte norte del municipio; este último es más bien un canal que proviene de Álvaro Obregón y su cauce va quedando como límite entre el municipio de Álvaro Obregón y Tarímbaro hasta terminar en el Lago de Cuitzeo (Módulo de Riego 3, 2013)

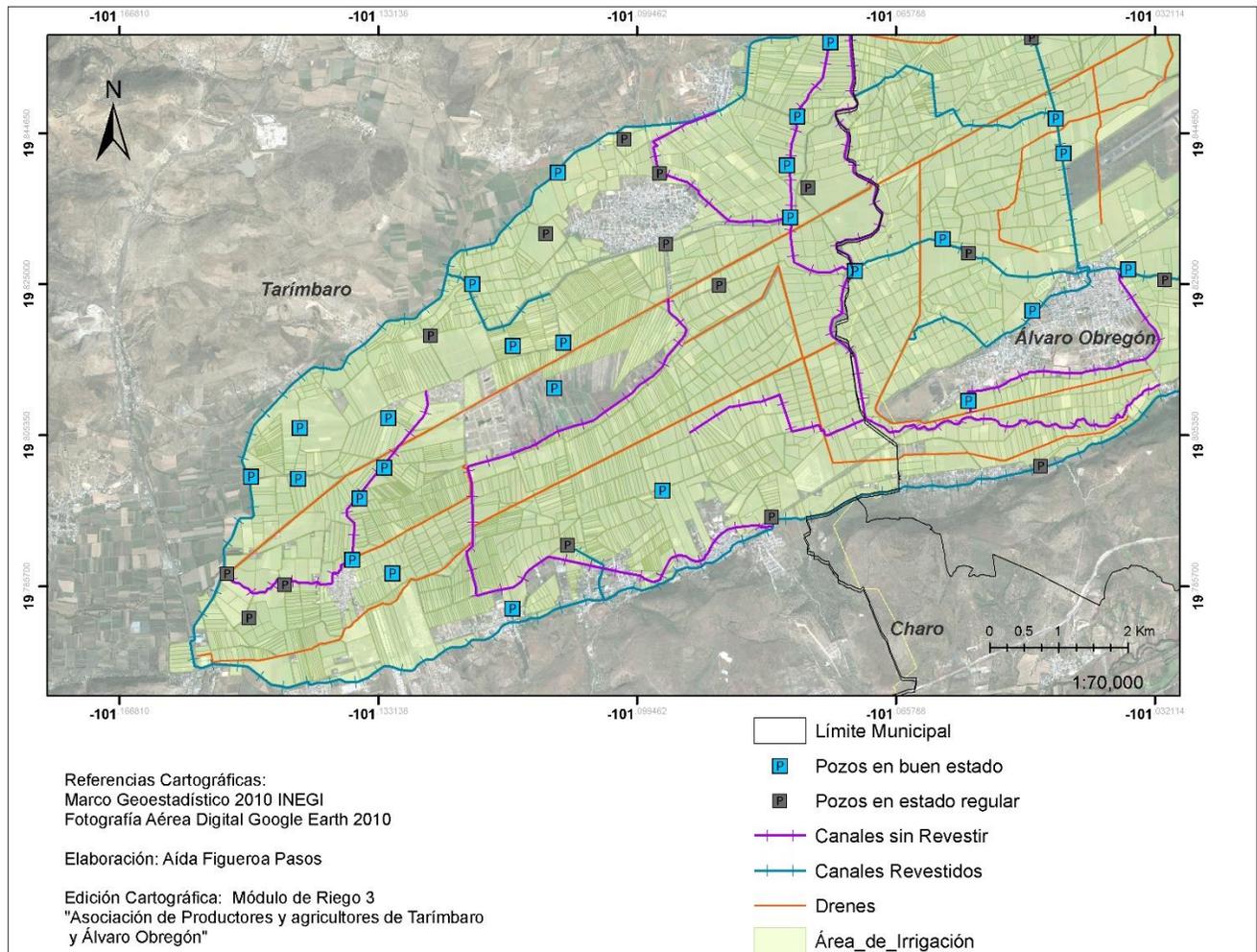
De modo que, con lo anterior, el canal Joconoles (nombrado como las corrientes de agua que forman el perímetro) forma el perímetro del área de irrigación, dentro de la cual están construidos unos drenes que recogen el agua utilizada por las parcelas. En Tarímbaro hay 6 drenes y el principal, al cual llegan todas las descargas parcelarias, es el Dren 3. Este Dren al igual que el Canal Joconoles se conecta con el Río Viejo, el cual más adelante en el Municipio de Álvaro Obregón, brinda sus aguas para irrigación.

### 3.2 Área de Irrigación con aguas residuales en Tarímbaro

El área de irrigación que emplea aguas residuales en Tarímbaro se encuentra dentro de la administración del Distrito de Riego 020 Morelia-Queréndaro (Diagnóstico Territorial Tarímbaro, 2010). Este tiene a su cargo seis módulos de riego y el que abarca el sitio de este estudio es el Módulo no. 3 a cargo de la “Asociación de Productores y Agricultores del Valle de Álvaro Obregón Tarímbaro A.C.” (Módulo de Riego 3, 2013). El módulo 3 opera en los municipios Álvaro Obregón y Tarímbaro. Dentro de este Módulo se tiene concesionada la cantidad 8813 hectáreas de riego, casi tres cuartas partes (6500 has) de ellas se riegan por gravedad con aguas residuales y 2313 se riegan con agua de pozos profundos. De acuerdo al Plan de Riegos (2012) del módulo 3, en el municipio de Tarímbaro se tuvo la capacidad de regar una superficie de 3217.68 hectáreas. Los Ejidos que utilizan aguas residuales del módulo 3 son: Santa Ana del Arco, El Lometón, San Pedro, Col. Miguel Hidalgo, Uruétaro, La Noria, Cotzio, Cuparátaro y Téjaro (Diagnóstico Territorial Tarímbaro, 2010). Estos últimos ejidos se localizan en la zona oriente del municipio.

La infraestructura en el Módulo de riego 3 se compone de canales revestidos y sin revestir, de drenes y de 63 pozos que están en buen estado y otros en estado regular, la mayoría de estos son de propiedad privada y la cantidad de hectáreas que cubren son. Cabe señalar, que para este estudio, los canales y drenes son los más importantes por llevar las aguas residuales,

sin embargo, es necesario mencionar que los SAPs de Tarímbaro también hacen uso de otras fuentes de agua (ver Mapa 3).



Mapa 3. Área de irrigación con aguas residuales en los SAPs de Tarímbaro.

### 3.3 Calendario hidroagrícola

Conforme a la información recabada, se elaboró un calendario hidroagrícola (Figura 5) para visualizar el ciclo de uso de las aguas residuales y las fuentes de riego para los sistemas agrícolas, enseguida se explica dicha información.



Figura 5. Calendario Hidroagrícola de los Sistemas agrícolas de Tarímbaro. Fuente: Elaboración propia, a partir de información recadada en las entrevistas en Módulo de Riego 3, la Secretaría de Desarrollo Rural de Tarímbaro y OOAPAS.

De acuerdo a la información proporcionada por el Módulo de Riego 3, inician cada año agrícola el 1 de octubre y cierran el 30 de septiembre. Para cada año, elaboran un Plan de Riego, con el que se establece el producto de siembra, de acuerdo a lo que cada ejidatario o ejido quiera sembrar.

Los cultivos que se cosechan en dicha área se dividen en dos ciclos, el de primavera-verano<sup>11</sup> y el de otoño-invierno. Los cultivos de maíz y sorgo, se siembran en el primero y los de avena, trigo, garbanzo, en el segundo (Módulo de Riego 3, 2013). Existen dos cultivos auxiliares, en el que siembran maíz y sorgo en menor cantidad que en el ciclo de primavera-verano. Por último está el cultivo perenne, la alfalfa y de acuerdo al plan de riegos 2012, es el cultivo que más volúmenes de agua necesita.

Para regar dichos cultivos, se emplean varias fuentes de agua que provienen del mismo cauce. A partir del 1 de enero, se abren las compuertas de la Presa de Cointzio, de la cual se tienen concesionadas 18 millones de m<sup>3</sup>/año para el 2012 y las cierran en mayo, estas aguas se mezclan con las aguas residuales de la ciudad de Morelia; aunque en abril y mayo son los meses de riego pesado. Entonces, a partir del mes de junio, las aguas que riegan los campos de Tarímbaro, son únicamente las que provienen de las descargas de la ciudad de Morelia (Módulo de Riego 3, 2013; SDRT, 2012).

Año con año, los canales y drenes van llenándose de lirio, materia orgánica y otros desechos sólidos. Según información del Módulo de Riego 3, en promedio, el desazolve de los canales y drenes debería llevarse a cabo cada cuatro años. Sin embargo, debido a las descargas que llegan de la ciudad, de las poblaciones aledañas y de los fraccionamientos nuevos, los productores llevan a cabo esta tarea cada dos años en los drenes y cada año en el canal principal, el Joconoles (Módulo de Riego 3, 2013; SDRT, 2012). Esta acción genera un gasto mayor para el Módulo de riego 03, y los recursos no los pueden destinar para mejorar la infraestructura. Por lo que esto debe realizarse, de lo contrario el mantenimiento de los canales y drenes, las bombas y compuertas se van afectando y también, las parcelas pueden inundarse (Módulo de Riego 3, 2013)

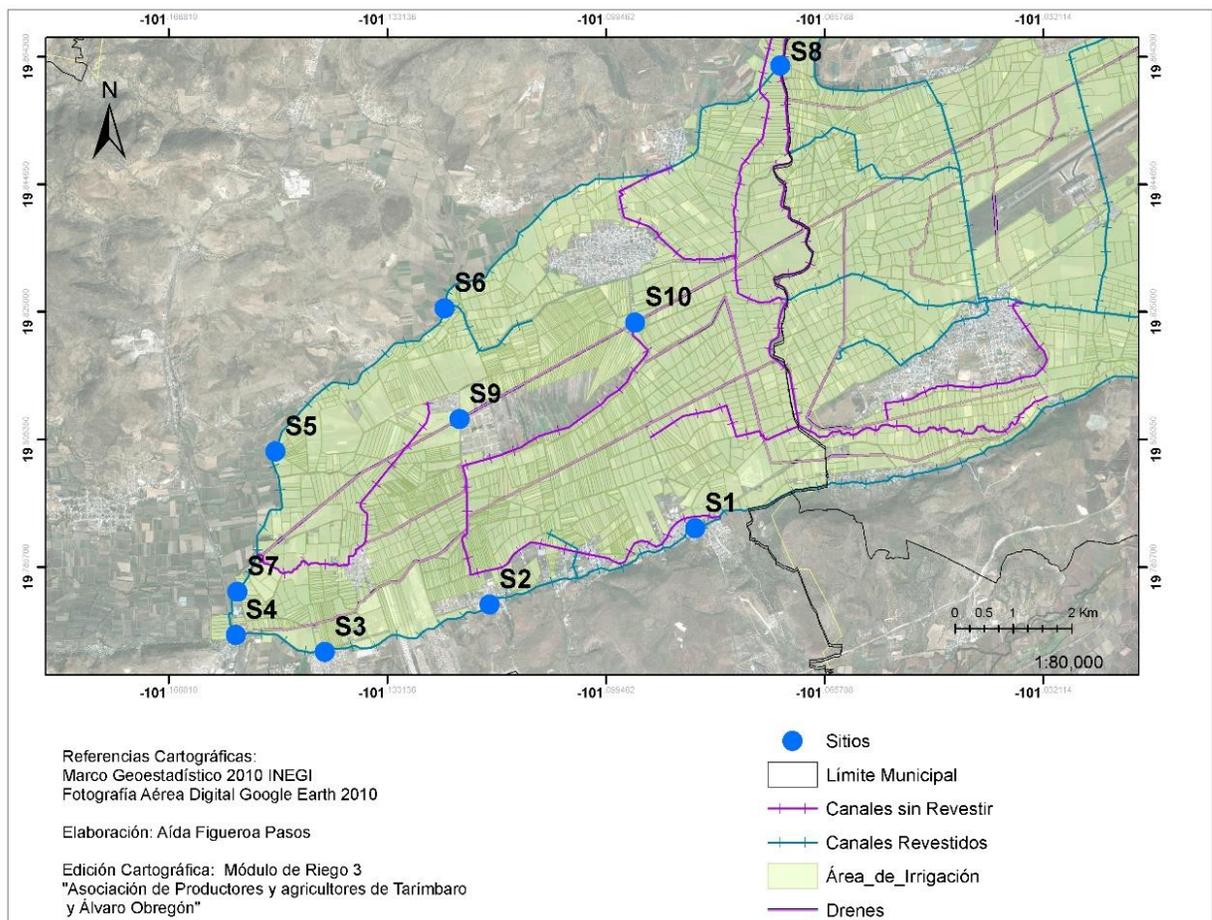
---

<sup>11</sup> Este ciclo no se tomó en cuenta en el calendario hidroagrícola, debido a que la toma de datos de los parámetros de calidad de aguas residuales se llevó a cabo en el período del ciclo otoño-invierno y en dicho período, las aguas residuales no se mezclan con las de la Presa de Cointzio lo cual sí sucede en el ciclo primavera-verano.

### 3.4 Caracterización fisicoquímica, bacteriológica y de metales pesados del sitio de en los sistemas agrícolas periurbanos de Tarímbaro

#### 3.4.1. Caracterización fisicoquímica, bacteriológica y de metales pesados del sitio de estudio.

Como se mencionó, se realizó la recolección 10 tomas de datos a lo largo del canal principal Joconoles y el Dren 3, la distribución de los sitios se pueden observar en el Mapa 2.



Mapa 2. Sitios de muestreo de aguas residuales en Tarímbaro.

Los valores obtenidos de la toma de datos, se encuentra en la Tablas 7 y 8.

Tabla 7. Parámetros Fisicoquímicos y Bacteriológicos de los 10 sitios de muestreo

Sitio	LONGITUD	LATITUD	T AIRE °C	T AGUA °C	pH	CE (µs/cm)	D (mg/L Ca CO3)	A (mg/L CaCO3)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)
S1	281506	2189779	8	16.8	8.1	787	122	274.3902	0.2	118	35
S2	278168	2188520	17	16.4	7.94	799	124	273.2556	0.15	93.1	35
S3	275495	2187744	21	18.1	7.91	819	134	285.8643	0.14	114	30
S4	274062	2188050	23	17.5	7.96	798	130	291.1713	0.13	97.2	30
S5	274739	2191173	25	19.9	8.01	800	132	296.8992	0.13	75.6	30
S6	277503	2193582	25	22	7.93	803	138	297.0822	0.75	94.6	30
S7	274230	2184040	24	18.8	7.91	793	130	294.447	0.12	92.6	30
S8	282976	2197652	24	16.9	7.69	818	140	ND	0.8	81.8	28
S9	277722	2191687	14	13.5	8.1	642	212	284.8944	0.71	21.3	9
S10	280578	2193302	9	15.1	7.96	697	212	297.1005	0.31	20.7	9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. Parámetros Fisicoquímicos y Bacteriológicos y Total de Metales Pesados de los 10 sitios de muestreo

Sitio	SS (ml/L)	SST (mg/L)	Turbidez (UNT)	RAS aj	Clase	C. Totales	E. Coli	Σ MP (µg/L)
S1	<.1	18.8	23.1	3.491373	C3 S1	453333.3	632000	175878.96
S2	0.15	17.6	17.3	3.282212	C3 S1	864000	554666.7	183696.2
S3	<.1	12.8	17.6	3.259919	C3 S1	864000	880000	177919.4
S4	0.15	16.4	14.2	3.29929	C3 S1	440000	661333.3	168029.19
S5	<.1	11.6	19	3.148806	C3 S1	488000	728000	173086.69
S6	0.1	11.2	12.3	3.188699	C3 S1	800000	658666.7	181398.3
S7	<.1	11.2	13.9	3.306584	C3 S1	456000	760000	178801.22
S8	0.3	5.6	10.8	4.355942	C3 S1	188800	102400	190510.56
S9	<.1	2.8	1.9	3.159664	C2 S1	114133.3	38400	146228.44
S10	<.1	10.8	6.15	2.094983	C2 S1	211200	245333.3	170520.96

Fuente: Elaboración Propia

En general, los valores de pH se encontraron dentro de los límites máximos permisibles, rondando en valores de 7.69 a 8.1. La Conductividad eléctrica (CE) también se registró dentro de los valores permitidos oscilando de 697 a 819 µS/cm. La Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 (DBO5) tomó igualmente valores dentro de los límites máximos permisibles, de 9 a 35 mg/L. En los Sólidos Suspendidos Totales (SST), se obtuvieron valores muy por debajo de los límites de las Normas; de 2.8 a 18.8 mg/L. Los valores de *E. coli* rebasan por casi 40 veces los límites marcados por los Criterios Ecológicos. En el sitio 3 y en el sitio 9, el cuál pasa por el Dren 3, es dónde se encontró un valor menor de *E. coli* (114133.3 UFC/100ml). Cabe mencionar que el sitio 10, una vez más tiene similitud al 9 y tiene alrededor de 6 veces más UFC/100 ml, sin embargo, sigue estando en los niveles más bajos a comparación del resto de los otros sitios, que son canales primarios. (Para mayor detalle, ver tablas (7 Y 8).

Respecto a los metales en uso agrícola, se encontraron concentraciones bajas de Boro, Cobre, Aluminio, Arsénico y Cadmio. En cuanto al Boro (B) se reportó 0.09 mg/L (Sitio 10), un valor muy bajo respecto al resto de los sitios con valores que oscilan de 0.3136 mg/L (sitio 3) 0.38 (sitio1) mg/L; los cuáles no rebasaron los límites máximos permisibles. El Aluminio (Al) no rebasó la norma, obteniendo valores por debajo de 1 mg/L en todos los sitios. El Cobre (Cu) registró igualmente valores, por muy debajo de la Norma, siendo 0.009 el valor más alto, en el sitio 2. En el caso del Arsénico (As), el valor más alto se encontró en el sitio 8 (0.03 mg/L) lo cual no rebasa la Norma. El Cadmio (Cd) se encontró en valores muy bajos, menores a 0.098 microgramos por litro, cuando el límite es de 0.01 miligramos por litro (Para mayor detalle ver Tabla 9).

*Tabla 9. Concentración de Metales en los 10 sitios de muestreo*

Metales (mg/L)													
Sitio	B	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd µg/L	Pb	Hg
S1	0.3807	0.4937	0.0056	0.2505	2.7076	0.0116	0.0062	0.0833	0.0139	0.0007	<0.098	0.0534	0.0040
S2	0.3780	0.6807	0.0069	0.2744	2.0778	0.0135	0.0093	0.0474	0.0211	0.0007	<0.098	0.1764	<0.275
S3	0.3136	0.3420	0.0055	0.2495	1.1034	0.0104	0.0053	0.0214	0.0193	0.0009	<0.098	0.0691	0.0033
S4	0.3216	0.4063	0.0055	0.2529	1.1755	0.0099	0.0060	0.0218	0.0201	0.0008	<0.098	0.0680	<0.275
S5	0.3615	0.3983	0.0049	0.2838	1.4753	0.0093	0.0053	0.0197	0.0231	0.0011	<0.098	0.0311	0.0031
S6	0.3197	0.4172	0.0050	0.2594	1.1661	0.0109	0.0084	0.0342	0.0289	0.0006	<0.098	0.0843	0.0038
S7	0.3562	0.4455	0.0052	0.2771	1.3098	0.0106	0.0071	0.0241	0.0276	0.0010	<0.098	0.1110	0.0031
S8	0.3384	0.3055	0.0044	0.3095	1.3824	0.0097	0.0075	0.0285	0.0326	0.0012	<0.098	0.0868	0.0049
S9	0.0829	0.5925	0.0029	0.1795	0.7181	0.0068	0.0022	0.0063	0.0113	0.0008	<0.098	0.0047	<0.275
S10	0.0913	0.2797	0.0032	0.3148	0.8399	0.0069	0.0034	0.0098	0.0177	0.0009	<0.098	0.0093	0.0041

En la descripción anterior no se mencionan los resultados de todos los metales detectados, al no encontrarse normas específicas mexicanas para su restricción en el uso agrícola. Sin embargo, al hacer una comparación con los valores máximos (Anexo 5) en las recomendaciones de Ayers y Wescott (1985), el resto de los metales no sobrepasaron el límite recomendado. Es muy importante recalcar la importancia de los metales para el crecimiento de cultivos, sin embargo si se sobrepasan dichas cantidades, puede causar daños en el crecimiento de los mismos. Más adelante se discuten los resultados encontrados de las concentraciones totales de metales.

Tabla 10. Concentración de Cationes y Aniones en los diez sitios de muestreo.

Sitio	Cationes mg/L				Aniones mg/L				
	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Cloruro	Nitrito	Nitrato	Fosfato	Sulfato
S1	76.472	12.657	27.75	13.097	49.016	ND	ND	9.271	50.049
S2	86.607	15.378	29.448	14.857	72.949	ND	ND	5.891	27.121
S3	84.053	14.66	32.939	14.023	78.856	ND	ND	8.038	20.461
S4	81.263	14.255	29.989	13.054	76.142	ND	0.581	8.663	17.531
S5	80.383	14.234	33.054	14.013	57.261	ND	0.701	6.976	16.127
S6	86.305	15.259	36.066	15.135	64.186	ND	0.761	37.214	16.393
S7	88.039	16.004	33.505	15.141	54.607	ND	ND	6.05	13.861
S8	90.256	15.489	33.935	15.335	58.188	0.731	1.592	6.496	32.82
S9	81.675	13.528	32.475	14.456	22.719	ND	0.495	4.655	29.057
S10	56.807	14.351	44.248	19.839	29.238	0.338	2.347	8.762	34.734

En el anexo 6 se puede observar algunos de los graficas de resultados todos de laboratorio Las aguas con calcio y magnesio se consideran buenas para el riego agrícola, ya que éstos permiten el agua penetre con rapidez y que los suelos sódicos se lixivien. Para conocer mejor la relación de estos iones se hace a través de la Relación Adsorción Sodio, ya que se evalúa respecto la relación Calcio y Magnesio. De acuerdo a las recomendaciones de Ayer y Wescott (1985), para el Calcio y Magnesio, se encontró que los resultados se encuentran dentro de estos valores (Anexo 6).

Para el Potasio, el rango todos los sitios sobrepasan las recomendaciones de Ayers y Wescott (1985), siendo el rango de 0-2 mg/L. Sin embargo es un elemento necesario para el crecimiento de la plantas.

En el caso de los aniones, los más importantes para evaluar el riego agrícola son el cloruro, el sulfato, fosfato. Para el caso del cloruro, se encontraron resultados bajos, por lo cual, respecto a las recomendaciones de Ayers y Westcot (1985) no existe algún grado de restricción. En el caso de sulfato se encontraron de 1.04 meq/L (50.049 mg/L) a 0.2 eq/L, al igual que el cloruro, está dentro del grado usual de aguas residuales. En el fosfato, se encuentran rangos de 0 a 2 mg/L, este caso los resultados oscilaron de 4.6 a 9.2 mg/L, en la mayoría de los sitios, excepto el sitio 6, donde se encontraron 37.2 mg/L. Lo cual indica que son aguas que están fuera de las recomendaciones de Ayers y Westcott (1095), sin embargo es un elemento importante para el crecimiento de los cultivos.

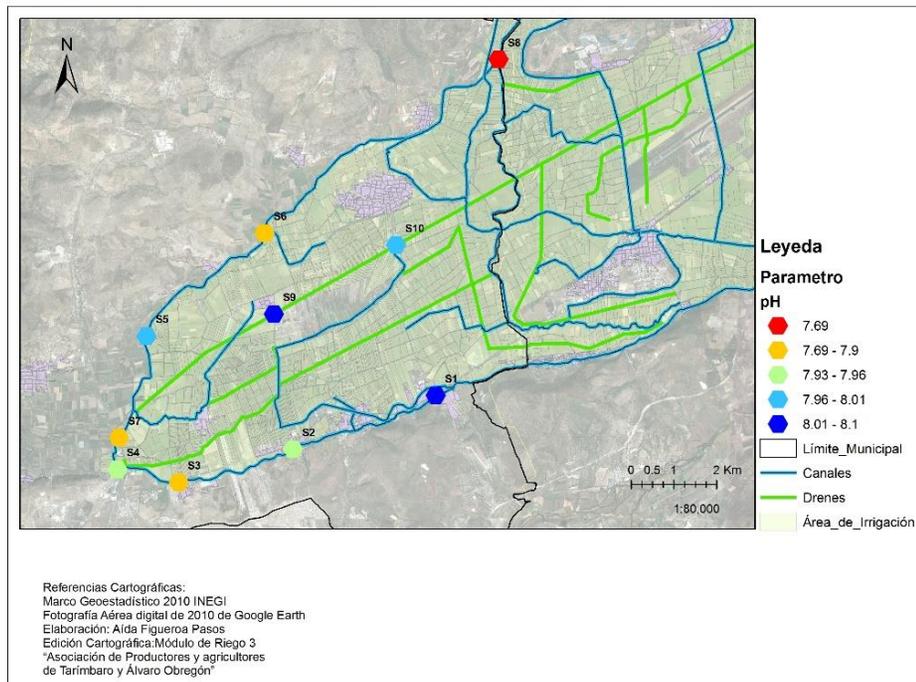
### 3.4.2. Ubicación espacial y discusión de parámetros en los SAPs

En el siguiente apartado se analizó la distribución espacial de las magnitudes de los parámetros mediante la elaboración de ocho mapas. Los resultados se discuten a continuación.

#### a) Valores de pH

Como se mencionó anteriormente, este parámetro se encuentra dentro de los valores permitidos, y bajo otras recomendaciones, estos valores se encuentran en rangos aceptables que van de 6.5 a 8 (Ayers y Wescott, 1976; Carr y Neary, 2008). Sin embargo, dichos valores tienden a ser ligeramente alcalinos o básicos; lo cual indicaría que en los canales, después de la planta de tratamiento, llegan en su mayoría descargas domésticas (Aguilar (coord.), 2010; NMX-AA-008-SCFI-2011; Jiménez, 2001).

Si se observa el mapa de pH (Mapa 3) los valores de los sitios no difieren mucho y todos se encuentran dentro del rango permitidos. Lo que sí se puede decir es que el rango va de neutro a alcalino, de acuerdo al caso de estudio Mancilla et al. (2012) las aguas alcalinas o neutras, permiten que los metales estén menos disponibles, aunque la mayoría de los metales tienden a precipitarse.

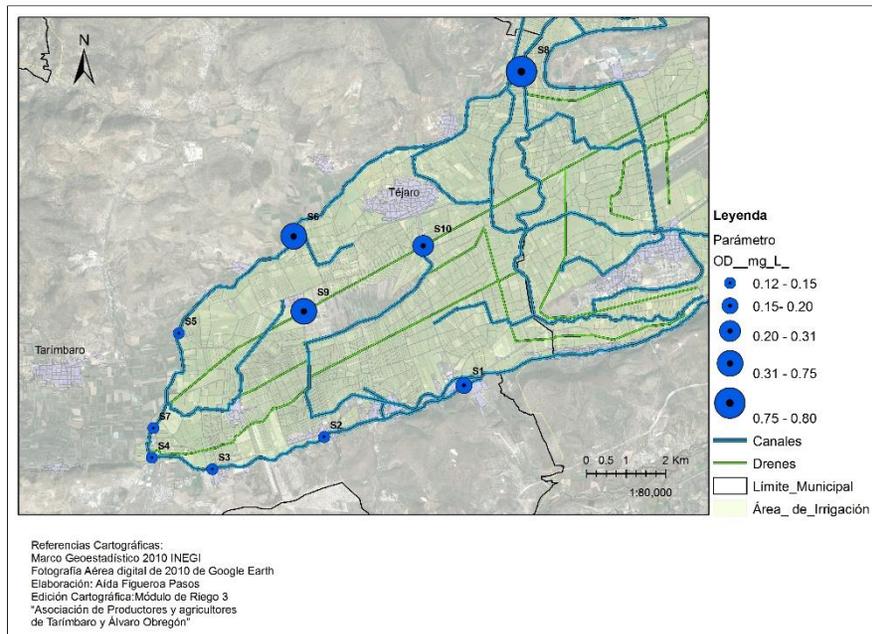


Mapa 3: Valores de pH.

b) Valores de Oxígeno Disuelto (OD):

En general, los valores de OD se encontraron bajos, lo que significa una baja calidad del agua. La materia orgánica (natural o antrópica) puede generar una alta demanda de oxígeno disuelto para su descomposición biológica, provocando bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua. En el caso de estudio de Ensink, et al (2002) se encontraron valores en aguas residuales de 2.7 mg/L, mientras que en este caso los valores no sobrepasaron 1 mg/L de OD. Existen otros factores que alteran dicho parámetro como la temperatura y la estación del año (invierno) en que se tomaron las muestras. Por lo cual, la toma de muestras podría hacerse en otra estación del año (por ejemplo, verano) para verificar dicha influencia. Sin embargo esta toma de datos, de acuerdo al calendario hidroagrícola, el delirio y desazolve se llevó a cabo unos meses antes, por lo que tales resultados de OD no podrían explicar la presencia de lirio acuático. El oxígeno aumenta con el movimiento y en esas fechas, el agua de la presa no estaba disponible, por lo que la falta o reducción del caudal podría significar que hubiera bajas cantidades de OD. Otra de las explicaciones de un OD bajo está relacionada con las descargas domésticas de las localidades rurales o de los nuevos fraccionamientos, ya que las cantidades más bajas de OD se encontraron en donde hay más zonas urbanas. En el caso específico del sitio 9, el cual se encuentra más alejado de las zonas urbanas, el canal por donde pasaban las aguas residuales, si bien no estaba lleno de lirio, aún se podía percibir algo más que el resto de los sitios.

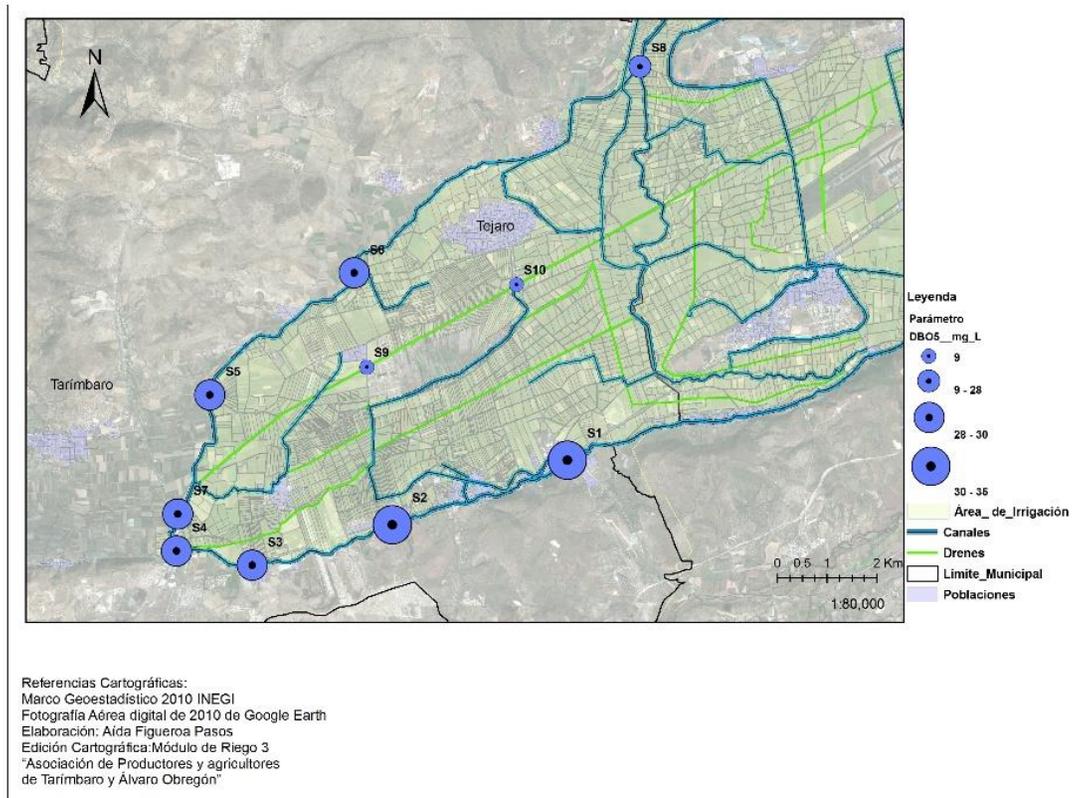
Asimismo, al ser aguas con muy bajo contenido de OD, se esperaría que la cantidad de sales en dichas aguas fueran altas (Carr y Neary, 2008) lo que se discutirá más adelante.



Mapa 4. Valores de Oxígeno Disuelto

c) Valores de Demanda Bioquímica 5 (DBO5)

La DBO5 se encontró dentro de los parámetros establecidos por la NOM-ECOL-001-1996. En el caso de estudio de Álvarez, et al. (2008) se encontró que para las aguas residuales que lleva el Río Amacuzac, provenientes de la Ciudad de México, los valores de DB05 llegaban a 20.3 mg/L. Al observar el mapa (Mapa 5), se aprecia que en los primeros sitios presentan una mayor cantidad de DBO. Dichos sitios se encuentran en una zona urbana donde hay una mayor descarga de aguas domésticas, las cuáles pueden contener mayores cantidades de materia orgánica o sólidos que requieren mayores cantidades de oxígeno para su descomposición; tal es el caso de proteínas, lípidos, tenso activos, pesticidas (Álvarez et al., 2008; Soon y Seok, 2008, citado en Álvarez et al., 2008). Pese a ello, lo valores de las aguas residuales se encontraron bajos, lo que podría indicarnos en este caso, que la Planta de Tratamiento de Atapaneo influye en la degradación de la materia orgánica que proviene de la Ciudad de Morelia. Para efectos del suelo, al contar con bajos valores de DBO5, otros parámetros o contenidos en el agua, como los metales pesados tienen menor cantidad de partículas o elementos a las cuáles asociarse (Álvarez et al., 2008).

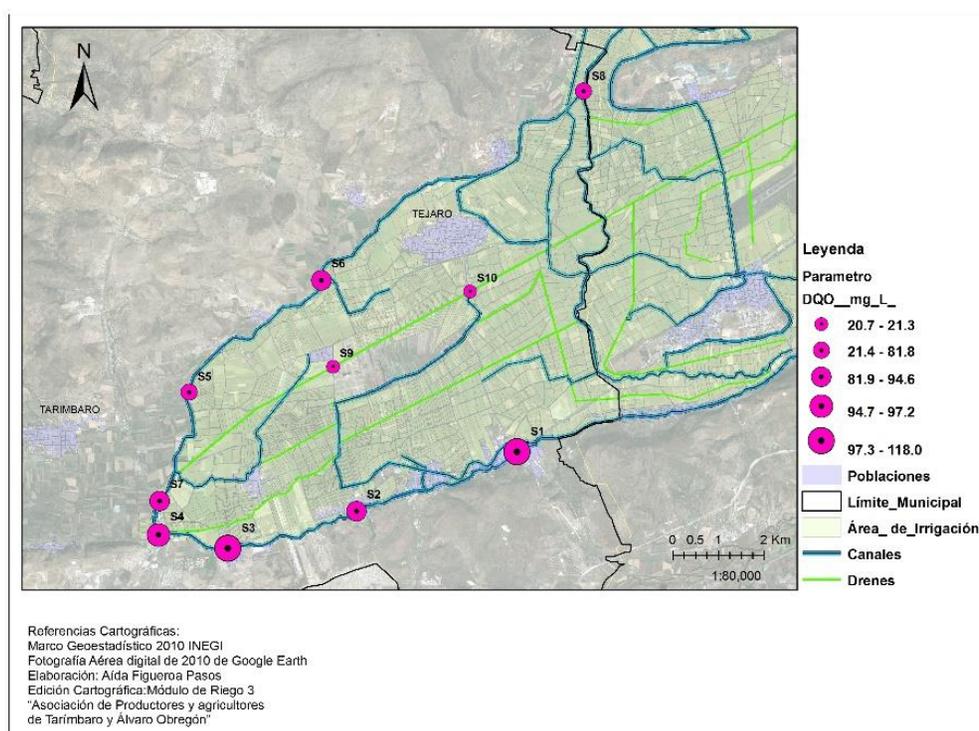


Mapa 5. Valores de Demanda Bioquímica 5 días

d) Valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En el parámetro de DQO se encontraron valores por arriba de 75 mg/L hasta 118 mg/L, a excepción de dos sitios que se encuentran en el dren 3 con valores más bajos. De acuerdo a una categorización de la CNA (2012) en un estudio de todo tipo de cuerpos de agua en México, los valores por encima de 40 mg/L de DQO se clasificaron como aguas contaminadas, es decir, que contienen materiales orgánicos biodegradables y no biodegradables como resultado de descargas municipales e industriales. Sin embargo, en un estudio de caso en Grecia (Bakopoulou, et al., 2011), de acuerdo a su legislación (Ministerio Griego), se reportan 80 mg/L como límite máximo permisible para uso agrícola de DQO. En uno de los sitios de dicho estudio que rebasó este valor, se discutió la posibilidad de que la estación (otoño) en la que se tomó la muestra influía en el resultado, así como las

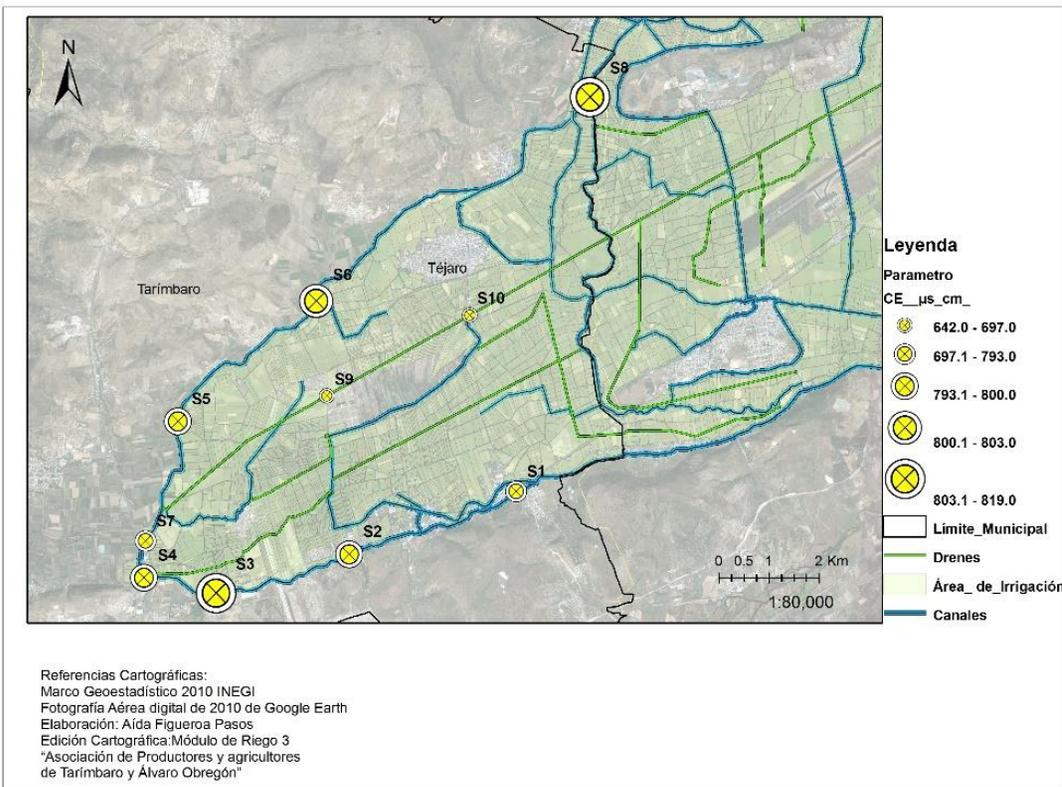
actividades agrícolas locales, como la destilación. Otro estudio muestra que los valores de aguas residuales tratadas deberían oscilar entre 10-30 mg/L (Kretschmer, et al., 2002); mientras que en un último caso de estudio, se acepta que un efluente normal de aguas residuales debería oscilar de 250- a 800 mg/L de DQO (Silva et al, 2008.). Tomando en cuenta estos casos, los primero sitios de muestras (1,2 y 3) se localizan en una zona urbana donde hay una mayor cantidad de descargas domésticas y posiblemente pequeñas descargas de carácter industrial o agrícola, lo que explica el incremento de los valores de DQO.



Mapa 6. Valores de DQO

e) Valores de Conductividad Eléctrica (CE)

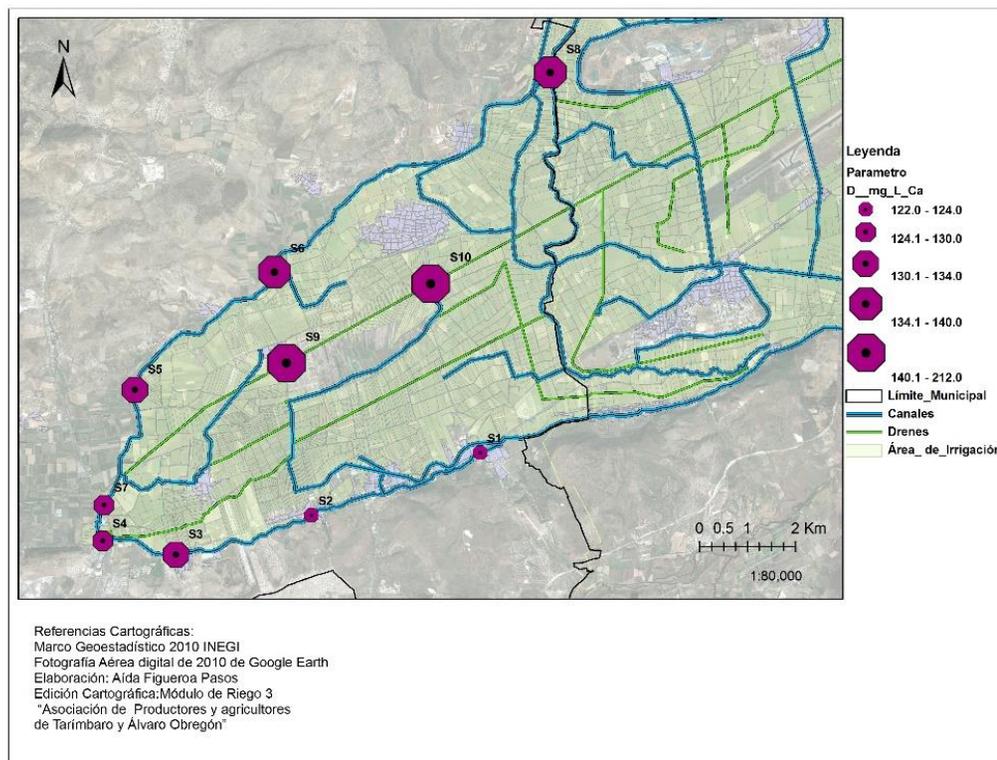
De acuerdo a autores como Ayers y Wescott (1986) y Pedrero, et al. (2010), la conductividad eléctrica (CE) es un parámetro muy importante para evaluar la calidad del agua empleada en el riego agrícola, ya que con este se puede medir la cantidad de sales que pueden afectar los cultivos, impidiendo la extracción de agua y provocando un estrés hídrico en el cultivo si la cantidad de sales es muy alta. Es necesario que la cantidad de sales que se incorporan en los suelos a través del riego, sea igual o menor de lo que pueda lixiviarse a través del suelo. Los valores obtenidos en las muestras de estudio se caracterizaron por no rebasar la norma-032, tomada como referencia. En el caso de los parámetros sugeridos por Ayers y Westcot (1985), los cuáles sugieren tres categorías sobre la restricción de uso de agua basándose en rangos de CE, los resultados se encuentran dentro de la categoría intermedia que va de 0.7 a 3.0 dS/m (700-3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), es decir, de leve a moderado (Anexo 5). En necesario recalcar, que no todos los cultivos tienen la misma tolerancia a la salinidad y esta categorización deberá ser toma a consideración por otros parámetros, por cada cultivo y tipo de suelo, así como la RAS obtenida (Ayers y Westcot, 1986). En el caso de estudio de Mancilla, *et al.* (2011) de aguas residuales en condiciones similares, encontrados, valores de CE menores a 2000  $\text{ms}^7/\text{cm}$ , lo cual sugieren que no encuentran restricciones para uso agrícola en CE.



Mapa 7. Valores de Conductividad Eléctrica

f) Valores de Dureza

Es recomendable para la irrigación que el agua que utilizan tenga altos contenidos de carbonatos de Calcio, esto quiere decir, que el agua tenga valores altos de dureza (Glover, 1993; Ayers y Westcott, 1986). En el estudio de Murtaza, et al. (2014) se menciona que las aguas con una dureza de menos de 75 mg/L se clasifican como suaves, las que van de 75 a 150 mg/L son de moderado a duro y por último, las que van de 150 a 300 mg/L son “muy duras”. Lo que nos indica en el mapa 8, que los diez sitios muestreados, las aguas residuales se consideran dentro del rango moderado a duro, que de acuerdo a lo anterior para el parámetro de dureza no existen restricciones.



Mapa 8. Valores de Dureza

g) Clasificación de Agua de Riego por Peligro de Salinidad y Sodicidad (Según Richards, 1954):

Como se mencionó anteriormente, esta clasificación del agua de riego se determinó a partir de la Relación Adsorción Sodio (RAS) y la conductividad eléctrica (CE); de las que se obtuvieron dos tipos de agua, principalmente:

- C2-S1

*Agua de salinidad media (C2)*

Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir plantas moderadamente tolerantes a las sales. CE: 0.250 a 0.750 dS m-1.

*Agua baja en sodio (S1)*

Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

- C3-S1

*Agua altamente salina (C3)*

No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, se debe seleccionar únicamente aquellas especies muy tolerantes a sales. CE: 0.750 a 2.250 dS m-1.

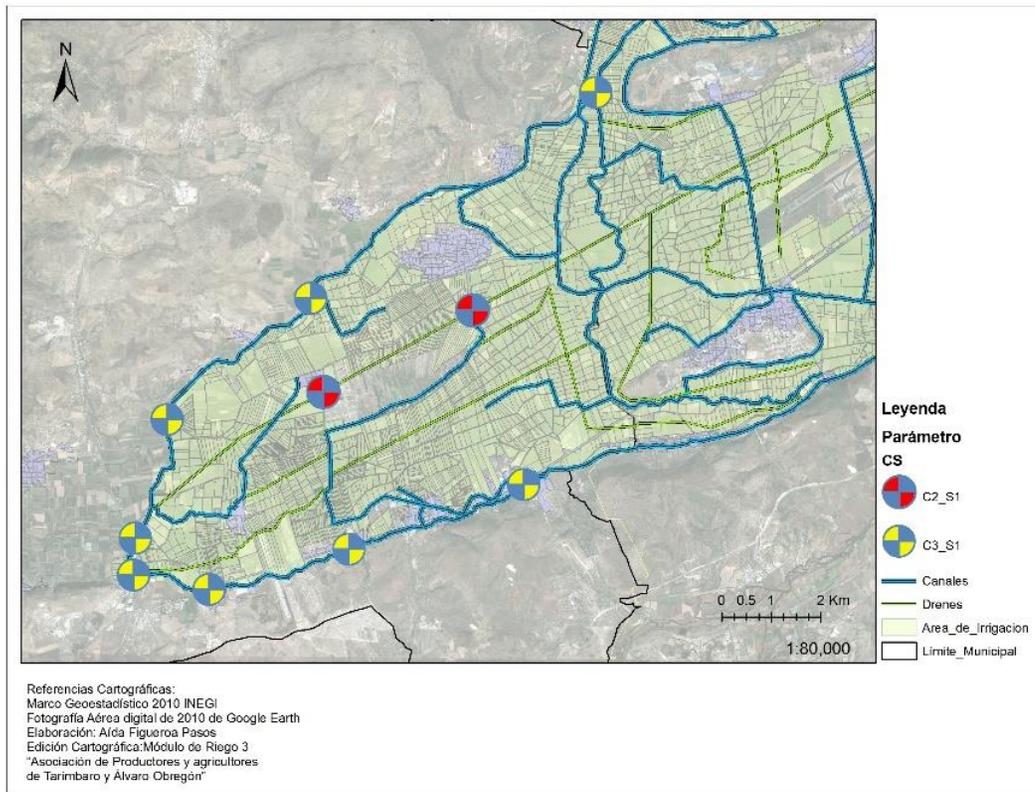
*Agua baja en sodio (S1)*

Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Los sitios clasificados como **C2-S1**, contienen aguas que pasan por los drenes, éstos ya van de salida, por lo que no son tan relevantes para el riego agrícola en Tarímbaro, pero sí pueden ser importantes para el municipios colindantes, pues ellos utilizan esta agua para riego de sus cultivos o para el Lago de Cuitzeo.

En cuanto a los sitios **C3-S1**, llevan aguas que se utilizan en diferentes puntos del lado oriente de Tarímbaro, por lo cual se deben tomar ciertas consideraciones en las prácticas agrícolas, para tener un mejor control de salinidad en los suelos.

Tomando en cuenta los valores no tan altos de CE, la clasificación de los sitios **C3-S1** podrían considerarse como aguas residuales que no presentan restricciones en ciertas condiciones. Como lo menciona la clasificación **C3**, con ciertos cuidados, se pueden utilizar sin mayor problema en cultivos tolerantes a las sales o que los suelos tengan un buen drenaje, para que las sales puedan ser lixiviadas. Inclusive las prácticas agrícolas locales pueden ayudar a evitar o manejar un problema de salinidad a largo plazo en los suelos. (Ayers y Westcott, 1985).

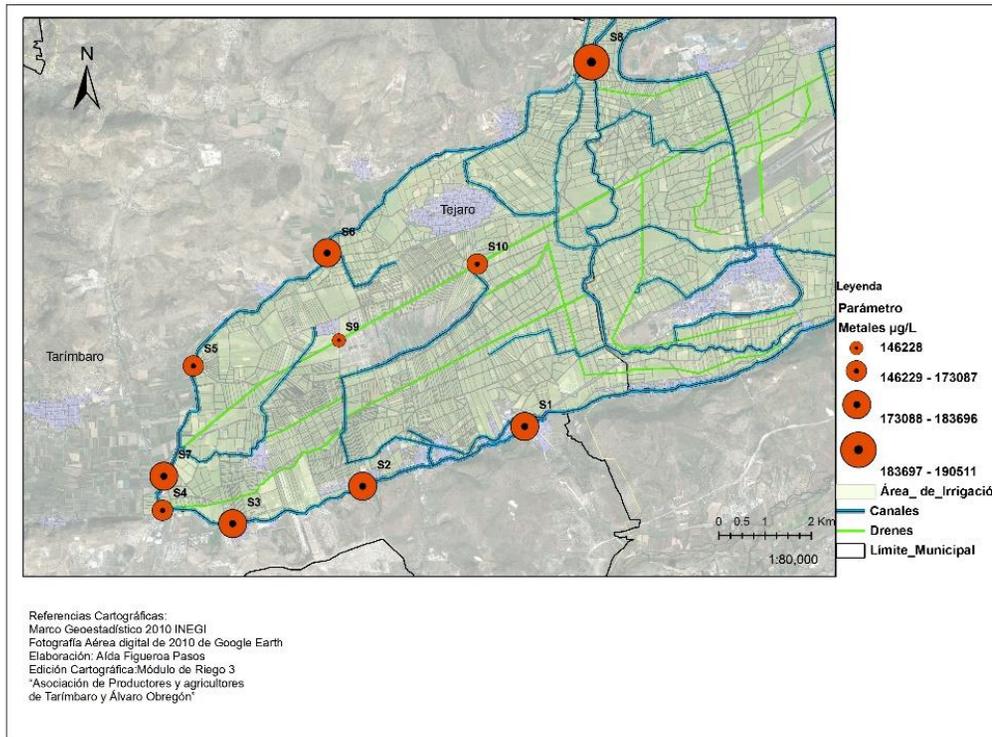


Mapa 9. Valores por peligro de Salinidad y Sodicidad

#### h) Metales pesados

En el caso de los metales pesados se realizó una sumatoria total para poder visualizar algún sitio con altas concentraciones de metales. Al analizar los valores individualmente, ningún metal rebasó la NOM-ECOL-001, ni los CCA- CE 001/89. Una probable explicación de estos resultados se debe a que los metales pesados tienden a acumularse o asociarse a algunos sedimentos, sobre todo, si los suelos tienen un pH de 6.5 (Ayers y Westcott, 1985; Carr y Neary, 2008).

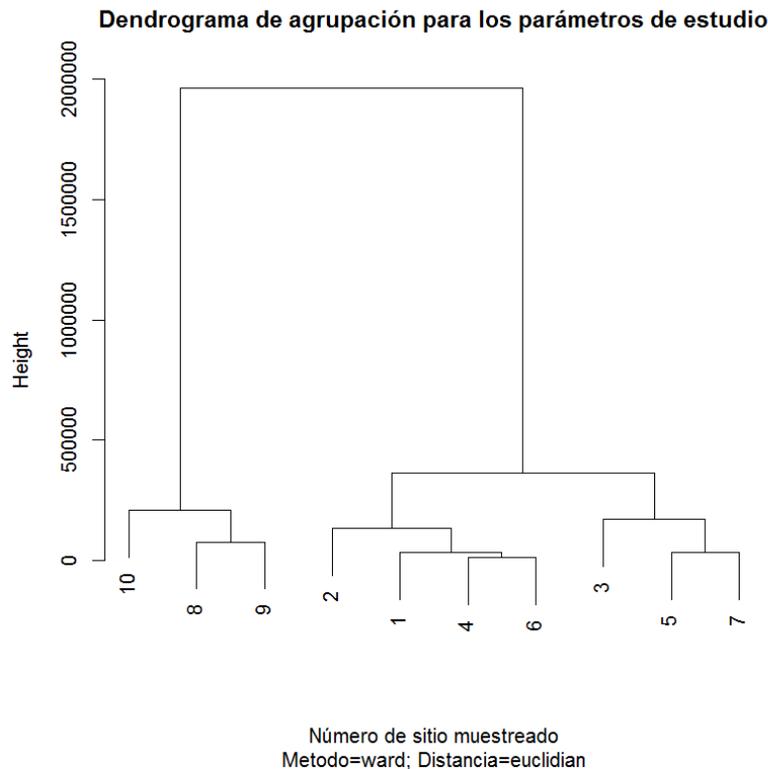
Si se observa el mapa (Mapa 10), los sitios con una mayor concentración de metales se ubican en el canal principal Joconoles; y en los sitios 9 y 10 que son drenes, las concentraciones de metales disminuyen; esto se puede explicar debido a que las aguas que pasan por ahí ya fueron utilizadas en los campos de cultivo y los metales que podrían estar, lograron acumularse en la superficie de los suelos agrícolas (Ayers y Westcott, 1985).



Mapa 10. Valores totales de Metales Pesados por sitio de muestreo

### 3.3.3 Análisis de Agrupación Jerárquica - Dendograma

La agrupación jerárquica de los puntos de muestreo nos permitirá visualizar los grupos de sitios que mantienen parámetros similares. En la Figura 6 se aprecian los diez sitios de muestreo, los cuales se agruparon de acuerdo al análisis de nueve parámetros medidos: alcalinidad, dureza, DBO5, DQO, *E.coli*, oxígeno disuelto, pH, sumatoria de metales pesados y sólidos suspendidos totales.



*Figura 6. Dendrograma Programa R Statistics Elaboración. Alejandra Larrazábal y Aída Figueroa*

Se encontraron tres agrupaciones (clusters) principalmente, el primero de derecha a izquierda incluye los sitios 3, 5 y 7. El segundo incluye los sitios 6, 4, 1 y 2 y finalmente el tercero, los sitios 9, 8 y 10.

En el primer grupo, el sitio 3 está más cercano a los sitios de descargas domésticas, por lo que sobresale por poco al subgrupo 5 y 7 que se encuentran espacialmente más adelante del cauce de los canales. Lo que se resalta en el sitio 3 son los valores de DQO, lo cual tiene que ver con lo antes mencionado (brevemente entre paréntesis mencionarlo aquí).

En el segundo grupo (cluster) se combinan los sitio 4 y 6, en esos canales, el ancho y la profundidad era menor a los otros, por lo que había una menor cantidad de agua pasando por los canales, lo cual pudo interferir en ciertos parámetros, como los sólidos sedimentables, en los que ambos se detectaron 0.1 mg/L, que fueron lo más altos del resto. En cuanto a los sitios 1 y 2, son más cercanos espacialmente y poseen características más similares. En general, este grupo se detectaron los valores más altos de la mayoría de los metales pesados, así como DQO, DQO y turbidez. Los tres últimos parámetros resaltan su cercanía a las descargas domésticas.

En el tercer grupo, 8, 9 y 10, contiene valores más altos de dureza y alcalinidad, y en cuanto a DBO5, DQO y SST es el grupo con valores más bajos. Esto último se explica debido a que estos sitios son drenes que llevan el agua ya utilizada en las parcelas y se dirigen hacia el Río Viejo, el cual descarga sus aguas en el Lago de Cuitzeo. En la siguiente figura se visualizan los tres clusters encontrados en el dendograma.

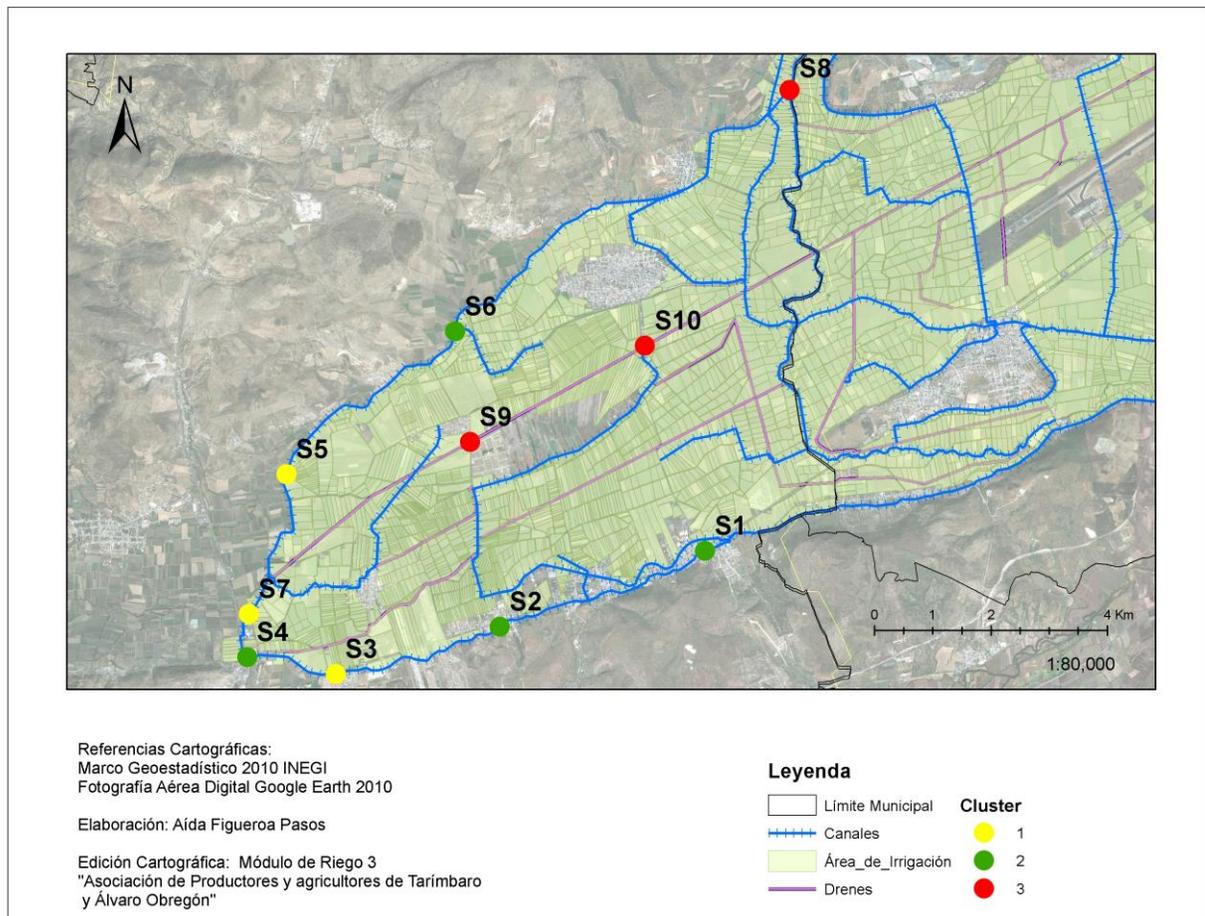


Figura 7. Clusters encontrados en el Dendograma de agrupación para los parámetros de estudio

## Capítulo 4. Conclusiones

En los sistemas agrícolas periurbanos del municipio de Tarímbaro se dan flujos e interacciones con la ciudad de Morelia, lo que influye en la dinámica de los procesos productivos, pero también Tarímbaro ejerce cierta influencia en los procesos económicos y sociales de la ciudad de Morelia. Esto es debido a que la ciudad y su crecimiento llevan a los SAPS de Tarímbaro sus desechos, como las aguas residuales, que se convierten en un recurso necesario para la subsistencia, independientemente de la calidad y la ciudad recibe un flujo constante de productos de dichos SAPS.

Los SAPS no son cerrados, a pesar de que hay un intercambio con la ciudad, las aguas residuales continúan su paso hacia el Lago de Cuitzeo, muchos elementos pueden llegar a los mantos acuíferos o se pueden ir acumulando en los suelos.

Antes de que lleguen a los SAPs de Tarímbaro, las aguas residuales pasan por otros municipios como Álvaro Obregón, Charo y una pequeña parte de Indaparapeo. Lo cual los hace parte de estos sistemas al ejercer cierta influencia en el paso de las aguas residuales.

El control operativo y administrativo de las aguas residuales está a cargo del Módulo de riego 03, el cuál abarca la cantidad de 3,243 has de superficie agrícola con este tipo de agua. Dicha zona de irrigación se encontró del lado oriente y parte del sur del municipio de Tarímbaro. Año con año, este módulo hace un gasto fuerte para quitar el lirio acuático y desazolvar los canales, lo cual les impide invertir en el mejoramiento de los canales.

En cuanto a la calidad de las aguas residuales que llega al área de irrigación de los sistemas agrícolas periurbanos de Tarímbaro, restringe la gama de cultivos que se permite sembrar. De tal modo, que sólo se les permiten sembrar cultivos de forraje, aunque el cultivo del maíz si se emplea para consumo humano.

Es necesario recalcar que este estudio se efectuó en el ciclo de cultivo otoño-invierno y los principales factores que influyeron en los resultados fueron: la temperatura, el ciclo de uso y fuentes de aguas residuales, acceso a sitios de muestreo, horario de muestreos, revestimiento de canales, caudal de agua en los canales y el manejo de las muestras en el laboratorio.

Respecto a la caracterización físico-química, bacteriológica y de metales pesados se concluye lo siguiente:

- La calidad de las aguas residuales que se encontraron en dicha zona son aguas que en parte pasan por una planta de tratamiento (no toda el agua se trata, ya que se combina con fuentes domésticas de la zona que está fuera del anillo de la ciudad de Morelia), lo que ayuda a reducir ciertos contaminantes para que tengan una mejor calidad en el uso agrícola; por ejemplo, el exceso de materia orgánica u otros elementos. Tal es el caso observado en los resultados, en los que valores de DQO Y DBO5 no sobrepasaron las normas, sin embargo los primeros tres sitios de muestreo presentaron los valores más altos, lo cual denota el efecto de las descargas domésticas locales.
- Las aguas finales que llegan al área de irrigación de Tarímbaro, después de la planta de tratamiento, se combinan con las descargas domésticas y agrícolas de otros poblados y de la misma zona urbana de Tarímbaro. Específicamente en la zona sur, que es parte de la expansión periurbana de la ciudad de Morelia. Dichos fraccionamientos, están después de la planta y afectan también la calidad del agua.
- Los resultados de *E. coli* sobrepasaron los límites máximos permisibles de los Criterios ecológicos (**CE-CCA-001/89**). Este hecho resalta la importancia del riesgo que existe en el manejo directo de las aguas residuales y también en los habitantes que viven muy cerca de los canales. Lo que implicaría riesgos en la salud como enfermedades infecciosas como áscaris, salmonelosis, sobretodo en niños (Blumental y Peasy, 2002).
- En los resultados de metales pesados, ninguno rebasó las normas, aunque no se descarta la posibilidad de encontrar mayores concentraciones acumuladas en los suelos; por lo que sería recomendable hacer estudios sobre los sedimentos, suelos o cultivos para poder identificar si ha habido algún tipo de bioacumulación de metales o acumulación en los suelos o en los sedimentos de los canales.

Otro aspecto que se encontró en la calidad de las aguas residuales, es que en la Clasificación de Agua de Riego por Peligro de Salinidad y Sodicidad (Según Richards, 1954); 8 de los 10 puntos muestreados deben ser controlados en cuanto a salinidad, es decir que las prácticas agrícolas deben de vislumbrar dicha problemática para que no ejerza en un futuro, problemas con la fertilidad de suelo. Esto es importante, ya que puede afectar el rendimiento de los cultivos y/o provocar un taponamiento en los suelos por el exceso de sales.

En general, los resultados encontrados no rebasaron los límites máximos permisibles de las normas Nom-Ecol-001-1996, Criterios ecológicos y NOM-032.1993 (recordando que esta última sólo fue tomada como referencia, debido a que la Nom-001 la reemplaza pero no contiene límites máximos para algunos parámetros). De cualquier manera, éstos resultados deben tomarse en cuenta para estudios posteriores ya que denotan un estado del arte en cierto período, no olvidando las condiciones en las que se llevaron a cabo.

La necesidad de conocer el uso y el estado de la calidad de las aguas no sólo involucra el mejoramiento en las prácticas agrícolas, esta problemática incluye temas relacionados con la infraestructura, aspectos políticos y de gestión; ya que no sólo es una cuestión técnica, sino que involucra varios actores y procesos. En estos sistemas agrícolas periurbanos están involucrados los gobiernos locales, los habitantes de ambos municipios, las políticas de crecimiento y expansión urbana en las que varias ocasiones no se contemplan el destino final de los desechos que van a generar los nuevos habitantes. De la misma manera, están las políticas y la gestión dentro y fuera de los distritos de riego; los propios ejidatarios que deciden en conjunto lo que van a sembrar; los derechos de usuarios del agua que se van heredando, pero que terminan siendo usado por dos o más y quizás generar conflictos, la capacidad de pago para utilizar agua de pozo en lugar del agua del distrito, entre otros. Finalmente las prácticas culturales y sociales de cada localidad propia, urbana o rural.

### **Recomendaciones generales:**

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se elaboró una sección final para medidas prácticas en la agricultura periurbana o sugerencias generales.

-La infraestructura del módulo de Riego 03 requiere una mayor inversión, para el revestimiento de canales, mejoramiento de compuertas, entre otros. Por otro lado, se recomendaría que los nuevos fraccionamientos y el nuevo desarrollo urbano contemplaran de manera obligatoria el uso de plantas de tratamiento.

-En algunos casos la mezcla de aguas residuales con otras fuentes sirve para mejorar la calidad de éstas, sin embargo esta mezcla debería considerar ciertos aspectos de proporciones

de nutrientes y sales. Existe literatura que puede ayudar a dar indicaciones sobre este tipo de práctica agrícola, como Ayers y Wesycott (1985).

-Debido a estas aguas residuales, los suelos y cultivos podrían sufrir daños por salinidad, existen métodos en la agricultura para mejorar el drenaje de los suelos, aminorando la acumulación de sales. Por ejemplo, haciendo cálculos de la cantidad de lixiviación que necesitan los suelos para no acumular sales y el monitoreo de dichos cálculos. Otro método puede ser la plantación de cultivos tolerantes a las sales como la cebada, el sorgo, remolacha azucarera, algodón entre otros. Otro sistema puede ser el lugar donde se siembra, la inclinación de las camas respecto las semillas y al suelo. Estar pendiente de la cantidad de fertilizantes que se usa y sobretodo de mejorar el drenaje.

-Se sugiere hacer estudios en suelos y cultivos de esta zona para hacer una detección más precisa sobre la presencia de metales pesados y su efecto en los cultivos y suelos de los SAPs. También los análisis periódicos del suelos ayudar a tomar mejores decisiones en relación a las prácticas agrícolas.

-Involucramiento de las localidades cercanas a los canales de riego en el problema para generar posibles soluciones o generar campañas de prevención para evitar enfermedades gastrointestinales.

-Ya que el problema no es sólo parte del lado rural, sino que viene desde la ciudad de Morelia, dicha problemática debería ser parte de las agendas políticas para hacer una transformación ciudadana más consciente ,en varias ocasiones se desconoce el origen de los productos que se consumen. En otros casos, no basta conocer la problemáticas, sino que se debe generar políticas que ayuden al mejoramiento de la calidad de éstas aguas. Sobre todo porque al final los productos llegan a las ciudades.

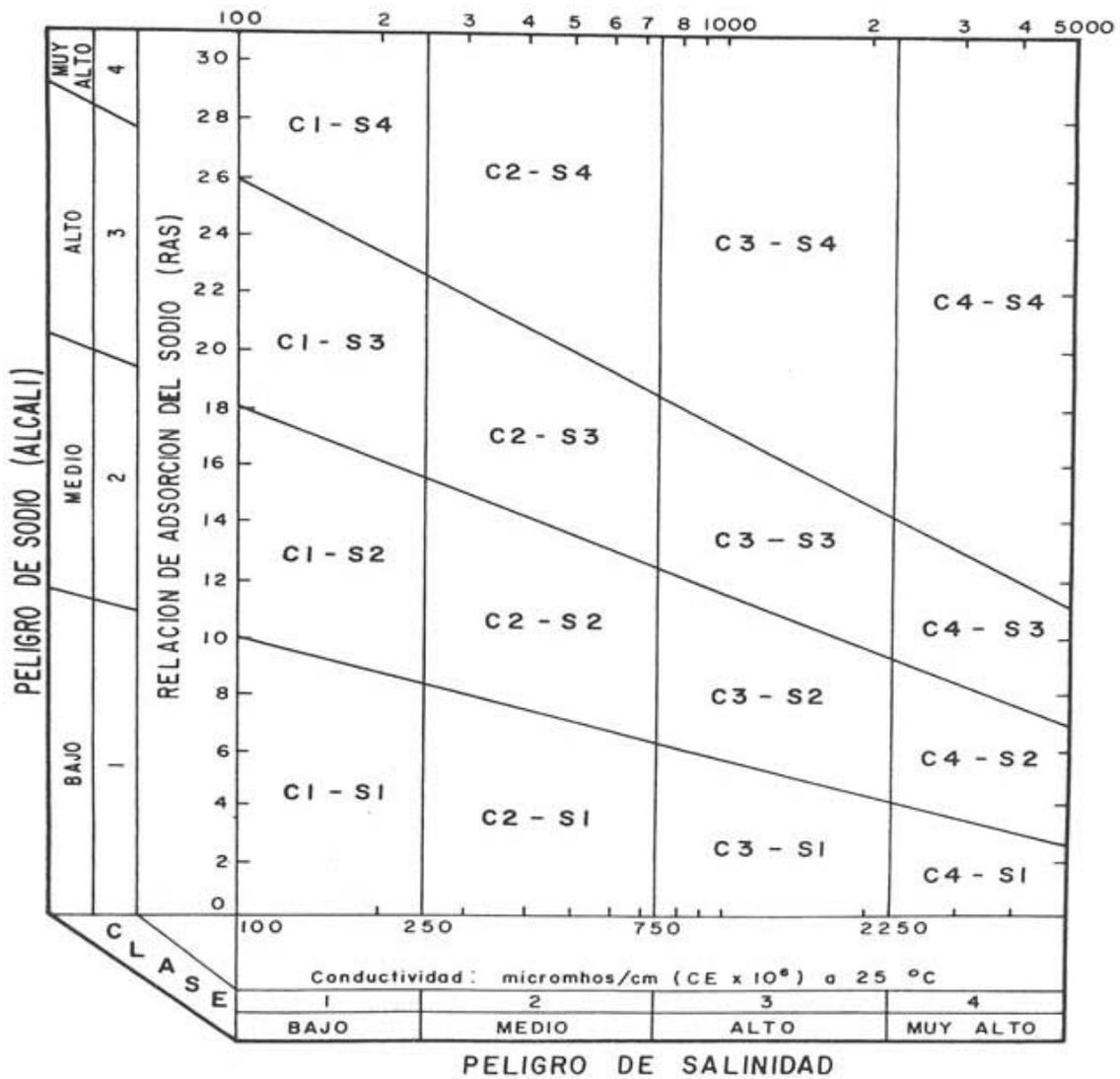
## Referencias Bibliográficas

- Agua, C. N. (2012). *Atlas del Agua en México 2012*.
- Aguilar, Adrián Guillermo (coord.). (2006). *Las grandes aglomeraciones y su periferia regional. Experiencias en Latinoamérica y España*. México: Instituto de Geografía-UNAM/ Miguel Ángel Porrúa.
- Allen, A., Dávila, J., & Hofmann, P. (2005). Gobernabilidad y acceso al agua y saneamiento en la interfaz periurbana : análisis preliminar de cinco estudios de caso. *Cuadernos del Cendes*, 23-44.
- Álvarez, J. P., Panta, J. E., & Ayala, C. R. (2008). Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica del Río Amajac. *Información Tecnológica*, 21-32.
- Atapaneo, P. T. (2013). Visita a Planta tratadora de Aguas Residuales de Morelia. (A. F. Pasos, Entrevistador)
- Ávila, H. S. (2004). La agricultura en las ciudades y su periferia: un enfoque desde la Geografía. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, 98-121.
- Ávila, H. S. (2009). Periurbanización y espacios rurales en las periferias rurales. *Estudios Agrarios-Procuraduría Agraria*, 93-123.
- Ávila, P. G. (2006). Water, society and environment in the history of one Mexican city. *Environment and Urbanization*, 129-140.
- Ávila, P. G. (2007). *Agua, ciudad y medio ambiente: una visión histórica de Morelia*. UNAM/ SEDESOL /H. Ayuntamiento de Morelia/Observatorio Urbano de Morelia.
- Ayers, R., & Wescot, S. (1976). *Water Quality for Agriculture*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Brockerhoff, M. (September de 2000). An urbanizing world. *Population Bulletin*, 53, 3-44.
- Buechler, e. a. (2006). Wastewater Use for Urban and Peri-urban Agriculture. En R. v. Veenhuizen, *Cities Farming for the Future Urban* (págs. 241-272). RUAF Foundation, IDRC and IIRR.
- Carr, G., & Neary, J. (2008). *Water Quality for Ecosystem and Human Health*. Ontario, Canada: United Nations Environment Programme (UNEP) Global Environment Monitoring System.
- CEPAL. (2012). *Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe Statistical*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Chávez, R. R. (2011). Evaluación de la contaminación en cuencas por medio de un Sistema de Información Geográfico. Caso de estudio: cuenca del Río Grande de Morelia. Distrito Federal, México.
- Cirelli, C. (2004). *Agua Desechada. Agua Aprovechada. Cultivando en los márgenes de la Ciudad*. México: El Colegio de San Luis.
- Comisión Nacional del Agua. (2011). *Agenda del Agua 2030*. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Contreras, J. B., Mendoza, C. L., & Gómez, A. (2004). Determinación de metales pesado en aguas y sedimentos del Río Haina. *Ciencia y Sociedad*, 38-71.
- Cortés, J. M., Troyo, D. E., & Garatuza, J. P. (2009). Correlación entre indicadores de la calidad del agua para uso agrícola. *Folleto Técnico No. 66*. Ciudad Obregón, Sonora, México: INIFAP.
- Dascal, G., & Villagran, J. (1995). La periurbanización y la agricultura metropolitana: aspectos claves del ordenamiento territorial en la periferia urbana de Santiago. *Revista de Geografía Norte Grande*, 35-39.
- De la Peña, M. E., Ducci, J., & Viridiana, P. (2013). *Tratamiento de aguas residuales en México*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Ensink, J. H., Van der Hoek, W., Matsuno, Y., Munir, S., & Mislam, M. R. (2002). *Use of Untreated Wastewater in Peri-Urban Agriculture in Pakistan: Risks and Opportunities*. Sri Lanka: International Water Management Institute.
- FAO. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?*
- García, J. O. (2007). La agricultura de riego y riego con aguas residuales. Obtenido de [http://www.economia.umich.mx/eco\\_old/publicaciones/EconYSoc/ES10\\_13.html](http://www.economia.umich.mx/eco_old/publicaciones/EconYSoc/ES10_13.html)
- García, R. C. (2010). *Tesis Profesional: Crecimiento urbano y sustentabilidad de sistemas agropecuarios peri-urbanos del municipio de Tarimbaro, Michoacán*. Instituto Tecnológico del Valle Morelia.
- IWMD-CIID. (2003). *La declaración de HYDERABAD*. Hyderabad.
- Kretschmer, N., & Ribbe, L. u. (2002). Wastewater Reuse for Agriculture. *Resource Management and Development*.

- Lattes, A. (1995). Urbanización, crecimiento urbano y migraciones. *Centro de estudios de Población*, 211-260.
- Mancilla, O. R., Ortega, H. M., Ramírez, C. A., Uscanga, E. M., Ramos, R. B., & Reyes, A. L. (2011). Metales Pesados Totales y Arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, 39-48.
- Martínez, G. H., Guerra, R. G., & Becerra, F. G. (2000). Obtenido de BVSDE: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexicona/R-0114.pdf>
- Mattos, C. A. (2006). Modernización capitalista y transformación metropolitana en América Latina: cinco tendencias constitutivas. *América Latina: cidade, campo e turismo*, 41-73.
- Méndez, R., Melero, A., & Calatrava, A. (2009). Desarrollo territorial policéntrico y ciudades intermedias: recursos productivos y dinámicas económicas locales en Andalucía. *Estudios Geográficos*, 637-663.
- Méndez, Y. M. (2007). Effects of urban Growth in the process of the impoverishment of campesino's households living in periurban areas: a case study in Mexico city. Australia: The University of Queensland.
- Módulo de Riego 3. (2013). Entrevista al Módulo de Riego 3 "Asociación de Agricultores y Productores de Tarímbaro y Álvaro Obregón". (A. F. Pasos, Entrevistador)
- Narrain, V. (2010). *Periurban water security in a context of urbanization and climate change. A review of concepts and relationships*. Andhra Pradesh, India: SaciWATERS.
- Nivón, E. B. (2003). Contradicciones de la Ciudad Difusa. *Alteridades-UAM Iztapalapa*, 15-33.
- ONU-HABITAT. (2012). *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana*. Nairobi: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.
- Peasy Anne, B. U.-P. (2000). *A review of policy standards for wastewater reuse in agriculture: a latin american perspective*.
- Phillips D, W. K. (1999). *Literature review on peri-urban natural resource conceptualisation and management approaches, FinalTech. Rep. Proj. R6949*,. DFID Nat. Resour. Syst. Program. Nottingham: Univ. Nottingham/Univ. Liverpool.
- Pompa, I. Y. (2007). *Crecimiento Urbano y Deterioro Ambiental de la Ciudad de Morelia, Michoacán*. Morelia.
- PTAR-ATAPANEO. (2013).
- Qadir, e. a. (2007). Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural Water Management*, 2-22.
- Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCornickb, P., Drechsel, P., Bahri, A., & Minhas, P. (2008). The challenges of wastewater irrigation in developing countries. *Agricultural Water Management / ELSEVIER*, 561-568.
- Rodríguez, J. A. (2012). Disponibilidad de las aguas subterráneas en el Valle Morelia-Queréndaro. En *Contribuciones para el desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*. INIFAP-Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro-UNAM-CIGA.
- Rutkowski, e. a. (2006). Wastewater irrigation in the developing world—Two case studies from the Kathmandu Valley in Nepal. *ELSEVIER-Agricultural water management.*, 83-91.
- Satterthwaite, D. (2010). Urbanization and its implications for food and farming. *Philosophical Transactions B of the Royal Society*, 2809-2820.
- Scott, C., Faruqui, & Raschid-Sally. (2007). Wastewater used in irrigated agriculture: Management challenges in developing countries. En I. IDRC, *Wastewater used in irrigated agriculture. Coordinating the livelihood and Environmental Realities* (pág. 197).
- Tarímbaro, S. d. (2012).
- UNFPA. (2007). *Estado de la población mundial 2007*. Nueva York: Fondo de Población de Naciones Unidas.
- UNFPA. (2011). *Estado de la Población Mundial 2011*. Nueva York: Fondo de Población de las Naciones Unidas.
- United Nations. (2009). *World Urbanization Prospects The 2009 Revision Highlights*. New York: United Nations-Department of Economic and Social Affairs.
- Veenhuizen, R. v. (2007). En FAO, *Profitability and Sustainability of urban and peri-urban agriculture*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- WHO. (2006). *Guidelines for the safe use of Wastewater, excreta and greywater/ Wastewater use in agriculture* (Vol. 2). Francia: World Health Organization.

# Anexo

1. Criterios de Clasificación de Agua de Riego, según Richards (1954). Tomado de Cortés et. al., 2009.



## 2. Formato de Entrevista semiestructurada aplicada en el Módulo de Riego 03.

Entrevistado (a):

Sitio:

Entrevistador:

1. ¿Cuáles son las funciones del CADER?
2. ¿A qué Distrito de Riego pertenece la zona agrícola de Tarímbaro?
3. ¿Qué unidades de riego incluye Tarímbaro?
4. ¿Cuáles son las fuentes de agua para la actividad agrícola en Tarímbaro?
5. ¿De dónde proviene el agua que dota la agricultura de riego en Tarímbaro?
6. ¿Cómo opera la dotación del agua para la agricultura de riego? (ej. Volúmenes de agua, padrón de usuarios)
7. ¿Cuáles son las fechas en las que se dota de agua?
8. ¿Cómo funciona el cobro del servicio de dotación de agua?
9. ¿Se da mantenimiento a los canales de agua? ¿Cada cuándo?
10. Identificación del paso del agua en Tarímbaro. (Usar Mapa)

- Canales principales
- Canales Secundarios
- Origen de canales
- Cruce de canales de diferente origen
- Destino Final
- Ancho de drenes
- Plantas tratadoras
- Canales o fuentes de agua que dotan la actividad agrícola a nivel parcela

## 3. Sitios prueba de muestreo

<b>SITIO</b>	<b>Localidad</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>LATITUD</b>
<b>1</b>	Miguel Hidalgo	279640	2188954
<b>2</b>	San José*	274064	2188049
<b>3</b>	El lometón	277724	2191694

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4. Hoja de Campo

### CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES EN TARÍMBARO, MICHOACÁN.

#### HOJA DE CAMPO

Fecha de Muestreo: \_\_\_\_\_ Hora de Muestreo: \_\_\_\_\_

Municipio: \_\_\_\_\_

Sitio de Muestreo: \_\_\_\_\_

Altitud: \_\_\_\_\_ Longitud: \_\_\_\_\_ Latitud: \_\_\_\_\_

<b>Datos Físico-Químicos</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Comentarios</b>
Temperatura del Aire		
Temperatura del Agua		
pH		
CE		
Oxígeno Disuelto		
Observaciones		

Nombre de quien registro los datos \_\_\_\_\_

6. Guía para la interpretación de la calidad de agua para irrigación (tomado de Ayers y Westcot, 1985)

Table 1 GUIDELINES FOR INTERPRETATIONS OF WATER QUALITY FOR IRRIGATION<sup>1</sup>

Potential Irrigation Problem		Units	Degree of Restriction on Use		
			None	Slight to Moderate	Severe
<b>Salinity</b> (affects crop water availability) <sup>2</sup>					
	EC <sub>w</sub>	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	(or)				
	TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
<b>Infiltration</b> (affects infiltration rate of water into the soil. Evaluate using EC <sub>w</sub> and SAR together) <sup>2</sup>					
	SAR = 0 – 3		> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	= 3 – 6		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	= 6 – 12		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	= 12 – 20		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	= 20 – 40		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
<b>Specific Ion Toxicity</b> (affects sensitive crops)					
	<b>Sodium (Na)</b> <sup>4</sup>				
	surface irrigation	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
	<b>Chloride (Cl)</b> <sup>4</sup>				
	surface irrigation	me/l	< 4	4 – 10	> 10
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
	<b>Boron (B)</b> <sup>5</sup>	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	<b>Trace Elements</b> (see Table 21)				
<b>Miscellaneous Effects</b> (affects susceptible crops)					
	<b>Nitrogen (NO<sub>3</sub> - N)</b> <sup>6</sup>	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
	<b>Bicarbonate (HCO<sub>3</sub>)</b>				
	(overhead sprinkling only)	me/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
	pH		Normal Range 6.5 – 8.4		

5. Valores máximos recomendados para concentraciones de metales pesados en el agua de riego (Tomado de Ayers y Westcott, 1985)

<b>Table 21 RECOMMENDED MAXIMUM CONCENTRATIONS OF TRACE ELEMENTS IN IRRIGATION WATER<sup>1</sup></b>		
<b>Element</b>	<b>Recommended Maximum Concentration<sup>2</sup> (mg/l)</b>	<b>Remarks</b>
Al(aluminium)	5.0	Can cause non-productivity in acid soils (pH < 5.5), but more alkaline soils at pH > 7.0 will precipitate the ion and eliminate any toxicity.
As (arsenic)	0.10	Toxicity to plants varies widely, ranging from 12 mg/l for Sudan grass to less than 0.05 mg/l for rice.
Be (beryllium)	0.10	Toxicity to plants varies widely, ranging from 5 mg/l for kale to 0.5 mg/l for bush beans.

Cd (cadmium)	0.01	Toxic to beans, beets and turnips at concentrations as low as 0.1 mg/l in nutrient solutions. Conservative limits recommended due to its potential for accumulation in plants and soils to concentrations that may be harmful to humans.
Co (cobalt)	0.05	Toxic to tomato plants at 0.1 mg/l in nutrient solution. Tends to be inactivated by neutral and alkaline soils.
Cr (chromium)	0.10	Not generally recognized as an essential growth element. Con-servative limits recommended due to lack of knowledge on its toxicity to plants.
Cu (copper)	0.20	Toxic to a number of plants at 0.1 to 1.0 mg/l in nutrient solutions.
F (fluoride)	1.0	Inactivated by neutral and alkaline soils.
Fe (iron)	5.0	Not toxic to plants in aerated soils, but can contribute to soil acidification and loss of availability of essential phosphorus and molybdenum. Overhead sprinkling may result in unsightly deposits on plants, equipment and buildings.
Li (lithium)	2.5	Tolerated by most crops up to 5 mg/l; mobile in soil. Toxic to citrus at low concentrations (<0.075 mg/l). Acts similarly to boron.
Mn (manganese)	0.20	Toxic to a number of crops at a few-tenths to a few mg/l, but usually only in acid soils.
Mo (molybdenum)	0.01	Not toxic to plants at normal concentrations in soil and water. Can be toxic to livestock if forage is grown in soils with high concentrations of available molybdenum.
Ni (nickel)	0.20	Toxic to a number of plants at 0.5 mg/l to 1.0 mg/l; reduced toxicity at neutral or alkaline pH.
Pd (lead)	5.0	Can inhibit plant cell growth at very high concentrations.
Se (selenium)	0.02	Toxic to plants at concentrations as low as 0.025 mg/l and toxic to livestock if forage is grown in soils with relatively high levels of added selenium. An essential element to animals but in very low concentrations.
Sn (tin)		
Ti (titanium)	----	Effectively excluded by plants; specific tolerance unknown.
W (tungsten)		
V (vanadium)	0.10	Toxic to many plants at relatively low concentrations.
Zn (zinc)	2.0	Toxic to many plants at widely varying concentrations; reduced toxicity at pH > 6.0 and in fine textured or organic soils.

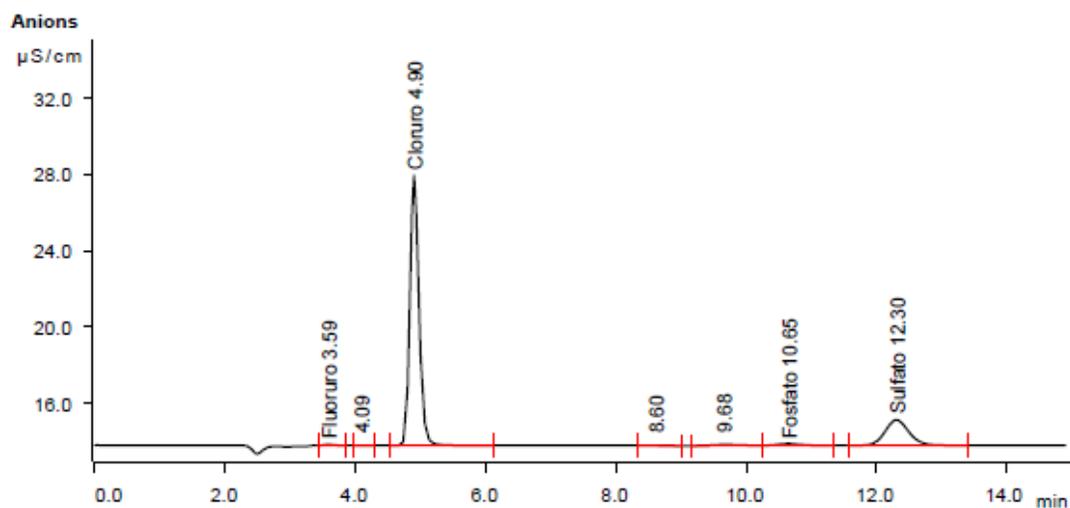
<sup>1</sup> Adapted from National Academy of Sciences (1972) and Pratt (1972).

<sup>2</sup> The maximum concentration is based on a water application rate which is consistent with goodirrigation practices (10 000 m<sup>3</sup> per hectare per year). If the water application rate greatly exceeds this, the maximum concentrations should be adjusted downward accordingly. No adjustment should be made for application rates less than 10 000 m<sup>3</sup> per hectare per year. The values given are for water used on a continuous basis at one site.

## 6. Gráficos de resultados de Cationes y Aniones

### -Muestra 1- Detección de Aniones

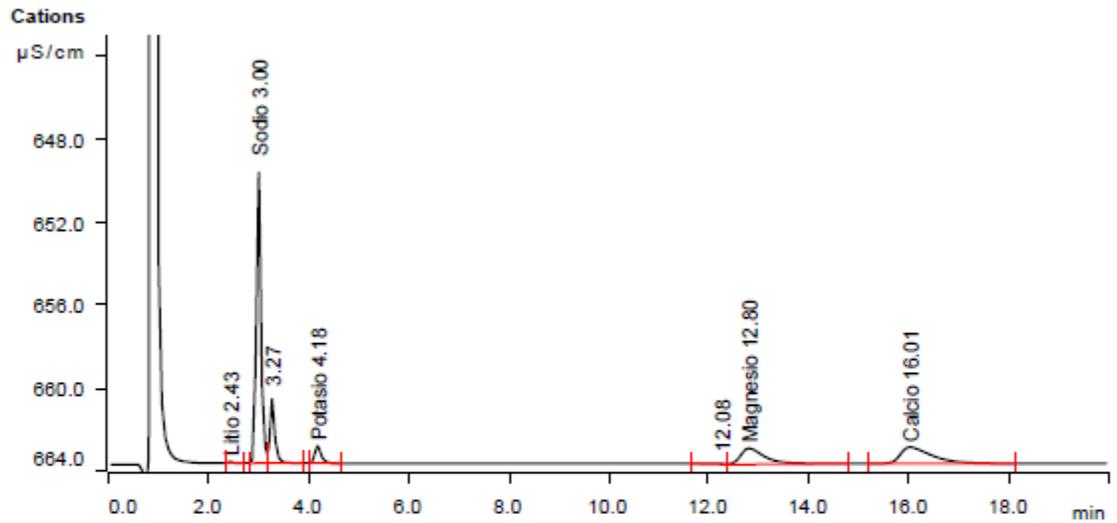
Data source ..... Conductivity detector 1 (883 Basic IC plus 1)  
 Channel ..... Conductivity  
 Recording time ..... 15.0 min  
 Integration ..... Automatically  
 Eluent composition ..... not defined  
 Flow ..... 1.000 mL/min  
 Pressure ..... 7.89 MPa  
 Temperature ..... °C



Peak number	Retention time min	Area (µS/cm) x min	Height µS/cm	Concentration mg/L	Component name
1	3.585	0.0089	0.059	0.507	Fluoruro
2	4.087	0.0015	0.010	invalid	
3	4.900	2.2624	14.154	72.949	Cloruro
4	8.598	0.0048	0.020	invalid	
5	9.678	0.0259	0.053	invalid	
6	10.647	0.0349	0.089	5.891	Fosfato
7	12.300	0.5705	1.346	27.121	Sulfato

## Muestra 1- Detección de Cationes

Data source ..... Conductivity detector 1 (883 Basic IC plus 1)  
 Channel ..... Conductivity  
 Recording time ..... 20.0 min  
 Integration ..... Automatically  
 Eluent composition ..... not defined  
 Flow ..... 1.000 mL/min  
 Pressure ..... 6.03 MPa  
 Temperature ..... °C



Peak number	Retention time min	Area ( $\mu\text{S/cm}$ ) x min	Height $\mu\text{S/cm}$	Concentration mg/L	Component name
1	2.433	0.0077	0.080	4.546	Litio
2	3.003	1.5254	14.051	86.607	Sodio
3	3.267	0.3584	3.099	invalid	
4	4.175	0.1210	0.839	15.378	Potasio
5	12.077	0.0134	0.029	invalid	
6	12.795	0.4419	0.779	14.857	Magnesio
7	16.008	0.5731	0.792	29.448	Calcio

## 7. Imágenes de Trabajo de Campo:

Imagen 1. Salida de aguas tratadas de la Planta de Tratamiento de ATAPANEO



Imagen 2. Visita a la planta de tratamiento de Atapaneo



Imagen 3. Canal Principal Joconoles, cerca del Sitio 1



Imagen 3. Toma de muestras en el Canal Joconoles



Imagen 3. Análisis de la Demanda Bioquímica 5 (DBO5) en el Laboratorio LASA



Imagen 4. Análisis de laboratorio para detectar Sólidos

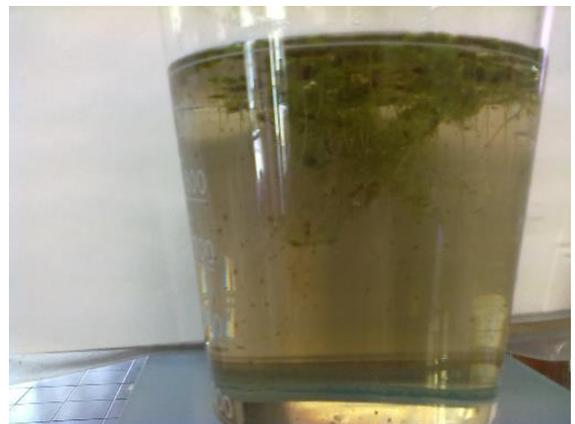


Imagen 4: Análisis de laboratorio para detectar Coliformes tiales y E. Coli

