



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

**ESTIMACIÓN DEL IMPACTO POTENCIAL DE RIEGO CON
AGUAS NEGRAS EN EL MUNICIPIO DE PACHUCA, HGO.
SOBRE LA SALUD HUMANA**

SAÚL MONTERO AGUIRRE

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2014

La presente tesis titulada: **Estimación del impacto potencial de riego con aguas negras en el municipio de Pachuca, Hgo sobre la salud humana**, realizada por el alumno: SAÚL MONTERO AGUIRRE, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


DR. IOURII NIKOLSKII GAVRILOV

ASESOR


DR. OSCAR LUIS PALACIOS VÉLEZ


ASESOR


DR. LEONARDO TRAVERSONI DOMÍNGUEZ

ASESOR


DR. CESÁRIO LANDEROS SÁNCHEZ

ASESOR


DR. BERNARDO SAMUEL ESCOBAR VILLAGRAN

Montecillo, Texcoco. Estado de México, septiembre del 2014.

ESTIMACIÓN DEL IMPACTO POTENCIAL DE RIEGO CON AGUAS NEGRAS EN EL MUNICIPIO DE PACHUCA, HGO. SOBRE LA SALUD HUMANA

Saúl Montero Aguirre, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

El uso de aguas negras municipales para riego agrícola puede afectar la salud humana. El objetivo del trabajo fue determinar la cantidad y calidad de las aguas negras de la ciudad de Pachuca, Hidalgo y estimar el impacto potencial sobre la salud humana por el consumo de hortalizas y verduras regadas con estas aguas. El estudio consistió en determinar el contenido de contaminantes principalmente de huevos de helmintos en las aguas negras y estimar: la cantidad de hortalizas y verduras producidas en los terrenos regados con estas aguas, el nivel de la contaminación parasitológica de estos productos agrícolas y el número de personas potencialmente afectadas por consumo de ellos en forma cruda supuestamente sin su tratamiento adecuado previo. El nivel potencial de contaminación parasitológica de hortalizas y verduras fue estimado mediante análisis de los datos bibliográficos principalmente en el extranjero sobre las prácticas de irrigación con aguas negras de los cultivos agrícolas en las condiciones climáticas y tecnológicas similares al municipio de Pachuca, Hgo. Los análisis comprobaron que el nivel de contaminación del agua negra de la ciudad de Pachuca, Hidalgo, supera hasta 64 veces el nivel máximo permisible de las normas mexicanas con respecto principalmente a huevos de *Áscaris lumbricoides* y *Hymenolepis diminuta*. El número de personas potencialmente infectadas por consumo en forma cruda de hortalizas y vegetales regadas con estas aguas fue estimado a nivel de 105,000 a 360,000 anualmente mientras que el INEGI registró en el estado de Hidalgo 115,000 personas con infecciones gastrointestinales en 2009 y 139,000 personas en el 2013.

Palabras clave: huevos de helmintos, contaminación parasitológica de productos agrícolas, enfermedades.

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL IMPACT OF IRRIGATION WITH WASTE WATERS IN THE PACHUCA MUNICIPALITY, HGO. ON HUMAN HEALTH

Saúl Montero Aguirre, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

ABSTRACT

The application of municipal wastewaters for irrigation can affect human health. It was studied the quantity and quality of the sewage of the Pachuca city, Hidalgo used for irrigation, and the potential harm to human health was assessed because of consumption of raw agricultural products produced on the lands irrigated with these waters. The objective of the work was to determine the quality of the sewage of the Pachuca city, Hidalgo and estimate the potential impact on human health because of the consumption of vegetables irrigated with these wastewaters. The study was to determine the content of pollutants mainly of helminthes eggs and estimate: the amount of vegetables produced under irrigation with these waters, the level of parasitological contamination of the agricultural products and the number of people potentially affected because of their consumption in raw form without proper pretreatment. The potential level of parasitological contamination of vegetables was estimated by analysis of bibliographic data mainly abroad on practices of wastewater irrigation of agricultural crops in similar climatic and technological conditions as in the Pachuca municipality, Hidalgo. The analysis found that the level of wastewater contamination of the Pachuca city, Hidalgo exceeded up to 64 times the maximum permissible level of Mexican standards concerning mainly *Áscaris lumbricoides* and *Hymenolepis diminuta* eggs. The number of persons potentially infected because of consumption of raw vegetables irrigated with these waters was estimated at the level of 105.000 to 360.000 annually while the INEGI registered in the state of Hidalgo 115,000 persons with gastrointestinal infections in 2009 and 139,000 persons in 2013.

Key words: helminth eggs, parapsychological contamination of agricultural products, diseases.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Huevos de Helmintos.....	12
2.2. Áscaris lumbricoides.....	14
2.3 Coliformes fecales.....	17
2.4 Metales pesados.....	18
2.5 Grasas y Aceites.....	21
3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	21
3.1 Objetivo general.....	21
3.2 Objetivos Específicos.....	21
3.3. Hipótesis.....	22
4. MATERIALES Y METODOS.....	22
4.1. Estrategia de trabajo.....	22
4.2. Materiales.....	23
4.3. Métodos.....	27
4.3.1. Determinación de nivel de contaminación de las aguas negras de la ciudad de Pachuca, Hgo.....	27
4.3.2. Estimación del área de riego con las aguas negras de hortalizas y verduras y su nivel de contaminación parasitológica.....	35
4.3.3. Estimación del impacto potencial de riego con aguas negras en el municipio de Pachuca, Hidalgo, sobre la salud humana.....	38
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
5.1. Contaminación de las aguas negras de la ciudad de Pachuca, Hidalgo.....	39
5.2. Producción de hortalizas y verduras bajo riego con las aguas negras en el Municipio de Pachuca, Hidalgo y su contaminación por helmintos.....	46
5.3. Impacto potencial de riego con aguas negras en el municipio de Pachuca, Hidalgo sobre la salud humana.....	51
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
6.1 Conclusiones.....	54
6.2 Recomendaciones.....	55
7. BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS.....	65
A1. Figuras del material utilizado en el muestreo de agua residual.....	65
A2. Parámetros físicos medidos en las descargas.....	68
A3. Definición de Parámetros y daños a la salud.....	70
A4. Definición de contaminantes Microbiológicos y daño sobre la salud humana.....	75
A5. Normas y Métodos, determinación de parámetros del agua residual.....	77
A6. Método para determinación de Huevos de Helmintos.....	78

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Ubicación de emisores monitoreados.	25
Cuadro 2. Preservación y material de envases para el muestreo.	34
Cuadro 3. Límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales municipales utilizadas para riego agrícola.	35
Cuadro 4. Calidad fisicoquímica de las aguas negras de la ciudad Pachuca, Hgo.	39
Cuadro 5. Contenido de metales pesados en agua negra de la ciudad de Pachuca, Hidalgo.	41
Cuadro 6. Contenido de coliformes fecales en aguas negras de la ciudad Pachuca, Hidalgo.	42
Cuadro 7. Contenido de huevos de helmintos en aguas negras de la ciudad Pachuca.	44
Cuadro 8. Uso de agua negra en diferentes cultivos en América Latina	47
Cuadro 9. Contaminación parasitológica de las aguas negras y hortalizas y/o verduras con regadas estas aguas en diferentes países del mundo.	49
Cuadro 10. Nivel estimado de contaminación de hortalizas y/o verduras regadas con aguas negras en el municipio de Pachuca, Hidalgo y del impacto potencial sobre la salud humana debido al consumo de estos productos en forma cruda. (Nivel permisible es de 1huevo/L y 0 huevos/planta)	53
Cuadro 11. Parámetros Medidos en la descarga del Emisor Venado (D1)	68
Cuadro 12. Parámetros medidos en la descarga del Emisor río de las avenidas (D2)	69
Cuadro 13. Métodos normalizados, determinación de parámetros del agua residual	77

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Áscaris Lumbricoides en 90cm de intestino delgado.	15
Figura 2. Ciclo de vida del Áscaris Lumbricoides.	16
Figura 3. Mapa del Estado de Hidalgo y sus municipios.	26
Figura 4. Emisores visitados en el municipio de Pachuca, Hgo.	28
Figura 5. Medición de la velocidad del flujo de agua negra, emisor Venado.	29
Figura 6. Medición de la velocidad del flujo de agua negra, Río las Avenidas.	30
Figura 7. Contenido de huevos de helmintos por litro de agua negra.	45
Figura 8. Preservación de Muestras.	65
Figura 9. Medición de parámetros físicos.	65
Figura 10. Material requerido por sitio de muestreo	66
Figura 11. Hielera con los ácidos necesarios para preservar la muestras.	66
Figura 12. Hoja de calibración del equipo en cada sitio de muestreo.	67
Figura 13. Emisor providencia.	67
Figura 14. Especies de huevos de helminto.	85

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, por haberme dado la oportunidad de contar con el apoyo económico a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), para llevar a cabo mis estudios de Doctorado.

Al colegio de Postgraduados, programa de Hidrociencias por darme la oportunidad de realizar mi formación profesional.

Al Dr. Iouri Nikolskii Gavrilov, profesor consejero por su apoyo, orientación y enseñanza brindada durante mis estudios de postgrado.

A la Maestra Oktiabrina Bakhlaeva Egorova por su apoyo durante mi estancia doctoral y revisión de la tesis.

A los profesores de mi consejo particular:

Dr. Oscar L. Palacios Vélez
Dr. Cesáreo Landeros Sánchez
Dr. Leonardo Traversoni Domínguez
Dr. B. Samuel Escobar Villagran

Gracias por sus observaciones y sugerencias en la realización de la presente tesis, y sobre todo por su disposición y tiempo a mis consultas.

Al Lic. Armando Ramírez-Gómez. Procurador académico, por ser excelente persona, y su disposición por ayudar.

A todos mis compañeros que compartieron clases y prácticas durante mis estudios de doctorado, a los que me ayudaron con el trabajo de la investigación, especialmente a Eva Guadarrama, A. Mata, Efraín.

Al Ing. Santiago Arellano, por su apoyo, así como al personal que labora con él, en especial al Biol. Daniel Pérez.

Esta tesis se realizó con el apoyo del proyecto FOMIX-CONACYT 99330 dirigido por el Dr. E. Rubiños, al que se agradece el apoyo durante el desarrollo del muestreo.

DEDICATORIA

A mi Mamá, sé que me pase la vida estudiando y no pude darte más de lo que tú me diste, solo puedo decirte que te quiero mucho.

A mis hijos: Diana Yessica, Saúl Alaan y Samuel (tu eres la razón por la cual sigo adelante). Estoy seguro que ustedes pueden lograrlo, perdón por robar mucho tiempo de convivencia con ustedes, los extraño.

A mi familia que confió en que este día llegaría, y me brindo muestras de cariño.

Al Dr. Iouri Nikolskii y a la Maestra Oktiabrina Bakhlaeva Egorova, gracias por su apoyo, dedicación y amistad, sin la cual esta meta no se hubiera concluido.

Al Dr. Leonardo Traversoni, por ser profesor y amigo desde la licenciatura.

A la M.C. Eva Guadarrama que me ayudo con el duro y difícil muestreo de las aguas residuales.

Al Dr. Abel Quevedo, gracias por su apoyo, honestidad y amistad.

A mis amigos y ex compañeros de trabajo de muchos años: Ing. Fernando, Rafael Muñoz, que me dieron su apoyo en mis estudios universitarios.

A mis amigos: Benjamín León C, Grisel, Andrés León M, y a otros que en estos momentos no se recuerdan. Gracias por su apoyo y su amistad.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas negras son consideradas por los agricultores como una opción económica considerando la deficiencia del agua limpia como un recurso natural para riego y además del alto costo en comparación del uso de agua subterránea. Las aguas negras urbanas, municipales y domésticas contienen altas cantidades de materia orgánica y nutrientes como fósforo y nitrógeno que incrementan el rendimiento de los cultivos agrícolas por arriba del promedio. Los campos agrícolas regados con estas aguas reciben anualmente una cantidad de materia orgánica, la cual es la fuente principal de nitrógeno y además es la sustancia que forma estructura del suelo, aproximadamente igual a la aplicación de 100 t/ha de estiércol, mientras que las dosis máximas de este fertilizante orgánico son de orden de 20 t/ha/año (SAGARPA, 2009).

Sin embargo, las aguas negras pueden contener contaminantes químicos y biológicos: metales pesados, ácidos, aceites, otras sustancias químicas tóxicas, y además sustancias bacteriológicas y parasitológicas que pueden contaminar el suelo, acuíferos y los productos agrícolas, y estos a su vez impactar sobre la salud humana.

Lamentablemente los agricultores y los gobiernos estatal y federal subestiman o desconocen los riesgos a la salud asociados al riego con aguas negras (Veliz, 2009).

En México el uso de estas aguas está regulado por las normas mexicanas y solo está permitido regar ciertos cultivos ornamentales de viveros, de forraje o de grano y no

deben utilizarse para riego de los productos agrícolas de consumo directo como verduras y hortalizas los cuales se pueden ingerir en forma cruda. Las aguas negras contienen diferentes contaminantes: químicos (como sales tóxicas, metales pesados, ácidos, aceites, grasas, etc.), bacteriológicos (principalmente coliformes) y parasitológicos (huevos de helmintos). Cada uno de estos contaminantes tiene su impacto propio sobre el suelo, cultivo agrícola y la salud humana. Algunos contaminantes (por ejemplo, aceites y grasas) influyen principalmente en propiedades del suelo y su fertilidad y así afectan la productividad de los terrenos agrícolas. Otros (por ejemplo, contaminantes bacteriológicos y parasitológicos) pueden causar impacto directo sobre la salud humana contaminando los productos agrícolas consumibles en forma cruda (principalmente hortalizas y verduras). Se sabe que las aguas negras contienen huevos de helmintos (parásitos) estos están presentes en casi todas las aguas residuales urbanas y uno de estos de especial importancia por su alta incidencia en la población mundial y en México es el *Áscaris lumbricoides*. Este nematodo puede causar daños irreversibles en la salud humana y muchas veces hasta la pérdida de la vida humana, sobretodo de los niños.

Lamentablemente muchos agricultores en México sobrestiman o desconocen los impactos negativos relacionados con el uso de las aguas negras para regar sus cultivos. Los gobiernos estatales y municipales no toman medidas estrictas para controlar el problema. La población rural por lo general tiene bajos recursos, poca

educación especialmente en conceptos ecológicos, es la más afectada por las enfermedades gastrointestinales (sobre todo la población infantil) debido al consumo de los productos agrícolas como las hortalizas y verduras en forma cruda, contaminados por las aguas residuales de riego no tratadas previamente.

Se sabe que la FAO, UNESCO no permiten el uso directo de las aguas negras urbanas, municipales y domésticas para riego agrícola sin su tratamiento previo (Pescod, 1992).

Las cifras sobre número de muertes por el nematodo *Áscaris lumbricoides* en su mayoría son representadas por los niños de entre 5 y 14 años de edad, los cuales son los más vulnerables y marginados, por la falta de agua limpia y medios para lavar sus hortalizas y vegetales y por falta de educación sanitaria. Ellos frecuentemente son sujetos de alta exposición a las infecciones gastrointestinales. Por los problemas sanitarios, el detrimento de la calidad de vida, el deterioro y contaminación del campo agrícola se justifica el estudio del impacto potencial de riego con aguas negras en el municipio de Pachuca, Hidalgo, sobre la salud humana.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El control de la contaminación del agua de riego es uno de los desafíos más críticos en los países en desarrollo (Helmer and Hespanhol, 1999). México ocupa el segundo lugar en el mundo (después de China) como consumidor de las aguas negras

no tratadas en la agricultura y primer lugar en relación a un habitante. Cerca de 350,000 ha son regadas en México con agua residual (FAOSTAT, 2000 y Garza, 2000), de estas 280,000 son regadas con agua negra sin tratamiento alguno (CNA, 1998). La velocidad del deterioro de los acuíferos es alarmante, en 1975 existían 32 acuíferos sobreexplotados; para el 2004 el número de los acuíferos sobreexplotados se incrementó hasta 104, es decir, más del 300% en solo 30 años (Guerrero *et al*, 2009). Esto ha llevado a los agricultores a disponer del agua residual para regar sus productos.

El municipio que utiliza más agua negra para irrigación es el Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, México; recibe las descargas residuales de la ciudad de México desde los años 1960s. Se registra la contaminación de los mantos acuíferos de esta zona, ubicados con profundidades de decenas de metros hasta 100 m o más como resultado de filtración de las aguas residuales de la superficie de los campos regados hacia el acuífero. Los pozos de abastecimiento de agua potable ubicados en el acuífero muestran contaminación bacteriológica de agua. Además se observa que los terrenos de cultivo están perdiendo su productividad debido a la acumulación paulatina de las sustancias tóxicas en el suelo (Romero, 1994).

Se sabe que las aguas residuales domésticas tienen altos contenidos de materia orgánica y nutrientes que incrementan el rendimiento por hectárea a un bajo costo

(Peasey *et al.*, 2000; Zamora, 2009; Dole, 2002). Sin embargo, esta agua puede llevar contaminantes, sustancias químicas tóxicas, bacterias patógenas y parásitos (protozoarios, helmintos, virus), lo que puede causar impactos negativos sobre la calidad de los productos agrícolas y estos a la salud humana (Rivas *et al.*, 2003; Córdoba, 2010). Los análisis microbiológicos y parasitológicos de las aguas negras muestran que hay alta contaminación en ellas con microorganismos patógenos y helmintos (Pérez-Cordón, 2008).

El municipio de Pachuca tiene 26,900 ha de los terrenos agrícolas de temporal y 1,250 ha bajo riego en donde se siembra cebada, avena, maíz, maguey, tuna, verduras y hortalizas de los cuales se obtiene una producción de 143,945 toneladas (INEGI, 2013). En el año 2009 se registraron 115,231 nuevos casos de infecciones intestinales y de amibiasis en las regiones del estado de Hidalgo (INEGI, 2009). En el 2013 se registraron otros 139,000 nuevos casos de infecciones intestinales.

Anónimo (2003) menciona una alta incidencia de las infecciones intestinales por el nematodo *Áscaris lumbricoides* en el municipio de la Paz, Bolivia, en los menores de entre 5 y 14 años de edad, lo que se explica porque estos niños tienen contacto con aguas residuales y consumen los productos agrícolas bajo riego con estas aguas. La gente de bajos recursos vive de los vegetales (Ruiz-Palacios *et al.*, 1989). El consumo de verduras: espinacas, verdolagas, quintoniles irrigadas con agua de la presa Endho, Hidalgo, México, produjo un alto riesgo de infección por *Áscaris lumbricoides*. En un

estudio realizado en los Distritos de Riego 3 y 100 del estado de Hidalgo, se determinó que 855 familias realizan labores de riego con agua residual y esto los convierte en exposición alta al agua contaminada y 930 familias en exposición media (Cifuentes *et al* 1993). Se les realizó muestreo de excrementos de la gente para determinar infecciones intestinales típicas. Los resultados presentaron *Áscaris lumbricoides*, *Giardia lamblia* y *Entamoeba histolytica* concluyendo que aumenta el riesgo de infección por *Áscaris lumbricoides* entre los niños y adultos, destacando que los niños de mayor exposición, experimentan mayor riesgo a las enfermedades diarreicas e infecciones amebianas.

En la cuenca del río Texcoco, se encontraron de 1 a 8 de huevos de helmintos (hh) principalmente de *Áscaris lumbricoides*, *Hymenolepis nana*, *Ancylostoma*, *Trichuris trichiura* y *Enterobiu* en cada muestra analizada de excremento de la gente en tres comunidades rurales (Guzmán, 2007; González, 2011; Rivera-Vázquez, 2007).

La contaminación microbiológica puede ser directa o indirecta debido a excretas humanas o animales y transporte de los microbios patógenos por aire con partículas de polvo, por animales y otras vías. Los patógenos pueden ser transmitidos directamente de humano a humano o de animal a humano, o indirectamente a través de alimentos, agua u otros objetos, los cuales estuvieron en contacto con heces (Córdoba, 2010).

Los resultados obtenidos en las 477 hortalizas analizadas provenientes de mercados públicos de la ciudad de La Paz, Bolivia, revelaron un 85% de contaminación por parásitos y comensales, y 35,8% sólo de parásitos. (Muñoz, 2008; Triolo, 2013).

Estudios epidemiológicos realizados durante las últimas décadas (Silva, 1997), han permitido comprobar que el empleo de aguas residuales en el riego agrícola, refleja un importante incremento del número de casos de personas infectadas por patógenos de origen entérico, principalmente en las zonas donde estos agentes son endémicos (Cifuentes, *et.al.*, 1994; Shuval, 1991; Silva, 1997; OMS, 1989).

A nivel nacional el sector urbano genera un volumen de $8.04 \text{ km}^3/\text{año} = 255 \text{ m}^3/\text{s}$ de las aguas residuales. El volumen que se recolecta por alcantarillado es de $6.41 \text{ km}^3/\text{año} = 203 \text{ m}^3/\text{s}$. La industria genera $8.14 \text{ km}^3/\text{año} = 258 \text{ m}^3/\text{s}$ de las aguas residuales industriales. El total del caudal recolectado en México de todas aguas residuales por el sistema de alcantarillado en 2003 fue de $461.2 \text{ m}^3/\text{s}$ (CNA, 2005).

El deterioro paulatino de la calidad del agua en el país está limitando su aprovechamiento. Las descargas de agua residual, portadoras de contaminantes son responsables de degradar las propiedades físicas y químicas de suelo y agua como recursos naturales.

Los ríos son receptores de agua contaminada proveniente de las descargas municipales. Esta agua debería ser tratada antes de descargarse a los cuerpos naturales de aguas (ríos, lagunas, lagos, mar) o antes de ser aprovechada en uso secundario en la industria, lavado de autos, calles, en jardinería o en riego de los cultivos agrícolas de tipo de grano o que se consumen hervidos.

En 1975 las principales cuencas hidrográficas del país de los ríos San Juan, Nazas, Pánuco - Guayalejo, Blanco, Lerma – Santiago, Conchos, Coahuayana, Balsas, Culiacán, Fuerte, Coatzacoalcos, Mayo, Papaloapan y Bajo Bravo se reportan como contaminadas y requieren atención prioritaria por generación de contaminantes y por deterioro de la calidad del agua (SRH, 1975). En 1974 la tasa anual de mortalidad por enteritis y otras enfermedades diarreicas en México fue de 64 casos por cada 100,000 habitantes (Milla, 2003).

A nivel mundial los problemas principales relacionados con la contaminación de las aguas naturales superficiales y subterráneas por el vertido de las aguas residuales sin control y su tratamiento a los cauces de los ríos son los siguientes (ONU, 1997):

- El consumo de agua contaminada o de los productos agrícolas regados con esta agua es una de las principales causas de enfermedades y muerte.
- El incremento de nitrógeno y fósforo en el medio acuático ha acelerado el crecimiento de algunos tipos de algas y las malezas acuáticas que inducen a la eutrofización de lagunas, lagos y presas.

- Se registra contaminación de las fuentes de aguas subterráneas, por nitratos, plaguicidas e hidrocarburos.
- Se registra una creciente contaminación de aguas superficiales por metales pesados y sales.

El concepto de calidad de agua se refiere a las características de las aguas que puedan afectar su adaptabilidad a un uso específico, en otras palabras, la relación entre la calidad del agua y las necesidades del usuario.

Desde 1996, la norma oficial mexicana (NOM001ECOL1996) establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas negras en las aguas naturales y bienes nacionales. Esta norma debería ser cumplida en todas las descargas de aguas residuales (negras) municipales vertidas a cuerpos receptores propiedad de la Nación. Esto significa que en caso de no corresponder a las normas nacionales las aguas residuales deberían ser tratadas hasta cumplir con las características particulares biológicas, químicas y físicas que fije la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). A fin de enfrentar esta situación, la Secretaría del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales (SEMARNAT) instrumenta políticas de producción limpia y de participación pública y derecho a la información, con las que se busca revertir las tendencias crecientes del crecimiento de la contaminación ambiental.

Este trabajo representa el primer eslabón necesario para tener el acceso libre a la información sistemática y representativa sobre el estado del medio ambiente, incluyendo sobre la calidad de aguas naturales para apoyar la toma de decisiones y facilitar la participación del sector privado, las organizaciones civiles y educativas y de los gobiernos estatales y municipales. El índice de calidad del agua (ICA) desarrollado y aplicado por CNA permite clasificar el agua por sus características de calidad física, química y biológica y clasificar el grado de su contaminación.

El Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, aprobó el 30 de octubre de 1996, la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y las Normas Oficiales referentes a las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y que sirven de base para emitir la Norma Oficial que rige la calidad de las mismas. Así mismo, se definen los parámetros de comparación en la calidad de aguas residuales y usos de estas aguas.

De acuerdo con el inventario de la CONAGUA (2012), en México se encuentran en operación un total de 2,289 plantas de tratamiento de aguas residuales, con una capacidad instalada de 137,082.13 L/s y caudal tratado de 97,640.22 L/s. La CONAGUA, órgano descentralizado de la SEMARNAT, es la encargada de custodiar y administrar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, apoyados por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) así como las Normas Mexicanas (NMX).

La Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), es la encargada de monitorear y sancionar a los productores que utilizan agua residual no tratada para riego de hortalizas entre otros productos de consumo directo.

La calidad del agua se define por una o más características, físicas, químicas y biológicas. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las casas habitación, edificios comerciales e instituciones, junto con los provenientes de los establecimientos industriales, aguas subterráneas, superficiales o de precipitación mezclados con el agua limpia, las aguas de composición variada provenientes de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (NOM001ECOL1996).

Los centros urbanos de México generan $250 \text{ m}^3/\text{s} = 7.88 \text{ km}^3/\text{año}$ de aguas residuales de los cuales $200 \text{ m}^3/\text{s} = 6.3 \text{ km}^3/\text{año}$ se colectan en el alcantarillado y $45.9 \text{ m}^3/\text{s} = 1.47 \text{ km}^3/\text{año}$ (23% de lo que se colecta) recibe tratamiento.

Las aguas residuales no tratadas se descargan en cauces, embalses y suelo, lo cual provoca un serio problema ambiental. De las descargas totales de aguas residuales municipales, solo se trata el 15.7%, de las cuales solo la mitad se reutiliza

(Escalante, 2003; Ramírez, 1992). Supuestamente la explicación por la que solamente una sexta parte de todas las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales del país funcionan, es por insuficiencia de recursos para su mantenimiento y operación.

2.1. Huevos de Helmintos

Un punto que preocupa a la Organización Mundial de la Salud (OMS) es el contenido de huevos de helmintos. El término huevos de helminto (hh) está designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos o parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con forma y tamaños variados. Poseen órganos diferenciados, y sus ciclos de vida comprenden la producción de huevos o larvas, infecciosas o no y la alternancia compleja de generaciones que incluye hasta tres huéspedes diferentes encontrados en las descargas de agua residual.

Las helmintiasis transmitidas por el suelo son una de las parasitosis más comunes en todo el mundo y afectan a las comunidades más pobres y desfavorecidas. Son transmitidas por los huevecillos de los parásitos eliminados con las heces fecales de las personas infectadas, los que a su vez contaminan el suelo en zonas donde el saneamiento es deficiente.

Las principales especies de helmintos transmitidos por el suelo, hortalizas y verduras regadas con aguas negras, infectan al hombre con Ascariasis, el tricocéfalo *Trichuris trichiura* y el anquilostoma (*Necátor americanus*) y *Ancylostoma duodenale*,

poseen órganos diferenciados, y sus ciclos de vida comprenden la producción de huevos o larvas, infecciosas y la alternancia compleja de generaciones que incluye hasta tres huéspedes diferentes encontrados en las descargas de agua residual.

Estudios epidemiológicos realizados durante las últimas décadas, han permitido comprobar que el empleo de aguas residuales en el riego agrícola, refleja un importante incremento del número de casos de personas infectadas por patógenos de origen entérico, principalmente en las zonas donde estos agentes son endémicos (Silva, 1997; Cifuentes, *et.al* 1994; Shuval, 1991; OMS, 1989). Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a cuerpos de bienes nacionales es de un huevo de helminto por litro para riego restringido, y de cinco huevos por litro para riego no restringido (NOM-001-ECOL-1996).

Los huevos de helminto al aparecer en un sustrato aprovechable para su vida (en suelo, en agua, en los productos agrícolas, etc.) se reproducen y aumentan paulatinamente su cantidad. Por ejemplo, en un muestreo compuesto de huevos de helminto en agua negra en Villahermosa, Tabasco, se han observado cambios significativos del contenido de huevos de helminto: el 15 de diciembre del 2007 se encontraron 37 huevos, el 17 de diciembre – 17, el 19 y 21 - 41 y 40, respectivamente (GRUPO JUABET, 2007).

La OMS (2003) estimó para el año 2001, a pesar de un notorio subregistro de las helmintiasis intestinales por nematelmintos, habría en el mundo unos 3,800 millones de personas infectadas y se estima se registrarán unos 720 millones de nuevos casos y 130,000 personas mueren anualmente por Ascariasis, tricocefalosis y anquilostomiasis.

2.2. *Áscaris lumbricoides*.

La mayoría de autores coinciden en que los huevos de helmintos, especialmente el género *Áscaris*, son el indicador más adecuado para la inactivación y remoción de parásitos en lodos y agua residual, ya que estas estructuras pueden permanecer en suelos por periodos de hasta 7 años, bajo condiciones ambientales adversas, logrando conservar su viabilidad durante meses (Silva *et al*, 2000).

El *Áscaris lumbricoides* es un nematodo (lombriz, gusano, parásito) redondo que habita a los animales y contagia al hombre, en la actualidad se ha encontrado en verduras y hortalizas en varias partes del mundo y de México (Villanueva, 1990; Muñoz, 2006; Moráis, 2002; Hajjami, 2013; Gúzman, 2007). Este parásito puede obstruir el intestino delgado y generar daños irreversibles a la salud humana.

A este padecimiento se le conoce como Ascariasis y dependiendo del número de nematodos puede producir lesiones serias, al grado de llegar a la pérdida de la vida si no es tratado oportunamente (Briz, 2008; Pinto, 2010).

Los nematodos llamados *Áscaris lumbricoides* (Figura 1), llegan a vivir en el hombre de 1 a 2 años.



Figura 1. *Áscaris Lumbricoides* en 90cm de intestino delgado (Briz, 2008).

Las hembras miden de 20 a 35cm y el macho de 15 a 25 cm. La hembra puede reproducir hasta 200,000 huevecillos diarios, los cuales son expulsados en las heces fecales llegando a vivir en suelo húmedo y tibio hasta un año (Briz, 2008). En la Figura 2 se muestra el ciclo de vida de este parásito.

Aunado a esto, los huevos de *Áscaris*, generalmente se encuentran en altas concentraciones en aguas y lodos residuales (Rhyner, 1995; Mara y Alabaster, 1995; Mehlhorn, 1988; mencionados por Silva, 1997).

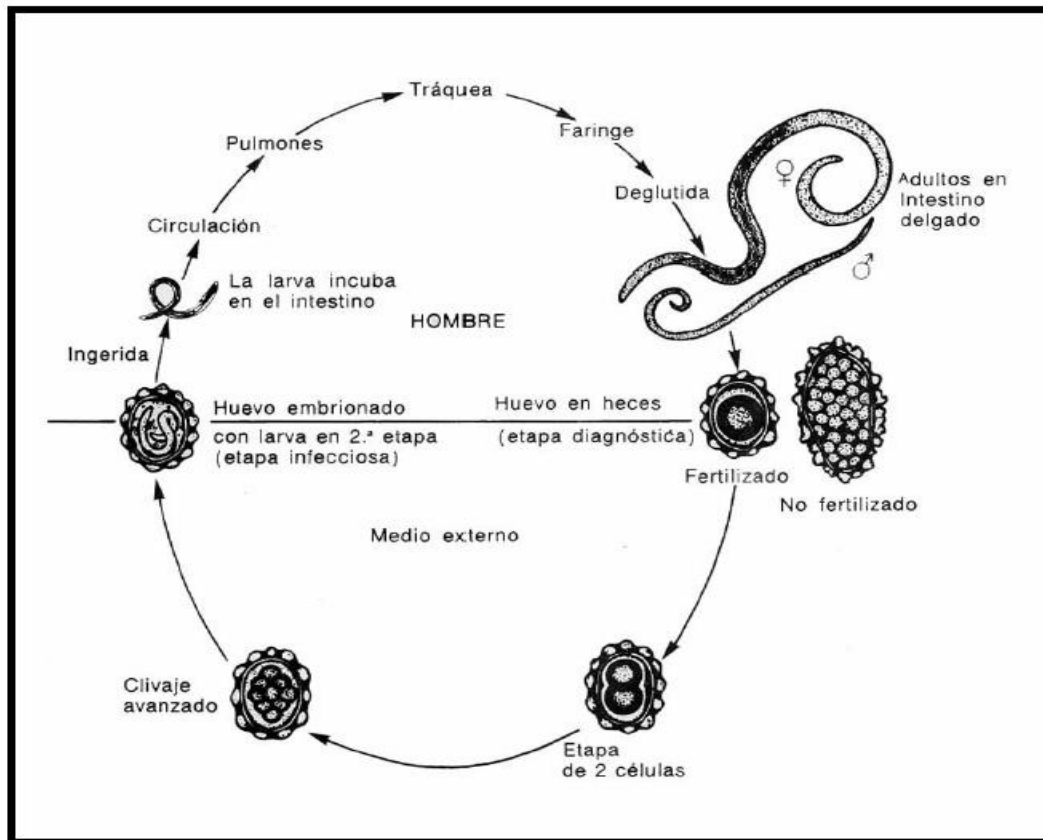


Figura 2. Ciclo de vida del *Áscaris Lumbricoides* (tomada de clon.uab.es).

El Río de la ciudad de la Plata en Argentina, está severamente contaminado por parásitos por la descarga de toneladas de materia fecal cruda provenientes de la Ciudad de La Plata, Argentina, en la costa sureste: 45,200 parásitos / m³ ingresan al río por hora en este efluente (Córdoba, 2010).

Los parásitos intestinales predominan en condiciones que favorecen su desarrollo, tales como sanidad deficiente y climas cálidos o templados, y afectan principalmente a niños menores de 14 y con más agresividad a los niños marginados o de bajos recursos y a los de mayor contacto con las aguas negras utilizadas para el

riego agrícola. Datos recientes señalan que alrededor de 1273 millones de personas en todo el mundo están infectadas por *Áscaris lumbricoides* (Ajllahuanca, 2012).

La enfermedad Ascariasis es la helmintiasis intestinal más frecuente en el mundo, sobre todo en África, Latinoamérica y zonas de Asia, con una estimación de 807 millones de personas infectadas (WHO, 2006; Hotez et al. 2008; Gutiérrez-Jiménez, 2013).

En México prácticamente no existen estudios sobre enfermedades relacionadas con los nematodos de *Áscaris lumbricoides* y causadas por el riego agrícola con aguas residuales municipales. También es necesario señalar que en México no está bien analizado el problema de contaminación de los productos agrícolas producidos en los terrenos bajo riego con aguas negras, no existe control sanitario de los productos agrícolas producidos dentro del país. Tal control funciona solamente a nivel de importación y exportación de los productos.

2.3 Coliformes fecales

La calidad microbiológica en las aguas y en los productos agrícolas se determina a partir del número de coliformes fecales y de la presencia de bacterias patógenas como la Salmonella, Shigella y Cholera. No hay un consenso sobre el número máximo de coliformes permisibles en el agua de riego. La OMS establece que para el riego "sin restricción" (es decir, para cualquier tipo de cultivo) el agua no debe tener más de 100

coliformes fecales por cada 100 mL (Pescod, 1992). En otros países la norma es más estricta. Por ejemplo, en los estados de Arizona y California de los EUA las aguas residuales para el riego de cultivos que se consumen crudos, no pueden tener una media geométrica superior a 2,2 coliformes fecales por cada 100 mL, y ninguna muestra de agua puede tener más de 23-25 coliformes fecales por 100 mL. Según Bower y Idelovitch (1987) en Israel, las aguas para regar cultivos que después van a ser consumidos crudos, deben tener menos de 12 coliformes fecales/100 mL en al menos 80% de las muestras, y menos de 2,2 coliformes fecales/100 mL en al menos 50% de las muestras.

En varias zonas de México el agua superficial y subterránea está contaminada con agentes orgánicos (Rivera-Vázquez, 2007).

2.4 Metales pesados

El término metal pesado corresponde al elemento químico de metal que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01%.

Se habla mucho de los metales pesados, sin indicarse sin embargo, qué son, y específicamente, el cómo y por qué son peligrosos. Se denomina metales pesados a

aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), y que presentan un peso específico superior a $4 \text{ (g cm}^{-3}\text{)}$. Lo que hace tóxicos a los metales pesados son las concentraciones en las que pueden presentarse, y casi más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio.

Cabe recordar que de hecho los seres vivos “necesitan” (en pequeñas concentraciones) a muchos de éstos elementos para funcionar adecuadamente. Por ejemplo, el metal hierro se utiliza en el organismo humano para transportar oxígeno en la sangre. Entre otros metales necesarios están el cobalto, cobre, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio, y zinc. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos ha determinado una serie de límites para las concentraciones de metales pesados. Por encima de éstos los metales (por ejemplo, plomo, arsénico, mercurio, y cadmio) pueden causar graves trastornos en los seres vivos, y finalmente ocasionar la muerte.

Las fases disueltas de los metales pesados pueden a su vez ser capturadas por adsorción o absorción en arcillas o hidróxidos. Adicionalmente, los compuestos orgánicos pueden constituir fases con gran capacidad de captura de cationes metálicos, que en ocasiones dan lugar a fases extremadamente tóxicas (e.g. metilmercurio: CH_3Hg). Debido a que los animales acumulan metilmercurio más rápido de lo que pueden excretarlo, se produce un incremento sostenido de las

concentraciones en la cadena trófica (biomagnificación). Así, aunque las concentraciones iniciales de metilmercurio en el agua sean bajas o muy bajas, los procesos biomagnificadores acaban por convertir el metilmercurio en una amenaza real para salud humana (Higueras y Oyarzun, 2005).

Los metales pesados son altamente absorbibles por las partículas sólidas. Por esta razón su presencia en aguas de riego es principalmente en forma adsorbida por las partículas minerales y orgánicas suspendidas en el agua, lo que significa que en caso de determinación de la cantidad de metales pesados en agua de riego, es necesario aplicar un análisis bastante complicado para disolver y diluir los metales adsorbidos inicialmente. Tal análisis no se aplica siempre (Cajuste *et al.*, 2001) lo que causa frecuentemente la conclusión equivocada que las aguas residuales, por ejemplo, las aguas urbanas casi no contienen metales pesados. Estos autores encontraron además que aunque en casos cuando las concentraciones verdaderas de los metales pesados en muestras de agua de riego no superan los límites permisibles, estos metales se acumulan paulatinamente en suelos y contaminan los productos agrícolas.

Por ejemplo, ellos registraron en el Valle de Mezquital, Hgo., México las concentraciones de Pb, Ni, Cd y algunos otros metales en alfalfa regada con aguas negras por arriba (hasta decenas veces) de los niveles permisibles.

2.5 Grasas y Aceites

Rivas *et al.*, (2003) encontraron en su estudio altas concentraciones de grasas en los cultivos regados con agua residual de forma que afectan a los cultivos y al suelo. Las grasas y aceites cubren las partículas del suelo y causan su propiedad hidrofóbica la cual no permite el humedecimiento del suelo y migración del agua, lo que a su vez deteriora la actividad microbiológica y la fertilidad del suelo.

3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivo general

Estimar el grado de impacto potencial en la salud humana en el municipio de Pachuca, Hidalgo, relacionado con la presencia de huevos de helminto, principalmente de *Áscaris lumbricoides*, en las aguas negras de la ciudad Pachuca, Hidalgo y en hortalizas y verduras consumibles en forma cruda y regadas con estas aguas.

3.2 Objetivos Específicos

- Estimar el nivel de contaminación ante todo parasitológica de hortalizas y verduras regadas con estas aguas en el municipio de Pachuca, Hidalgo.
- Determinar los contaminantes fisicoquímicos (metales pesados, DBO₅, DQO) y parasitológicos (huevos de helmintos) presentes en las aguas negras del municipio de Pachuca, Hidalgo.

- Mediante análisis de los datos bibliográficos estimar el riesgo potencial de enfermedades intestinales de la gente por el nematodo *Áscaris lumbricoide*, como resultado del consumo de estas hortalizas y verduras sin su tratamiento previo adecuado.

3.3. Hipótesis

- Las aguas residuales de la ciudad de Pachuca, Hidalgo. Pueden contener huevos de helminto *Áscaris lumbricoides*, superando el nivel permisible para las aguas de riego.
- El uso de aguas negras para riego de hortalizas y verduras puede causar enfermedades a la gente por este nematodo al ingerir estas hortalizas y verduras en forma cruda sin tratamiento previo adecuado.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Estrategia de trabajo

La investigación fue realizada en las siguientes siete etapas principales:

1. Selección de los sitios de muestreo del agua negra en el municipio de Pachuca Estado de Hidalgo, México.
2. Determinación del gasto de agua negra en cada sitio seleccionado.
3. Toma de muestras de agua negra en los sitios seleccionados.
4. Análisis parasitológico de las muestras del agua negra.

5. Estimación de riesgo de contaminación de los cultivos agrícolas regados con agua negra y consumible principalmente en forma cruda.
6. Estimación de riesgo para la salud humana como resultado del consumo de hortalizas y verduras regadas con agua negra.
7. Desarrollo de conclusiones y recomendaciones para reducir o evitar riesgo de enfermedades gastrointestinales de la gente como resultado del consumo de los productos agrícolas regados con aguas residuales urbanas.

4.2. Materiales

El área de estudio se encuentra en el municipio de Pachuca, ubicado entre los paralelos 20° 6' 55" Norte, 98° 44' 45" oeste; los meridianos 98° 41' y 98°52' de longitud oeste; altitud entre 2 378 y 3 000 m, colinda al Norte con los municipios de San Agustín Tlaxiaca y El Arenal; al Este con los municipios de Mineral del Chico y Mineral de la Reforma; al Sur con los municipios de Mineral de la Reforma, Zempoala y Zapotlán de Juárez; al Oeste con el municipio de San Agustín Tlaxiaca, ocupa el 0.74% de la superficie del estado. Cuenta con 20 localidades y una población aproximada de 342 690 habitantes, Figura 3.

El clima en el municipio de Pachuca, Hidalgo es templado a semi-frío con una temperatura promedio anual de 24°C, con lluvias en verano de junio a septiembre, la precipitación pluvial es de 400 a 800 mm al año.

En este estudio se analizó la cantidad y calidad del agua denominada agua negra (o residual) de la ciudad de Pachuca, estado de Hidalgo la cual se utiliza para riego de los cultivos agrícolas en el municipio de Pachuca.

Según las normas mexicanas (NMX-AA-003, 1980) para analizar la calidad de estas aguas se necesita seguir un procedimiento específico y de calidad, empezando desde la selección y ubicación de las fuentes de descarga:

- La colecta de muestras también debe cumplir con normas de calidad.
- La toma de muestra debe realizarse bajo los estándares de calidad para lo cual es necesario que el muestreador cuente con una certificación ante un organismo o empresa certificada para la toma de muestras de agua negra (o residual).

El proceso de ubicación de descargas de agua residual en el municipio de Pachuca, Hidalgo a cuerpos federales en el estado de Hidalgo, se realizó en coordinación con:

- Ing. Santiago Arellano Islas, director de planeación estratégica de la comisión estatal del agua y alcantarillado.
- Ing. Raúl Rivera Torres, Secretario Técnico de la Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales (CAASIM) Pachuca.
- Ing. Alberto Guzmán y Biólogo Daniel Pérez, quien mostró las descargas del municipio.

Se visitaron tres descargas dentro del municipio de Pachuca y tres más dentro del municipio mineral de la Reforma (Cuadro 1 y Figura 4). Todas estas descargas están administradas e inspeccionadas por CAASIM en el municipio de Pachuca, Hidalgo.

Cuadro 1. Ubicación de emisores monitoreados.

Municipio	Nombre del emisor	Ubicación Geográfica (UTM)	
Pachuca	Río de las Avenidas	14 Q 527227	2224254
	Venado	14 Q 525829	2217338
	Santa Matilde	14 Q 522595	2213038
Mineral de la Reforma	Xochihuacán	14 Q 528956	2212838
	Providencia	14 Q 528869	2217953
	Providencia 1	14 Q 528869	2217462



Figura 3. Mapa del Estado de Hidalgo y sus municipios (tomada de INEGI).

Las descargas de agua negra monitoreadas se presentan en la Figura 4 de estas se seleccionó el emisor Río de la Avenidas y el emisor Venado para llevar el estudio sobre la calidad del agua negra en el municipio de Pachuca. Cada una de estas descargas se monitoreó durante 24 horas para seleccionar las más representativas en base a su gasto de descarga, continuidad del gasto y que sus características no impidieran la veracidad de la información en el análisis.

Por lo tanto la selección del emisor Río las Avenidas y el emisor Venado, se justificó porque durante el monitoreo presentaron un gasto constante, en comparación con las demás descargas, que a media noche (12:00 am) o antes, su gasto disminuyó y en algunos casos su gasto fue de cero. Estas descargas seleccionadas son las principales de la ciudad de Pachuca, a través de ellas se descarga alrededor del 60% del agua residual urbana de esta ciudad.

4.3. Métodos

4.3.1. Determinación de nivel de contaminación de las aguas negras de la ciudad de Pachuca, Hgo.

El estudio fue realizado tomando todas las medidas de seguridad e higiene pertinentes, de tal forma se utilizaron guantes de látex, cubre bocas, gafas y botas. Para el caso de la toma de muestra se utilizó un garrafón de 5 litros, previamente lavado con agua destilada, después del llenado con el agua residual se guardó en hielera y se transportó hasta la ciudad de Cuernavaca, Morelos.

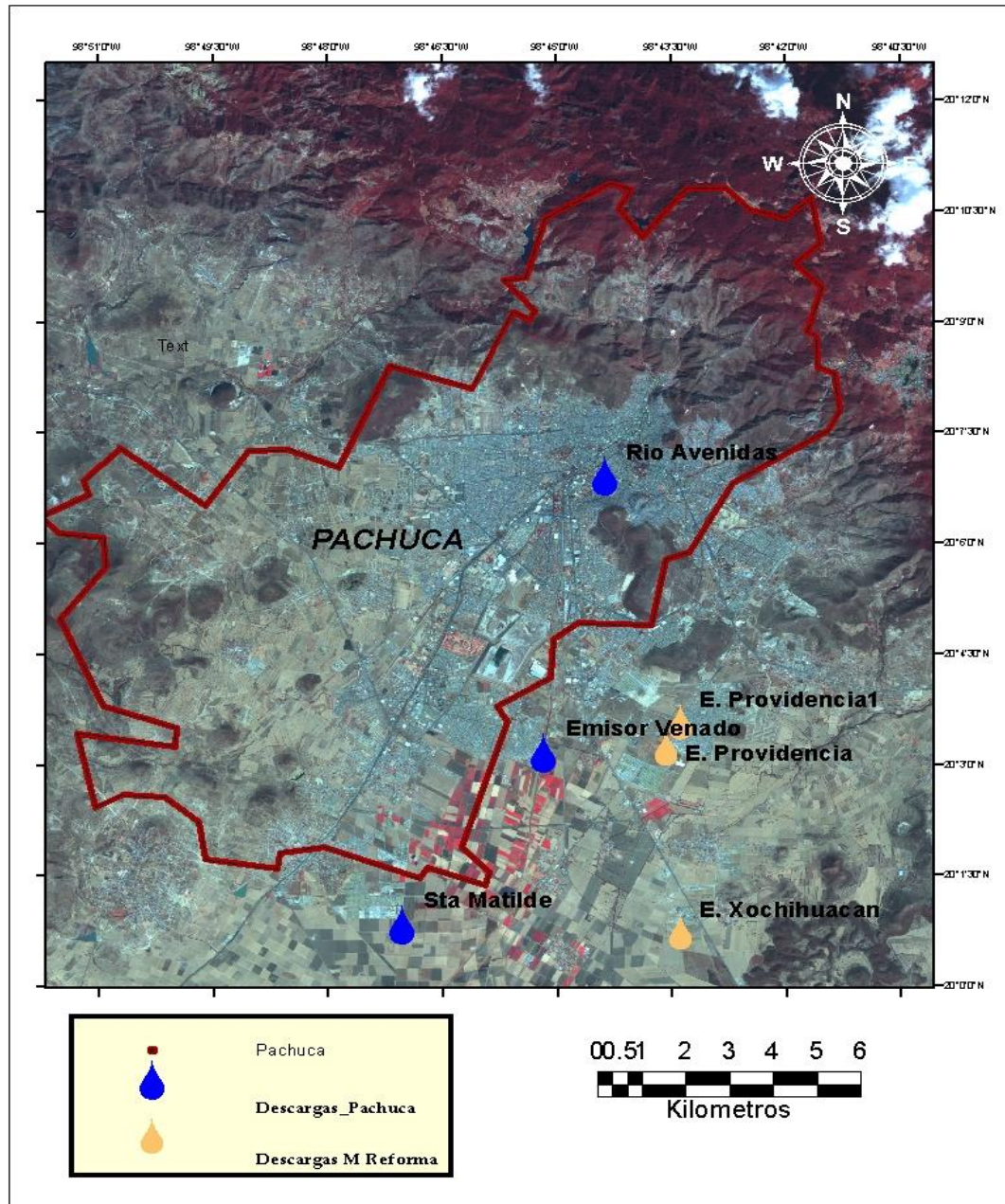


Figura 4. Emisores visitados en el municipio de Pachuca, Hgo.

El estudio se efectuó durante la temporada de estiaje (2009-2010) donde el caudal medido es producto del agua de uso doméstico, el análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de calidad del agua del Instituto Mexicano de Tecnología del

Agua (IMTA) acreditado por la entidad mexicana de acreditación y aprobado por la Comisión Nacional del Agua.

La metodología consiste en la medición de los parámetros, fisicoquímicos y biológicos del agua negra en los emisores seleccionados. Se midió la velocidad del flujo del agua negra y se calculó su gasto multiplicando por la velocidad por la sección transversal medida de la corriente. Se midió el tubo o canal de descarga para poder calcular el área y perímetro de mojado respectivamente y tener el gasto que pasa a través de la sección. La velocidad del flujo fue medida por el medidor de flujo digital telescópico (Global Water FP111) con la característica de promediar cada 3 repeticiones Figuras 5 y 6.



Figura 5. Medición de la velocidad del flujo de agua negra, emisor Venado.



Figura 6. Medición de la velocidad del flujo de agua negra, Río las Avenidas.

La velocidad y gasto se han determinado 8 - 10 veces al día con intervalos de 2 a 3 horas. Los datos sobre el gasto de cada emisor se han utilizado para estimar el volumen de agua negra aplicada anualmente para riego.

Entre los parámetros físicos del agua determinados en estas descargas son los siguientes:

- Temperatura
- pH
- Sólidos totales (ST)
- Conductividad eléctrica (CE)

La temperatura fue medida con un termómetro directamente en el campo. Se sabe que el aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales, aumenta la velocidad de las reacciones del

metabolismo, acelerando la putrefacción, mayor consumo de alimento y hace a los organismos acuáticos vulnerables.

Los valores de pH, ST y CE se determinaron in situ con potenciómetro digital marca Hanna, el cual se calibro con buffer en cada sitio.

Estas propiedades fueron determinadas en las fechas siguientes:

- la primera 17-18 de noviembre del 2009 y
- la segunda 19 -20 de mayo del 2010.

Los gastos en estas fechas son los siguientes:

- 293 y 287 L/s en 2009 y 2010, respectivamente en emisor Río de las Avenidas.
- 45 y 41 L/s en estos años en el emisor Venado.

La temperatura de agua, conductividad eléctrica, pH y contenido de sólidos totales en ambos emisores y en diferentes fechas no varían significativamente y fueron los siguientes: 18-21°C, 1.25-1.70 μ S/m, 5.7-6.8 y 0.7-0.9, respectivamente.

En el Anexo 2 se presentan los datos detallados sobre las propiedades físicas del agua negra.

En el laboratorio de calidad del agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) se han determinado las siguientes propiedades fisicoquímicas del agua:

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), contenido de Grasas y Aceites (G y A), contenido de fósforo total (P-TOTAL), contenido de nitratos NO_3 y nitritos NO_2 ($N-(NO_3+ NO_2)$), contenido total de nitrógeno (N-TOTAL) y contenido de metales pesados: Arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). En el Anexo A3 se presenta la información sobre definición de estos parámetros y su daño potencial a la salud.

En el mismo laboratorio se ha determinado nivel de contaminación biológica (bacteriológica y parasitológica) del agua negra: contenido de coliformes fecales y de huevos de helmintos (*Hymenolepis diminuta*, *Áscaris lumbricoides*, *Trichiuris*, *Toxocara* y de *Hymenolepis nana*).

La definición de los contaminantes biológicos, su daño potencial sobre la salud humana y la metodología de su determinación en las aguas residuales están descritos en los Anexos A4 y A5.

Para el caso de la toma de huevos de helminto, grasas y aceites, las muestras del agua se han tomado en forma puntual, es decir una sola toma durante el día. Para los coliformes totales se tomaron dos muestras de 300 mL por cada intervalo. Este proceso se realizó en las mismas fechas mencionadas arriba.

Después de realizadas las muestras puntuales se preservaron y al término del ciclo se preparó la muestra compuesta para cada uno de los parámetros solicitados de

acuerdo al Cuadro 2 de la norma oficial NOM001ECOL1996, en base a la fórmula siguiente:

$$VMSi = VMSi \times \left(\frac{Qi}{Qt} \right) \quad 1$$

Donde:

$VMSi$ = volumen de cada una de las muestras simples “ i ”, litros.

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

Qi = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

$Qt = \sum Qi$ hasta Qn , litros por segundo

Los muestreos se realizaron de acuerdo a la NOM003ECOL1996 para efectos de calidad en la forma de tomar, preservar y transportar las muestras obtenidas, la ubicación del sitio se estableció en coordinación con los responsables del manejo de

los organismos operadores de los municipios estudiados, las muestras se canalizaron al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) donde se determinó las propiedades fisicoquímicas de estas aguas con un estándar de calidad, dentro del proyecto FOMIX-CONACYT 97330.

Cuadro 2. Preservación y material de envases para el muestreo.

	FQ1	FQ2	Metales	Cianuros	Grasas y Aceites	Coliformes Fecales	DQO	Huevos de Helminto
Preservación	Hielo	H ₂ SO ₄	HNO ₃	NaOH	HCl	Hielo	H ₂ SO ₄	Formol
Material	plástico	plástico	plástico	plástico	vidrio	Plástico	Plástico	Plástico
Puntual	1 L	0.5 L	0.5 L	0.5 L	1 L	300mL	NA/FQ2	5000mL
Compuesta	2 L	1 L	1 L	1 L	-	-	100mL	-
Duración	24 hrs	7 días	6 meses	12 días	7 días	24 hrs	28 días	3 meses

FQ= Fisicoquímicos.

Para determinar el nivel de contaminación parasitológica se hace un análisis.

El estudio fue financiado por el proyecto FOMIXCONACYT 97330 del que estuvo como responsable el Dr. J.E. Rubiños Panta del Colegio de Postgraduados.

El Cuadro 3. Muestra los límites máximos permisibles de diferentes contaminantes en las aguas residuales municipales que pueden ser descargados a ríos y utilizadas para riego agrícola según lo estipulado en la NOM001ECOL1996.

Cuadro 3. Límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales municipales utilizadas para riego agrícola.

Metales pesados		Físico-químicos		Biológicos	
	mg/L		mg/L	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	1000
As	0.40	DBO ₅	200	Huevos de helmintos (hh/L). Riego restringido	1
Cd	0.40	DQO (O ₂ /L)	200		
Cu	6.00	G y A	25		
Cr	1.50	P-TOTAL	30		
Hg	0.02	ST	200		
Ni	4.00	Sedimentos	2		
Pb	1.00	Cianuros	3		
Zn	20.00	N-TOTAL	60		

4.3.2. Estimación del área de riego con las aguas negras de hortalizas y verduras y su nivel de contaminación parasitológica.

Considerando la ausencia de los datos sobre el área de hortalizas y verduras regadas con agua negra en el municipio de Pachuca, Hidalgo, el área fue estimada a través de:

- Los cálculos, basados en las cifras medidas sobre el gasto y volumen de agua negra y valor bibliográfico del módulo de riego para hortalizas y verduras; así considerando que la irrigación con aguas negras tiene lugar principalmente durante períodos anuales de estiaje.
- Análisis de los datos bibliográficos sobre la fracción del área regada con aguas negras ocupada por hortalizas y verduras.

Tomando en consideración los valores del gasto de agua residual, eficiencia de conducción del agua a través de la red de canales desde el río hasta los campos agrícolas (este valor fue considerado igual a 0.65), módulo de riego (entre 1 y 1.2 L/s/ha) para un conjunto de cultivos agrícolas incluyendo verduras y hortalizas y horas de riego (12 horas por día) se ha calculado el área de producción de verduras y hortalizas. Según los datos bibliográficos (CEPIS, 2012) en los países de América Latina hortalizas y verduras ocupan alrededor de 47% de toda el área regada con las aguas negras urbanas.

Para calcular el área de riego con aguas negras se ha aplicada la siguiente fórmula, (García, 2009):

$$A = \frac{Q \text{ Ct } E_c}{M} \quad (2)$$

Donde A – área neta de riego (ha), Q_1 – caudal neto de agua negra llegada a los campos agrícolas (L/s), Ct – coeficiente de tiempo de riego (12 horas de riego/día; es decir, $Ct=0.5$), E_c – eficiencia de conducción de agua de riego (adimensional), M – módulo de riego (1-1.2 L/s/ha).

La cifra del área neta de riego obtenida a través de la fórmula (2) fue verificada a través de análisis de los datos estadísticos publicados para los países de América Latina.

Según (CEPIS, 2012) alrededor de 43% de todo el caudal de las aguas negras urbanas en América Latina se utilizan para regar hortalizas y verduras.

Lamentablemente en la bibliografía hay pocos datos sobre el nivel de contaminación parasitológica de hortalizas y verduras regadas con aguas negras urbanas. En México no hay estos datos. Cabe mencionar que en México no existe control sanitario de los productos agrícolas producidos dentro del país, excepto a nivel de su exportación.

Para determinar el nivel de contaminación parasitológica de hortalizas y verduras en el municipio de Pachuca, Hgo. (Principalmente con *Áscaris lumbricoides*) se han analizado los datos bibliográficos de otros países del mundo correspondientes a este tipo de contaminante en algunos tipos de hortalizas y verduras regadas con aguas negras crudas de las ciudades. Se sabe que según las normas sanitarias (NOM-CCA-033-ECOL/1993) no se permite la presencia de huevos de cualquier tipo de helmintos en los productos agrícolas consumibles en forma cruda.

También se ha considerado el tipo de contaminación de las aguas urbanas en otros países (donde existe esta información) comparándolo con la calidad de las aguas negras de la ciudad de Pachuca, Hgo. Además se han tomado en consideración las condiciones climáticas en los lugares donde hay datos sobre la contaminación parasitológica de hortalizas y verduras. Se sabe, que en caso de existencia de períodos fríos cuando la capa productiva del suelo se congela temporalmente, estos períodos sirven como saneamiento del suelo.

4.3.3. Estimación del impacto potencial de riego con aguas negras en el municipio de Pachuca, Hidalgo, sobre la salud humana.

Para estimar el impacto sobre la salud humana en el municipio de Pachuca, se ha considerado nivel de contaminación de hortalizas y verduras consumibles en forma cruda. Además se ha estimada la producción total de hortalizas y verduras en los terrenos regados con aguas negras de la ciudad de Pachuca, Hidalgo por lo menos durante un ciclo del cultivo en el período de estiaje.

Consultando los datos bibliográficos (FAO, 2014) se ha obtenido la cifra sobre el consumo promedio anual de hortalizas y verduras en forma cruda per cápita en México.

Finalmente el número de personas potencialmente afectados por *Áscaris lumbricoides* en el municipio de Pachuca, fue determinado mediante la división de la masa de hortalizas y verduras, producidas con riego de aguas negras urbanas de la

ciudad de Pachuca, por el consumo medio anual de este producto en forma cruda per cápita.

Este número fue comparado con la cifra publicada por el INEGI en el 2009, aunque considerando que las cifras estadísticas del INEGI sobre enfermedades intestinales no son bastante representativas para nuestro análisis porque no distinguen tipos de enfermedades intestinales, no abarcan todos los casos de estas enfermedades.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Contaminación de las aguas negras de la ciudad de Pachuca, Hidalgo.

En el Cuadro 4. Se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de las aguas negras del municipio de Pachuca, Hidalgo. Los valores que superan los límites máximos permisibles se resaltan negritos y subrayados

Cuadro 4. Calidad fisicoquímica de las aguas negras de la ciudad Pachuca, Hgo.

EMISOR	Gasto L/s	Año	DBO ₅ mg/L	DQO mg O ₂ /L	G y A mg/L	P-Total mg/L	SST mg/L	Sedimento mL/L	N-Total mg/L
Río las Avenidas	293	2009	177.00	415.00	114	6.74	112.00	<0.5	40.70
	287	2010	157.00	390.00	99.00	7.00	120.20	<0.5	46.20
Venado	45	2009	256.00	635.00	99.70	6.72	158.00	<0.5	40.96
	41	2010	210.00	580.00	84.35	6.00	132.10	<0.5	49.08
Límites máximos permisibles (PD)			200	200	25	30	200	2	60

Como se ve, los parámetros de la calidad fisicoquímica son bastante estables durante los períodos relativamente secos y en diferentes años, por lo menos dentro del período de observación, considerando que el muestreo fue hecho en diferentes meses: en noviembre del 2009 y en mayo de 2010. Los parámetros DBO5, DQO y G y A superan los límites permisibles para descargar estas aguas a ríos y utilizarlas para riego.

El DQO supera el límite permisible 2 a 3 veces. El contenido de grasas y aceites (G y A) supera el nivel permisible mas de 4 veces. Esto significa que tal calidad fisicoquímica del agua no tiene impacto directo sobre la calidad de los productos agrícolas sino impacto indirecto relacionado con el empeoramiento potencial de las propiedades físicas y biológicas del suelo y así empeoramiento de la fertilidad y productividad del suelo en los terrenos regados con aguas negras.

Como fue mencionado arriba, las grasas y aceites en el agua negra de riego causan hidrofobia de las partículas del suelo, deteriorando las actividades microbiológicas relacionadas con humificación de los residuos orgánicos en el suelo y la producción de nitrógeno en proceso de mineralización de materia orgánica (de humus). El deterioro de la calidad de suelo causa en su turno deterioro de la productividad de los terrenos agrícolas bajo riego con aguas negras urbanas. Este efecto negativo debería observarse en lapsos largos de tiempo (durante decenas de años) mientras que, en los lapsos más cortos este efecto no se observa, por

deposición anual de grandes cantidades de sustancias orgánicas (con dosis hasta 100 t/ha/año equivalente a deposición de estiércol de vacas).

En el Cuadro 5. Se presenta el contenido de metales pesados en el agua negra de la ciudad de Pachuca, Hgo.

Cuadro 5. Contenido de metales pesados en agua negra de la ciudad de Pachuca, Hidalgo.

Emisor	Año	Concentración (mg/L)								
		As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	Cianuros
Río las Avenidas	2009	0.023	<0.02	<0.05	<0.05	0.0013	0.079	0.12	0.181	<0.020
	2010	0.049	0.031	0.06	0.053	0.002	0.077	0.12	0.869	
Venado	2009	0.015	<0.02	<0.05	<0.05	0.001	0.058	0.111	0.22	<0.020
	2010	0.0203	<0.02	0.005	0.07	0.0014	0.082	0.18	0.019	
Límites máximos permisibles		0.40	0.40	6.00	1.50	0.02	4.00	1.00	20.00	3.00

Como se ve en el Cuadro 5, el contenido de metales pesados casi es estable durante los períodos secos en diferentes años y está muy por debajo de los límites permisibles. Estos datos corresponden al año 2009 y 2010, para riego con aguas residuales urbanas, tales análisis realizados, presentan poca concentración de los metales pesados, lo que significa que no hay problema de contaminación del suelo regado con estas aguas negras y de contaminación de los cultivos agrícolas.

Sin embargo, como fue mencionado arriba, considerando que los metales pesados son altamente absorbibles por las partículas del suelo y poco móviles en el mismo, con el paso del tiempo (durante de decenas de años) estos metales

paulatinamente se acumulan en los suelos bajo riego con aguas negras, y empiezan a deteriorar las actividades microbiológicas del suelo, reducen su fertilidad y se acumulan en los cultivos agrícolas. Un ejemplo de tal efecto se reporta en las publicaciones de Cajuste *et al.* (1992), donde se presentan los datos de acumulación de varios metales (ante todo de cobalto y cromo) en alfalfa, hasta niveles que superan de 40 a 100 veces o más los niveles permisibles en caso de riego, en el Valle de Mezquital, Hgo., México con aguas negras del Distrito Federal.

En el Cuadro 6. Se muestran los datos sobre la contaminación bacteriológica con coliformes fecales de las aguas negras de la ciudad Pachuca, Hidalgo, en los años 2009 y 2010.

Cuadro 6. Contenido de coliformes fecales en aguas negras de la ciudad Pachuca, Hidalgo.

Emisor	Coliformes fecales NMP/100mL (Promedios diarios)		Límite máximo permisible NMP/100ml
	11/2009	05/2010	
Río de la Avenidas	5.26 x 10⁶	4.26 x 10⁶	1000
Venado	1.20 x 10⁶	1.20 x 10⁶	

Como se ve, el contenido de coliformes fecales en las aguas negras crudas supera el nivel permisible para las aguas de riego en más de un millón veces. Las concentraciones que superan los niveles permisibles se resaltan en negrita y se subrayan.

Por lo tanto esto significa que las aguas negras no tratadas en caso de su uso para riego, pueden fuertemente contaminar al suelo y a los cultivos agrícolas.

Como fue mencionado arriba, los coliformes fecales pueden afectar la salud humana y causar diferentes enfermedades si los productos agrícolas contaminados con ellos (ante todo de hortalizas y verduras) se consuman en forma cruda sin lavarlos y hervirlos previamente.

Sin embargo, el problema de contaminación bacteriológica de hortalizas y verduras con coliformes, es significativamente más ligero en comparación con el problema de contaminación de ellas con huevos de helminto, los cuales son más resistentes al lavado u otras formas de tratamiento. Además el daño a la salud humana relacionado con la infección de huevos de helmintos en el cuerpo humano es mucho más grave en comparación con el impacto de los coliformes fecales.

En el Cuadro 7 y en la Figura 7 se presentan los datos sobre la contaminación parasitológica con huevos de helminto de aguas negras de la ciudad Pachuca, Hidalgo en los años 2009 y 2010.

Los contenidos de huevos de helmintos que superan los límites máximos permisibles se resaltan aquí en negritas y subrayados.

Cuadro 7. Contenido de huevos de helmintos en aguas negras de la ciudad de Pachuca, Hidalgo.

Emisor	Huevos de helminto Género	17/11/2009			19/05/2010			LMP
		No. Huevos/L	Total huevos	Gasto medio (L/s)	No. Huevos/L	Total huevos	Gasto medio (L/s)	
Río de las Avenidas	<i>Hymenolepis diminuta</i>	33			23			
	<i>Áscaris lumbricoides</i>	18	64	293	10	42	287	1
	<i>Trichiuris</i>	2			1			
	<i>Toxocara</i>	2			2			
	<i>Hymenolepis nana</i>	9			6			
Emisor Venado	<i>Hymenolepis diminuta</i>	2			3			
	<i>Áscaris lumbricoides</i>	1	4	45	1	6	41	1
	<i>Trichiuris</i>	1			2			

LMP – límite máximo permisible de contenido de huevos de helminto en aguas residuales urbanas utilizadas para riego agrícola (número de huevos en 1 litro de agua).

Como se ve, la concentración de huevos de helminto en aguas negras de la ciudad de Pachuca, Hidalgo:

- Supera hasta 64 veces el nivel permisible para las aguas de riego.
- El emisor Río de las Avenidas es la principal descarga de esta ciudad ya que conduce más del 50% de todas las aguas residuales de la ciudad.
- El agua en este emisor contiene la mayor concentración de huevos de helminto (hh).
- Los parásitos más típicos para las aguas urbanas son *Hymenolepis diminuta* (23 - 33 hh/L) y *Áscaris lumbricoides* (10 -18 hh/L).

- No se observa cambio significativo de la composición parasitológica y de la concentración de diferentes parásitos durante el período de observación en ambos emisores.

Esto significa que las aguas negras no corresponden a las normas para las aguas de riego y pueden contaminar fuertemente el suelo, los cultivos agrícolas (ante todo hortalizas y verduras) y causar daños para la salud de la gente que consuma los productos agrícolas contaminados con estas aguas.

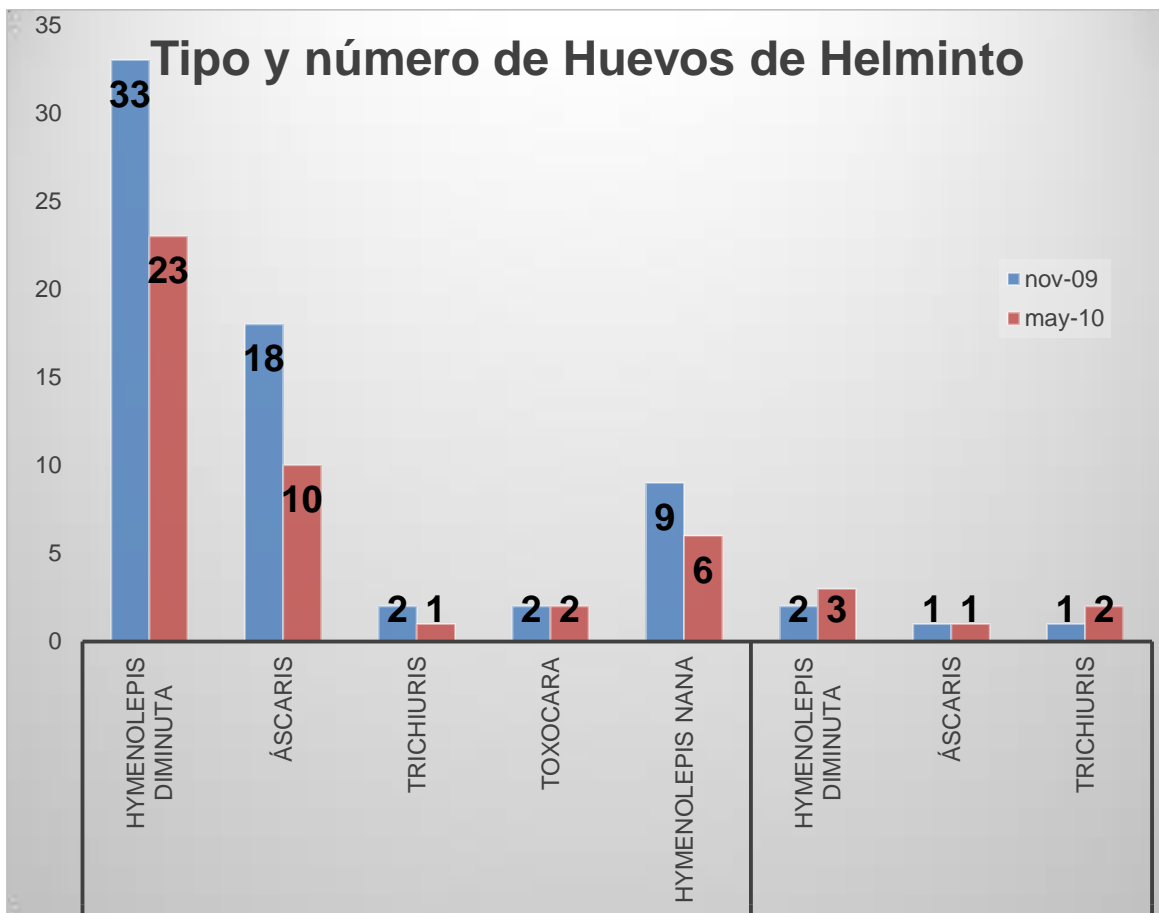


Figura 7. Contenido de huevos de helmintos por litro de agua negra.

5.2. Producción de hortalizas y verduras bajo riego con las aguas negras en el Municipio de Pachuca, Hidalgo y su contaminación por helmintos.

El área regada con las aguas negras de Pachuca, Hidalgo se estimó de acuerdo al gasto medido de agua negra (Q) de los emisores estudiados, el módulo de la eficiencia de conducción del agua a través de la red de canales desde el río hasta los campos agrícolas se ha considerado igual a 0.65, el módulo de riego aproximado M , tiempo promedio diario de riego Ct o más bien la fracción del día durante el cual se aplica el riego (0.5 en nuestro caso) y una eficiencia de conducción Ec con la formula (1), donde $M = 1$ a 1.2 L/seg/ha - módulo de riego para el conjunto de los cultivos agrícolas incluyendo verduras y hortalizas (CP. 1990).

El caudal medido de ambos emisores es de 338 L/s (293 del Río de las Avenidas mas 45 del emisor Venado) en el 2009 y 328 L/s (287 más 41, respectivamente) en el 2010. Con estos caudales y con el módulo de riego medio 1.1 L/s/ha, según la fórmula (1), el área estimada de riego es aproximadamente de 100 ha incluyendo 88 ha irrigados con aguas del emisor Río de las Avenidas y 12 ha del emisor Venado. Una fracción del área estimada de riego supuestamente está ocupada por hortalizas y verduras.

El área total de riego con aguas negras de toda la ciudad de Pachuca debería ser mayor a 100 ha: aproximadamente $100/0.6 \cong 170$ ha (0.6 es la fracción del caudal total de la ciudad de Pachuca, la cual corresponde a la suma de los emisores analizados, Río de las Avenidas y Venado).

Para estimar el área ocupada con hortalizas y verduras se puede utilizar los datos de CEPIS (2012) sobre el área de hortalizas y verduras como fracción de toda el área regada con aguas negras urbanas y municipales en América Latina con mayor participación de México (Cuadro 8).

Cuadro 8. Uso de agua negra en diferentes cultivos en América Latina

CULTIVOS REGADOS CON AGUA NEGRA	ÁREA		CAUDAL	
	Ha	%	L/S	%
Hortalizas	48691	47.13	1511	2.71
Forrajes	6943	6.72	1192	33.69
Forestales	97	0.09	99	2.80
Frutales	46772	45.27	40	1.13
Otros	806	0.78	696	9.67
Total	103309	100	3538	100

De acuerdo con el Cuadro 8, alrededor del 47% de toda el área regada con aguas negras está ocupada por hortalizas y verduras. Esto significa que en el municipio de Pachuca, Hidalgo el área con hortalizas y verduras regadas con aguas negras de los emisores Río de las Avenidas y Venado es aproximadamente de 50 ha anualmente y con aguas de toda la ciudad de Pachuca – alrededor de 80 ha.

Para estimar la producción de hortalizas y verduras cosechadas anualmente durante los períodos de estiaje se puede utilizar los datos publicados sobre los rendimientos de hortalizas y verduras en el estado de Hidalgo, México (INEGI, 2009). Según esta fuente los rendimientos de estos cultivos agrícolas varían de 10 a 20 t/ha por cosecha. Vamos a tomar en cuenta un rendimiento mínimo del orden de 15 t/ha. La duración del ciclo vegetativo (de siembra hasta la cosecha) de hortalizas (zanahoria, cebolla, rábano, papa, etc.) varía en promedio entre 2 y 4 meses y de verduras (lechuga, cilantro, perejil, espinaca, etc.) entre 1.5 y 2 meses (SAGARPA. 1998). Los períodos de estiaje, cuando principalmente se aplica el riego, y tiene una duración alrededor de 6 meses en promedio.

Esto significa que considerando el riego con aguas negras solamente durante los períodos de estiaje, los agricultores pueden cosechar hortalizas 2 a 3 veces y verduras 3 a 4 veces al año y producir alrededor de $15 \times 3 \times (50 \text{ ha}) \cong 2,250 \text{ t}$ en total de hortalizas y verduras. Posiblemente esta cifra está sobreestimada ya que se puede suponer que no en todos los terrenos los agricultores resiembran hortalizas y verduras después de cada cosecha.

Para estimar el nivel potencial de contaminación de estos productos agrícolas con huevos de helmintos se puede utilizar los datos correspondientes de algunos otros países del mundo (Cuadro 9.) (Mahvi *et al.*, 2006; Villanueva *et al.*, 1990; Muñoz *et al.*, 2008; Hajjami *et al.*, 2012; Molina *et al.*, 2006; Valbuena *et al.*, 2002; Rivera-Jacinto *et al.*, 2009; Moráis, 2005; Guzmán *et al.*, 2007; Rivera-Velázquez, 2007; Jiménez, 2009).

Cuadro 9. Contaminación Parasitológica de las aguas negras y hortalizas y/o verduras regadas con estas aguas en diferentes países del mundo.

País	Lugar	Periodo	T (°C)	Huevos de helmintos en agua negra (hh/L)	Contaminación de hortalizas regadas con agua negra	Hortaliza y/o Verdura	Huevo Predominante
Irán	Isfahán, Teherán	2002-2003	23	21	-	-	<i>Áscaris</i>
Brasil	Porto Alegre		16-30	31			
Brasil	Itabira-MG	julio 1997 a abril 1998	25	31	-	-	<i>Áscaris</i>
Venezuela	Maracaibo Zulia	abr-02	30	183	-	-	<i>Áscaris, Ancylostomoid ea</i>
Perú	Cajamarca	nov. a dic. del 2007	21	-	21 de 85	Perejil Lechuga	-
Perú	Ica	1990	22	-	73 de 165	Lechuga Rabanito Cebollín	<i>Áscaris</i>
Brasil	Paraná	julio 2002 a julio 2004	17 a 20	-	114 de 181	Lechuga Rabanito	<i>Ancylostomoid ea</i>
Brasil	-	2007		100	60 hh por planta	lechuga	<i>Áscaris</i>
Bolivia	La Paz	marzo 2004 a marzo 2006	10 a 22	-	405 de 477	Cebolla, Lechuga	<i>Áscaris</i>
Marruecos	Settat	jun. 2009, dic. 2010	22	9	8.4 g/100 muestra	Cilantro Rabanito Perejil	<i>Áscaris</i>
México	Texcoco	mayo 2004 a abril 2005	25	30	-	-	<i>Áscaris</i>
México	Tulancingo	2009	18 a 20	9 a 24	-	-	-
México	San Bernardino	Jun 2004 a abril 2005	21	8	-	-	<i>Áscaris, Hymenolepis nana</i>
México	Pachuca	nov-09 y mayo 2010	20	43	-	-	<i>Áscaris, Hymenlepis diminuta</i>

T°C – Tempertura media durante período de riego.

Los datos del Cuadro 9, sobre la contaminación parasitológica de los cultivos agrícolas regados con aguas negras urbanas se presentan en diferentes unidades:

- 21 de 85 o 405 de 477 o 73 de 165 plantas o 114 de 181 significan que 21 plantas de 85 (25%) o 405 de 477 (85%) o 73 de 165 plantas (44%) o 114 de 181 (63%) contienen huevos de helmintos.
- 60 hh por planta significa que todas las plantas analizadas tuvieron en promedio 60 huevos de helmintos en cada planta.
- 8.4 g/100 de muestra significa que 8.4 gramos de plantas de cada 100 gramos estaban contaminadas.

Según el Cuadro 9 en promedio alrededor de 54% de las plantas regadas con aguas negras urbanas se contaminan con huevos de helmintos.

Lamentablemente hay pocos datos sobre la contaminación parasitológica de los cultivos agrícolas regados con aguas negras urbanas. México no tiene datos publicados sobre el contenido de huevos de helmintos en hortalizas y verduras. Todo el material del Cuadro 9, corresponde a los países extranjeros principalmente de América Latina.

Considerando la similitud en cuanto a condiciones climáticas y tipo de contaminación parasitológica de las aguas negras urbanas usadas para riego agrícola entre los lugares mencionados en el Cuadro 9 y el municipio el Pachuca, Hgo. México,

se puede concluir que existe un alto riesgo de contaminación de hortalizas y verduras en el municipio de Pachuca. Se sabe que las normas sanitarias no permiten la presencia de huevos de helmintos en los productos agrícolas.

Es decir que hasta $0.54 \times 2,250 = 1,215$ toneladas de hortalizas y verduras contaminadas por huevos de helmintos, principalmente con *Áscaris lumbricoide* y *Hymenolepis diminuta* se producen anualmente en los terrenos agrícolas del municipio de Pachuca, regados con aguas negras de los dos emisores de la ciudad de Pachuca: Río de las Avenidas y Venado. Se supone que con todas las aguas negras de esta ciudad se obtiene anualmente hasta $0.54 \times 3600 = 1944$ toneladas de hortalizas y verduras contaminadas con parásitos.

5.3. Impacto potencial de riego con aguas negras en el municipio de Pachuca, Hidalgo sobre la salud humana.

Para estimar el número de personas potencialmente infectadas por helmintos como resultado del consumo en forma cruda de hortalizas y verduras contaminadas con huevos de helmintos, se puede considerar los datos estadísticos sobre el consumo de diferentes productos en México por la FAO (2009). Según esta publicación, una persona consume en promedio al orden de 21.3 kg de hortalizas y verduras cada año.

De otro lado es necesario tomar en cuenta que por razones de ausencia del control sanitario de los productos agrícolas se van a vender y consumir todas las hortalizas producidas en los terrenos bajo riego con aguas negras en el municipio Pachuca, esto significa que se van a consumir hortalizas sin y con huevos de helmintos con una masa total anual igual a 2,250 toneladas de los terrenos regados con las aguas negras de los emisores Río de las Avenidas y Venado y aproximadamente 3,600 toneladas en todos los terrenos regados con aguas de toda la ciudad Pachuca.

Es decir, el número de personas que anualmente consuman 2,250 t de hortalizas contaminadas y producidas en los terrenos regados con aguas negras de los emisores Río de las Avenidas y Venado es aproximadamente a $(2,250,000 \text{ kg/año}) / 21.3 \text{ kg/persona/año} \cong 105,000$ personas. Lo que significa que estas personas potencialmente se infectan anualmente por helmintos de *Áscaris lumbricoide* y *Hymenolepis diminuta*. Considerando toda el área agrícola regada con todas las aguas negras de la ciudad Pachuca, el número de personas infectadas por estos helmintos puede llegar hasta a 360,000 personas o aún más, anualmente.

Los datos de INEGI (2009) señalan que en el Estado de Hidalgo en el 2009 se registraron alrededor de 115,000 nuevos casos de personas por infecciones intestinales y de amebiasis, lo que significa que el número real total de las personas infectadas por parásitos relacionados con la irrigación con aguas residuales de la ciudad de Pachuca, es mucho más que lo obtenido en nuestros cálculos aproximados y

en la información proporcionada por INEGI. Lamentablemente no se sabe sobre la fuente de estas infecciones: agua potable, consumo de alimentos, de carne u otros. Además, no todas las personas infectadas se registran en los servicios médicos y no se consideran en los datos estadísticos de INEGI.

En el Cuadro 10 se presentan los resultados finales sobre el nivel determinado de contaminación parasitológica de las aguas negras de los emisores Río de las Avenidas y Venado de la ciudad de Pachuca, Hidalgo y sobre los niveles estimados de contaminación de hortalizas y verduras regadas con estas aguas y el número de personas potencialmente infectadas anualmente por helmintos de *Áscaris lumbricoides* y *Hymenolepis diminuta* como resultado del consumo de hortalizas y verduras contaminadas con estos parásitos.

Cuadro 10 . Nivel estimado de contaminación de hortalizas y/o verduras regadas con aguas negras en el municipio de Pachuca, Hidalgo y del impacto potencial sobre la salud humana debido al consumo de estos productos en forma cruda. (Nivel permisible es de 1huevo/L y 0 huevos/planta).

Periodo	T (°C)	Huevos de helmintos en agua negra (hh/L)	Huevos de helmintos en hortalizas regadas con agua negra (hh/L)	Huevo predominante	Número estimado de personas afectadas	Tipo de enfermedad (síntomas)
11/2009 a 5/2010	20	43	30 por planta	Áscaris	105,000 a 360,000 115 000 según INEGI (2009)	Infección intestinal (Dolor de cabeza, vomito, etc.)

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. Las aguas negras de la ciudad de Pachuca, Hidalgo no son aptas para el riego de hortalizas y verduras de consumo crudo por la población humana, el contenido de contaminantes rebasa los límites máximos permitidos por la NOM001ECOL1996.
2. El contenido total de los huevos de helmintos en las aguas negras urbanas supera el nivel permitido en la NOM001ECOL1996 hasta en 64 veces, dentro de estos la presencia del huevo *Áscaris lumbricoides*.
3. Los parámetros fisicoquímicos DBO₅, DQO y G y A de las aguas negras de esta ciudad superan los límites permisibles para descargarlas a ríos y utilizarlas para riego. El DQO supera el límite permisible en 2 a 3 veces. El contenido de grasas y aceites (G y A) supera el nivel permisible mas de 4 veces.
4. Se estima que anualmente con las aguas negras de la ciudad de Pachuca descargadas a través de los principales emisores Río de las Avenidas y Venado se puede producir alrededor de 2,250 toneladas de hortalizas y verduras y si consideramos el total de las aguas negras de toda la ciudad, se producirán alrededor de 3,600 toneladas de hortalizas y verduras que podrían estar contaminadas con huevos de helmintos.

5. El número estimado de personas infectadas potencialmente por *Áscaris lumbricoides* y *Hymenolepis diminuta* como resultado del consumo de hortalizas y verduras contaminadas en forma cruda puede ser de 105,000 y hasta 360,000 cada año.

6. El riesgo de adquirir infección de *Áscaris lumbricoides* y Amebiasis es alto sobre todo en la población infantil y de alta exposición con el agua negra utilizada en el riego agrícola.

6.2 Recomendaciones

1. Prohibir la aplicación del agua negra para riegos superficiales, sin tratamiento previo en hortalizas y verduras, de acuerdo a la NOM001ECOL1996.

2. Monitorear las descargas totales para identificar los puntos críticos y poder implementar control sanitario en las zonas con altos contenidos de huevos de helmintos por parte de las autoridades responsables (Municipales y Centros de salud).

3. Mediante los organismos en cargados verificar la existencia de los huevos de helmintos (*Áscaris lumbricoides*) en el agua tratada y después concluir si se puede o no aplicar en el riego superficial en base a lo estipulado en la NOM001ECOL1996.

4. Establecer control sanitario de los alimentos dentro del país por parte de la SENASICA y la SAGARPA (actualmente hay control solamente en las fronteras: importación – exportación, pero no hay dentro del país).
5. Utilizar el agua negra para tecnologías de riego solamente de: subirrigación, micro aspersión con ultra filtros de agua, goteo subsuperficial.
6. Educación sanitaria y ecológica a la población en general desde preescolar por parte de instituciones municipales y federales.
7. Implementar campañas de desparasitación masivas por parte de la Secretaria de salud, y autoridades competentes, por lo menos cada 6 meses, que incluya a los animales, con la finalidad de cortar la cadena de producción de huevos de helmintos.
8. Supervisar, monitorear, construir y poner en funcionamiento mas plantas de tratamiento de agua residual con lodos activados, por la parte de la CANAGUA, y órganos descentralizados capacitados en la materia.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ajllahuanca, C. V., Alcon, L. D. R., Condori, B. 2012. Generalidades sobre lãs principales Parasitosis Intestinais. [<http://enteroparasitosis-en-bolivia.blogspot.mx/2012/09/generalidades-sobre-las-principales.html>]
- Anónimo. 2003. Ministério de médio ambiente y água. Ministério de desarrollo rural y tierras, gobiernos autónomos municipales de La paz y Mecapaca, autoridad de fiscalización y control social de agua potable y saneamiento básico, servicio nacional de sanidad agropecuária e inocuidad alimentaria, servicio departamental de salud. Informe de auditoria sobre el desempeño ambiental respecto de los impactos negativos generados en la cuenca del Rio la paz.
- Arcos, P. M. P., Sara L. Á, N. S. L., Estupiñán. T. S. M., Gómez, P. A. C. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Nova-Publicaciones. VOL 3 Núm. 4 julio - diciembre de 2005, pp. 1-116.
- Ayers, R. S. Y D. W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje 29. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Blumenthal, U.J., Mara, D.D., Ayres, R., Cifuentes, E., Peasey, A., Stott, R., Lee, D., Ruiz-Palacios, G. 1996. Evaluation of the WHO nematode egg guidelines for restricted and unrestricted irrigation. Water Science and Technology Vol. 33, pp. 277-283.
- Briz, L. W. A. 2008. Cirujano-pediatra. Médico tratante 15 t.p. Hospital Del Niño “Dr. Francisco Icaza Bustamante” Guayaquil-Ecuador. Vol. III, núm. 2, enero de 2008, pp. 40.
- Cajuste, L. J., Vázquez, A. A., Grabach, S. C. D., Alcántar, G. G., Isla, D. B. M. D. L. D. I. 2001. Cadmio, Níquel y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Agrociencia, Vol. 35, pp. 267-274.
- Cajuste, L. J., R. Carrillo G., E. Cota G., And R. J. Laird. 1991. The distribution of metals from wastewater in the mexican Valley of Mezquital. Water, Air, and Soil Pollution. Vol. 57-58, pp. 763-771.
- CEPIS, 2012. Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Colombia. Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial. Perú. En: www.cepis.ops.oms.org; consulta: noviembre de 2013.

- Cifuentes, E., Blumenthal, U. J., Ruiz-Palacios, G. 1994. Escenario epidemiológico del uso agrícola del agua residual. El Valle del Mezquital. Salud Pública México, 36 (1), pp. 3-9.
- Cifuentes, E., Blumenthal, U., Ruíz-Palacios, G., Bennett, S., Quigley, M., Peasey, A., Romero-Álvarez, H. 1993. Problemas de salud asociados al riego agrícola con agua residual en México. Salud Pública de México. Instituto Nacional de Salud Pública: Vol. 35 núm. 006, noviembre-diciembre de 1993, pp.614-619.
- Colegio de Postgraduados. 1990. Manual para Proyectos de Pequeñas Obras Hidráulicas para Riego y Abrevadero. Montecillo, México. Vol. 1.
- CNA, 1975. Comisión Nacional del Agua. Plan Nacional Hidráulico.
- CNA, 1998. Comisión Nacional de Agua, El Uso de las Aguas Residuales en la Agricultura de Riego. Documento Interno. Subgerencia de Ingeniería de Riego y Drenaje. México.
- CNA, 2005. Comisión Nacional del Agua. Síntesis de las Estadísticas del Agua en México, 2005 / Comisión Nacional del Agua.- México: CNA.
- CONAGUA, 2012. Comisión nacional del agua. Estadísticas del Agua en México.
- Córdoba, M. A., Del Coco, V. F., Basualdo, J. A. 2010. Agua y salud humana. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires Argentina. Química viva. Vol. 9, núm. 3 diciembre de 2010, pp. 105-109.
- Córdoba, M. A., Del Coco, V. F., Minvielle, M. C..., Basualdo, J. A. 2010. Influencing factors in the occurrence of injured coliforms in the drinking water distribution system in the city of La Plata, Argentina. J Water Health, Vol. 9 núm. 3 diciembre del 2010, pp. 205-211.
- Dole, D, 2002. Economic Issues in the Design and Analysis of a Wastewater Treatment Project. ERD Technical Note No. 4. Asian Development Bank. Philipinas.
- Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Montecillos., J., Servin, C., Villavicencio, F. 2003. El Reúso del Agua Residual Tratada en México. Seminario Internacional sobre Métodos para el tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos-México.
- FAO. Perfiles Nutricionales por Países – México, Agosto 2003 FAO, Rome, Italy. [Citado el 16 de junio de 2014]. <http://www.fao.org/docrep/017/aq028s/aq028s.pdf>.

- FAO/STAT, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 2000. Online Database (available at <http://faostat.fao.org/>, accessed junio 2014).
- Flanagan, S. V., Johnston, R. B and Zheng. 2012. Arsenic in tube well water in Bangladesh: health and economic impacts and implications for arsenic mitigation. *Bull World Health Organ* 90:839-846. (OMS, 2012).
- García, E. 2009. Manual Práctico de Pequeñas Irrigaciones. Fondo Perú-Alemania: Deuda por desarrollo, pp. 136.
- García, I., Díez, M., Martín F., Simón, M., Sánchez, J. A., Del Moral, F. 2008. Influence of CaCO₃ on the aluminum toxicity in leachates of soils contaminated by acidic mine drainage. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17: 1644-1647
- Garza, A. V. 2000. Reusó agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, (Chih., México). En el Valle de Juárez y su impacto en la salud pública, *Salud pública y Nutrición*. Vol. 1, núm. 103.
- González, G. M. I., Chiroles, R. S. 2011. Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura, *Revista Cubana de Salud Pública*, Sociedad Cubana de Administración de Salud La Habana, Cuba. Vol. 37, núm. 1, pp. 61-73.
- Guerrero, T., Rives, C., Rodríguez, A., Saldivar., Cervantes, V. 2009. El agua en la ciudad de México. *Ciencias*. Núm. 94, pp. 16-27.
- Gutiérrez-Jiménez J, Torres-Sánchez M, Fajardo Martínez L, Schlie-Gúzman M, Luna-Cazares L, González-Esquinca A, Guerrero-Fuentes S, Vidal J. 2013. Malnutrition and the presence of intestinal parasites in children from the poorest municipalities of México. *The Journal of Infection in Developing Countries*, North América, October, Vol. 7(10), 2013, pp. 741-747.
- Guzmán, A., Palacios, O., Carrillo, R., Chávez, J., Nikolskii, I. 2007. La contaminación del agua superficial en la cuenca del río Texcoco, México. *Colegio de Postgraduados. Agrociencia*. Vol. 41, núm. 004. pp. 385-393.
- Hajjami, K., Ennaji, M. M., Fouad, S., Oubrim, N., Cohen, N. 2013. Wastewater Reuse for Irrigation in Morocco: Helminth Eggs Contamination's. Level of Irrigated Crops and Sanitary Risk (A Case Study of Settat and Soualem Regions). *J Bacteriol Parasitol* 4:163. doi:10.4172/2155-9597.1000163
- Helmer, R., Espanhol, I. 1999. *Water Pollution Control. A Guide to the Use of Water quality management principles*. Eds. E and FN Spon. An imprint of Thomson Professional, London Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras. March Vol. 110, pp, 435-437.

- Higueras, P., Oyarzun, R., Lillo, J., Oyarzún, J., Maturana, H. 2005. Atmospheric mercury data for the Coquimbo region, Chile: influence of mineral deposits and metal recovery practices. *Atmospheric Environment*, 39: 7587–7596.
- Hotez, P. J., Brindley P.J., Bethony J. M., King C. H, Pearce E. J., Jacobson J. 2008. Helminth infections: the great neglected tropical diseases. *J Clinical Invest* 118:1311, pp 21.
- INEGI. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. Anuario de Hidalgo 2009. [Citado el 9 de febrero de 2012]. (www.inegi.org.mx).
- INEGI. 2013. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/anuario_multi/2013/hgo/AEyGHGO13.pdf
- Jiménez, B. 2009. Helminth ova control in wastewater and sludge for agricultural reuse, in W.O.K. Grabow (ed) *Encyclopedia of Biological, Physiological and Health Sciences, Water and Health*. Vol. 2, EOLSS Publishers Co Ltd, Oxford, and UNESCO, Paris, pp 429–49.
- Jiménez, B., and Asano, T. 2008a. *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs*, IWA Publishing, London.
- Jiménez, B. and Asano, T. 2008b. “Water reclamation and reuse around the world,” Chap. 1, in B. Jiménez and T. Asano (eds.), *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs*, IWA Publishing, London.
- Jiménez, B., Maya, C., Galván, M. 2007. Helminth ova control in wastewater and sludge for advanced and conventional sanitation. *Wat. Scie Tech*. 56(5):43-51.
- Lenntech, 2005. Efectos del Cr. Sobre la salud. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm#ixzz3ACVIGNwA>
- Lenntech, 2005. Efectos del níquel sobre la salud. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm> 20/08/2014
- Lenntech, 2005. Efectos del zinc sobre la salud. <Http://www.lenntech.com/espanoL/tabla-peiodica/Zn.htm>, 20/08/2014
- Milla, L. R. 2003. *Calidad Del Agua En México*, México. Consultado en línea http://www.geocities.ws/r_millan_L/art02.html.

- Molina, Z. A., De Lemos, C. C. A., Márcia, V. E. 2006. Estudo da remoção de ovos de helmintos e indicadores bacterianos em um sistema de tratamento de esgotos domésticos por reator anaeróbico e aplicação superficial no solo. 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.
- Morais, F. L. 2005. Qualidade de hortaliças comercializadas no noroeste do Paraná, Brasil. Parasitol. Latinoam. Vol. 60, núm. 3-4., pp. 144-149.
- Muñoz, O. V., Nancy, L. 2008. Alta contaminación por enteroparásitos de hortalizas comercializadas en los mercados de la ciudad de la Paz, Bolivia. Biofarbo. Vol., 16.
- NOM001ECOL1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación (DOF). 1996, pp. 15.
- NOM003ECOL1997. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público. Secretaria de media Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Norma oficial Mexicana. Publicada en el Diario Oficial de La Federación (DOF) el 21 de septiembre de 1998.
- NMX-AA-003. 1990. Norma Mexicana Aguas residuales. Muestreo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.
- NMX-AA-113-SCFI-1999. Norma Mexicana Aguas. Residuales Análisis de agua-Medición del número de huevos de helminto en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica-Método de prueba. 5 de agosto de 1999.
- NOM-CCA-033-ECOL. 1993. Establece las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas/ 1993.
- OCDE/FAO. OCDE-FAO 2013. Perspectivas Agrícolas 2013-2022, Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo, http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2013-es.
- OMG. 1987. Organización Mundial de la Salud. Prevención y control de las infecciones parasitarias intestinales. Ginebra: WHO 1987. Serie de Informes Técnicos N° 749.
- OMG. 1996. Organización Mundial de la Salud. Promoting Health through schools. The World Health Organization's Global School Health Initiative. Ginebra: WHO 1996.

- OMS. 1989. Organización Mundial de la Salud. Health Guidelines for the Use of Wastewater In Agriculture and Aquaculture. Technical Report Series No. 778. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- OMS. 1989. Organización Mundial de la Salud. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie Informes técnicos, 778. Ginebra, pp, 93.
- OPS. 1992. Organización Panamericana de la Salud. El control de las enfermedades transmisibles. 17ª Ed. Washington: Pub Cient N° 581.
- OPS. 1998. Organización Panamericana de la Salud. Reunión sobre el control de las helmintiasis intestinales en el contexto de AIEPI. Río de Janeiro: Serie HCT/AIEPI-21.E.
- Peasey, A., Blumenthal, U., Duncan, M., Ruiz-Palacios, G. 2000. A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American perspective. Publ. London School of Hygiene & Tropical Medicine, UK: part II. No 68, <http://www.lboro.ac.uk/well/>
- Peasey, A. 2000. Human Exposure to Ascaris Infection through Wastewater Reused in Irrigation and its Public Health Significance. PhD Thesis, University of London, UK.
- Pérez-Cordón, G., Rosales, M. J., Renzo, V. A., Vargas-Vásquez, E., Córdova, O. 2008. Detección de parásitos intestinales en agua y alimentos de Trujillo, Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 25, 144-148. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v25n1/a18v25n1.pdf>.
- Pescod, M.B. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper, 47, pp, 169
- Pinto, R. C. R y Peredo, L. A. 2010. Obstrucción intestinal por Áscaris lumbricoides. Rev. Méd.-Cient. Luz Vida. [citado 2014 Jun 09]; 1(1): 36-40. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2219-80322010000100009&lng=es.
- Ramírez, C. C. R. 1992. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Ramos, O.R., Sepúlveda, M.R., Villalobos, M.F. 2003. El agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis. Plaza y Valdez S. A. de C.V. México.
- Rivas, L. B. A., Nevárez, M. G. V., Bautista, M. R. G., Pérez, H. A Y Saucedo, T. R. 2003. Tratamiento de aguas residuales de uso agrícola en un biorreactor de lecho fijo. Colegio de Postgraduados. Agrociencia: 37(02), pp, 157-166.

- Rivera, J. A., Rodríguez, U. C. A Y López, O. 1997. Contaminación fecal en hortalizas que se expenden en mercados de la ciudad de Cajamarca, Perú. Rev. Perú Med Salud Pública. Vol. 29 núm. 1, pp, 45-48.
- Rivera-Vázquez, R., Palacios-Vélez, O. L, Chávez Morales, J., Belmont, M. A, Nikolski-Gavrilov, I., DE LA Isla de Bauer, M. De Lourdes, Guzmán-Quintero, A., Terrazas-Onofre, L., & Carrillo-González, R. 2007. Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la Cuenca del Valle de México. Revista internacional de contaminación ambiental, Vol. 23, núm. 2, pp., 69-77
- Rivero, R. Z. C., Villalobos, P. R., Bracho, M. A. M y Fuenmayor, B. A. 2009. Infección por *Hymenolepis diminuta* en un niño del municipio Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. Rev. Soc. Ven. Microbiol. [Online]. Vol.29, núm.2 pp.133- 135.
- Romero, A. H. 1994. Estudio de Caso (Valle del Mezquital). En preparación. Taller Regional para las Américas sobre Aspectos de Salud, Agricultura y Ambiente, Vinculados al Uso de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Jiutepec, México.
- SAGARPA. 1998. Cultivo de hortalizas. Manual de manejo. Publ. SAGARPA.
- SAGARPA. 2009. Tipos de abonos orgánicos de origen animal y su composición química. En: <http://plantasyhortalizas.blogspot.mx/2009/08/tipos-de-abonos-organicos-de-origen.html>).
- SEMARNAP. 1997. NOM-003-SEMARNAT. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público. Diario Oficial. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- Shuval, H. Y. y Lampert And B. Fattal. 1997. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture Water Science and Technology. IWA Publishing. Vol. 35 No 11-12, pp 15–20
- Silva, M. A. E. y Martínez P. P. 1997. Determinación de huevos de helmintos en las Operaciones unitarias de la planta de tratamiento de Aguas residuales Chapultepec, Sección de Ingeniería Ambiental, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- SRH. 1975. Secretaría de Recursos Hidráulicos, Plan Nacional Hidráulico, México, D.F. México.

- Triolo, M., Álvarez, E. y Alvizu, O. 2013. Enteroparásitos en lechugas. Comparación de dos técnicas diagnósticas. Estado Carabobo, Venezuela. Revista Venezolana de salud Pública. Vol. 1. Núm. 2. pp. 15-20.
- UNESCO. 2009. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). <http://www.unesco.org/new/es/natural-ciencias/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-15-water-pollution>.
- Valbuena, D., Díaz-Suarez, O., Botero-Ledesma, L. y Cheng-Ng, R. 2002. Detección de helmintos intestinales y bacterias indicadoras de contaminación en aguas residuales, tratadas y no tratadas. INCI [online]. vol.27, n.12 [citado 2014-06-21], pp. 710-714. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002001200012&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-1844.
- Veliz, L. E., Llanes, O. J. G., Asela, F. L., Bataller, V. M. 2009. Reúso de aguas residuales domesticas para riego agrícola. Valoración crítica Revista CENIC. Ciencias Biológicas, Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Ciudad de La Habana, Cuba. Vol. 40, núm. 1, enero-abril, pp. 35-44
- Villanueva, R. C. y Silva S. M. 1990. Protozoarios y helmintos en hortalizas comestibles que se expenden en los mercados de la ciudad de Ica, Perú. Facultad de Ciencias - Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" Ica – Perú.
- Villegas, J. J. H. 2008. Trabajo para encontrar el comportamiento de los caleños en el manejo de las pilas con respecto a la forma como las eliminamos. Universidad Santiago de Cali. Facultad de Educación Maestría en Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible. Valle del Cauca, Colombia.
- Webb, M. 1972. Binding of cadmium ions by rat and kidney. Biochem. Pharmacol. Vol. 21.
- WHO. 1989. Health guidelines for the safe use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical Report Series 778. Geneva: World Health Organization.
- WHO. 2004. Guidelines for Drinking-Water Quality, 3rd edition, World Health Organization, Geneva.
- WHO. 2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Volume 2: Wastewater Use in Agriculture, World Health Organization, Geneva.
- Zamora, F. R., Rodríguez, G. N. J., Torres, R. D. G. y Yendis, C. H. 2009. Uso de Agua Residual y Contenido de Materia Orgánica y Biomasa Microbiana en Suelos de la llanura De Coro, Venezuela. Agricultura Técnica en México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. Vol. 35, Núm. 2, abril-junio, 2009, pp. 211-218.

ANEXOS

A1. Figuras del material utilizado en el muestreo de agua residual.



Figura 8. Preservación de Muestras.



Figura 9. Medición de parámetros físicos.



Figura 10. Material requerido por sitio de muestreo



Figura 11. Hielera con los ácidos necesarios para preservar la muestras.

CALIBRACION DE EQUIPO						
EQUIPO: _____						
LUGAR: _____						
				Conductividad		
Buffer:	pH=	pH=	pH=	Estandar con:	µs/cm	
Marca:				Marca:		
Lote:				Lote:		
Caducidad:				Caducidad:		
Liac				Liac		
Ldc				Ldc		
L ₁				L ₁		
L ₂				L ₂		
L ₃				L ₃		
Promedio				Promedio		
Liac = Lectura inicial antes de calibrar, Ldc = Lectura despues de calibrar, L = Lectura						

Figura 12. Hoja de calibración del equipo en cada sitio de muestreo.



Figura 13. Emisor providencia.

A2. Parámetros físicos medidos en las descargas.

Los Cuadros 11 y 12, presentan los datos sobre los parámetros físicos del agua negra de la ciudad de Pachuca, Hidalgo, en cada descarga analizada y en cada hora de medición: velocidad del flujo (m/s), temperatura (°C), conductividad eléctrica CE ($\mu\text{s}/\text{m}$) pH, contenido de sólidos totales ST (m/L) y el gasto (L/s). Los emisores Venado y Río de las Avenidas se identifican aquí como descargas D1 y D2 respectivamente.

Cuadro 11. Parámetros Medidos en la descarga del Emisor Venado (D1).

	Velocidad m/s	Temperatura °C	CE $\mu\text{s}/\text{m}$	pH	ST m/L	Gasto L/s
D1P1						
Hora	0.46	23.9	1.7	7.75	0.98	40.31
15:30	0.43	24	1.9	7.66	0.98	
	0.49	23.8	1.6	7.97	0.96	
Promedio	0.46	23.9	1.73	7.79	0.97	
D1P2						
Hora	0.41	19.3	1.72	6.19	0.91	33.47
19:30	0.40	19.5	1.72	6.18	0.91	
	0.40	19.0	1.63	6.2	0.91	
Promedio	0.40	19.27	1.69	6.19	0.91	
D1P3						
Hora	0.54	18.9	1.68	6.44	0.93	55.97
23:30	0.54	19.9	1.66	6.42	0.96	
	0.54	19.7	1.67	6.4	0.97	
Promedio	0.54	19.5	1.67	6.42	0.95	
D1P4						
Hora	0.49	19.7	1.48	6.44	0.86	38.18
03:30	0.49	19.8	1.47	6.43	0.85	
	0.49	19.9	1.46	6.43	0.82	
Promedio	0.49	19.8	1.47	6.43	0.84	
D1P5						
Hora	0.43	20	1.35	6.52	0.77	33.53
7:30	0.49	19	1.35	6.57	0.76	
	0.46	21.3	1.35	6.55	0.78	
Promedio	0.46	20.1	1.35	6.55	0.77	
D1P6						
Hora	0.53	20.6	1.25	6.63	0.72	55.03
11:30	0.53	20.4	1.23	6.66	0.65	
	0.53	20.5	1.22	6.62	0.71	
Promedio	0.53	20.5	1.23	6.64	0.69	

Cuadro 12. Parámetros medidos en la descarga del Emisor rio de las Avenidas (D2)

D2P1	Velocidad m/s	Temperatura °C	CE µs/m	pH	ST	Gasto L/s
Hora 16:05	0.57	22	1.8	5.69	0.98	295.27
	0.49	21.4	1.7	5.7	0.98	
	0.52	20.5	1.6	5.68	0.96	
Promedio	0.53	21.3	1.70	5.69	0.97	
D2P2	Velocidad m/s	Temperatura °C	CE µs/m	pH	ST	Gasto L/s
Hora 20:25	0.57	19.6	1.7	7.52	0.9	312.64
	0.57	19.8	1.6	7.51	0.93	
	0.54	20.4	1.6	7.51	0.91	
Promedio	0.56	19.93	1.63	7.51	0.91	
D2P3	Velocidad m/s	Temperatura °C	CE µs/m	pH	ST	Gasto L/s
Hora 00:25	0.52	18.5	1.6	6.5	0.87	278
	0.47	18.2	1.59	6.5	0.89	
	0.47	18.3	1.59	6.8	0.88	
Promedio	0.49	18.33	1.59	6.6	0.88	
D2P4	Velocidad m/s	Temperatura °C	CE µs/m	pH	ST	Gasto L/s
Hora 3:25	0.36	18.5	1.48	6.6	0.81	173.69
	0.36	18.5	1.47	6.8	0.81	
	0.36	18.7	1.51	6.7	0.79	
Promedio	0.36	18.57	1.49	6.70	0.80	
D2P5	Velocidad m/s	Temperatura °C	CE µs/m	pH	ST	Gasto L/s
Hora 6:30	0.52	18.7	1.32	6.84	0.77	295.27
	0.52	18.5	1.33	6.8	0.75	
	0.52	18.5	1.33	6.85	0.77	
Promedio	0.52	18.57	1.33	6.83	0.76	
D2P6	Velocidad m/s	Temperatura °C	CE µs/m	pH	ST	Gasto L/s
Hora 10:30	0.58	21.3	1.59	6.1	0.92	385
	0.58	20.7	1.6	6.0	0.9	
	0.58	21.1	1.58	6.1	0.91	
Promedio	0.58	21.03	1.59	6.06	0.91	

A3. Definición de Parámetros y daños a la salud.

Nitrógeno Total (N-TOTAL)

El nitrógeno se presenta en forma química en las aguas naturales y contaminadas, pues tienen varios estados de oxidación y es un elemento altamente demandado por los organismos. Las principales fuentes de nitrógeno son los fertilizantes, la presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. En los análisis habituales se suele determinar el Nitrógeno Total Kjendahl que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal (Lentch, 2005).

Fósforo Total (P-TOTAL)

Las principales fuentes de fósforo son los residuos humanos, detergentes y suelos erosionados de tierras agrícolas.

Metales Pesados

La NOM001ECOL1996 contempla los siguientes metales considerando su efecto toxicológico sobre la salud humana:

Arsénico (As)

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan

generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel (Flanagan, 2012). Además de enfermedades respiratorias; neurológicas (neuropatías periféricas), cardiovasculares y diversos tipos de cáncer (pulmón, rincón, hígado, vejiga y de piel).

Cadmio (Cd)

El cadmio está presente en aguas negras, municipales y residenciales entre 0.05 a 7.3 mg cápita/día. La toxicidad del Cd se relaciona con la generación de radicales libres y la acumulación parcial de la calmodulina como análogo del Ca^{2+} (Díaz y Barriga, 1991). En humanos y animales experimentales la exposición crónica al Cd causa daño renal y proteinuria (ver investigación completa en Villegas, 2008 citado en bibliografía). La mayor acumulación del Cd ocurre en el hígado y en el riñón (ver investigación completa citado en bibliografía Webb, 1972, citado en bibliografía).

Cobre (Cu)

La exposición corta suele producir molestias gastrointestinales, mientras que exposiciones crónicas producen daños hepáticos o renales.

Cromo (Cr)

El Cromo es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. El Cromo (VI) es conocido porque causa

varios efectos sobre la salud. Cuando es un compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, como es erupciones cutáneas. Después de ser respirado el Cromo (VI) puede causar irritación de la nariz y sangrado de la nariz. Otros problemas de salud que son causado por el Cromo (VI) son; Erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, Cáncer de pulmón, y la Muerte, (ver bibliografía Lenntech, 2005, citado en bibliografía).

Mercurio (Hg)

Las concentraciones de Mercurio en los peces usualmente exceden en gran medida las concentraciones en el agua donde viven. Los productos de la cría de ganado pueden también contener eminentes cantidades de Mercurio. El Mercurio no es comúnmente encontrado en plantas, pero este puede entrar en los cuerpos humanos a través de vegetales y otros cultivos.

El Mercurio tiene un número de efectos sobre los humanos principalmente: Daño al sistema nervioso, daño a las funciones del cerebro, daño al ADN y cromosomas. Reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza. Efectos negativos en la reproducción, daño en el esperma, defectos de nacimientos y abortos, El daño a las funciones del cerebro pueden causar la degradación de la habilidad para aprender, cambios en la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera, incoordinación de músculos y pérdida de la memoria. Daño en el cromosoma y es

conocido que causa mongolismo (ver bibliografía, Lenntech, 2005, citado en bibliografía).

Níquel (Ni)

El Ni en aguas negras, municipales y residenciales va de 0.35 a 46 mg cápita/día. El Ni se encuentra entre otros metales que son particularmente cancerígenos para el humano y otros mamíferos, además de producir daño renal y dificultades respiratorias, por lo que está incluido en la lista de contaminantes prioritarios (ver bibliografía, EPA, 1993 citado en bibliografía).

Plomo (Pb)

El Plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por Pb. El Pb puede causar varios efectos no deseados en los humanos, como son: perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea, daño renal, abortos y abortos sutiles, perturbación del sistema nervioso, daño al cerebro, disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma, disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños, perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad. Por otra parte se ha mostrado que el Pb puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños

por nacer. Además puede concentrarse en la leche materna (Lenntch, 2005, citado en bibliografía).

Zinc (Zn)

El zinc es un metal considerado como esencial para el proceso en los seres vivos, pero en concentraciones relativamente elevadas son tóxicos, presentados por Cervantes *et al.*, (1999), las concentraciones de Zn en aguas negras municipales y residenciales va de 0.6 a 180 mg cápita/día.

A4. Definición de contaminantes Microbiológicos y daño sobre la salud humana.

Las variables biológicas consideradas en el diagnóstico son: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, número más probable de coliformes totales y huevos de helmintos.

Coliformes Totales

Los coliformes son bacterias capaces de formar esporas bajo condiciones ambientales adversas, las esporas son altamente resistentes a condiciones desfavorables, pueden permanecer en estado latente por mucho tiempo, por esta razón su propagación puede ocurrir en ambientes húmedos y secos.

Las especies principales del grupo de bacterias coliformes son:

- A. *Escherichia coli*: Generalmente no patógenas, habita en el tracto intestinal de humanos y animales de sangre caliente, un tercio (en peso) del excremento humano consiste de células *E. Coli*
- B. *Aerobacter aerogénes*: Hábitat normal suelo, cereales, plantas, también pueden encontrarse en excrementos de animales
- C. Otros : *Escherichia freundi* - *Aerobacter cloaci*.

Los coliformes fecales y el *E. coli* son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades y que están presentes en las heces, pueden causar

diarrea, retortijones, náusea, dolores de cabeza u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo a la salud humana, sobre todo a la población infantil.

Algunas de las enfermedades producidas por microorganismos son: Disentería, Fiebre Tifoidea y Cólera. “Generalmente este tipo de organismos son excretados del tracto intestinal humano en cantidades que varían entre 100 y 400 billones de coliformes por día” (ver bibliografía, Ramos *et al.*, 2003, citado en bibliografía).

Huevos de Helmintos

Término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con forma y tamaños variados. Poseen órganos diferenciados, y sus ciclos de vida comprenden la producción de huevos o larvas, infecciosas o no y la alternancia compleja de generaciones que incluye hasta tres huéspedes diferentes encontrados en las descargas de agua residual. (ver bibliografía, NMX-AA-113-SCFI-1999, citado en bibliografía)

A5. Normas y Métodos, determinación de parámetros del agua residual.

Métodos para determinar la calidad del agua negra (NOM001ECOL1996), Cuadro 13.

Cuadro 13. Métodos normalizados, determinación de parámetros del agua residual

Norma Mexicana	Determinación	Método	(fecha)
NMX-AA-003 Aguas residuales	Muestreo		25 de marzo de 1980
NMX-AA-004 Aguas residuales	Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales	Método del cono Imhoff	13 de septiembre de 1977
NMX-AA-005 Aguas	Determinación de grasas y aceites	Método de extracción soxhlet	8 de agosto de 1980
NMX-AA-026 Aguas	Determinación de nitrógeno total	Método Kjeldahl	27 de octubre de 1980
NMX-AA-028 Aguas	Determinación de demanda bioquímica de oxígeno	Método de Incubación por diluciones	6 de julio de 1981
NMX-AA-029 Aguas	Determinación de fósforo total	Métodos espectrofotométricos	21 de octubre de 1981
NMX-AA-034 Aguas	Determinación de sólidos en agua	Método gravimétrico	3 de julio de 1981
NMX-AA-042 Aguas	Determinación del número más probable de coliformes totales y Fecales	Método de tubos múltiples de fermentación	22 de junio de 1987
NMX-AA-046 Aguas	Determinación de arsénico en agua	Método espectrofotométrico	21 de abril de 1982
NMX-AA-051 Aguas	Determinación de metales	Método espectrofotométrico de absorción atómica	22 de febrero de 1982
NMX-AA-057 Aguas	Determinación de plomo	Método de la ditizona	septiembre de 1981
NMX-AA-058 Aguas	Determinación de cianuros	Método colorimétrico y titulométrico	14 de dic de 1982
NMX-AA-060 Aguas	Determinación de cadmio	Método de la ditizona	abril de 1982
NMX-AA-064 Aguas	Determinación de mercurio	Método de la ditizona	3 de marzo de 1982
NMX-AA-066 Aguas	Determinación de cobre	Método de la neocuproína	noviembre de 1981
NMX-AA-078 Aguas	Determinación de zinc	Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica	12 de julio de 1982
NMX-AA-079 Aguas Residuales	Determinación de nitrógeno de nitratos		14 de abril de 1986
NMX-AA-099 Agua potable	Determinación de nitrógeno de nitritos		11 de febrero de 1987
NMX-AA-113-SCFI-1999	Determinación de huevos de helminto.	Método bifásico y sedimentación	5 de agosto de 1999

A6. Método para determinación de Huevos de Helmintos

Para el cumplir con el objetivo particular para la determinación de huevos de helminto contenidos en un litro de agua negra, y de acuerdo a la NMX-AA-113-SCFI-1999 los métodos para determinar el número y tipo de huevos de helmintos utilizado por el Laboratorio de Calidad del Agua, se describe a continuación:

- Método bifásico

Es la técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles entre sí, y donde las partículas (huevos y detritus) se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

- Sedimentación

Es el proceso físico de separación entre dos fases debido a la diferencia de sus densidades.

REACTIVOS Y MATERIALES

Reactivos (grado analítico)

- Ácido sulfúrico (H_2SO_4);
- Álcool etílico (C_2H_5OH);
- Agua destilada;
- Cloruro de sodio ($NaCl$);
- Éter etílico;
- Formaldehído al 4 %;
- Hipoclorito de sodio ($NaClO$) (no aplica grado analítico), y
- Sulfato de zinc heptahidratado ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$).

Materiales

- Aplicadores de madera;
- Barras magnéticas;
- Bulbo de goma;
- Espátula;
- Garrafones de plástico inerte con paredes lisas y transparentes de 8 L de capacidad;
- Gradillas para tubos de centrífuga de 50 mL;
- Guantes de látex;
- Mascarilla contra gases y vapores;
- Matraz Kitazato;
- Pipetas de 10 mL de plástico;
- Probetas graduadas de 50 mL y de 1 000 mL;
- Recipientes de plástico inerte con paredes lisas y transparentes de 2 000 mL y 4 000 mL de capacidad;
- Tamiz de 160 μm (micras) de poro;
- Tubos de centrífuga de 200 mL, 450 mL o de mayor volumen según sea la capacidad máxima de la centrífuga;
- Tubos de centrífuga cónicos de 50 mL, y
- Vasos de precipitados de 1 000 mL.

APARATOS

- Agitador de tubos, con control de velocidad y adaptable a diversos tubos;
- Balanza granataria;

- Balanza analítica;
- Bomba de vacío con control de velocidad de succión;
- Campana de extracción;
- Celda de Sedgwich-Rafter o cámara de conteo de Doncaster o cámara de Neubauer;
- Centrífuga. Capaz de mantener los intervalos de operación de 1 000 r/min a 3 000 r/min o su equivalente en g;
- Densímetro (Hidrómetro). Capaz de mantener el intervalo de medición de 1,0 g/mL a 1,4 g/mL, y temperatura de operación de 0°C a 4°C;
- Incubadora;
- Microscopio óptico. Equipado para hacer iluminación campo claro (Köheler), con aumento de 10 a 100x y platina móvil (opcional);
- Parrilla con agitación magnética, y
- Refrigerador.

PROCEDIMIENTO

Preparación de soluciones

Solución de sulfato de zinc ($ZnSO_4$) con gravedad específica de 1,3, Disolver 800 g de sulfato de zinc heptahidratado ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) en 1 000 mL de agua destilada; mezclar en la parrilla magnética hasta homogeneizar totalmente. Medir la densidad con el densímetro. Ajustar la densidad a 1,3 agregando sulfato de zinc o agua destilada, según sea el caso.

Solución de alcohol-ácido.

Homogeneizar 650 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,1 N, con 350 mL de alcohol etílico. (Almacenar la solución en un recipiente hermético).

Calibración de aparatos

Todos los equipos utilizados deben ser calibrados con patrones certificados o ajustados de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Seguridad

Durante el procesado de la muestra se debe utilizar guantes de látex y cubre boca para evitar cualquier riesgo de infección. Se debe lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista, antes y después del ensayo. Cuando se efectúe la agitación de las soluciones con éter, ésta se debe realizar en sitios ventilados o dentro de la campana de extracción, y considerar su inflamabilidad.

Evitar el contacto con los ojos, piel o ropa, ya que es un reactivo sumamente tóxico.

Todo material desechado debe ser previamente esterilizado o desinfectado con hipoclorito de sodio al 10%.

Concentración y separación de los huevos de helminto

La recuperación de los huevos de helminto de la muestra se debe realizar efectuando los siguientes pasos:

a) Dejar reposar la muestra al menos 3 hr o toda la noche o centrifugar a 400 g de 3 min a 5 min.

b) Aspirar y desechar el sobrenadante por vacío y sin agitar, si la sedimentación (separación) se realizó por centrifugación, decantar lentamente.

Filtrar el sedimento en el tamiz de 160 μm de poro. Lavar el tamiz con 5 L de agua (potable o destilada), y recuperar el agua de lavado junto con el sedimento filtrado.

c) Colocar el filtrado y el agua de enjuague en el garrafón de 8 L donde originalmente se encontraba la muestra o en los recipientes utilizados en la centrifugación.

d) Dejar reposar la muestra al menos 3 horas o toda la noche o centrifugar a 400 g de 3 min a 5 min.

e) Aspirar con cuidado el sobrenadante al máximo y desecharlo. Depositar el sedimento en los recipientes para la centrífuga. Enjuagar 3 veces el garrafón perfectamente con poca agua destilada, y colocar en los recipientes para centrifugación.

f) Centrifugar a 400 g de 3 min a 5 min.

g) Decantar nuevamente el sobrenadante por vacío. Asegurarse que en el fondo del recipiente exista la pastilla; en caso contrario, centrifugar nuevamente. Resuspender la pastilla en 150 mL de la solución de sulfato de zinc (ZnSO_4). Homogeneizar la pastilla con el agitador de tubos o con un aplicador de madera.

h) Una vez más, centrifugar a 400 g de 3 min a 5 min, y recuperar el sobrenadante vertiéndolo en un recipiente de plástico de 2 000 mL. Diluir cuando menos en 1 000 mL de agua destilada, y dejar sedimentar al menos 3 h, o toda la noche o centrifugar a 400 g de 3 min a 5 min.

- i) Aspirar con cuidado y al máximo el sobrenadante por vacío, y resuspender el sedimento por agitación, utilizando poca agua destilada. Verter la suspensión resultante en un tubo de centrífuga de 200 mL, incluyendo el agua de enjuague del recipiente y centrifugar a 480 g durante 3 min.
- j) Decantar nuevamente el sobrenadante y resuspender la pastilla con agua destilada en un tubo de 50 mL y centrifugar a 480 g durante 3 min.
- k) Decantar nuevamente el sobrenadante por vacío y resuspender la pastilla en 15 mL de la solución de alcohol-ácido por medio de un agitador de tubos, y agregar 10 mL de éter. Agitar suavemente y de vez en cuando destapar cuidadosamente los tubos para dejar escapar el gas que se desprenda. Por seguridad realizar en sitios ventilados utilizando la mascarilla o en la campana de extracción
- l) Centrifugar una última vez a 660 g durante 3 min.
- m) Aspirar al máximo el sobrenadante, dejando menos de 1 mL del mismo y evitando la pérdida de la pastilla; homogeneizar la pastilla, y proceder a la cuantificación. Por seguridad realizar en sitios ventilados utilizando la mascarilla o en la campana de extracción.

Cuantificación de los huevos de helminto

- a) Para evitar sobre posición de las estructuras y el detritus no eliminado, repartir la muestra en volúmenes de 0,5 mL a 1,0 mL, con el fin de facilitar la lectura.
- b) Distribuir cada uno en una celda de Sedgwich-Rafter, o bien, en una cámara de conteo de Doncaster o cámara Neubauer.

Identificar visualmente una a una las estructuras, anotando el género identificado con ayuda de la Figura 14.

Expresar el resultado en número de huevecillos por litro, tomando en consideración la expresión en cálculos, o bien expresar el número de huevos contados y el volumen analizado:

$$HL = \frac{H}{5}$$

Donde:

H es el número de huevos leídos en la muestra;

HL es el número de huevos por litro, y

5 es el volumen de la muestra.

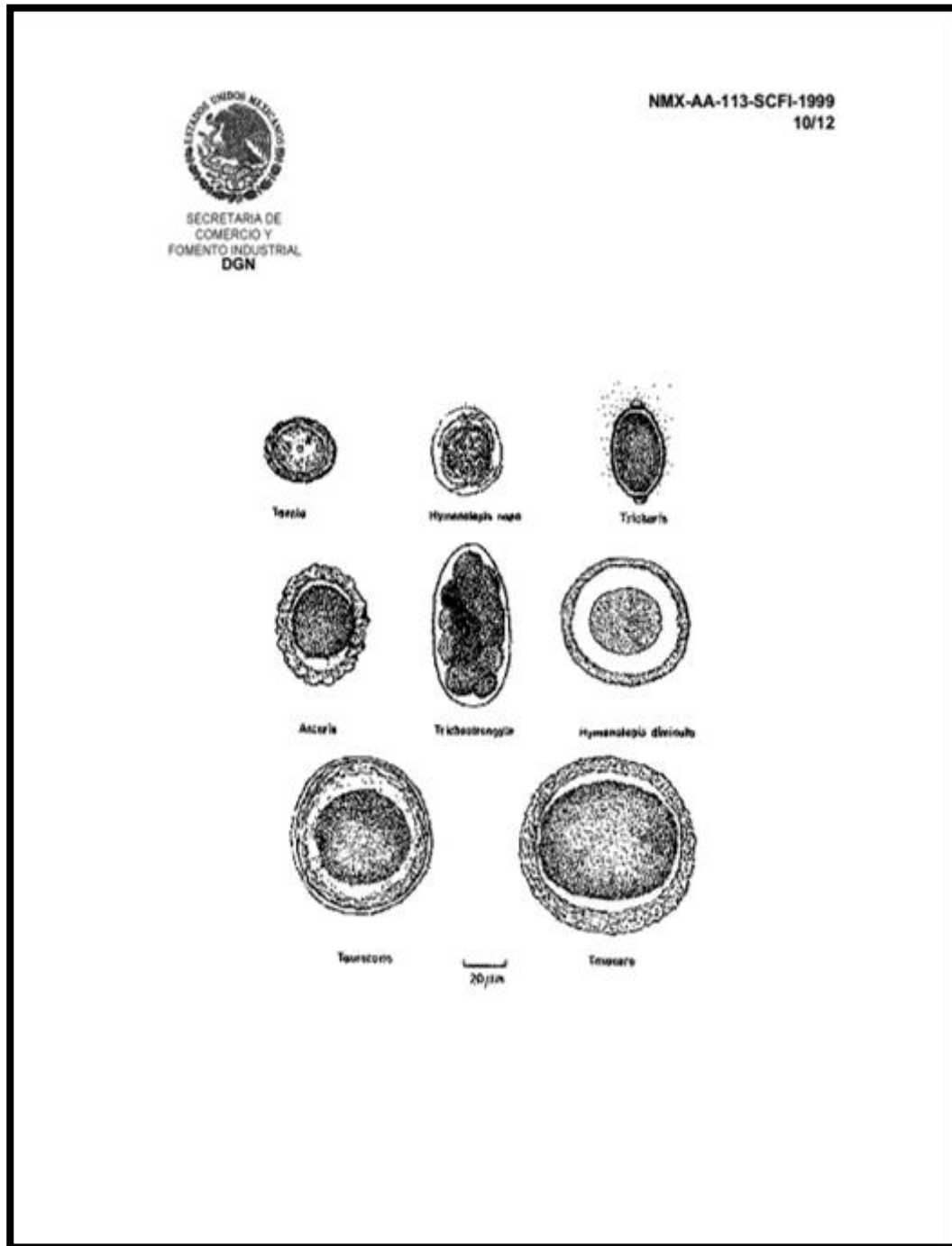


Figura 14. Especies de huevos de helminto.