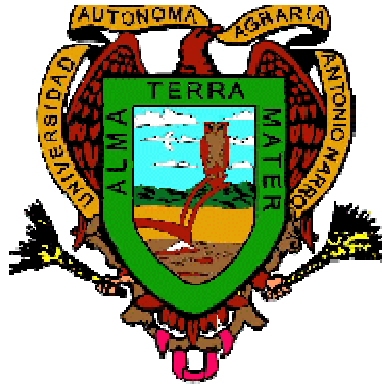


UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS



Determinación de metales pesados en el agua residual del Establo lechero el Porvenir

TESIS

POR:

FRANKLIN YOVANNI MARTINEZ FIGUEROA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREON COAHUILA, MEXICO

DICIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS

Determinación de metales pesados en el agua residual del Establo lechero el Porvenir

TESIS

POR:

FRANKLIN YOVANNI MARTINEZ FIGUEROA

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL COMITÉ DE ASESORIA COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

Asesor Principal:


MC. MIGUEL ANGEL URBINA MARTINEZ

Asesor:


DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

Asesor:


DR. ALFREDO OGAZ

Asesor:


MC. VICTORIA JARED BORROEL GARCIA


DRA. MA. TERESA VALDES PEREZGASGA

COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREON COAHUILA, MEXICO

DICIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS

Determinación de metales pesados en el agua residual del Establo lechero el Porvenir

TESIS

POR:

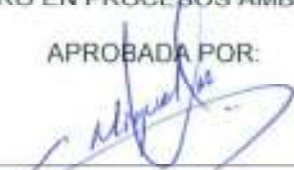
FRANKLIN YOVANNI MARTINEZ FIGUEROA

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

Presidente:


MC. MIGUEL ANGEL URBINA MARTINEZ

Vocal:

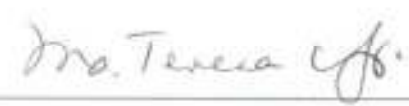

DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

Vocal:


DR. ALFREDO OGAZ

Vocal Suplente:


MC. VICTORIA JARED BORROEL GARCIA


DRA. MA. TERESA VALDES PEREZGASCA
COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS



TORREON COAHUILA, MEXICO

DICIEMBRE 2014

DEDICATORIA.

A Dios porque siempre ha estado iluminando mí camino, porque está siempre presente en cualquier lugar llenándome de luz y dándome la paz que necesito.

A mis padres:

Darinel y Maricruz por haber confiado en mí,
y por todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado.

Para ustedes y para mis hermanos:

Darwin Iván, Migdalia Azucena, Erik Estuardo y Wendy Fabiola; quienes con su

Apoyo y muestras de cariño, me han motivado

Para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS:

Primeramente a Dios porque nunca me abandona, y me dio la oportunidad de venir a esta vida con una familia de buenos principios.

Agradezco infinitamente a mis padres, Darinel Martínez Castillo y Maricruz Figueroa Cermeño, que me dieron la vida y me han enseñado a ser un hombre de buenos principios, por educarme con valores mediante el ejemplo y permitiéndome crecer en una linda familia, por sus cuidados y consejos. Agradezco que me enseñaran a luchar y valorar por lo que vale la pena, a ser servicial, y a intentar hacer una diferencia constructiva para dejar este mundo en mejores condiciones de cómo lo encontré. A mis hermanos, Darwin Iván, Migdalia azucena, Erik Estuardo y Wendy Fabiola, que me apoyan y demuestran su efecto aunque la distancia nos separe, que critican mis fallos y celebran mis triunfos, porque sus ideas enriquecen mi existencia, gracias hermanos porque sin ustedes el universo que conozco no existiría. A mis amigos y compañeros del grupo, con quienes hubo un enriquecedor intercambio de conocimientos e inolvidables momentos de convivencia. A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por darme la oportunidad de realizar mis estudios en ella, por prepararme como un profesional en sus aulas, y darme las bases para enfrentarme al mundo laboral, por otro lado que me permitió conocer excelentes personas que han dejado huella en mi vida. Agradezco a los profesores que se prepararon día con día para instruirme y que además de conocimientos impartieron valores. Al Dr. Miguel Ángel Urbina Martínez, al Dr. José Luis reyes carrillo, al Dr. Alfredo Ogaz y a la M.C. Victoria Jared Borroel García.

A todas aquellas personas que me ayudaron en la etapa de laboratorio. Al T.Q.I Juan Carlos Mejía Cruz, quién siempre estuvo constante apoyándome en los análisis físico-químicos, pH, conductividad eléctrica etc. A la Q.F.Q. Norma Lydia Rangel Carrillo encargada del laboratorio de suelos, por haberme apoyado a leer los metales pesados (Cd, Zn, Pb) en el equipo de absorción atómica (modelo PERKIN ELMER). Al Dr. Luis Javier Hermosillo Salazar quién me proporcionó todo lo necesario para realizar mis análisis de muestras en el laboratorio de suelos.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS:.....	ii
RESUMEN	1
I.- INTRODUCCION	2
1.2. OBJETIVO	5
1.3. HIPOTESIS.....	5
El agua residual tratada en el biodigestor del establo lechero el porvenir es apta para el consumo del ganado lechero y para el riego agrícola.....	5
II.- REVISION DE LITERATURA	6
2.1. Ley de Aguas Nacionales.....	15
2.2.6. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.....	22
Cuadro 1. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos que deben seguir los Establos con descarga en ríos.....	22
Cuadro 2. Fechas de cumplimiento de cargas máximas contaminantes para las descargas No municipales.....	23
2.3. Procesos de tratamiento de Aguas Residuales.....	24
2.3.1. Tratamiento Preliminar.....	24
2.3.2. Tratamiento primario.....	25
2.3.3. Tratamiento Secundario.....	25
2.3.4. Separador de Sólidos en los Establos Lecheros.....	26
Figura 2. Cárcamo de llegada de agua residual.....	26
Figura 1. Separador de sólidos del Establo lechero el Porvenir.....	26
2.3.5. Biodigestores.....	27
Figura 3. Biodigestor bovino.....	27
Figura 4. Toma de muestra del agua residual en el canal desarenador.....	27
Figura 5. Establo lechero el Porvenir (Torreón, Coahuila, México).....	31
Cuadro 3. Producción Lechera anual en Torreón Coahuila	31
2.4. Lugar de Estudio.....	32
2.4.1. Torreón Coahuila.....	32
2.4.2. Municipio de Francisco I. Madero.....	32
Figura 6. Localización Geográfica de la cuenca lechera de Francisco I. Madero.....	33
2.5. Metales Pesados en el Ambiente.....	33

2.5.1. Cinc (Zn).	34
2.5.2. Arsénico (As).	35
2.5.3. Origen del Arsénico.	35
2.5.4. Enfermedades que Provoca el Arsénico.	35
2.5.5. Plomo (Pb).	36
2.5.6. Problema del Pb en Torreón Coahuila.	37
2.5.7. Efecto del Plomo en la Salud.	38
2.5.9. Cadmio (Cd).	39
2.5.10. Efectos del Cadmio en la Salud.	39
III.- MATERIALES Y METODOS.	46
3.1. Características Generales.	46
3.2. Materiales.	46
3.3. Agua Residual.	46
3.4. Aparatos utilizados:	47
3.5. Metodología.	47
3.6. Procedimiento del experimento.	47
3.7. Descripción del análisis físico-químico.	48
3.7.1. Variables Evaluadas.	48
3.7.2. Sodio (Na).	48
3.7.3. Magnesio (Mg).	48
3.7.4. Calcio (Ca).	48
3.7.5. Potencial de Hidrogeno (pH).	48
3.7.6. Cloruros.	49
3.7.7. Nitratos (No3).	49
3.7.8. Sólidos suspendidos totales (SST).	49
3.7.9. Arsénico (As).	49
3.7.10. Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Zinc (Zn).	49
IV.- RESULTADOS Y DISCUSION	50
Cuadro 4. Valores del análisis fisicoquímicos y metales pesados (Cd, As, Pb y Zn) de entrada y salida en el agua residual del biodigestor.	50
Cuadro 5. Análisis fisicoquímicos de agua residual de la descarga del establo Comparado con los límites indicados en la Norma Oficial.	51

Grafica 1. Concentraciones de metales pesados en la entrada y salida de las aguas residuales del biodigestor en el establo lechero el Porvenir.	52
VI.- LITERATURA CITADA.....	54

RESUMEN

Se identificaron los factores económicos, legales y sociales, que limitan la adquisición de las tecnologías que disminuyen los indicadores de contaminación de agua en los establos lecheros de Francisco I. Madero Coahuila. Se realizó visitas al establo lechero, para llevar a cabo un diagnóstico de la situación actual del tratamiento de agua residual. Las variables cuantitativas incluyeron el nivel de avance, la cantidad de desechos generados, el valor económico que representan, el costo de instalación de un biodigestor y los indicadores de calidad de agua. El nivel de avance de tratamiento de agua residual en el establo lechero es aceptable y no corresponde al número de animales. A pesar de la percepción positiva de los productores, éstos no están convencidos de la necesidad de mitigación del problema ambiental que genera su actividad. Por otro lado, no todos están dispuestos a invertir un tratamiento de residuos. La causa principal es la crisis económica por la que atraviesa el sector. Otros factores de importancia. La contaminación de las aguas superficiales, sean estas marítimas, fluviales o lacustres, es hoy una realidad inobjetable. Múltiples playas, ríos y lagos están contaminados por la descarga indiscriminada de aguas residuales. Sabemos que las actividades ganaderas producen desechos que en muchas ocasiones se transforman en contaminantes del agua. Estudios recientes sobre la contaminación de las aguas en la región metropolitana han demostrado que los niveles de metales pesados, cobre, hierro, manganeso y arsénico, entre otros exceden frecuentemente la norma de riego.

Palabras clave: Producción lechera, Metales Pesados, agua residual, biodigestores, percepción ambiental.

I.- INTRODUCCION

México es un país históricamente deficitario en lácteos y cada año importa entre 30 y 38 por ciento del consumo nacional aparente de estos productos (CNOG, 2005).

Se han desarrollado una gran variedad de sistemas para el tratamiento del agua residual, siendo el más común el tren físico-químico que comprende los siguientes pasos: 1) Mezcla rápida, 2) Coagulación /Floculación, 3) Sedimentación, 4) Filtración, 5) Proceso avanzado (columna de carbón activado) y 6) Desinfección (Campos-Medina y Gomez-Hinojos, 2009).

El agua es uno de los recursos naturales más importantes debido a su utilidad, por lo cual existe una preocupación mundial de primer orden con respecto a su disponibilidad, conservación y preservación. El tratamiento del agua para el consumo humano se divide en varias etapas, entre las que se pueden mencionar: acondicionamiento químico, acondicionamiento sensorial y clarificación. La contaminación del ambiente con metales tóxicos y radionúcleos surge como resultado de actividades humanas, principalmente industriales, sin embargo, fuentes como la agricultura y la eliminación de residuos también contribuyen a su contaminación. Estos contaminantes son descargados en la atmósfera y en los ambientes acuáticos y terrestres, principalmente como solutos o partículas y pueden alcanzar concentraciones elevadas, especialmente cerca del sitio de descarga. La presencia de estos metales pesados en el ambiente acuático causa severos daños a la vida acuática, además de que eliminan microorganismos durante los tratamientos biológicos de aguas residuales, lo que ocasiona que el proceso de purificación decaiga (García-Rojas *et al.*, 2012).

El estudio de metales pesados ha recibido gran cantidad de atención debido a su toxicidad y características de persistencia en el medio ambiente natural (Mogollonet *et al.*, 2010). La contaminación del suelo y del agua con metales pesados es actualmente motivo de gran preocupación para la salud humana (Carranza-Álvarez *et al.*, 2008). Los metales pesados entran en el medio ambiente de la laguna a partir de fuentes naturales, así como por el hombre a través de varias vías, por ejemplo, procesos que alcanzan los acuíferos principalmente a través de las aguas subterráneas y

escorrentías, deposiciones atmosféricas, de punto, así como fuentes de contaminación no puntuales de la intemperie (Topi *et al.*, 2013).

Sin embargo, dos elementos, el arsénico han sido claramente identificados causan efectos adversos en la salud a través del agua subterránea contaminada intestinalmente (Armienta y Segovia, 2008). Nuestro objetivo es demostrar que los metales pesados en sedimentos proporcionan un enfoque de bajo costo para la medición de humano-cambio inducido y actuar como un indicador de estrés biológico contaminante (Birch y Olmos, 2008). La contaminación de los ríos no es sólo un peligro para el nicho ecológico, sino sin importancia para la fuente de patógenos que se han adherido al impacto en la salud humana (Mondragonet *al.*, 2011).

En los ecosistemas marinos, como en todas partes en el medio ambiente, los metales pesados se encuentran naturalmente en las distribuciones casi omnipresentes (Schonfeldet *al.*, 2009). En las zonas donde las aguas superficiales han sido contaminadas por la actividad industrial Resultado de, el agua subterránea se ha convertido en una preocupación importante, ya que constituye el agua alternativa sin embargo suministra, aguas superficiales que pueden infiltrarse y llegar a los acuíferos, en consecuencia llevar sustancias peligrosas para las aguas subterráneas así (Mendoza *et al.*, 2009).

Las actividades antropogénicas, tales como la descarga de efluentes industriales y aguas residuales domésticas contribuyen mayormente a la contaminación por metales pesados en el medio acuático, que posee los riesgos potenciales para ambos organismos acuáticos y los seres humanos (Jinet *al.*, 2012). En las zonas mediterráneas, en condiciones semiáridas de baja recarga y evaporación, donde hay un aumento significativo en la población durante el verano, la disminución de piezo métricos e intrusión marina son fenómenos generalizados (Alhama-Manteca *et al.*, 2012). Un gran número de estas industrias metálicas básicas utilizar procesos de galvanoplastia, para sus aguas residuales o agua de lluvia puede ser una fuente de metales pesados (Wakidaet *al.*, 2007). Vertederos abiertos son la forma más antigua y común de más de la eliminación de los residuos sólidos. En los últimos años, miles se han cerrado, mientras que muchos todavía se están utilizando. En muchos casos, se encuentran donde quiera estar disponible, sin tener en cuenta la seguridad, la salud

peligro degradación y estético (Kanmani y Gandhimathi, 2013). Por lo tanto, la calidad ambiental del agua en áreas muy frágil. El agua subterránea es una fuente de agua sistemática muy importante. En los últimos años, sin embargo, el uso de las aguas subterráneas para el suministro de agua en áreas agrícolas ha sido limitado por la disminución de la cantidad o del deterioro en la calidad de los acuíferos (L. *etal.*, 2010). Como un componente importante de un entorno de agua, los sedimentos del río no es sólo el lugar donde los contaminantes se acumulan en el cuerpo de agua, sino también fuente de contaminación es un secundario que tiene un impacto potencial de la calidad del agua. Realizar los estudios de metales pesados en el agua (arsénico) en los seres vivos (animales) diagnosticando el grado de efecto en ellos, para verificar si se encuentra en los límites máximos permisibles de los NOM establecidas tratando de minimizar su grado de toxicidad (Chen-chenet *al.*, 2011).

1.2. OBJETIVO

Realizar análisis fisicoquímicos y determinar los metales pesados (As, Pb, Cd y Zn) existentes en las aguas residuales, comparando los porcentajes del Influyente-Efluente presente en las aguas del biodigestor en el establo lechero el porvenir.

1.3. HIPOTESIS

El agua residual tratada en el biodigestor del establo lechero el porvenir es apta para el consumo del ganado lechero y para el riego agrícola.

II.- REVISION DE LITERATURA

México se sitúa como un destacado importador mundial de productos lácteos y de insumos para el desarrollo de la actividad lechera, y como usuario de las tecnologías fijadas a partir del modelo de estados unidos y Canadá .sólo en los que concierne a la importación de leche en polvo para consumo directo, México ocupa el primer lugar en el mundo, lo que en términos de disponibilidad interna del producto significa un 35 por ciento del consumo nacional aparente (Del Valle, 1996).

En el periodo 1940-1970, la política agrícola mexicana concibió al sector agropecuario como base para impulsar el desarrollo industrial y urbano.

Esté debería producir alimentos baratos, obtener divisas por exportaciones, aportar mano de obra barata para la industria y crear un mercado cultivado para los productos industriales, así como sus recursos naturales para la obtención de energía eléctrica y agua, amén de los recursos no renovables: petróleo y minas (Cochet et al.,1998).

El aumento de la urbanización y la industrialización ha culminado en una dramática el crecimiento en el volumen de las aguas residuales municipales producido en todo el mundo. Por otra parte, el agua de lluvia y de sus materiales de contacto también contribuye a esta composición. Como resultado, los componentes de las aguas residuales municipales que se descargan al sistema de alcantarillado son un espejo de nuestra civilización y del metabolismo humano y urbano. Los diversos niveles de la planta municipal de tratamiento de aguas residuales que se conoce como preliminar, primario, primario avanzado, secundario (sin / con eliminación de nutrientes), y el tratamiento terciario (o avanzado)(Maya-Marchiaoretto, 2010).

Para el tratamiento de corrientes de aguas residuales municipales, los métodos biológicos se aplican normalmente. Los objetivos generales del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas son:

- Transformar componentes biodegradables disueltos y partículas en productos finales aceptables;
- Para capturar e incorporar coloidal en suspensión y no sedimentables de sólidos en un flóculo biológica o biopelícula;

- Para eliminar o reducir la concentración de orgánicos e inorgánicos compuestos (por ejemplo, metales pesados);
- Para eliminar los agentes patógenos y otros microorganismos;
- Para transformar o eliminar nutrientes, como nitrógeno y fósforo;
- En algunos casos, para eliminar componentes orgánicos traza específicos y compuestos;
- Para producir efluentes que pueden ser descargados a las aguas superficiales. □ Transformar componentes biodegradables disueltas y partículas en productos finales aceptables;
- Para capturar e incorporar coloidal en suspensión y no sedimentables de sólidos en un flóculo biológica o biopelícula;
- Para eliminar o reducir la concentración de orgánicos e inorgánicos compuestos (por ejemplo, metales pesados);
- Para eliminar los agentes patógenos y otros microorganismos;
- Para transformar o eliminar nutrientes, como nitrógeno y fósforo;
- En algunos casos, para eliminar componentes orgánicos traza específicos y compuestos;
- Para producir efluentes que pueden ser descargados a las aguas superficiales.

Un proceso de tratamiento biológico convencional, que se utiliza en la práctica en todo el mundo para el tratamiento de aguas residuales municipales, es el sistema de lodos activados. Tal sistema está básicamente constituido por un biorreactor en el que los microorganismos responsables para el tratamiento se mantienen en suspensión y se airean (Maya-Marchiaoretto, 2010).

Después de las fases de tratamiento preliminar y primario, el líquido se mantiene en el reactor durante aproximadamente 6 horas y desemboca en un tanque de sedimentación. La biomasa y los sólidos finos se depositan en forma de lodo y el líquido tratado pueden ser dados de alta. El lodo sedimentado se devuelve en parte al tanque de aireación y la cantidad excedente se mezcla con el lodo primario y normalmente estabilizado biológicamente en condiciones anaeróbicas. Este proceso se lleva a cabo en reactores biológicos cerrados, conocidos como digestores anaerobios. A pesar de la

relativamente efluente de alta calidad producida por este tipo de sistema, tiene el grave inconveniente de la producción de lodos en exceso(Maya-Marchiaoretto, 2010).

El objetivo principal en el tratamiento municipal en los últimos 30 años ha sido la mejora de la calidad del efluente mediante la inclusión de la construcción de unidades de tratamiento secundario de aguas residuales y avanzados en la planta de tratamiento. Como tal, los niveles más altos de tratamiento se han logrado no sólo para los componentes de aguas residuales comunes, sino también para la eliminación de compuestos específicos tales como nutrientes y metales pesados(Maya-Marchiaoretto, 2010).

El número y la capacidad de los vertederos, sin embargo, se han reducido, y los nuevos emplazamientos de vertido que asisten a la aceptación del público y regulatorio, así como los requisitos económicos son cada vez más difíciles de encontrar. En muchos casos, la forma más fácil y menos costosa de la reutilización de los compuestos valiosos de los lodos es la aplicación de los lodos en la tierra para fines agrícolas. Esto mejora la estructura del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la capacidad de retención de agua, infiltración de agua, labrado, y la aireación del suelo. También ayuda en el crecimiento de la planta debido a la alimentación de nutrientes, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, zinc, manganeso, etc Por otra parte, los nutrientes en el lodo también sustituyen parcialmente fertilizantes químicos caros. Dependiendo de la composición de los lodos, sin embargo, puede ser necesario para eliminar las sustancias no deseadas (por ejemplo, metales pesados) presentes en el lodo antes de su aplicación como fertilizantes agrícolas. La digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos utilizados para la estabilización de los lodos. Se comprende la descomposición de la materia orgánica y la materia inorgánica (especialmente sulfato) en la ausencia de oxígeno molecular. La digestión anaeróbica se aplica principalmente en la estabilización de los lodos concentrados resultado del tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales(Maya-Marchiaoretto, 2010).

Los metales pesados no se pueden eliminar por un proceso de separación física sin está solubilizado previamente. Lixiviación química con ácidos o complejos agentes es una opción eficaz para promover la solubilización de metales. El proceso de biolixiviación tiene por objeto especialmente la solubilización de metales pesados pero

también causa una reducción de organismos patógenos. Este es el resultado de las condiciones extremas de pH introducidas por Thiobacilli durante la operación de proceso de biolixiviación(Maya-Marchiaoretto, 2010).

Poco se sabe acerca de la contaminación de las unidades ambientales de los metales pesados que resulta de la eliminación de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. Las prácticas de eliminación actuales permitirán una posible contaminación de aire, suelo y agua. Los lodos se utilizan comúnmente para fertilizantes o bien, como es, o procesadas por el tratamiento de calor en un producto vendible deshidratado. La absorción por las plantas de metales pesados plantea una amenaza potencial para los seres humanos y los animales. Literatura actual sugiere que cuando el pH del suelo se mantiene cerca de la neutralidad o ligeramente alcalino, por ejemplo, a través del encalado, poca captación de metales pesados por los vegetales se. Serán necesarios muchos más datos antes de sacar conclusiones válidas en este sentido se pueden hacer, también se pueden presentar otros problemas(Vanloon *et al.*, 1973).

La eliminación de los lodos es un problema de importancia creciente, lo que representa hasta un 50% de los gastos corrientes de funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales (EDAR). EDAR municipales producen lodos como un subproducto de los procesos físicos, químicos y biológicos que intervienen en la tecnología de tratamiento de aguas residuales. La concentración de metales pesados analizados en cada fracción en particular es diferente en cada uno de plantas depuradoras. En general, el contenido total de Cd, Cu, Zn, Cr y Ni en la fracción más de dos lábil no excedió de 2,9%. El depósito en vertederos sigue siendo ampliamente utilizado para la eliminación de residuos, debido principalmente a la explotación barata y de bajo costo de capital. Sin embargo la degradación anaerobia de los resultados de residuos sólidos en la producción de lixiviados. Lixiviados de rellenos sanitarios se genera por el exceso de agua de lluvia se filtre a través de la capa de residuos como una mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos concentrados altos que incluyen ácidos húmicos, nitrógeno amoniacal, metales pesados y xenobióticos(Lebiocka *et al.*, 2011).

Los metales son generalmente presentes en las aguas residuales, tanto en trazas y niveles altos. Aunque está presente en concentraciones muy bajas, metales,

especialmente metales pesados, son muy tóxicos para el medio ambiente y la vida acuática, así como la salud humana, por lo tanto son los microcontaminantes particularmente observados. En esta eliminación de papel metálico de las aguas residuales municipales e industriales se analiza por medio del sistema de lodos activados, tanto en convencional (CAS) y como biorreactor de membrana (MBR) configuraciones. Dos MBR y dos plantas CAS han sido observadas y estudiadas (Carletti *et al.*, 2010).

El desarrollo de tecnologías para el tratamiento anaerobio de residuales de alta carga orgánica estuvo, desde sus inicios, determinado por sus ventajas técnicas y económicas. Con el establecimiento de estas tecnologías se alcanza eficiencias en la remoción de la materia orgánica, superiores al 90 %, y una producción de biogás asociada de 5 a 10 m³ por cada metro cúbico de volumen del reactor.

En Cuba, dadas las características de su base productiva, se genera grandes cantidades de residuos, tanto agrícolas como industriales, que son susceptibles de ser biotransformados y aprovechados de forma eficiente, generándose múltiples beneficios y permitiendo la conservación del medio ambiente (Perez-Pardo *et al.*, 2009).

En el proceso de tratamiento de residuos, los residuos sólidos se separan del líquido y se, después de algún tratamiento, bombeados en grandes digestores. A fin de que las bacterias para descomponer los desechos, el lodo se mantiene en estos digestores generalmente durante un periodo de 4 a 6 meses. Durante este tiempo de 25 a 30 °C del lodo se convierte en agua o de gas. Cuando el residuo se retira de los digestores se bombea o bien a grandes lechos de secado o pilas, o se quema en incineradoras de lodos(Weaver *et al.*, 2009).

La problemática de los metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en el agua residual utilizada para riego, radica principalmente en que pueden ser acumulados en los suelos agrícolas(Mancilla-Villa *et al.*, 2012).

Una creciente demanda de agua dulce junto con las cantidades más grandes de la generación de aguas residuales debido al aumento en la población y el desarrollo de aplicaciones industriales mundo hacen que el reciclaje de los residuos de las aguas de un tema imperativo. Presencia de metales pesados que muestran toxicidad alta y largo plazo crear limitaciones en la capacidad de reciclado de estas aguas. La cantidad de

metales pesados es especialmente alta en las aguas residuales industriales y ponen en peligro la salud pública y el medio ambiente si se descargan sin tratamiento adecuado.

Ion de flotación puede ser un método alternativo para eliminar los iones de metales pesados de las aguas residuales. El proceso de flotación de iones se basa en impartir las especies iónicas de metal en las aguas residuales hidrófobas mediante el uso de agentes de superficie activa (surfactantes) y la posterior eliminación de estas especies hidrófobas por burbujas de aire(Polat y Erdogan, 2007).

La eliminación de este tipo de residuos está sujeta a diversos problemas ambientales, sociales y económicos. La captación de metales pesados por los lodos de EDAR ha sido objeto de numerosos estudios. Experimentaciones se han llevado a cabo o bien para identificar los mecanismos y los principales parámetros que afectan a la absorción de metales pesados en las EDAR o utilizar lodos residuales activados como un adsorbente de bajo costo(Laurent *et al.*, 2009).

Los metales pesados han sido puestos en libertad en exceso en el medio ambiente debido a la rápida industrialización y han creado una gran preocupación mundial. A diferencia de los residuos orgánicos, metales pesados no son biodegradables y que se pueden acumular en los tejidos vivos, causando diversas enfermedades y trastornos; por lo tanto, éstos deben ser removidos antes de la descarga(Wan-Ngah y Hanafiah, 2008).

Contaminación por metales pesados es un problema asociado a las áreas de la industria intensiva. Las aguas residuales industriales son los principales contaminantes de las aguas. Hidrometalúrgico, galvanoplastia, bronceado, fertilizantes artificiales y la producción de herbicidas, así como el teñido, textil, electroquímica, el motor, las industrias energéticas ahora son considerados como una de las mayores fuentes de metales pesados en las aguas residuales. Entre las diversas técnicas de tratamiento disponibles, el más comúnmente utilizado es el intercambio de iones. Sus principales ventajas son la recuperación de metales valiosos, selectividad, la formación de lodos reducida y la reunión de las especificaciones de descarga estrictas. Para aguas residuales específicos, cuando además de los iones de metales pesados que contienen agentes también de complejos, la aplicación de intercambio de aniones se justifica(Kolodynska, 2010).

En los ecosistemas terrestres, los suelos son el mayor sumidero de contaminantes metálicos, mientras que los sedimentos son el principal sumidero de los metales en los sistemas acuáticos. Debido a su persistencia y capacidad de bioacumulación y la bioaumentación, la eliminación de metales del agua se ha convertido en una tarea esencial del medio ambiente(Kelly-Vargas *et al.*, 2012).

La liberación excesiva de metales pesados en el medio ambiente debido a la industrialización y la urbanización ha supuesto un gran problema en todo el mundo. La presencia de iones de metales pesados es de gran preocupación debido a su toxicidad para muchas formas de vida. Los procesos de tratamiento para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales incluyen precipitación, filtración de membrana, intercambio iónico, adsorción, y co-precipitation/adsorption. Por lo tanto hay una necesidad urgente de que todas las fuentes posibles de los adsorbentes de bajo costo basados en la agro-deben explorarse y su viabilidad para la eliminación de metales pesados debe ser estudiado en detalle(Ahmed-Hegazi, 2013).

Una de las alternativas consiste en realizarles un tratamiento de secado, con el fin de reducir su volumen y eliminar los patógenos, de manera que puedan ser aprovechados desde el punto de vista agrícola, con un doble beneficio: el ambiental, al eliminarse los residuos orgánicos urbanos sin alteración relevante del equilibrio ecológico, y el agrícola, al incorporar a los suelos de cultivo la materia orgánica y los nutrientes contenidos en estos desechos. El efecto del secado térmico sobre el contenido nutricional y de patógenos de los biosólidos de la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) El Salitre, en Bogotá, de manera que se posibilite su utilización agrícola o forestal (Giraldo y Lozano de Yunda, 2006).

La realización de este tipo de análisis implica la utilización de las técnicas de digestión en medio ácido como una manera de desintegrar la materia orgánica que puede estar acomplexada y de esta forma disponer de un material libre de interferencias cuya concentración sea fácilmente determinada por espectrometría. Al respecto, existen diferentes técnicas de digestión (abiertas, cerradas, por incineración, entre otras) así como también una gran variedad de soluciones que proporcionan el medio ácido necesario para digerir diversidad de muestras. Entre las soluciones más empleadas se

encuentra el ácido nítrico (HNO_3), el cual puede ser utilizado con juntamente con otros ácidos como ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido perclórico (HClO_4), ácido fluorhídrico (HF), entre otros, con la finalidad de garantizar una digestión más completa. Sin embargo, la selección, tanto de las técnicas de digestión como de las soluciones ácidas. Por todo lo antes planteado, y tomando en cuenta que el análisis del contenido total de metales pesados en un lodo residual que pudiera ser aplicado en un suelo con fines agrícolas (Garcia *et al.*, 2008).

Los metales pesados en aguas residuales provienen de las industrias y las aguas residuales municipales, y son una de las principales causas de la contaminación del agua y del suelo. La acumulación de estos metales en las aguas residuales depende de muchos factores locales, tales como el tipo de industrias en la región, la forma de vida de las personas y el conocimiento de los impactos causados al medio ambiente por la disposición descuidada de los desechos. Como centro de coordinación, se espera que las plantas de tratamiento de aguas residuales para controlar la descarga de metales pesados en el medio ambiente. Sin embargo, con las nuevas regulaciones estrictas y leyes encaminadas a proteger el medio ambiente, las autoridades de tratamiento de aguas residuales se enfrentan a problemas relacionados con la eliminación de lodos de metales pesados cargados. Por lo tanto, su presencia en las aguas residuales no sólo es de gran preocupación ambiental, sino también reduce fuertemente la actividad microbiana, como resultado afectar negativamente a los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales. La presencia y la actividad de los microorganismos en el tratamiento biológico de aguas residuales son vitales para el proceso. Con respecto a la eliminación microbiana de metales pesados, fenómeno de biosorción es crucial. La unión de metales pesados por biopolímeros sucede por casualidad, y la eliminación en relación la eficiencia depende de la especie de metal y la concentración, la reactividad de los biopolímeros disponibles o la biomasa, y la composición de otras aguas residuales. A partir de estas descripciones precedentes, es evidente que el tratamiento biológico de aguas residuales es un proceso complejo que depende no sólo de muchas condiciones biológicas y físico-químicas, pero también de las condiciones de operación del proceso y el diseño (Chipasa, 2001).

Los metales pesados pueden ingresar a las redes tróficas por los mecanismos mencionados y ocasionar en primera instancia bioacumulación y una posterior biomagnificación a través de los niveles tróficos superiores.

Determinar el contenido total de metales pesados en biosólidos que son destinados a uso agrícola es importante por el riesgo existente de que se acumulen en el suelo. Sin embargo la concentración total del metal se encuentra repartida en distintas fracciones o especies químicas. Cuando los metales se encuentran unidos fuertemente a la especie química su estabilidad es muy alta y para que se conviertan a formas solubles se necesitarían condiciones ambientales muy drásticas, que normalmente no ocurren en la naturaleza. Ante esta problemática, la Comunidad Europea a través del Community Bureau of Reference (BCR), que a partir del año 2002 se denomina Standard Measurement and Testing Program (SM&TP), comenzó un programa para armonizar la metodología usada en procedimientos de extracción secuencial para determinar metales pesados en suelos y sedimentos. Las fracciones consideradas en el esquema BCR, son las siguientes:

Fracción intercambiable. Metales en disolución, unidos a carbonatos e intercambiables. Se extraen los metales intercambiables y solubles en medio ácido, incluyendo los metales adsorbidos. Estos metales son liberados a través de un intercambio iónico, mediante un extractante ácido como el ácido acético.

Fracción reducible. Metales ligados a oxihidróxidos de hierro y manganeso. Se liberan los metales unidos a óxidos de hierro y manganeso, inestables bajo condiciones reductoras (los óxidos se disuelven y se liberan las trazas de metal adsorbidas).

Fracción oxidable. Metales unidos a materia orgánica y sulfuros. Degradación de la materia orgánica bajo condiciones oxidantes, liberando los metales solubles enlazados a ésta o a sulfuros.

Fracción residual. Metales unidos a minerales primarios como los silicatos.

El propósito de este trabajo fue determinar las concentraciones totales de los metales pesados Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en las muestras de biosólidos, así como evaluar su mayor o menor biodisponibilidad al conocer sus concentraciones en las diferentes especies químicas establecidas por el procedimiento de extracción secuencial BCR (Gonzalez-Flores *et al.*, 2009).

2.1. Ley de Aguas Nacionales

La Ley de Aguas Nacionales (DOF, 2008) tiene por objetivo la regulación de la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas nacionales, la forma en la que se distribuyen y la preservación de su cantidad y calidad.

En su artículo 96 especifica la intervención de la autoridad en caso de daño ambiental a un cuerpo receptor propiedad de la Nación. Indica también que quienes le provoquen daños tienen la responsabilidad de la reparación de los mismos, mediante la remoción de los contaminantes y la renovación a su estado previo al daño.

Señala que la autoridad sancionara la descarga en forma permanente o fortuita, de aguas residuales en cuerpos receptores. El pago de derechos que señala la ley varía entre los 1000 y los 20000 salarios mínimos. Las infracciones pueden también incluir la suspensión de actividades hasta que se reparen los daños ocasionados. (Ley de Aguas Nacionales, 2008).

2.2. México en el sistema Agroindustrial lácteo en América del Norte.

La región de América del Norte, reconfigurada al integrarse una zona de libre comercio entre México, estados unidos y Canadá mediante un Tratado de Libre y Comercio de América del Norte (TLCAN), que entro en vigor el primer día de 1994, agrupa a naciones que, si bien tienen una vecindad natural, son muy desiguales en cuanto a su estructuras institucionales, políticas públicas, generación y transferencia de tecnología, utilización de factores productivos y niveles de productividad, por lo tanto su reunión se presenta fundamentalmente en el marco de la geopolítica.

Dicha integración se gesta a pesar de que México, a diferencia de los otros dos países, se identifica en la categoría de los países semi-industrializados, pero enfrenta problemas derivados del estancamiento, la deuda externa y el acatamiento de las políticas establecidas por organismos supranacionales al aplicar políticas de ajuste estructural basadas en la apertura del mercado interno, las privatizaciones, y la desregulación de las actividades económicas. (Valle y Cardenas, 1996).

Desde que se inicia el proceso de negociaciones del TLCAN el tema de la agricultura fue y sigue siendo el hilo más delgado, no solo por los efectos de los acuerdos específicamente formalizados, sino también por las características de la política interna que aplica cada país hacia el sector, por las propias condiciones en que se encuentra el agro mexicano después de una década perdida en los ochenta, de una ligera recuperación al inicio de los noventa y por la fuerte caída en diciembre de 1994.

Para México se proponen acuerdos que coinciden con la propuesta neoliberal sobre la promoción de exportaciones mexicanas hacia los mercados de la región mediante la eliminación gradual de aranceles a la exportación, favorecer la inversión de los sectores social y privado, así como la inversión extranjera en el campo; promover la sustitución de cultivos de los segmentos tradicionales, de baja productividad, a favor de productos con un potencial mayor y orientados al mercado externo; lograr la reconversión y ajuste de la producción agropecuaria en el país y lograr la integración vertical de las actividades productivas en el campo, para aprovechar las economías de escala y promover el desarrollo de productos con mayor valor agregado. (Valle y Cardenas, 1996).

2.2.1. Participación del Estado en el desarrollo Lechero

La actividad lechera en México ha conocido una intervención notable que no solo se ha destinado a fomentar la producción primaria, sino sobre todo a satisfacer la demanda interna.

En ese sentido las distintas formas de participación institucional han iniciado en diferentes segmentos del sistema agroindustrial; desde apoyar el proceso de generación e incorporación de tecnología hasta la distribución de leche a consumidores de bajos recursos, pasando por políticas de crédito, normatividad de productos lácteos, control de importaciones y determinación de precios, entre otros (SAGAR, 1996)

2.2.2. Explotaciones Lecheras y Medio Ambiente.

Los problemas medioambientales más importantes derivados de la producción lechera tienen que ver con la contaminación del aire y del agua y con biodiversidad.

La contaminación del agua se produce por el inadecuado tratamiento de los residuos del estiércol y por el empleo de fertilizantes en la producción forrajera. Los nutrientes, en particular el nitrógeno y el fósforo, contaminan tierra, aguas superficiales, subterráneas y aguas marinas, dañando los ecosistemas por eutrofización, a la vez que perjudican el uso del agua como elemento de recreo. Las aguas pueden contaminarse también por los afluentes orgánicos y los patógenos que contiene el estiércol.

La contaminación del agua es fundamentalmente un problema local o regional, pero a veces puede llegar a tener carácter internacional.

Los países se pueden clasificar en cuatro grupos según el nivel de riesgo medido por el equilibrio del nitrógeno en el suelo y por la importancia del estiércol de las vacas lecheras, considerando una fuente de nitrógeno. El riesgo es máximo en Bélgica, República Checa, Dinamarca, Francia.

Los indicadores de equilibrio de nitrógeno de 1985 a 1987 y 1995 a 1997 han variado y revelan distintas tendencias en el riesgo potencial de contaminación por parte de las explotaciones lecheras. El riesgo ha crecido en Australia, Corea y Nueva Zelanda, donde se ha elevado el nivel de nitrógeno procedente del estiércol de las vacas lecheras al aumentar la producción.

El riesgo ha disminuido en todos los demás países con una caída del equilibrio de nitrógeno y de su producción por el estiércol vacuno, aunque las explotaciones lecheras siguen constituyendo una amenaza significativa en muchos de ellos. Las explotaciones lecheras son también fuente de emisión de gases de efecto invernadero, fundamentalmente por fermentación entérica (metano) y por el manejo del estiércol (metano y óxido de nitrógeno).

El nivel absoluto de emisiones procedentes de explotaciones lecheras en términos de dióxido de carbono equivalentes es el más alto en Estados Unidos, Francia y Alemania, lo que refleja un número superior de cabezas de ganado una mayor tasa de emisión por vaca.

Solo en nueva Zelanda las explotaciones lecheras contribuyen de manera notable en el ámbito nacional, con más de un 20 por ciento del total de emisiones de gases de efecto invernadero.

En todos los demás países las vacas lecheras aportan menos del 6 por ciento al total de emisiones. Además, de 1990 a 1992 y de 1999 a 2001 el total de emisiones de estos gases por las vacas disminuyó en todos los países, excepto en Australia y Nueva Zelanda (OCDE, 2004)

Evolución de la estructura y práctica en las explotaciones Lecheras.

La producción mundial de leche creció un 20 por ciento entre 1982 y 2001 para hacer frente a la creciente demanda, especialmente en los países en desarrollo. En la mayoría de los países de la OCDE la producción lechera se ha mantenido estable o ha descendido ligeramente, notándose en muchos casos la existencia de cuotas de producción.

El crecimiento ha sido muy rápido en Australia y Nueva Zelanda, moderado en Corea, México y Portugal, y estacionario en estados Unidos. El comercio ha evolucionado más rápidamente que la producción, aunque los intercambios internacionales de productos lácteos solo suponen menos del 8 por ciento (14 por ciento si se incluye en el comercio interior de la UE) (OCDE, 2004).

Todo ello puede incrementar el riesgo de deterioro medioambiental asociado a la producción lechera. Más cabezas por explotaciones suponen más volumen de estiércol. Si se dispone de menor superficie por cabeza, aumenta la cantidad de nutrientes aportados al suelo, con el consiguiente riesgo de perjuicio para la calidad de las aguas.

La repercusión medioambiental de las explotaciones lecheras depende asimismo de los avances tecnológicos (tipos de instalación o construcción, almacenamiento del estiércol, sistemas de tratamiento (fangales) y equipos de producción de energía alternativa), así como prácticas de gestión (nuevas formas en las mezclas de la alimentación animal y nuevas técnicas para distribuir el estiércol) (OCDE, 2004).

Las granjas ecológicas, por lo general, muestran un mayor equilibrio entre la aportación de nutrientes, pesticidas y energía, y lo que es necesario para la producción. Por tanto, las explotaciones lecheras ecológicas tienen mejores indicadores de calidad (materia

orgánica. actividad biológica y estructura de los suelos), calidad de las aguas (drenaje de nitratos, fosfatos y pesticidas), y biodiversidad de especies.

Como contrapartida, los sistemas ecológicos suelen producir más emisiones de metano. Para otros indicadores, o no hay diferencias claras entre los sistemas, o no se han estudiado aun.

Lo que es más importante, la gestión de las explotaciones es fundamental para asegurar que los beneficios potenciales se conviertan en reales, particularmente en lo tocante a drenaje de nutrientes, emisiones de dióxido de carbono y problemas de salud animal.

Otro resultado incontestable es que mientras la presión medioambiental de las explotaciones ecológicas es menor, medida por hectárea, la diferencia entre sistemas se reduce si se mide tomando como base de la producción unitaria (OCDE, 2004).

2.2.3. Políticas Agrícolas en apoyo a la producción Lechera.

La producción lechera está muy protegida, con excepciones, en la mayoría de los países de la OCDE.

Estos pueden agruparse según el grado de protección. El primer grupo (Islandia, Japón, Noruega y Suiza) goza de unas tarifas relativamente altas y, por tanto, de unos mayores apoyos que superan por término medio el 70 por ciento de las subvenciones agrícolas brutas totales.

Un segundo grupo tiene unas tarifas ligeramente más bajas, con ayudas del orden del 40 al 55 por ciento. En él se encuentran Canadá, la unión, Europea, Hungría, Corea y Estados Unidos. Estos países usan, además, subsidios a la exportación, junto con Noruega y Suiza.

En el otro extremo, las granjas lecheras de Nueva Zelanda reciben ayudas de alrededor del 1por ciento. En los países con subvenciones para los productores de leche, las políticas más ligadas a la producción (medidas como aranceles y subsidios a la exportación) o a los gastos suman una parte importante. En comparación con otros productos, las subvenciones a la leche suelen ser mayores, incluso en países con escasas ayudas a los productos de consumo en general.

Este modelo de ayudas a la leche, tanto en su cuantía como en su composición, influye en los modelos de producción, alterando en consecuencia la presión sobre el medio ambiente. Aunque son difíciles de discernir los efectos de la política de subvenciones a la producción lechera, lo elevado de estas, de cualquier tipo que sean, ha hecho que muchos países hayan aumentado sus producciones intensivas, con la consiguiente presión sobre el medio ambiente; distinto habría sido si los productores se hubieran limitado a responder a la demanda en igualdad de condiciones.

Los países con mayor riesgo potencial de contaminar las aguas con nitrógeno son los que más subvencionan la producción de leche, tales como los del norte de Europa y Japón. No obstante las elevadas ayudas no son el único factor de la presión medioambiental. También se ve un impacto medioambiental pernicioso por causa de la producción lechera en países con escasas subvenciones.

Las cuotas a la producción lechera son una parte importante de las políticas de apoyo a la producción en muchos países altamente proteccionistas. Al controlar la expansión de la producción lechera con altos precios de apoyo se ha limitado el impacto medioambiental que de otra forma se hubiera producido.

Lo que han conseguido, de hecho, es bloquear la distribución regional de la producción, de manera que los cambios en los modelos geográficos de producción son menos evidentes en los países con cuota que en los que no la tienen. Los efectos medioambientales derivados no están claros.

Aunque han contribuido a mantener las granjas lecheras en lugares marginales de alto valor ecológico, no parece probable que su distribución geográfica en el momento de aplicarse las cuotas fuera el óptimo desde un punto de vista medioambiental, dado que dichas cuotas se impusieron por razones de producción y no medioambientales.

Puede que las cuotas hayan contribuido también a aumentar la producción intensiva en algunas explotaciones, al dar mayores incentivos para aumentar la producción de vaca en lugar de aumentar el número de vacas y de superficie para producción láctea. Sin embargo, otros cambios en la política agraria, como la reforma del mercado de cereales de la Unión Europea, también han inducido un crecimiento de la producción intensiva (OCDE, 2004).

Medidas políticas para abordar cuestiones medioambientales del sector Lechero.

La reducción del nocivo impacto medioambiental de la producción lechera, en particular el relacionado con la contaminación del agua y las emisiones de amoníaco, es el principal objetivo de las medidas políticas agroambientales que afectan al sector lechero (OCDE, 2004).

2.2.4. Producción lácteas ecológica-medidas políticas y evolución del mercado.

Entre la serie de medidas políticas de tipo agroambiental que pueden afectar a los ganaderos lecheros, muchas de ellas son para estimular y ayudar a desarrollar granjas ecológicas. Todos los países de la OCDE tienen ya normativas activadas o en proceso que definen normas nacionales. Como las correspondientes a la leche y productos lácteos ecológico. (OCDE, 2004).

2.2.5. Ley General de Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente.

Por medio de la LGEEPA (DOF, 2010) se pretende el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales, como son el suelo y el agua, al mismo tiempo que proviene y controla la contaminación del aire, el agua y el suelo.

En lo referente a la política ambiental, hace referencia al uso de los instrumentos económicos como medio para la modificación de la conducta de quienes realicen actividades industriales a fin de hacer compatibles sus intereses con los del desarrollo sustentable. Prioriza la promoción de estímulos fiscales a quienes realicen actividades o apliquen tecnologías que reduzcan el daño ambiental o controlen la contaminación.

En relación al aprovechamiento sustentable del agua, la LGEEPA promueve su ahorro, su uso eficiente, el tratamiento del agua residual y su recurso. Establece que los criterios para su aprovechamiento adecuado se establecerán en las concesiones y permisos otorgados. (LGEEPA y DOF, 2010).

2.2.6. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Señala que los contaminantes básicos a medir son: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno cinco, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, fosforo total, temperatura y pH (NOM-001-ECOL-1996).

Cuadro 1. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos que deben seguir los Establos con descarga en ríos.

Parámetros excepto Cuando se especifique)	(mg/litro, USO EN RIEGO AGRICOLA.	
	P.M	P.D
Grasas y Aceites	15	25
Materia Flotante	N/A	N/A
Sólidos suspendidos sedimentables (ml/l)	1	2
Sólidos suspendidos totales	150	200
Demanda Bioquímica de oxígeno 5	150	200
Nitrógeno total	40	60
Arsénico	0.2	0.4
Plomo	0.5	1
Cadmio	0.2	0.4
Zinc	10	20
Fosforo total	20	30

P.D.=Promedio Diario; **P.M.**=Promedio Mensual. **(A)**: Tipo de Cuerpo Receptor
Según la Ley Federal de Derechos. Tomando de NOM-001-ECOL-1996.

Esta Norma establece que el cumplimiento de los límites máximos permisibles sería progresivo, de tal manera que tenían como fecha máxima para su cumplimiento el 1ro de enero del año 2010.

Cuadro 2. Fechas de cumplimiento de cargas máximas contaminantes para las descargas No municipales.

Fecha de cumplimiento a Partir de:	Demanda bioquímica de oxígeno 5 (toneladas/día)	Sólidos suspendidos totales (toneladas/día)
1 de enero de 2000	Mayor de 3.0	Mayor de 3.0
1 de enero de 2005	De 1.2 a 3.0	De 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	Menor de 1.2	Menor de 1.2

Datos tomados de NOM-001-ECOL-1996

La Norma menciona también que los responsables de las descargas de aguas residuales que rebasen los límites permisibles, deben presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la comisión nacional del agua (CONAGUA).

El responsable de la descarga queda también obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes puede ser trimestral, semestral o anual. Dependiendo de la carga contaminante que presenten.

De acuerdo con la CONAGUA, con esta legislación en marcha, la carga del sistema es ahora más flexible, puesto que los criterios consideren la capacidad asimilativa del cuerpo de agua y las concentraciones de los indicadores de contaminación. Sin embargo, reconocen que no existe la capacidad para el monitoreo y control constante de las actividades de descarga por parte de las instituciones (Seroa y Motta, 2000).

2.3. Procesos de tratamiento de Aguas Residuales.

Las aguas residuales son las aguas cuya composición física y química ha cambiado dependiendo de su origen, sea este urbano, industrial, agrícola o pecuario. Para evitar que dichos componentes afecten la salud humana y causen problemas de contaminación en el ambiente, es necesario llevar a cabo una serie de tratamiento previo a su descarga. El tren de tratamientos consiste en una serie de etapas cuyos procesos básicos están bien definidos y han sido ampliamente estudiados, la mayoría de los procesos han sido descritos en detalle por (Metcalf y Eddy, 1991) siendo esta la referencia técnica más relevante en el tema.

A pesar de que son muchos los métodos usados para el tratamiento de las aguas residuales, la mayoría de las tecnologías utilizadas en México pueden incluirse dentro de los siguientes procesos (Metcalf y Eddy, 1991).

- 1) Tratamiento preliminar
- 2) Tratamiento primario
- 3) Tratamiento secundario

2.3.1. Tratamiento Preliminar.

El tratamiento preliminar se define como la remoción de los componentes de gran tamaño contenidos en el agua residual que pudieran causar problemas de mantenimiento o de operación en los equipos. Elimina también los sólidos inorgánicos pesados y cantidades excesivas de aceites o grasas. Los principales dispositivos empleados en el tratamiento preliminar son las rejillas y trampas de grasa (Metcalf y Eddy, 1991).

2.3.2.Tratamiento primario.

En términos generales, este proceso remueve alrededor del 50 por ciento de los sólidos suspendidos y reduce en un 25 a un 50 por ciento la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5). El tratamiento primario convencional remueve de un 10 a un 20 por ciento el nitrógeno orgánico y alrededor del 10 por ciento del fósforo (Metcalf y Eddy, 1991). Las operaciones que usa el tratamiento primario son la separación de sólidos y la sedimentación. El afluente del tratamiento primario es considerado como de alto contenido de DBO5. Es por eso que se considera que la principal función del tratamiento primario es ser una etapa obligada previa al tratamiento secundario (Metcalf y Eddy, 1991).

2.3.3. Tratamiento Secundario.

Los tratamientos secundarios incluyen diversos procesos de tratamiento biológico asociados con separadores de sólidos y líquidos. Los procesos biológicos están diseñados para proveer las condiciones adecuadas para el desarrollo de los microorganismos encargados de la remoción biológica de nutrientes.

La biomasa microbiana interactúa con las aguas residuales mediante crecimiento suspendido o por procesos de filtrados en película (Metcalf y Eddy, 1991).

Como ejemplos de crecimiento suspendido pueden mencionarse los lodos activos, las lagunas de estabilización y de oxidación. Como procesos de película suspendida pueden mencionarse los filtros percoladores, los biorreactores de biopelícula y filtros rotativos. La materia orgánica presente en las aguas hervidas provee la energía y los nutrientes para producir el crecimiento microbiano, los microbios producen bióxido de carbono y agua como productos finales de su metabolismo (Metcalf y Eddy, 1991).

2.3.4. Separador de Sólidos en los Establos Lecheros.

La separación de sólidos es la primera operación unitaria en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1991).

El estiércol fresco es bombeado al mecanismo separador. La eficiencia del mecanismo viene determinada por las características del estiércol a separar, el cual no deberá contener partículas superiores a los 400 mm, y por el tipo de mecanismo de separación. Es conveniente utilizar un sistema de evacuación continua ya que al mismo tiempo que se eliminan los malos olores facilita la separación de los elementos. Se debe intercalar una reja o tamiz grueso, antes del depósito de recepción, que permita detener elementos voluminosos o no deseados tales como piedras, plásticos, ramas, trapos, etc., los cuales pueden interferir en el proceso posterior (Metcalf y Eddy, 1991).



Figura 1. Separador de sólidos del Establo lechero el Porvenir.



Figura 2. Cárcamo de llegada de agua residual

Los separadores más comunes en los establos lecheros son los de tipo cascada y los tamices tipo tambor (Metcalf y Eddy, 1991).

Constan de un tamiz normalmente de acero inoxidable o materiales plásticos, con un enrejado o filtro especial, instalado sobre un bastidor, con abertura entre 02 o 6 mm, colocado con una inclinación de 45°-65°.

El estiércol es bombeado a la parte superior del tamiz deslizándose por gravedad hacia la parte inferior de la banda filtrante. El líquido pasa a través del tamiz, mientras que el

sólido se acumula en la parte inferior del mismo. Este tipo de separadores es muy utilizado para separar partículas fibrosas y gruesas de estiércol de vacuno.

Tiene como principal inconveniente que necesita un sistema de retirada adicional en la parte inferior y que el tamiz debe ser limpiado con frecuencia para mantener la eficacia del sistema. La eficacia del sistema varía mucho con el tipo de estiércol, pero en condiciones óptimas de trabajo pueden llegar a separar hasta el 60 por ciento de los sólidos totales presentes en el estiércol de ganado vacuno (Chastain *et al.*, 2001).

2.3.5. Biodigestores.

Los biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás por medio de desechos orgánicos, lo que permite obtener energía limpia, renovable y de bajo costo. En el **ITCR** se efectuó durante el año 2008, una actividad de fortalecimiento de la investigación con el propósito de desarrollar un sistema electrónico e inalámbrico de control y protección para la producción de biogás. (Rivas Solano *et al.*, 2010).



Figura 3. Biodigestor bovino.



Figura 4. Toma de muestra del agua residual en el canal desarenador.

2.3.6. Biodigestor

La producción de biogás es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en un entorno anaerobio, es decir, carente de oxígeno. Dicho proceso lo realizan microorganismos como parte del ciclo biológico de la materia orgánica, el cual involucra la fermentación o digestión de materiales orgánicos para obtener el biogás.

Los Biodigestor, por su parte, son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten así la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable.

El uso de esta tecnología no es nuevo, pero en los últimos años ha cobrado gran interés debido a la actual crisis energética producto del agotamiento de los combustibles fósiles. Además, el aprovechamiento del biogás impulsa la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero como el metano (CH_4), cuyo potencial de calentamiento global es 23 veces mayor que el del dióxido de carbono (CO_2), (Campero *et al.*, 2008).

El aprovechamiento del valor energético de los desechos del ganado es uno de los beneficios que actualmente está teniendo auge en muchas partes del mundo ya que permite aprovechar los residuos de una ganadería intensiva. La obtención de biogás se puede llevar a cabo a través de la construcción de biodigestores a pequeña y gran escala.

En México se ha iniciado el intercambio de bonos por emisiones a la atmósfera a raíz del protocolo de Kyoto que pretende la reducción de gases de invernadero como el metano producido en las instalaciones ganaderas. Se considera que los establos son una fuente rica para producción de energía a través de la generación de metano el cual se puede transformar en bonos verdes que pueden entrar en el comercio de emisiones o bien puede transformar energía eléctrica. (Prieto *et al.*, 2009).

Desde el punto de vista ambiental, los sistemas ganaderos de explotación intensiva han mostrado impactos significativos indeseables los cuales dependen de la especie. La incrementada tendencia hacia la generación intensiva en muchas partes del mundo ha significado indudables logros socioeconómicos, pero también la producción de mayores

volúmenes de residuo por unidad de superficie, lo cual ha traído repercusiones ambientales por la contaminación de agua, suelo y aire por los desechos generados. Estos cambios en la forma de explotación también ha traído consigo cambios en el tratamiento de desechos que ofrecen un considerable potencial con enfoques innovativos para el reusó de agua, recuperación de energía, nutrientes, compuestos orgánicos y reducción de emisiones de gases invernadero (Sukias y Tanner, 2006).

A nivel mundial un gran número de establos lecheros de explotación intensiva están usando los digestores anaeróbicos para reducir problemas ambientales y producir biogás con el estiércol del ganado ya que el este puede ser una fuente significativa de metano, un potente gas invernadero con un potencial de calentamiento global 23 veces más alto que el dióxido de carbono (CO₂), que puede ser usado como combustible para la generación de calor y/o electricidad (Bothi y Aldrich, 2007).

2.3.7. Lagunas de estabilización.

Las lagunas de estabilización son comúnmente usadas en el tratamiento de aguas residuales de la producción lechera. Las lagunas convencionales reducen significativamente las cargas de contaminantes en el agua residual, principalmente demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, sin embargo, no hay grandes reducciones en nutrientes y bacterias. Como complemento a las lagunas convencionales de estabilización, (Craggs *et al.*, 2003).

Proponen un sistema más completo de tratamiento, que incluya más de una laguna, una anaerobia, una con algas y una más de maduración, con lo cual se disminuye significativamente la carga contaminante. Se ha estudiado también que las lagunas de estabilización, tienen mejores resultados cuando son cubiertas en la parte superior, ya que logran alcanzar reducciones de entre 50 y 90 por ciento de emisiones de olores y gases (Craggs *et al.*, 2003).

Entre las tecnologías que existen dirigidas al aprovechamiento de los nutrientes de las excretas de los establos lecheros en los cultivos, están el manejo alimenticio, la tasa sincronizada de aplicación de nutrientes, los sistemas de arrastre de manguera y el manejo de pastoreo intensivo (Craggs *et al.*, 2003)

2.3.8. Importancia de la Producción de Leche en México.

La producción de leche en México es una agroindustria de relevancia para el país y a nivel mundial. En 2008 se produjeron en México 10 mil 600 millones de litros de leche con un valor de 46 mil millones de pesos, con lo cual ocupó el lugar número 18 en producción a nivel mundial.

Su disponibilidad per cápita es de 117 litros por habitante al año, valor relativamente bajo en comparación con países como España, Canadá, Argentina y Australia, cuya disponibilidad varía entre 150 y 250 kg/ habitante. Los países de mayor disponibilidad de leche son Holanda, Suecia y Noruega, que varían entre 250 y 350 kg/habitante (SIAP, 2010).

La producción de leche en México se concentra mayor mente en Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato, los cuales producen 55 por ciento de la producción total (SIAP, 2010).

Estos sistemas se caracterizan por ser especializados, altamente tecnificados y con una producción de leche de calidad. Noventa y cuatro por ciento de la producción de leche en el país se destina a la industria privada, mientras que 6 por ciento restante por la paraestatal Liconsa. Además de ser una industria redituable para algunas empresas, la leche es parte de la canasta básica mexicana., es decir que es consumida por gran parte de las familias mexicanas. Además, se considera benéfica para la salud de los infantes (Aguilar *et al.*, 2006).

2.3.9. Producción Lechera en Torreón Coahuila.

A partir del inicio de los años 90, la ganadería lechera regional se ha fortalecido en el aspecto de producción en litros de leche/vaca, ya que paso de un promedio de 15.14 litros /vaca en 1975, aun promedio de 25.2 litros /vaca en 1998. Esto debido en gran parte a la calidad genética del ganado Holstein y a la nueva tecnología en alimentación y manejo. La comarca lagunera ha sido por muchos años un foco de atención para el comercio tanto nacional como internacional ya que se ha caracterizado por ser una zona altamente agropecuaria y agroindustrial con preferencia en la

producción lechera. Esto hace que se presenten formas especializadas de enlace comercial. Gracias a la atención que se le ha tomado a esta zona en particular al sector lechero, todas las explotaciones independiente mente de su tamaño tienen la oportunidad de entrar en contacto directo con factores favorables para la empresa tales como: proveedores de equipo y maquinaria, asesorías en diferentes áreas, nutrición, genética, de la industria farmacéutica, de administración y en el área computacional entre otras. (Aguilar *et al.*, 2006).



Figura 5. Establo lechero el Porvenir (Torreón, Coahuila, México).

Cuadro 3. Producción Lechera anual en Torreón Coahuila

Año	Volumen de producción (Miles de Litros)	%
2000	9, 311,444	17.5
2006	10, 088,558	19.8
2007	10, 345,976	21.0
2008	10, 589,479	21.3
2010	10, 711,619	19.5
2011	10, 742,634	19.7
2013	1, 292, 623	3.3

2.4. Lugar de Estudio.

El presente estudio se llevó a cabo en el municipio de Francisco I. Madero en el establo Lechero Rancho el Porvenir. Ubicado en la zona suroccidental del estado, al norte con la comarca lagunera uno de los 31 estado que lo conforman los Estados Unidos Mexicanos.

2.4.1. Torreón Coahuila.

El municipio de torreón es una ciudad de México, situada al norte del país, en el estado de Coahuila; específicamente en la parte del oeste sur de este estado nortero. Limita al norte y al este con el municipio de matamoras; al sur y al oeste con el estado de Durango. Se localiza a una distancia aproximada de 265 kilómetros de la capital del estado.

Cuenta con una superficie de 1,947.70 kilómetros cuadrados y una población de 577,477 habitantes, que representa el 1.29 por ciento del total de la superficie del estado de Coahuila.se sitúa entre las coordenadas 103° 26 longitud o este y 25° 32 latitud norte, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar. (INEGI, 2003).

2.4.2. Municipio de Francisco I. Madero.

El municipio de Francisco I. madero está localizado en la región laguna del estado y cuenta con una extensión territorial de 4,933.9 kilómetros cuadrados y una población de 51,528 habitantes. Coordenadas geográficas, latitud 25° 46 norte, longitud 103° 16 oeste, altitud 1,100 metros sobre el nivel del mar.

Distancias de Francisco I. Madero a las principales ciudades del estado y de la república mexicana, ciudad Acuña, Coahuila (Del Rio Texas) 593 Kilómetros, Piedras Negras, Coahuila (Eagle Pass, Texas) 540 kilómetros, Saltillo, Coahuila 252 kilómetros, Sabinas, Coahuila 408 kilómetros, Monclova, Coahuila 293 kilómetros, torreón, Coahuila 32 kilómetros. (INEGI, 2003).

Este municipio se caracteriza por un clima muy seco semicalido durante la mayor parte del año, y su temporada de lluvias comprende las estaciones de primavera, verano y otoño.

El clima del municipio es considerado extremo, con altas temperaturas en los meses de verano y muy bajas en los de invierno en los que se producen frecuentes heladas e incluso precipitaciones en forma de nieve, el clima del municipio es clasificado en la mayor parte del territorio como muy seco semicalido.



Figura 6. Localización Geográfica de la cuenca lechera de Francisco I. Madero.

2.5. Metales Pesados en el Ambiente.

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, el contenido de

arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad del intercambio catiónico y otras propiedades que hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Sauvé *et al.*, 2000).

2.5.1. Cinc (Zn).

El cinc forma parte de una de una serie de resúmenes de la pública sobre sustancias peligrosas y sus efectos sobre la salud. También ha una versión abreviada, ToxFAQsTM, disponible. Esta información es importante porque se trata de una sustancia que podría ser nociva para la salud. Los efectos sobre la salud de la exposición a cualquier sustancia peligrosa van a depender de la dosis, la duración y el tipo de exposición, la presencia de otras sustancias químicas, así como de las características de las persona. El cinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre.

El cinc se encuentra en el aire, el suelo, agua y está presente en todos los alimentos, en su forma pura elemental o metálica. El cinc también puede combinarse con otros elementos, por ejemplo cloro, oxígeno y azufre para formar compuestos de cinc. Los compuestos de cinc que puede encontrarse en sitios de desechos peligrosos son el cloruro de cinc, la mayor parte del mineral de cinc que se encuentra naturalmente en el ambiente está en la forma de sulfuro de cinc. (ATSDR, 2005).

El cinc entra al aire, el agua y el suelo como resultados tanto de procesos naturales como actividades humanas, la mayor parte del cinc que entra al ambiente es el resultado de la minería, la refinación de minerales de cinc, plomo y cadmio, lodo y los abonos también contribuyen el aumento del cinc en el suelo. En el aire, el cinc está presente principalmente en formas de partículas finas de polvo. Este polvo eventualmente se deposita sobre la tierra y el agua (ATSDR, 2005).

2.5.2. Arsénico (As).

El arsénico aparece en la mayoría de las aguas, aunque usualmente en pequeñas cantidades. Su presencia es un tema de gran interés en países como Argentina, Chile, Brasil, Perú, Bolivia, México, Tailandia, Bangladesh, China, India y Estados Unidos en los cuales se han producido serios casos de contaminación.

En Bangladesh, se determinaron los altos niveles de arsénico en el agua subterránea luego de la aparición de enfermedades vinculadas al arsénico, identificándose la escala del problema a partir de que se diagnosticaron efectos de envenenamiento en la población.

En diversas regiones del mundo se han descrito enfermedades hídricas asociadas a la presencia de arsénico: en Antofagasta (Chile), Minas Gerais (Brasil), Salvador de Arriba y Coahuila (México), en Taiwán, Formosa y posiblemente en Perú y Bolivia en la puna de Atacama. (Martínez, 2002).

2.5.3. Origen del Arsénico.

El arsénico es un elemento considerado entre los veinte más abundantes sobre la tierra. Está presente en cantidades trazas en rocas, suelo, agua y aire. Este elemento puede existir en cuatro estados de valencia como As^{3-} , As^0 , As^{3+} y As^{5+} .

El arsénico se encuentra en el ambiente principalmente como arsenito y arseniato

El arsénico se encuentra en la naturaleza en minerales comunes como la arsenopirita ($FeAsS$), el realgar (As_2S_2), el oropimente (As_2S_3) y el trióxido de arsénico (As_2O_3); como elemento puro se lo encuentra ocasionalmente. (Martínez, 2002).

2.5.4. Enfermedades que Provoca el Arsénico.

Se ha determinado que una de diez personas que beben agua con un contenido de arsénico superior a $500 \mu g/l$ puede morir de cáncer de pulmón, vesícula y piel. La exposición ocupacional, principalmente en caso de inhalación, incrementa el riesgo de cáncer de pulmón cuando se alcanzan niveles acumulativos de $0.75 \text{ mg}/m^3$. Esta

cantidad corresponde a unos 15 años de exposición en una sala con una concentración de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El arsénico contenido en el agua y los alimentos ingresa al organismo por vía bucal y su absorción depende de la liposolubilidad del compuesto.

Los arsenitos inorgánicos (trivalentes), tales como los concentrados en el agua, penetran a través de las membranas biológicas con mayor dificultad que los arsenitos orgánicos, lo que explicaría el largo periodo de incubación de la enfermedad. El arsénico después de ser absorbido pasa al torrente sanguíneo y es distribuido en los diferentes órganos; se deposita principalmente en el hígado, riñón, corazón, pulmón, y piel.

Existen altas concentraciones en el pelo y las uñas debido a que el arsénico trivalente (inorgánico) se combina con los grupos sulfidrilos de la queratina de estos anexos cutáneos (Martínez, 2002).

2.5.5. Plomo (Pb).

Se ubica en el grupo IVA (metales) en la tabla periódica. El Pb es un metal gris azulino que se presenta en forma natural y en pequeñas cantidades (0.002%) en la corteza terrestre. Este elemento, es generalmente obtenido en la galena (PbS), la anglesita (PbSO_4) y la curocita (PbCO_3).

El Pb es tóxico para el sistema nervioso y se asocia con la depresión de muchas funciones endócrinas, aunque no hay evidencia de efectos teratogénicos o carcinogénicos. El uso más amplio del Pb elemental es para la fabricación de acumuladores; también es usado para la fabricación de tetra-etilo de plomo, pinturas, cerámicas, forros para cables, elementos de construcción, vidrios especiales, pigmentos, soldadura suave y municiones (ATSDR, 2005).

El Pb, en el suelo, se encuentra principalmente en forma de Pb^{2+} , también es conocido su estado de oxidación +4. Algunos de los compuestos insolubles son $\text{Pb}(\text{OH})_2$, PbCO_3 , PbS , PbSO_4 . La velocidad de oxidación depende de factores como la humedad, la temperatura, el pH, el potencial redox, la cantidad de materia orgánica o la roturación de los suelos (Guitart y Vernon, 2005).

2.5.6. Problema del Pb en Torreón Coahuila.

En la región lagunera de México se ha detectado y reportado una alta contaminación de plomo en el suelo y aire, la presencia de metales pesados y particularmente plomo genera un grave problema y representa un gran riesgo dado que las condiciones ambientales de la región propician suelos secos y fuertes vientos que generan tolvánicas, las cuales dispersan el suelo y sus contaminantes en toda la región. Provocando riesgos de salud en la población humana.

El problema en la ciudad de Torreón Coahuila es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tiene como actor principal al plomo.

Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos de hecho ocurre lo contrario sino a que de los tres es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y por ende es el que causa más problema y más preocupación en todo el mundo.

El envenenamiento por metales pesados se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora más importante del mundo, propiedad de la compañía Peñoles, situada en el centro de la ciudad de Torreón. En otros lugares puede presentarse la contaminación por plomo pero las fuentes emisoras pueden ser distintas (Valdes, 1999).

Además de las emisiones, hay un problema muy grave con las escorias de los procesos de esta planta; desde el inicio de sus actividades éstas se han ido acumulando en un montículo conocido localmente como “el cerro negro”.

Dicha empresa es la responsable de emitir altos índices de agentes contaminantes y que a la fecha sigue generando elevados niveles de plomo y cadmio entre otros contaminantes dañinos para el medio ambiente y para la salud de adultos y menores, como parte de los procesos industriales y metalúrgicos que en esa empresa se desarrollan.

Por lo anterior, es necesario que la intoxicación que se hace patente en el Municipio de Torreón es grave provocando, en menores graves e irreversibles daños a su sistema nervioso central y periférico, pues se sabe que el plomo como principal causa de

intoxicación en Torreón se absorbe por ingestión o por inhalación, este, al contacto con la sangre y niveles altos de plomo se puede provocar encefalopatía e incluso la muerte. Los valores aceptables en plomo en la sangre, aire y suelo son elevados y sobre pasan los valores permisibles en normas internacionales. Estas son tan solo algunas de las graves consecuencias que se generan por las altas emisiones de contaminantes en el municipio de Torreón, por lo que nuestra preocupación es eminente frente a los irreversibles daños ambientales (Cervantes, 2000).

2.5.7. Efecto del Plomo en la Salud.

El plomo es un elemento que no cumple ninguna función vital en el organismo humano y que resulta tóxico incluso en pequeñas dosis. Puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como adultos.

Los efectos del plomo en la salud de los niños pueden incluir problemas de comportamiento y de aprendizaje (hiperactividad), crecimiento atrasado, problemas auditivos, dolores de cabeza y daño al cerebro y al sistema nervioso central. Los adultos expuestos al plomo pueden sufrir de problemas reproductivos, presión sanguínea alta, trastornos digestivos, dolor en los músculos y en las coyunturas, problemas de memoria y de concentración y trastornos nerviosos (Matte, 2003).

2.5.8. Plomo en el Medio Ambiente.

Desde hace algunas décadas la importancia del plomo como contaminante eco toxicológico ha sido bien conocida. Así, el impacto de los metales pesados de origen antropogénico en el medio ambiente, ha sido objeto de estudios en varias investigaciones.

El plomo (Pb) se considera un contaminante eco toxicológico ya que su uso provoca contaminación ambiental y exposición en humanos. La principal vía de biodisponibilidad son el suelo y el polvo, donde se concentra y por medio del cual ingresa a los organismos. El manejo inadecuado de materiales con plomo ha sido causante de

numerosos problemas ambientales en todo el mundo; sin embargo, no todo el plomo del suelo presenta el mismo grado de movilidad o biodisponibilidad.

La distribución química del plomo en el suelo depende del pH, de la mineralogía, textura, materia orgánica así como de la naturaleza de los compuestos de plomo contaminantes. El suelo es uno de los mayores reservorios en los cuales se acumulan la contaminación ambiental(Alloway, 1995).

Más del 90 por ciento de la contaminación ambiental producida es retenida en las partículas de suelo y cerca del 9 por ciento es interceptada en los sedimentos acuáticos. Particularmente, la contaminación de un suelo contaminado con Pb es de preocupación ya que éste presentan un alto tiempo de residencia en el suelo, estableciéndose un equilibrio dinámico con la hidrosfera, atmosfera y biosfera y de esta forma alterando el ecosistema, incluyendo al ser humano (Huang, 1999).

2.5.9. Cadmio (Cd).

El cadmio es un elemento natural de la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). Todos los suelos y rocas, incluso el carbón y abonos minerales, contienen una cantidad de cadmio. La mayor parte del cadmio se usa en los Estados Unidos se extrae durante la producción de otros metales como el zinc, plomo y cobre. El cadmio no se corroe fácilmente y tiene muchos usos tales como baterías, pigmentos, revestimiento de metales y plásticos (ATSDR, 2008).

2.5.10. Efectos del Cadmio en la Salud.

Respirar niveles altos de cadmio puede dañar gravemente los pulmones. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy altos produce irritación grave del estómago causando vomito. La exposición prolongada a niveles más bajos de cadmio en el aire, los alimentos o el agua produce acumulación de cadmio en los riñones y

posiblemente enfermedad renal. Otros efectos de la exposición prolongada consisten en el daño del pulmón fragilidad de los huesos. El departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que el cadmio y los compuestos de cadmio son carcinogénicos en seres humanos (ATSDR, 2008).

2.5.11. Cadmio en el Ambiente Ocupacional.

Al hablar de fuentes de contaminación en el ambiente ocupacional es importante señalar que en el caso del cadmio éstas son también responsables, en una muy grande medida, de la contaminación del ambiente general, lo que determinará en gran parte la exposición de la población general. Así, los Individuos que están expuestos ocupacionalmente, también pueden adicionalmente estarlo en el ambiente general (Cassanha y Corey, 1987).

Las actividades mineras, tanto para el cadmio como para otros metales, son la fuente más evidente y las que pueden causar las concentraciones más altas de cadmio, ya que este metal se encuentra frecuentemente incorporado en diversos minerales. La exposición no sólo es importante para los mineros, sino también para otros individuos no mineros que trabajen en las mismas instalaciones o cerca de ellas.

Aire.

La forma química más importante en que el cadmio se presenta en el aire es como óxido de cadmio. En grandes ciudades en donde hay actividades industriales importantes, se han encontrado concentraciones elevadas del cadmio en el aire de $0.05 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$, en oposición en otras áreas no contaminadas en donde existe niveles de 0.001 a $0.005 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ (rurales) y de 0.005 hasta $0.05 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ (urbanas). La presencia de cadmio en el aire adquiere interés cuando se piensa en los efectos de este contaminante para la salud humana, ya que puede penetrar al organismo por la vía respiratoria y ser absorbido. En áreas muy contaminadas un individuo puede llegar a inhalar hasta $3.5 \text{ } \mu\text{g}$ de cadmio al día.

Agua.

El agua en áreas no contaminadas presenta concentraciones muy bajas de cadmio: 0.04 - $0.3 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$ en océanos y alrededor de $1 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$ en ríos. En las regiones en donde hay

contaminación por cadmio estas concentraciones se pueden elevar mucho; así se han encontrado niveles de 0,001 hasta 0,115 mg/l. La importancia de estas concentraciones en el agua varía según la utilización que a ésta el hombre le dé, o sea, para consumo humano u otros usos.

Suelo.

En áreas no contaminadas el cadmio se encuentra en el suelo en alrededor de 1 mg/kg (1ppm). La contaminación del suelo por depósito de partículas del aire o por agua contaminada por actividades industriales, ha determinado concentraciones de hasta 16 mg/kg (Cassanha y Corey, 1987).

2.5.12. Conductividad eléctrica del Agua (CE).

La conductividad es la habilidad de una solución para conducir electricidad. Pequeñas partículas cargadas eléctricamente, llamadas iones, pueden llevar una Corriente eléctrica a través de soluciones de agua.

Estos iones provienen principalmente de los ácidos y sales de la solución de fuente. Entre más concentrado de solución de fuente sea añadido al agua, el número de iones se incrementa, junto con la conductividad. En el agua y en fluidos iónicos puede generarse el movimiento de una red de iones cargados, por lo cual este proceso produce corriente eléctrica y se denomina conducción iónica. Según el Reglamento de Calidad de Agua Potable N° 32327 de la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud, la conductividad se encuentra en el primer nivel de control de calidad y se le establece un valor recomendado de 400 μ S/cm (Rodríguez, 2009).

2.5.13. Potencial de Hidrógeno (PH).

Se le define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno. La escala de pH se extiende desde el 0 (muy ácido) al 14 (muy alcalino), siendo 7 la neutralidad exacta a 25°C. El registro del pH en las aguas puede ser de tipo natural o artificial, puede variar entre 4.5 y 8.5 e incluye el valor de 5.6 del pH del agua de lluvia en equilibrio con el CO₂ atmosférico. Como causa natural se encuentra el anhídrido

carbónico disuelto, procedente de la atmósfera, y, más fundamentalmente, del que se encuentra en la zona de infiltración de la tierra producido por la respiración de los organismos vivos, así como de la respiración y fotosíntesis de los organismos acuáticos. Según el Reglamento de Calidad de Agua Potable N° 32327 de la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud, el pH se encuentra en el primer nivel de control de calidad y se le establece un valor recomendado mínimo de 6.5 y un máximo admisible de 8.5 (Rodríguez, 2009).

2.5.14. Magnesio (Mg).

El magnesio no existe libre en la naturaleza. Se encuentra combinado como carbonato, MgCO_3 , constituyendo el mineral llamado magnesita o giobertita. Como sulfato y cloruro forma parte de las sales dobles en diversos yacimientos. Los silicatos más corrientes, donde encontramos el magnesio asociado son, el talco (piedra de jabón) de fórmula $\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$, el asbesto, $\text{Mg}_3\text{Ca}(\text{SiO}_3)_4$, la sepiolita o espuma de mar de fórmula $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, la serpentina, $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y el olivino o peridoto, Mg_2SiO_4 .

Se encuentra generalmente en las aguas en cantidades mucho menores que el calcio, pero su importancia biológica es grande, ya que es indispensable en el desarrollo de ciertos sistemas enzimáticos, actuando igualmente en la constitución de los huesos. Una persona adulta debe de tomar por término medio 200 a 300 mg por día. Si la cantidad de magnesio en el agua es muy grande, puede esta actuar como laxante e incluso adquirir un sabor amargo (Rodríguez, 2009).

2.5.15. Efectos del Magnesio sobre la Salud.

El magnesio no ha sido testado, pero no es sospechoso de ser cancerígeno, muta génico o teratógeno. La exposición de los vapores de óxido de magnesio producidos por los trabajos de combustión, soldadura o fundición del metal pueden resultar en fiebres de vapores metálicos con los siguientes síntomas temporales: fiebre, escalofríos, náuseas, vómitos y dolores musculares. Esto se presenta normalmente de

4 a 12 horas después de la exposición y duran hasta 48 horas. Los vapores de óxido de magnesio son un subproducto de la combustión del magnesio.

2.5.16. Efectos Ambientales del Magnesio

En un espectro del 0 al 3, los vapores de óxido de magnesio registran un 0,8 de peligrosidad para el medioambiente. Una puntuación de 3 representa un peligro muy alto para el medio ambiente y una puntuación de 0 representa un peligro insignificante. Los factores tomados en cuenta para la obtención de este ranking incluye el grado de perniciosidad del material y/o su carencia de toxicidad, y la medida de su capacidad de permanecer activo en el medioambiente y si se acumula o no en los organismos vivos. No tiene en cuenta el grado de exposición a la sustancia. El polvo de magnesio no es sospechoso de ser altamente dañino para el medio ambiente. En forma de óxido de magnesio se ha establecido una la toxicidad en el agua en 1000 ppm.

2.5.17. El Calcio en el Agua.

De los cationes encontrados en la mayoría de los sistemas de agua dulce, el calcio tiene generalmente la mayor concentración. La química del calcio, aunque es bastante complicada, es más simple que las de los iones de metales de transición encontrados en el agua. El calcio es un elemento importante en muchos procesos geoquímicos y los minerales constituyen las fuentes primarias del ión calcio en las aguas. Entre los minerales primarios que contribuyen a este elemento está el yeso, $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$; la anhidrita, CaSO_4 ; la dolomita, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, la calcita y la aragonita que son diferentes formas minerales del CaCO_3 . El ión de calcio, junto con el de magnesio y a veces el ión hierro (II), determinan la dureza de agua. La manifestación más común de la dureza del agua es el precipitado coaguloso formado por el jabón en agua dura. La dureza temporal se debe a la presencia de iones calcio y bicarbonato en el agua y puede eliminarse hirviéndola (Dominguez, 2007).

Aunque las concentraciones de ambos sean mayores en el caso de riego con aguas residuales, estas concentraciones decrecen con el paso del tiempo. Tanto el Calcio

como el Magnesio son elementos fundamentales para el buen desarrollo del césped. Cuando existe una carencia de estos elementos en el césped, Problemas relacionados con el Sodio suelen ser comunes (Hayes, 1995).

2.5.18. Sodio en el Agua.

El ión sodio, Na^+ , corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar. Suele estar asociado al ión cloruro. El contenido en aguas dulces suelen estar entre 1 y 150 ppm, pero es fácil encontrar valores muy superiores, de hasta varios miles de ppm. El agua de mar contiene cerca de 11.000ppm. Es un indicador potencial de corrosión.

La determinación analítica se hace por fotometría de llama. En los análisis rutinarios el ión sodio no se determina sino que se calcula como diferencia entre el balance de iones y cationes.

El sodio se elimina por intercambio iónico, pero como ión monovalente es una de las primeras sustancias que fugan de la columna catiónica o del lecho mixto (Hayes, 1995).

2.5.19. Cloruros.

El ión cloruro, Cl^- , forma sales en general muy solubles. Suele ir asociado al ión Na^+ , especialmente en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero no es raro encontrar valores mucho mayores. Las aguas salobres pueden tener centenares e incluso millares de ppm. El agua de mar contiene alrededor de 20.000ppm.

El contenido en cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial uso agrícola industrial. A partir de 300ppm el agua empieza adquirir un sabor salado. Las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas debido al pequeño tamaño del ión que puede penetrar la capa protectora en la interface óxido-metal y reaccionar con el hierro estructural. Se valora con nitratos de plata usando cromato potásico como indicador. Se separa por intercambio iónico (Rigola, 1990).

2.5.20. Nitratos.

El ión nitrato, NO_3 , forma sales muy solubles y bastante estables, aunque en medio reductor puede pasar a nitrito, nitrógeno, o amoníaco. Las aguas normales contienen menos de 10ppm, y el agua de mar hasta 1 ppm, pero las aguas contaminadas, principalmente por fertilizantes, pueden llegar a varios centenares de ppm. Concentraciones elevadas en las aguas de bebida pueden ser la causa de cianosis infantil. Industrialmente no tiene efectos muy significativos, e incluso es útil para controlar la fragilidad del metal de las calderas. Su determinación en el laboratorio es complicada y se realiza en general por espectrofotometría, resultante de la absorción de la radiación UV por el ión nitrato.

Se elimina por intercambio iónico, pero no es un método económico en los procesos de potabilización en grandes volúmenes. Están en desarrollo procesos de eliminación biológicos. Su presencia en las aguas superficiales, conjuntamente con fosfatos, determina la eutrofización, que se caracteriza por un excesivo crecimiento de las algas (Rigola, 1990).

2.5.21. Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Las actividades domésticas, pecuarias, agrícolas e industriales, además de algunas ocurrencias naturales, son fuentes potenciales de aporte de sólidos en suspensión a las aguas residuales. Consideran que los efectos de los sólidos suspendidos en los cuerpos receptores varían según el tamaño y naturaleza de los sólidos; pero desde que un punto de vista general, los efectos más notables son; interferencia con la penetración en la luz solar (turbiedad) y el azolve de los cuerpos de agua. El reglamento en Materia de contaminación Hídrica indica que los sólidos suspendidos totales en forma diaria no deben ser mayores a 60 mg/l (Delgadillo, 2010).

III.- MATERIALES Y METODOS

3.1. Características Generales.

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio del Departamento de Suelos en las instalaciones en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad, Laguna que se encuentra ubicado en Torreón, Coahuila, México (25° 05' y 26° 54' N, 101° 40' y 104° 45' O, a una altitud de 1,139 msnm) dentro de la Comarca Lagunera. Esta región tiene una precipitación media anual de 235 mm, teniendo una temperatura media anual de 18.6 °C (Schmidt, 1989), durante el período de enero-mayo del 2014, con el objetivo de determinar los metales pesados (As, Pb, Cd y Zn) con el aparato espectrofotómetro de absorción atómica (modelo Perkin Elmer).

3.2. Materiales.

- ✓ Matraz volumétrico 50 ml
- ✓ Bureta de 25 ml
- ✓ Matraz de 125 ml
- ✓ Soporte para bureta
- ✓ Pipetas de 2, 5, 10 ml
- ✓ Película parafilm
- ✓ Vasos de precipitado de 50 y 100 ml
- ✓ Papel filtro whatman

3.3. Agua Residual.

Se tomaron dos muestras de Agua residual en el establo lechero Rancho el Porvenir. Francisco I. Madero Coahuila. Para su análisis fisicoquímico y determinación de metales pesados (As, Pb, Cd y Zn).

3.4. Aparatos utilizados:

- ✓ PH- metro (HI-98240)
- ✓ Conductivímetro (ATC HI 9835)
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Kit de prueba arsénico
- ✓ Espectrofotómetro de absorción atómica

3.5. Metodología.

Para la realización de este trabajo de investigación se tomaron en consideración diferentes parámetros como la temperatura, el pH, la conductividad, la concentración de la dureza total, metales pesados, utilizando el aparato de absorción atómica (PERKIN EIMER2380), y el espectrofotómetro, respectivamente por lo que a continuación se realiza una descripción de cada uno de los parámetros en estudio.

3.6. Procedimiento del experimento.

Se tomaron dos muestras de agua residual proveniente del flush de las naves donde se encuentran las vacas, una muestra se tomó en la pila de desarenador y la segunda en la pila general donde se almacena el agua residual que está libre de materia orgánica.

De cada muestra se sometió a análisis químicos para determinar sus características físicas y químicas básicas como lo es el pH, CE, etc., y así mismo se realizaron evaluaciones de diversos metales pesados, entre ellos: As, Zn, Cd, Pb, etc. Los metales pesados se leen respectivamente en aparato de absorción atómica.

3.7. Descripción del análisis físico-químico.

Se tomaron las muestras para su análisis físico químicos, no se tomó ningún diseño estadístico debido a la magnitud del predio.

3.7.1. Variables Evaluadas.

Para realizar los análisis fisicoquímicos y determinación de metales pesados se tomaron en cuenta las siguientes variables o elementos químicos.

3.7.2. Sodio (Na).

En esta variable, se tomó una muestra de agua y posteriormente se analizaron en el laboratorio.

3.7.3. Magnesio (Mg).

En esta variable, se tomó una muestra de agua y posteriormente se analizaron en el laboratorio.

3.7.4. Calcio (Ca).

En esta variable, se tomó una muestra de agua y posteriormente se analizaron en el laboratorio.

3.7.5. Potencial de Hidrogeno (pH).

Para realizar este análisis, se tomó la muestra de agua residual y luego se tomó la lectura con la ayuda de un PH-metro calibrado.

3.7.6. Cloruros.

En esta variable, se tomó una muestra de agua posteriormente se analizaron en el laboratorio.

3.7.7. Nitratos (No3).

En esta variable, se tomaron muestras de agua posteriormente se analizaron en el laboratorio mediante la metodología de la (NMX-AA-079-1986).

3.7.8. Sólidos suspendidos totales (SST).

Este análisis se realizó mediante la metodología de la NMX-AA-034-SCFI-2001 Se tomó la muestra de agua de 100 mL como volumen adecuado, se puso la muestra a la capsula de porcelana que previamente se puso a peso constante y luego se llevó la muestra en la estufa a 103°C-105°C., después se dejó enfriar a temperatura ambiente y se determinó su peso hasta alcanzar peso constante.

3.7.9. Arsénico (As).

Este análisis se realizó con el Método colorimétrico.

3.7.10. Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Zinc (Zn).

Se realizó la extracción con HNO₃ 4M realizando la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (PERKIN EIMER 2380).

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

El Establo lechero de Francisco I. Madero Rancho el Porvenir, se encuentra en un nivel de avance aceptable en cuanto a tratamiento de aguas residuales, pese a la heterogeneidad de los mismos. Se encontró que el establo lechero cuenta con tratamiento que posee un separador de sólido y un decantador de arena.

Entre las mejoras consideradas por los ganaderos a futuro, están la instalación de separadores de sólidos y la construcción de fosas de sedimentación. Entre las principales razones por las que no se realizan o no se planean realizar mejoras al sistema están:

- ✓ La inseguridad de continuar con la actividad en el sitio actual debido al crecimiento de la población.
- ✓ La inseguridad de continuar con la actividad debido a la crisis económica
- ✓ La falta de recursos económicos.
- ✓ Los productores se muestran satisfechos con los avances realizados hasta el momento, los cuales han sido suficientes para evitar ser sancionados por las autoridades.

De la percepción de los informantes clave en relación a la problemática ambiental del establo lechero se determinó que la situación geográfica y económica del establo es determinante, así como la actitud de los productores hacia el tema ambiental. Se destaca la falta de divulgación de los programas gubernamentales para la instalación de los biodigestores.

Cuadro 4. Valores del análisis fisicoquímicos y metales pesados (Cd, As, Pb y Zn) de entrada y salida en el agua residual del biodigestor.

ANALISIS	ENTRADA	SALIDA
FISICOQUIMICOS	M1 (ppm)	M2 (ppm)
Ca + Mg	29.16	21.384
Ca	128.256	112.224
Cl	106.5	113.48

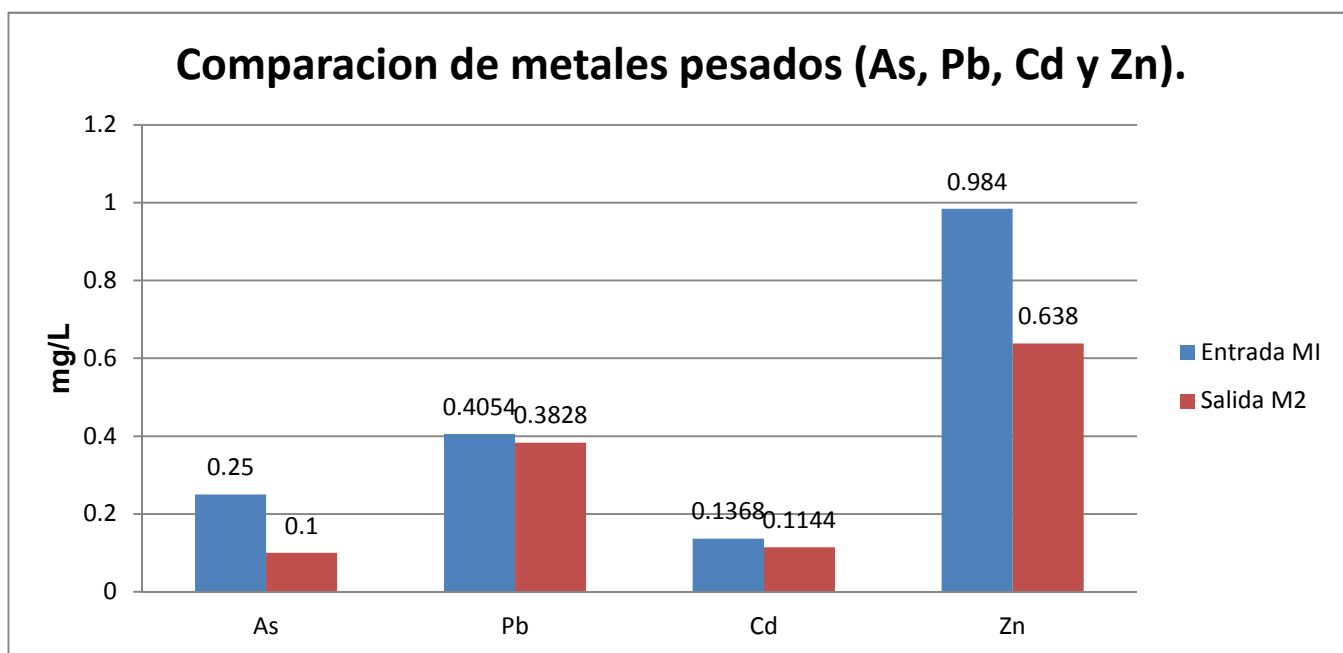
Co ⁻² ₃	0	0
Hco ⁻² ₃	97.6	29.28
Na	1,062.6	566.72
SDT	4,800	1,300
So ₄	346.25	72.5
No ₃	134.56	44.16
pH	7.09	7.08
C.E	5.50 m _s /cm	3.2 m _s /cm
METALES PESADOS	ENTRADA M1(ppm)	SALIDA M2 (ppm)
As	0.25	0.1
Pb	0.4054	0.3828
Cd	0.1368	0.1144
Zn	0.984	0.638

Cuadro 5. Análisis fisicoquímicos de agua residual de la descarga del establo Comparado con los límites indicados en la Norma Oficial.

ANALISIS FISICOQUIMICOS	Unidades	ENTRADA Establo M1 (ppm)	SALIDA Establo M2 (ppm)	Límite Máximo Permisible.
C.E	mS/cm	5.50	3.2	2000
Ca+Mg	mg/L	29.16	21.384	150
Ca	mg/L	128.256	112.224	200
Cl	mg/L	106.5	113.48	250
Co ₃	mg/L	0	0	N.A
Hco ₃	mg/L	97.6	29.28	N.A
Na	mg/L	1,062.6	566.72	200
SDT	mg/L	4,800	1,300	150
So ₄	mg/L	346.25	72.5	400
No ₃	mg/L	134.56	44.16	10
Ph	mg/L	7.09	7.08	6.5-8.5

METALES PESADOS		ENTRADA Establo M1 (ppm)	SALIDA Establo M2 (ppm)	Límite Máximo Permisible.
As	mg/L	0.25	0.1	0.4
Pb	mg/L	0.4054	0.3828	10
Cd	mg/L	0.1368	0.1144	0.1
Zn	mg/L	0.984	0.638	20

De acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996 y NOM-127-SSA1-1994.



Grafica 1. Concentraciones de metales pesados en la entrada y salida de las aguas residuales del biodigestor en el establo lechero el Porvenir.

V.- CONCLUSIONES.

La percepción de los productores al problema ambiental dificulta la mejora de los tratamientos. Los productores no se sienten responsables de la contaminación del agua debido a que desconocen el proceso de contaminación que se genera a partir de la descarga, y consideran que su actividad no genera graves problemas de contaminación. Los productores reconocen la necesidad de cuidar los ecosistemas, sin embargo, consideran secundaria su solución en comparación con los problemas productivos de su actividad.

Los productores de leche tienen poco interés en invertir en los biodigestores principalmente porque no tienen asegurada su permanencia en el sitio actual debido a la urbanización de Francisco I. Madero, a la situación económica, y en menor medida a la inseguridad. La falta de difusión de los programas gubernamentales que ofrecen apoyo económico para la construcción de los biodigestores agudiza el poco interés en invertir en los tratamientos.

1. En la determinación de metales pesados se compararon los resultados de la M1 (entrada del biodigestor) con la M2 (salida), donde se obtuvo que el As, Cd, Pb y Zn fue mayor la concentración de estos metales en la entrada.
2. Tanto en la entrada como en la salida del biodigestor dichos metales se encuentran dentro de los LMP comparando con la NOM-001-SEMARNAT-1996 excepto el Arsénico que se encuentra fuera de la NOM.

VI.- LITERATURA CITADA

- Aguilar, J., P. Rodriguez y G. Mendoza 2006. "Producción Lechera anual en Torreón Coahuila
" Environmental Geology Group 3: 154-163.
- Ahmed-Hegazi, H. 2013. "Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents." HBRC 9: 276-282.
- Alhama-Manteca, I., F. Alhama y T. Rodríguez-Estrella 2012. "Chemical and physical parameters as trace markers of anthropogenic-induced salinity in the agua amargacoastal aquifer (southern Spain).
." Hidrogeology: 1315-1329.
- Alloway 1995. "Plomo en el Medio Ambiente
" Chemical Engineering 2: 74-81.
- Armienta, M. A. y N. Segovia 2008. "Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico."
Environ Geochem Health: 345-353.
- ATSDR 2005. "Agency for Toxic Substances and Disease Registry."
- ATSDR 2008. "Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades."
Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU.
- Birch, G. F. y M. A. Olmos 2008. "Sediment-bound heavy metals as indicators of human influence and biological risk in coastal water bodies." Environmental Geology Group: 1407-1413.
- Bothi, B. y K. L. Aldrich 2007. "Feasibility study of a central anaerobic digester for ten dairy farms in Salem N.Y. Manure management program Cornell University "
Science and Technology 28: 178-181.
- Campero, O., G. Kristinc, T. Cuppens y P. Mizme 2008. "Implementación del programa de mitigación de los efectos negativos del gas metano CH₄, con la ejecución de acciones integrales de energías renovables y medio ambiente en el área rural de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz." tecnologías en Desarrollo. 23: 1-36.
- Campos-Medina, E. y A. Gomez-Hinojos, M. 2009. "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE IRRADIACIÓN GAMMA." Science and Technology 11: 12-21.
- Carletti, G., P. Pavan, D. Bolzonella y C. Cavinato 2010. "Occurrence and removal of heavy metals from industrial and municipal wastewater: a comparison between MBR and conventional activated sludge processes (CAS)." Science and Technology 7: 6.

- Carranza-Álvarez, C., A. J. Alonso-Castro, M. C. Alfaro-De La Torre y R. F. García-De La Cruz 2008. "accumulation and distribution of heavy metals in scirpus americanus and typha latifolia from an artificial lagoon in san luis potosí, méxico. ." Water Air Soil Pollut: 297-309.
- Cassanha y Corey 1987. "Cadmio en el Ambiente Ocupacional. ." Environ. 5: 176.
- Cervantes, R. 2000. "Dado en palacio legislativo de san lázaro México DF. ."
- Craggs, H., F. motte y J. Ramirez 2003. "monitoreo de las descargas de aguas residuales " Enviromental Geology Group 5: 165-171.
- Chastain, J. P., M. V. Vanotti y M. M. Field 2001. "Effectiveness of liquid-solid separation for treatment of flushed dairy manure - a case study." Science and Technology 5: 145-149.
- Chen-chen, W., N. Zhi-guang, L. Yan, S. Jie y F. W. 2011. "Study on heavy metal concentrations in river sediments through the total amount evaluation method. ." Water Air Soil Pollut 5: 399-404.
- Chipasa, K. 2001. "Accumulation and fate of selected heavy metals in a biological wastewater treatment system." Waste Management 23: 135-143.
- Delgadillo 2010. "Sólidos Suspendidos Totales en Aguas Residuales." Waste Management 4: 231.
- Dominguez 2007. "El Calcio en el Agua." Waste Management 3: 48.
- Garcia-Rojas, N., P. Villanueva-Diaz, E. Campos-Medina y A. Velazquez-Rodriguez 2012. "Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales." Bioresource Technology 14: 109-129.
- Garcia, H., M. Zauahre, Y. Acosta, H. Moran, L. Toyo y N. Fernandez 2008. "Evaluación del contenido de metales pesados en lodos residuales aerobios." Science and Technology 8: 281-293.
- Giraldo, O. y A. Lozano de Yunda 2006. "Efecto del secado de los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre (Bogotá) sobre su contenido de nutrientes, metales pesados y patógenos." Science and Technology 24: 348-354.
- Gonzalez-Flores, E., M. Tornero-Campante, A., Y. Angeles-Cruz y N. Bonilla-Fernandez 2009. "CONCENTRACIÓN TOTAL Y ESPECIACIÓN DE METALES PESADOS EN BIOSÓLIDOS DE ORIGEN URBANO." Contaminacion Ambiental. 25: 15-22.

- Guitart, R. y G. Vernon 2005. "Es el plomo empleado en deportes (caza, tiro y pesca deportiva un problema de la salud pública infravalorado *Española de Salud Pública* " *Environmental Geology Group* 18: 68-71.
- Hayes 1995. "Sodio en el Agua.
." *Waste Management* 1: 43.
- Huang 1999. "Plomo en el Medio Ambiente
" *Chemical Engineering* 2: 63.
- INEGI 2003. "Instituto nacional de estadística y geografía, gobierno el estado de torreón Coahuila. México. ."
- Jin, Z., Y. Liuyan, C. Xiaofeng, C. Xiaoming y L. W. Qinglong 2012. "Spatial distribution and seasonal variation of heavy metals in water and sediments of taihu lake.
." *Environ Geol* 21: 1489-1496.
- Kanmani, S. y R. Gandhimathi 2013. "Investigation of physicochemical characteristics and heavy metal distribution profile in groundwater system around the open dumpsite." *Appl Water Sci*: 387-399.
- Kelly-Vargas, K., M. Cerro-Lopez, S. Reyna-Tellez, E. Bandala, R. y J. Sanchez-Salas, L. 2012. "Biosorption of heavy metals in polluted water, using different waste fruit cortex." *Physics and Chemistry of the Earth* 37: 26-29.
- Kolodynska, D. 2010. "The effect of the novel complexing agent in removal of heavy metal ions from waters and waste waters." *Chemical Engineering* 165: 835-845.
- L., F., L. Cong-qiang, Z. Yang y L. Zhun 2010. "Changes of hydrochemical composition and heavy metals concentration in shallow groundwater from karst hilly areas in guiyang region, china." *J. Cent. South Univ. Technol* 1216-1222.
- Laurent, J., M. Casellas y C. Dagot 2009. "Heavy metals uptake by sonicated activated sludge: Relation with floc surface properties." *Hazardous Materials* 162: 652-660.
- Lebiocka, M., a. Montusiewicz y M. Pawlowska 2011. "Variability of Heavy Metal Concentrations in the Co-digestion Process of Sewage Sludge and Landfill Leachate." *Environmental Geology Group* 5: 7.
- LGEEPA y DOF 2010. "Ley General de Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente.."
- Mancilla-Villa, O., R., H. Ortega-Escobar, M., C. Ramirez-Ayala, E. Uscanga-Mortera, R. Ramoz-Bello y A. Reyes-Ortigoza, L. 2012. "METALES PESADOS TOTALES Y ARSÉNICO EN EL AGUA PARA RIEGO DE PUEBLA Y VERACRUZ, MÉXICO." *Contaminacion Ambiental*. 28: 39-48.
- Martínez, A., J. 2002. "Nuevas alternativas para el tratamiento de subproductos. ."

- Matte, D. 2003. "Efectos del plomo en la salud de la niñez." *Environmental Geology* Group 41: 26-29.
- Maya-Marchiaoretto, M. 2010. "Heavy metals removal from anaerobically digested sludge." *Environmental Geology* Group: 152.
- Mendoza, J. A., T. Dahlin y G. Barmen 2009. "Hydrogeological and hydrochemical features of an areapolluted by heavy metals in central nicaragua.." *Hidrogeology*: 777-784.
- Metcalf y Eddy 1991. "Treatment, disposal, and reuse." *Wastewater engineering*. 7: 12-19.
- Mogollon, J. L., A. J. Ramirez, R. B. Guillen y C. Bifano 2010. "Heavy metals and organic carbon in sediments from the tuy river basin, Venezuela." *Environmental Geochemistry and health* 12: 277.
- Mondragon, V. A., D. F. Llamas-Perez, G. E. Gonzalez- Guzman, A. R. Marquez-Gonzalez, R. Padilla-Noriega, M. J. Duran-Avelar y B. Franco 2011. "Identification of enterococcus faecalis bacteria resistant to heavy metals and antibiotics in surface waters of the mololoa river in tepic, nayarit, mexico." *Environ monit Assess*: 329-340.
- OCDE 2004. "Explotaciones Lecheras y Medio Ambiente." *Chemical Engineering* 5: 43-48.
- Perez-Pardo, J., L., R. Bermudez-Savon, C. y J. Cardenas-Sanchez, R. 2009. "VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DEL ESTABLECIMIENTO DE UN BIODIGESTOR UASB EN LA DESTILERÍA NAUYÚ." *Tecnología Química*. 7: 10.
- Polat, H. y D. Erdogan 2007. "Heavy metal removal from waste waters by ion flotation." *Hazardous Materials* 148: 267-273.
- Prieto, M. Á. C., B. A. R. Lucero, M. S. Zapata, A. S. Lerma, H. A. M. Morales y M. I. C. González 2009. "Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los digestores anaeróbicos en establos lecheros en la cuenca de delicias, chihuahua." *Science and Technology* 25: 14-17.
- Rigola 1990. "Los cloruros en el Aguas Residuales." *Waste Management* 2: 145.
- Rivas Solano, O. F., R. Guillén Watson y L. Margie 2010. "Factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. ." *Science and Technology* 23: 15-19.
- Rodriguez 2009. "Conductividad eléctrica del Agua." *Waste Management* 1: 54.

SAGAR 1996. "Participación del Estado en el desarrollo Lechero
" Environmental Geology Group 3: 15-21.

Sauvé, S., W., H. Henderson y E. Allen 2000. "Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: Dependence on ph, total metal burden, and organic matter. ." Environ. 13: 187-191.

Schonfeld, W., D. Schmidt y G. Radach 2009. "Spatial and temporal variability of heavy metal concentrations in the water of the german bight.
." Hidrogeology: 209-251.

Seroa, M. y L. Motta 2000. "Monitoreo de las Descargas de Aguas Residuales " 3: 123-134.

SIAP 2010. "Importancia de la Producción de Leche en México.
." Waste Management 4: 53-62.

Sukias, J. y C. Tanner 2006. "Ponds for livestock wastes." Science and Technology 13.

Topi, T., A. Bani y S. Sulce 2013. "Risk assessment of butrinti lagoon: spatial and temporal distribution of heavy metals in different pools.
." Albanian j. agric. sci. 1: 25-31.

Valdes, P. F. 1999. "La Contaminación Por Metales Pesados en Torreón Coahuila. En Defensa del Ambiente A.C Torreón Coahuila. ."

Valle, L. y F. Cardenas 1996. "México en el sistema Agroindustrial lácteo en América del Norte." 2: 17-23.

Vanloon, J., C., J. Lichwa, D. Ruttan y J. Kinrade 1973. "THE DETERMINATION OF HEAVY METALS IN DOMESTIC SEWAGE TREATMENT PLANT WASTES." Environmental Sciences and Engineering 7: 1-10.

Wakida, F., T. , D. Lara-Ruiz, J. Temores-Peña, J. Rodriguez-Ventura, G., C. C. Diaz y E. Garcia-Flores 2007. "Heavy metals in sediments of the tecate river, mexico." Environ Geol: 637-642.

Wan-Ngah, W., S. y M. Hanafiah, A, K, M. 2008. "Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents." Bioresource Technology 99: 3935-3948.

Weaver, J., N., A. Hanson, J. Mcgaughey y F. Steinkruger, J. 2009. "DETERMINATION OF HEAVY METALS IN MUNICIPAL SEWAGE PLANT SLUDGES BY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS." Environmental Geology Group 6: 9.