

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**CALIDAD AGRÓNOMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EN UN SISTEMA
NATURAL DE DEPURACIÓN.**

POR:

JUANA GARCÍA LÓPEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO

DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. ENERO DEL 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

CALIDAD AGRÓNOMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EN UN SISTEMA
NATURAL DE DEPURACIÓN.

POR:

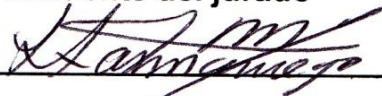
JUANA GARCÍA LÓPEZ

QUE SE SOMETE AL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

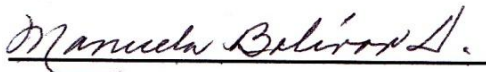
Aprobada

Presidente del jurado



Dr. Luis Samaniego Moreno

Asesor principal



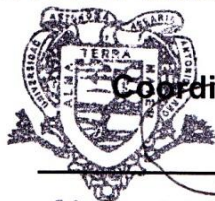
Dra. Manuela Bolívar Duarte



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Coasesor(a)
Unidad de la Agraria
"ANTONIO NARRO"

Coasesor



Coordinador de la división de ingeniería



Coordinación de Ingeniería
Mc. Euis Rodríguez Gutiérrez

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO.ENERO DEL 2013

DEDICATORIA

A DIOS:

Por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. Por la familia tan maravillosa a ti mi Dios muchas gracias...

Dedico la presente tesis a mi hijo Alejandro, que bajo del cielo, para llenar de alegría mi vida, gracias porque eres mi inspiración y fortaleza, una sonrisa tuya ilumina mi mundo y me das las fuerzas necesarias para luchar y conseguir mis metas.

Con mucho amor:

A mi padre: Miguel, gracias por enseñarme hacer una persona de bien, por tus consejos, por tus ejemplos de perseverancia, por el valor mostrado para salir adelante, pero sobre todo, por todo tu amor. Gracias papá.

A mi madre: Guadalupe, por tu apoyo en todo momento, por tus consejos, su motivación, paciencia, su comprensión, por sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por enseñarme a ser la persona quien soy, pero sobre todo, por tu amor incondicional. De todo corazón gracias mami.

A mis hermanos:

Dolores, Guadalupe, Mateo, Hugo por su apoyo incondicional, por los momentos que hemos pasado juntos, en especial gracias Lolita porque nunca me has abandonado, por ti soy lo que soy mil gracias, los quiero mucho.

A mis sobrinas: Hanna y Dayana. Dos angelitos que quiero mucho.

A mis amigos:

Miguel, Manuel, Inés, Mariana, José, Roberto, Jesús Ignacio, Rodrigo, Raúl, Abel, Brenda, Eligio, Edwin, Montero, Sandra, Gabriel, Ángel, Mercedes, Jesús Omar, José Alberto "Burrito", Yazmin, Alexander. A mis compañeros de la generación CXIV, Rolfi, Carlos, Osvaldo, Adrián, Giada, Beatriz, Alicia, Lucy, Sandra, Carlos Javier, Juan Carlos, José Napoleón, Francisco, Hugo.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecerle a mi *Alma Terra Mater*, por haberme abierto las puertas y por darme la oportunidad de realizar mis estudios en sus instalaciones y facilidades que durante mi transcurso de mi preparación me brindaron.

Al Departamento de Riego y Drenaje y a todo el personal que forma parte.

AL DR. LUIS SAMANIEGO MORENO

Por su asesoría, por compartir sus conocimientos, por su apoyo incondicional en la realización de este proyecto por su amistad y consejos.

A LA DRA. MANUELA BOLÍVAR DUARTE:

Por su apoyo, por compartir sus conocimientos, por su tiempo dedicado a la realización de esta tesis, pero sobre todo por su valiosa amistad.

AL DR. JAVIER DE JESÚS CORTÉS BRACHO:

Por sus sugerencias en el presente escrito, por su amistad y el apoyo que me brido.

A LA BIOL. SILVIA Y A LA LIC. SOCORRO:

Por su apoyo incondicional para la realización de este proyecto, por el tiempo invertido, por su comprensión para realizar este trabajo. Muchas gracias....

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 Objetivo	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.2. Aguas residuales	3
2.3. Calidad de agua para riego.....	3
2.3.1. Conductividad eléctrica	3
2.3.2. Salinidad Efectiva (SE)	4
2.3.3. Salinidad Potencial	4
2.3.4. Norma de Riverside	5
2.3.5. Índice de Scott o coeficiente de álcali	6
2.3.6. Calidad de agua por la FAO.....	6
2.4. Sistemas naturales de tratamiento en México.....	7
2.5. Métodos de aplicación de agua sobre el terreno.....	7
2.5.1. Filtro verde.....	8
2.5.2. Infiltración rápida.....	9
2.5.3. Escorrentía superficial	9
2.5.4. Lechos de turba	9
2.5.5. Lechos de arena	9
2.6. Métodos Acuáticos.....	10
2.6.1. Lagunas de estabilización	10
2.6.2. Lagunas aerobias	11
2.6.3. Lagunas anaerobias	11
2.6.4. Lagunas de oxidación facultativas	11
2.6.5. Humedales.....	12

2.6.6. Cultivos acuáticos	12
2.7. Ventajas y desventajas de los sistemas de tratamientos de aguas residuales.....	13
III. MATERIALES Y METODOS	14
3.1. Localización del sitio.....	14
3.2. Características del tratamiento	14
3.3. Características del influente del sistema.....	17
3.4. Fechas y punto de muestreo	18
3.5. Criterios de clasificación	20
3.6. Determinación de la calidad agronómica	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1. Clasificación en base a la conductividad eléctrica (CE)	28
4.2. Clasificación según la Norma de Riverside:.....	28
4.3. Clasificación según el índice de Scott o coeficiente de álkali	29
4.4. Clasificación según la calidad de agua de la FAO	30
4.5. Clasificación de acuerdo a Palacios y Aceves y al laboratorio de salinidad de Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) editado por Samaniego-Moreno (1999).....	31
V. CONCLUSIONES.....	33
VI .RECOMENDACIONES.....	34
VII. LITERATURA CITADA	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de aguas para riego según su CE (Infoagro)	4
Cuadro 2. Clasificación de la aguas de riego según su SE (INIFAP, 2009).....	4
Cuadro 3. Clasificación de las aguas de riego según su SP (Mendoza, 2009).....	5
Cuadro 4. Interpretación del coeficiente alcalimétrico (Pavón, 2003)	6
Cuadro 5. Criterio de fitotoxicidad para agua de riego según la clasificación de la FAO en cuanto a Na y Cl. (Pavón, 2003)	7
Cuadro 6. Métodos analíticos utilizados para caracterizar las aguas residuales.	20
Cuadro 7. Variables de parámetros Físico- Químicos del agua en la planta de tratamiento.....	21
Cuadro 8. Concentración de resultados del primer muestreo	22
Cuadro 9. Concentración de resultados del segundo muestreo	22
Cuadro 10. Concentración de resultados del tercer muestreo.....	22
Cuadro 11. Promedio de las muestras en relación con la CE	28
Cuadro 12. Resultados del coeficiente alcalimétrico	29
Cuadro 13. Concentración de resultados según la FAO	30
Cuadro 14. Concentración de los muestreos para determinar su calidad del agua	31
Cuadro 15. Concentración de datos según Palacios y Aceves	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Normas Riverside: Diagrama para clasificar las aguas de riego según el U.S. Salinity Laboratory Staff (Pavón, 2003).....	5
Figura 2. Fosas igualadoras de gasto	15
Figura 3. Sistema de pantanos construidos de flujo subsuperficial	15
Figura 4. Estanque de sedimentación.....	16
Figura 5. Laguna de sedimentación y almacenamiento de agua.....	16
Figura 6. Esquema del sistema de tratamiento natural de depuración de la UAAAN. (Sin escala).....	19
Figura 7. CE en cada punto del muestreo.....	23
Figura 8. pH en cada punto del muestreo.	23
Figura 9. Magnesio (Mg) en cada punto	24
Figura 10. Calcio (Ca) en cada punto.	25
Figura 11. Carbonatos (CO ₃) en cada punto.....	25
Figura 12. Bicarbonatos (HCO ₃) en cada punto.....	26
Figura 13. Cloruros (Cl) en cada punto.....	26
Figura 14. Sulfatos (SO ₄) en cada punto.....	27
Figura 15. Sodio (Na) en cada punto.	27

RESUMEN

Los sistemas naturales de tratamiento se caracterizan por su bajo costo de construcción, operación y mantenimiento, así como por el mínimo o nulo uso de energía fósil, siendo utilizados para remover cargas contaminantes en las aguas residuales. Sin embargo, el funcionamiento debe ser evaluado para conocer si la calidad del agua es apta para el riego agrícola, el objetivo principal de estudio fue analizar la calidad agronómica y en que cultivos podemos aplicar sin afectar adversamente su rendimiento del sistema natural de tratamiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Para esto, en seis puntos de muestreo y empleando técnicas de titulación y el método gravimétrico con calcinación.

Los parámetros de análisis fueron hechos en base a las sales solubles existentes en las aguas residuales tales como los cationes calcio, magnesio, sodio, potasio (Ca, Mg, Na, K), los aniones cloro, carbonatos, bicarbonatos y sulfatos (Cl, CO₃, HCO₃, SO₄)

De acuerdo a los resultados obtenidos el agua del sistema de la UAAAN en base a la CE se clasifica en altamente salina (C₃), y de acuerdo al coeficiente alcalinométrico tiene una clasificación de “mediocre”, coincidiendo con la clasificación de Riverside peligro de salinización alto y alcalinización bajo (C₃S₁), la calidad del agua de acuerdo a la FAO con respecto al catión de Na va de grave a creciente y al anión Cl es grave y de acuerdo a la clasificación de Palacios y Aceves se clasifica en altamente salina y muy alta en sodio (C₃S₄).

En base a esto se puede concluir que se debe establecer cultivos que sean tolerantes a las sales o bien establecer un buen manejo de estas aguas.

Palabras clave: Calidad agronómica del agua, sistema natural, aguas residuales.

I. INTRODUCCIÓN

A medida que la sociedad se desarrolla ocurre un incremento de las aguas residuales generadas por la población y la industria, las cuales representan un peligro potencial para la salud pública, ya que a través de estas puede ocurrir la transmisión de una serie de enfermedades, motivo por el cual se requiere un tratamiento y control adecuado antes de su vertido final a un cuerpo de agua receptor o al terreno.

La Comisión Nacional del Agua (CNA, 2011) cita que en México debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, se generan $237.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de aguas residuales de las cuales solo se tratan el 37 por ciento. Se requiere recursos para mejorar la calidad del agua. Se debe implementar propuestas innovadoras que permitan el tratamiento en diferentes condiciones ambientales y socioeconómicas.

Para Bernal, *et al.*, (2008) los métodos naturales se presentan como una opción tecnológica sostenible para las pequeñas y medianas comunidades dada su alta eficiencia, bajos costos de operación y mantenimiento y fácil construcción. Además, no sólo representa una fuente de agua, sino también una fuente potencial de entrada de nutrientes, con beneficios económicos y ambientales, convirtiéndose de este modo en una alternativa que toma fuerza a nivel mundial y que es conveniente considerar.

La interacción entre sus componentes naturales: agua, suelo, plantas, microorganismos y atmósfera, es utilizada para alcanzar los objetivos de tratamiento.

En general los sistemas naturales se clasifican en métodos de tratamiento en el terreno directo, tales como filtro verde, infiltración rápida, escorrentía superficial, lechos de turba y lechos de arena. Los métodos acuáticos se basan en la creación de un flujo controlado de agua residual, en el cual, los microorganismos y plantas transforman los contaminantes; se clasifican en: Lagunajes, humedales y cultivos acuáticos (Moreno, 2003).

En la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) cuenta con un sistema natural de tratamiento, el cual lleva 25 años funcionando y tiene como objetivo disminuir la carga contaminante proveniente de las descargas de los internados, comedor y laboratorios.

Los sistemas naturales tienen una importante contribución en la remoción de cargas contaminantes, por lo que en el sistema de la UAAAN se van a evaluar los parámetros sobre la calidad del efluente tales como Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Carbonatos (CO_3), Bicarbonatos (HCO_3), Sulfatos (SO_4), Sodio (Na), Cloruros (Cl) y Potasio (K), de igual forma los parámetros Físico-Químicos tales como pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura (T^a), sólidos disueltos (SD), con la finalidad de determinar si es apta para el riego y en cuales cultivos se puede aplicar.

I.I Objetivo

En la presente investigación se pretende realizar la evaluación de la calidad agronómica del agua residual tratada en el sistema natural de la UAAAN, así como determinar su adecuado uso para la agricultura y los cultivos en que se puedan aplicar sin afectar adversamente su rendimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de cualquier país; es el compuesto químico más abundante del planeta e indispensable para el desarrollo de la vida. Su disponibilidad es cada vez menor a causa de la contaminación por diversos medios, e incluso la de los mantos acuíferos, lo que representa un desequilibrio ambiental, económico y social (Romero-Aguilar, *et al.*, 2009).

2.2 Aguas residuales

El autor anterior define a las aguas residuales como aquellas que provienen de descargas después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, agrícolas, pecuarias, industriales.

2.3 Calidad de agua para riego

Medrano (2001) indica que cuando se estudia la calidad de agua para riego, no basta conocer su contenido en sales; si no que es necesario analizar la naturaleza de éstas, ya que dependen de su proporción de sodio, solubilidad de las sales, contenido en Boro, etcétera. Además de la composición química, hay que tener en cuenta los siguientes factores; cultivos que se van a regar, suelo y clima.

2.3.1 Conductividad eléctrica

La conductividad se define como la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica, es decir, expresa la concentración total de sales solubles contenidas en las aguas de riego.

La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens cm^{-1} (S cm^{-1}), con una magnitud de 10 elevado a -6, es decir microSiemens cm^{-1} ($\mu\text{S cm}^{-1}$), o en 10 elevado a -3, es decir, miliSiemens (mS cm^{-1}). Como se muestra en el cuadro 1 (Infoagro, <http://www.infoagro.com>).

Cuadro 1. Clasificación de aguas para riego según su CE (Infoagro)

Clasificación	CE 25° $\mu\text{S cm}^{-1}$	Concentración sal en g L^{-1}
C.1. baja salinidad	0 – 250	Menor 0.2
C.2. salinidad media	250 – 750	0.2 – 0.5
C.3. Altamente salina	750 – 2250	0.5 – 1.5
C.4. Muy altamente salina	2250 – 5000	1.5 – 3

2.3.2 Salinidad Efectiva (SE)

Para el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2009) La define como una estimación del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, la cual considera la precipitación de carbonato de calcio y de magnesio así como de sulfato de calcio, los cuales dejan de tener efecto en la presión osmótica de la solución del suelo. La salinidad efectiva es más intensa cuando el agua tiene un mayor contenido de carbonatos (CO_3) y bicarbonatos (HCO_3) como se puede observar en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de la aguas de riego según su SE (INIFAP, 2009)

Clase	Salinidad efectiva en Meq L^{-1}
Buena	Menos de 3.0
Condicionada	3 -15
No recomendable	Mayores de 15

2.3.3 Salinidad Potencial

Mendoza (2009), cita que este índice determina la cantidad de Cl^- y SO_4 que pueden ser perjudicial a los cultivos debido al incremento de la presión osmótica de la solución del suelo. Los cloruros y sulfatos son sales que se quedan en la solución del suelo, cuando la humedad aprovechable por las

plantas es menor que 50 por ciento. Como se puede ver en el cuadro 3. Se determina con la siguiente fórmula:

$$SP = Cl^- + 1/2 SO_4$$

Cuadro 3. Clasificación de las aguas de riego según su SP (Mendoza, 2009)

Clase	Salinidad efectiva en Meq L ⁻¹
Buena	Menos de 3.0
Condicionada	3 -15
No recomendable	Mayor de 15

2.3.4 Norma de Riverside

Norma de Riverside establece una relación entre la conductividad eléctrica ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$) y el índice de Relación de Absorción de Sodio (R.A.S) Según estos dos índices, se establecen categorías o clases de aguas enunciadas según la conductividad eléctrica (C) y la relación de absorción de sodio (S) afectados de un subíndice numérico (Pavón, 2003). Se puede observar la figura 1 las clasificaciones que establece esta norma.

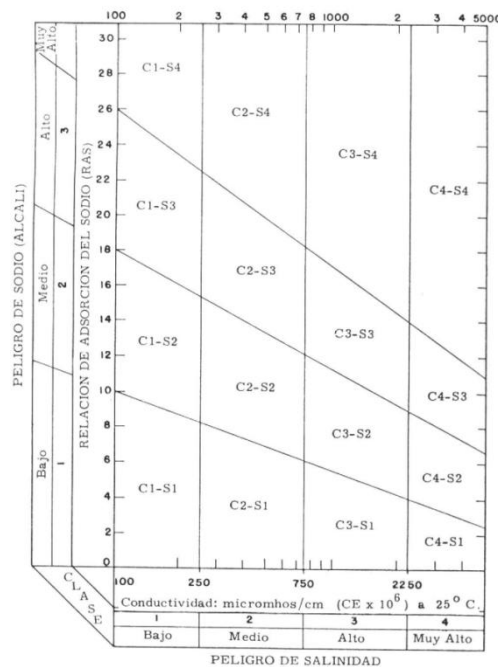


Figura 1. Normas Riverside: Diagrama para clasificar las aguas de riego según el U.S. Salinity Laboratory Staff (Pavón, 2003).

2.3.5 Índice de Scott o coeficiente de álkali

Para el autor anterior el Índice de Scott o coeficiente de álkali (K) evalúa la toxicidad que puedan producir las concentraciones de los cloruros y sulfatos, aportadas con el agua de riego y que permanecen en el suelo tras formar cloruro o sulfato de sodio, respectivamente. Se puede observar el cuadro 4 la clasificación en base al índice de Scott.

El cálculo del mismo se diferencia según los diferentes casos:

Si $Na^+ - 0.65 Cl^-$ menor o igual a cero

$$K = \frac{2049}{Cl}$$

Si cero menor que $Na^+ - 0.65 Cl^-$ mayor que $0.48 SO_4^{2-}$

$$K = \frac{6620}{Na + 2.6Cl}$$

Si cero menor que $Na^+ - 0.65 Cl^-$ mayor que $0.48 SO_4^{2-}$

$$K = \frac{662}{Na - 0.32Cl - 0.48sulfatos}$$

Cuadro 4. Interpretación del coeficiente alcalimétrico (Pavón, 2003)

Calidad de agua	Valores de K
Buena (No es necesario tomar precauciones)	>18
Tolerable (Emplear precauciones)	6-18
Mediocre (Utilizar en suelos con muy buen drenaje)	1.2 – 6
Mala (Agua no utilizable)	< 1.2

2.3.6 Calidad de agua por la FAO

Para Pavón (2003) La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) toma como base la concentración total de sales expresadas en $Meq L^{-1}$ con relación al porcentaje de sodio, es decir, este

porcentaje se calcula respecto al contenido total de cationes expresados en Meq L⁻¹ como se indica en el cuadro 5.

Cuadro 5. Criterio de fitotoxicidad para agua de riego según la clasificación de la FAO en cuanto a Na y Cl (Pavón, 2003)

Ion	Inexistente	Problema creciente	Problema grave
Na ⁺ (Meq L ⁻¹)	<3	3-9	>9
Cl ⁻ (Meq L ⁻¹)	<4	4-10	>10
B (mg L ⁻¹)	< 0.7	0.7-2.0	>2

2.4 Sistemas naturales de tratamiento en México

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las industriales son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores. En el año 2009, las 2,029 plantas en operación en el país trataron 88.1 m³ s⁻¹, es decir el 42 por ciento de los 209.1 m³ s⁻¹ recolectados en los sistemas de alcantarillado. Para el tratamiento de estas aguas, México cuenta con 2,186 plantas de tratamiento de aguas residuales en las cuales, el 24 por ciento son conformadas por los sistemas naturales (CNA, 2011).

2.5 Métodos de aplicación de agua sobre el terreno

En este tipo de tratamiento el suelo cumple dos funciones; según Moreno (2003):

1. Es receptor de las aguas residuales evitando el vertido a otros medios.
2. Es agente activo pues tanto en su superficie como en su interior se produce el proceso de depuración eliminando nutrientes, materia orgánica, microorganismos y otros tales como metales pesados o microcontaminantes orgánicos.

2.5.1 Filtro verde

Los filtros verdes son una metodología que consiste en la aplicación de un caudal controlado de agua residual sobre la superficie del terreno donde se ha instalado un cultivo (Lara, 1999). Tecnología de bajo costo y explotación que aprovecha la capacidad física (filtración según granulometría), química (asimilación de sustancias químicas como nutrientes, por plantas como chopos, carrizos, juncos, etcétera..) biológica (Metabolización por microorganismos de la materia orgánica) (López, *et al.*, 1998).

Ventajas

- Es una Tecnología de bajo coste de mantenimiento y construcción. Económica y ecológica. Sin ruidos.
- Facilita la repoblación forestal. Produce rentabilidad maderera. Se puede aprovechar en terreno no cultivable.
- Reduce el impacto ambiental de las aguas residuales rurales.
- No precisa personal especializado (técnicos) para el control de la depuradora.
- Permite instalar nidos para pájaros insectívoros.
- No produce lodos.

Limitaciones:

- Riesgo de contaminación del acuífero.
- Se precisa abundante superficie disponible (1ha. / 200 habitantes).
- Pueden producir molestias como: el mal olor, hierbas, moscas y mosquitos.
- El exceso de nitrógeno en el agua puede provocar el crecimiento desordenado de los chopos, y su falta de lignificación, lo que puede provocar rotura de ramas y copas, especialmente en zonas con vientos muy intensos y constantes.
- Restricciones climáticas: Períodos muy fríos ó muy lluviosos.

- No puede haber pozos ni tomas de agua potables cercanas.

2.5.2 Infiltración rápida

Moreno (2003) cita que la infiltración rápida se puede definir como la aplicación controlada del agua residual sobre balsas superficiales construidas en suelos de permeabilidad media a alta. La desventaja de este sistema es la tendencia a la colmatación rápida del lecho filtrante por ello el agua residual suele requerir, al menos un tratamiento primario previo a la aplicación. La depuración se produce mediante procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar al atravesar el agua residual urbana la zona no saturada.

2.5.3 Escorrentía superficial

Para el autor anterior la escorrentía superficial consiste en forzar la escorrentía del agua residual, mediante riego por circulación superficial en láminas, sobre un suelo previamente acondicionado, alternando periodos de riego con periodos de secado; dependiendo la duración de cada fase de los objetivos de tratamiento.

2.5.4 Lechos de turba

Moreno (2003) dice que este sistema está formado por lechos de turba a través de los cuales circula el agua residual. Cada lecho descansa sobre una delgada capa de arena, soportada por una capa de grava. El efluente se recoge a través de un dispositivo de drenaje situado en la base del sistema. Se producen, por tanto, procesos físicos, químicos, y biológicos en los que se elimina alrededor del 80 por ciento de DBO_5 y el 90 por ciento de sólidos en suspensión.

2.5.5 Lechos de arena

Los filtros de arena son una de las tecnologías más antiguas para la depuración de aguas residuales que se conoce. Empleados de forma adecuada consiguen llegar a niveles de depuración muy elevados. Consisten en lechos de

material granular, de tamaño de grano relativamente uniforme, adecuadamente drenados en el fondo. Se emplean generalmente como un sistema de afino de aguas tratadas previamente mediante otros sistemas como puede ser una fosa séptica (Valencia, *et al.*, 2009).

2.6 Métodos Acuáticos

Los sistemas de tratamiento acuáticos son una variante adecuada para la depuración de las aguas residuales. En ellos las plantas acuáticas funcionan como filtros biológicos removiendo sustancias tanto biodegradables como no biodegradables, nutrientes, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos. Estos sistemas han sido desarrollados debido a la calidad de los efluentes. Por otra parte las plantas cosechadas en los sistemas de tratamiento pueden ser utilizadas en la alimentación animal y en la producción de biogás, entre otras alternativas. Incluye tres tipos básicos: Lagunajes, humedales y cultivos acuáticos (Bistoni, *et al.*, 1999).

2.6.1 Lagunas de estabilización

Para Correa (2008) Las lagunas de estabilización son lugares de almacenamiento muy grandes de poca profundidad, provistas de estructuras de tierra que están abiertas al sol y al aire, cuyo fin es lograr el tratamiento de las aguas residuales a través de procesos naturales, pero controlados. Moreno (2003) cita como el proceso de depuración se da por las reacciones biológicas, químicas y físicas, que ocurren en las lagunas y que tienden a estabilizar el agua residual. Los fenómenos que se producen tienen relación con sedimentación, oxidación, fotosíntesis, digestión, aireación y evaporación. En función de los tipos de microorganismos que dependen, a su vez, de la presencia de oxígeno disuelto, las lagunas se clasifican en anaerobias, facultativas y aerobias.

2.6.2 Lagunas aerobias

Para Lara (1999) Las lagunas aerobias (lagunas de maduración u oxidación), son lagunas de poca profundidad, por lo que no permite la penetración de la luz solar en toda la columna de agua. Tiene una gran actividad fotosintética durante las horas de luz en toda la columna de agua, su profundidad varía entre 0.3 a 0.6 m recibe menor cantidad de carga orgánica.

2.6.3 Lagunas anaerobias

Estas lagunas reciben el agua bruta, por tanto son de mayor carga orgánica. La mayor parte del agua se encuentra en condiciones anaerobias y son las bacterias anaerobias las que actúan en la digestión del lodo acumulado. El propósito de estas lagunas es retener la mayor carga orgánica posible (Lara, 1999). La carga orgánica puede ser de 220 a 550 Kg DBO Dia⁻¹ por hectárea del terreno. El tiempo de retención promedio de agua es de 20 a 50 días y la profundidad varia de 2.5 a 5 metros. El material orgánico suspendido se sedimenta en el fondo descomponiéndose anaeróticamente, de cual inicialmente forma ácidos orgánicos volátiles orgánicos a bióxido de carbono y metano (Yáñez, 1993).

La digestión anaerobia es el proceso de transformación de la materia orgánica a dióxido de carbono y metano, bajo la acción de grupos específicos de bacterias las cuales transforman la materia orgánica en cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Rodríguez, <http://www.ingenieroambiental.com>).

2.6.4 Lagunas de oxidación facultativas

Correa (2008) cita que las bacterias y algas son los componentes biológicos más importantes de las lagunas facultativas y su interacción constituye el efecto ecológico sobre el proceso de auto purificación. En este tipo de lagunas, la porción inferior es anaerobia y la superior es aerobia. La porción

aerobia recibe oxígeno de la actividad fotosintética algal y de la reaeración superficial existente a través de la interfaz aire-líquido.

2.6.5 Humedales

Los humedales artificiales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración, suficiente para mantenerse en condiciones saturadas. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, además facilita la filtración y absorción de los constituyentes del agua residual permitiendo la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de la luz solar. La clasificación es en función de la presencia o no de la superficie libre de agua en contacto con la atmósfera, o bien varían en función de la circulación del agua o flujo de la misma (Estrada, 2010).

2.6.6 Cultivos acuáticos

Para Moreno (2003) Los cultivos acuáticos o sistemas de plantas acuáticas son básicamente una variante de los humedales artificiales, en la que se introduce un cultivo de plantas florantes, como los jacintos (*Eichornia sp.*) o las lentejas de agua (*Lemna sp.*), con la finalidad de eliminar algunos componentes por medio de la raíz.

2.7 Ventajas y desventajas de los sistemas de tratamientos de aguas residuales

El tratar las aguas residuales es una acción para mejorar el medio ambiente, para no dañar a las especies, a los seres vivos, se invierte para lograr que nuestros residuos no perjudiquen el entorno. En comparación con los sistemas convencionales, el sistema natural de depuración tiene escasa necesidad de personal de mantenimiento, consumo energético reducido, baja producción de lodo, alta calidad sanitaria del efluente, buena fertilidad del terreno. Entre las limitaciones requiere mayor superficie de terreno disponible, son totalmente degradable o se deben eliminar los residuos tóxicos o peligrosos restantes previamente al tratamiento natural, solo para determinados tipos de vertidos (Rodríguez, *et al.*, 1996).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del sitio

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coah., entre las coordenadas geográficas 25°21'8" Latitud Norte y 101°2'5" Longitud Oeste con una elevación de 1767 msnm. El clima de la región es seco desértico, la temperatura media anual fluctúa entre 11.28 °C y 15.29 °C siendo frecuente los frentes fríos en invierno.

3.2 Características del tratamiento

El sistema de tratamiento de la UAAAN, consta de los siguientes componentes,

- a). Dos fosas igualadoras de gasto (Figura 2) con medidas de 8 m de largo, 10 m de ancho y 0.6 m de profundidad, cada una. Con plantas acuáticas o macrófitas (también llamadas plantas hidrófitas o hidrófitas) principalmente lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).
- b). Sistema de pantanos construidos (Figura 3) cuenta con dos celdas paralelas de 40 m de largo, 10 m de ancho y 0.6 m de profundidad cada una, el flujo de aguas es subsuperficial, la planta dominante es el carrizo (*Phragmites australis*) y el lecho está constituido de grava de construcción de 0.02 m de diámetro. Una pendiente del 1 por ciento asegura el flujo del agua.



Figura 2. Fosas igualadoras de gasto



Figura 3. Sistema de pantanos construidos de flujo subsuperficial

c). Estanque de sedimentación (Figura 4) de capacidad aproximada de 250 m³ con 17.0 m de largo, 24.5 m de ancho y 0.6 m de profundidad. En esta etapa existe una variedad de plantas. La salida del agua de este proceso es de manera puntual.



Figura 4. Estanque de sedimentación.

d). Laguna de sedimentación o almacenamiento (Figura 5) de capacidad aproximada de 1098 m³, de 61 m de largo, 30 m de ancho y 0.6 m de profundidad. Su disposición final es el riego agrícola para los proyectos de prácticas agropecuarias y de emprendedores.



Figura 5. Laguna de sedimentación y almacenamiento de agua.

Los procesos en los que el sistema somete al agua residual son los siguientes:

a) Homogenización y sedimentación: en el primer componente del sistema ocurre una homogenización de gastos, esto para lograr una mayor eficiencia en la depuración y disminuir la velocidad del influente. Realiza también la sedimentación ya que en estos tanques igualadores ocurre una separación de lo sólido y líquido.

b) Depuración: La existencia de plantas como el carrizo (*Phragmites australis*), es la responsable de que en esta parte del sistema ocurra el proceso de depuración, este proceso utiliza y maximiza una serie de procesos que de manera natural se originan en el medio, creando ecosistemas que permiten la recuperación del agua y la reintroducción al ciclo de algunos excedentes. También cabe mencionar que el tipo de sustrato que tiene mucho aporte en estos sistemas, en este caso el sustrato es grava, lo cual lo caracteriza por soportar muchos organismos vivos, sobre todo las transformaciones químicas que suceden en el sustrato.

c) Filtración: a través de las dos celdas que se encuentran ubicados en los sistemas de pantanos construidos, antes de pasar al tanque de sedimentación por medio de los filtros el cual se encarga en filtrar las partículas de mayor tamaño.

d) Almacenamiento: una vez tratada, el agua se almacena en la laguna, la cual es utilizada en el desarrollo de proyectos agrícolas.

3.3 Características del influente del sistema

El influente del sistema de tratamiento procede de varias partes de la Universidad que van desde dormitorios, área del comedor y otros edificios que se dedican a la docencia, así como áreas de investigación en el área de la agronomía, por lo que está formada por una mezcla de aguas de sanitarios,

jabonosas y de laboratorios, se puede asumir que probablemente exista un aporte de sustancias químicas (orgánicas e inorgánicas).

3.4 Fechas y punto de muestreo

Para conocer el nivel de eficiencia del sistema se recolectaron y analizaron muestras del agua del sistema en tres ocasiones, siendo la primera el 22 de mayo del 2012 en 5 puntos de muestreo, para el 19 de junio del 2012 (segunda) y el 14 de noviembre del mismo año (la tercera) se consideró para estas dos fechas últimas un punto más, ya que para la entrada al tanque de sedimentación se encuentran dos celdas paralelas el punto 4 fue el que se agregó como se puede observar en la figura 6. Para el análisis de la calidad agronómica del agua se tomaron muestras simples, ya que nuestra fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado y no se ve influenciada por residuos industriales entre otras cosas.

Los puntos considerados en el muestreo son:

Punto 1. Entrada de agua al sistema.

Punto 2. Entrada al humedal artificial.

Punto 3 y 4. Entrada al tanque de sedimentación (Oriente y Poniente respectivamente). (Salida del humedal de flujo subsuperficial)

Punto 5. Entrada de la laguna de almacenamiento y salida del estanque de sedimentación.

Punto 6. Laguna de sedimentación o almacenamiento.

El muestreo se hizo con botellas de plástico y vidrio previamente esterilizadas, cabe mencionar que de cada punto se tomaron dos muestras de las cuales se trasladaron al Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN. Asimismo se midieron, “*in situ*” los parámetros de pH, CE, sólidos disueltos y T^a (HI 98130, Hanna E.U.A.), únicamente para las muestras tomadas el 15 de junio del 2012 posteriormente se

volvió hacer el análisis de CE y pH (YSI-32 y Orión 420A, respectivamente) en el laboratorio no teniendo prácticamente variación ya que la distancia desde el sistema de tratamiento y el laboratorio es de unos cientos de metros.

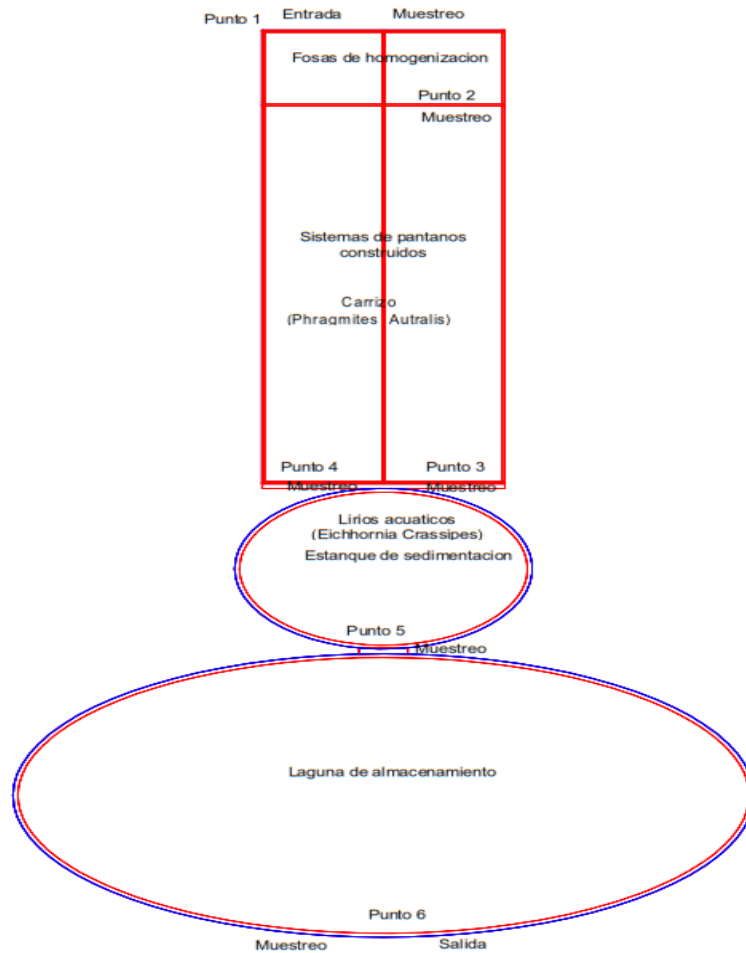


Figura 6. Esquema del sistema de tratamiento natural de depuración de la UAAAN. (Sin escala)

3.5 Criterios de clasificación

La clasificación de la calidad del agua se hará utilizando criterios de:

Conductividad eléctrica (CE), pH, Relación de Absorción de Sodio (RAS) , Por ciento de Sodio posible (PSP), Contenido de Sodio Residual (CSR), Carbonatos (CO_3), Bicarbonatos (HCO_3), Cloro (CL), Sulfatos (SO_4), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K).

3.6 Determinación de la calidad agronómica

Cuadro 6. Métodos analíticos utilizados para caracterizar las aguas residuales.

Determinación	Método
CE	Conductivímetro Modelo YSI-32
pH	Potenciómetro marca Orión Modelo 420 ^a
Mg	Mediante titulación con EDTA 0.006 N Indicador Ericromo Negro
Ca	Mediante titulación con EDTA 0.006 N Indicador Murexide
CO_3	Mediante titulación con Ácido Sulfúrico 0.005 N Indicador fenolftaleína
HCO_3	Mediante titulación con Ácido Sulfúrico. Indicador anaranjado de metilo
Cl	Mediante titulación con Nitrato de Plata 0.005 N Indicador Cromato de potasio.
Na	Método gravimétrico con calcinación.
SO_4	Método gravimétrico con calcinación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al momento del segundo muestreo el sistema contaba con un gasto en la entrada de 0.7222 L s^{-1} , mientras que para el tercer muestreo el gasto fue de 1.53 L s^{-1} , así mismo se midieron los parámetros “*in situ*” de T^a , CE, pH, SD, los cuales en el cuadro 7 son presentados.

Cuadro 7. Variables de parámetros Físico- Químicos del agua en la planta de tratamiento.

Punto de muestreo	T^a °C	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	pH	SD ppm
1	25.1	2290	7.71	1150
2	24.6	1770	6.56	890
3	21.4	1710	6.48	910
4	21.4	1840	6.81	930
5	24.4	1480	8.29	740
6	29.2	1560	7.70	780

T^a =Temperatura, CE= Conductividad Eléctrica, pH=Potencial de Hidrogeno, SD= Sólidos disueltos.

Las concentraciones de los resultados obtenidos se presentan en los cuadros 8, 9 y 10. Cada respectivo cuadro promediado con las dos muestras tomadas en cada punto, para ver la variación, también se ven reflejados los resultados ya calculados con los datos obtenidos en cada uno de los parámetros observados en el laboratorio (UAAAN).

Cuadro 8. Concentración de resultados del primer muestreo

Muestreo 1	CE (μS)	pH	Mg (Meq L⁻¹)	Ca (Meq L⁻¹)	CO₃ (Meq L⁻¹)	HCO₃ (Meq L⁻¹)	Cl (Meq L⁻¹)	SO₄ (Meq L⁻¹)	Na (Meq L⁻¹)
1	1440	7.70	0.93	0.63	1.05	8.00	5.25	8.23	6.50
2	1210	8.87	1.26	0.66	1.00	8.00	5.00	6.01	10.62
3	1570	8.29	1.50	0.42	1.05	6.75	5.50	0.16	11.80
4	1450	8.14	1.35	0.45	0.80	7.25	4.25	2.83	4.28
5	1370	7.94	0.99	0.66	0.90	7.00	5.00	2.40	6.43

Cuadro 9. Concentración de resultados del segundo muestreo

Muestreo 2	CE (μS)	pH	Mg (Meq L⁻¹)	Ca (Meq L⁻¹)	CO₃ (Meq L⁻¹)	HCO₃ (Meq L⁻¹)	Cl (Meq L⁻¹)	SO₄ (Meq L⁻¹)	Na (Meq L⁻¹)
1	2120	8.76	1.26	0.54	1.60	16.00	19.50	8.29	33.18
2	1590	7.31	1.59	1.26	1.00	18.00	11.00	6.09	15.61
3	1600	7.68	1.74	0.90	1.45	17.75	10.25	3.51	7.74
4	1630	7.62	1.08	0.69	1.50	18.00	9.25	0.22	7.56
5	1330	8.88	1.05	0.60	1.80	14.25	9.25	2.30	6.86
6	1380	8.70	1.35	0.93	1.55	11.75	9.25	4.13	7.87

Cuadro 10. Concentración de resultados del tercer muestreo

Muestreo 3	CE (μS)	pH	Mg (Meq L⁻¹)	Ca (Meq L⁻¹)	CO₃ (Meq L⁻¹)	HCO₃ (Meq L⁻¹)	Cl (Meq L⁻¹)	SO₄ (Meq L⁻¹)	Na (Meq L⁻¹)
1	1250	7.95	3.33	1.50	1.50	15.75	15.25	3.79	14.87
2	1470	7.15	3.12	1.80	S/D	17.75	14.75	0.29	14.31
3	1490	7.26	2.79	1.71	1.20	16.25	14.00	3.32	9.11
4	1510	7.04	2.64	1.65	1.25	20.00	15.75	2.28	8.43
5	1270	7.97	3.06	1.50	2.70	15.75	12.00	0.27	7.40
6	1220	8.06	3.06	1.26	1.90	18.75	11.50	2.26	6.50

Se realizó la medición de parámetros físico-químicos del agua del sistema, para evaluar el comportamiento sobre la calidad agronómica de la misma, como se puede observar en la figura 7 y 8.

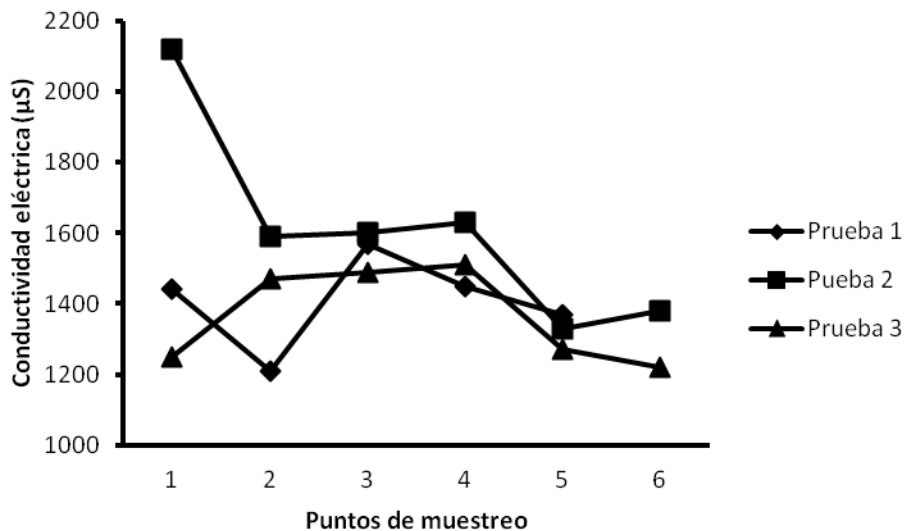


Figura 7. CE en cada punto del muestreo

Los resultados obtenidos como se puede apreciar en la figura 7, si hay una disminución de la entrada hacia la salida del sistema, en donde se encuentra mayor acumulación de sales es en el punto 1, sin embargo en el transcurso del sistema si presenta una disminución de sales.

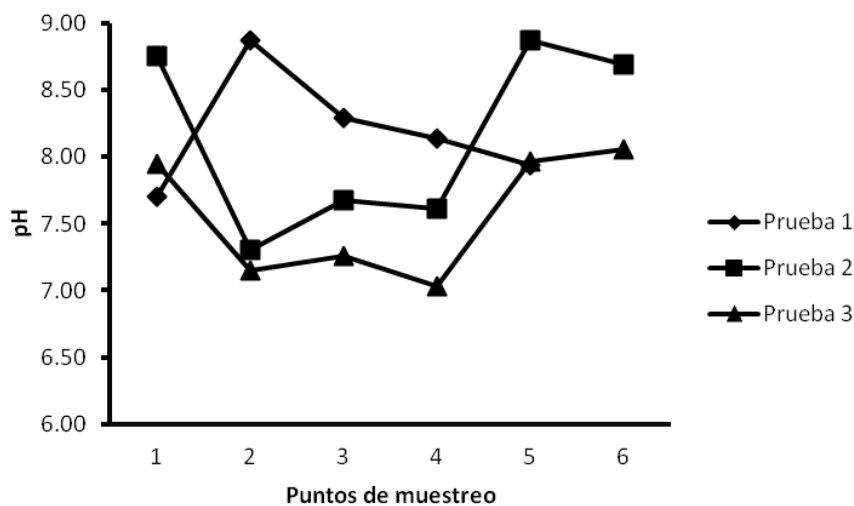


Figura 8. pH en cada punto del muestreo

Los resultados con mayor pH se encuentran en los puntos 2 y 5 (entrada del humedal superficial y en la salida del humedal subsuperficial), el efecto se debe tal vez a la velocidad de asimilación de CO₂ como fuente de carbono por parte de las algas, para realizar la fotosíntesis, es mayor que la de su producción, dejando libres los iones oxhidrilos, los cuales al acumularse aumentar el pH.

A continuación se muestran las gráficas obtenidas con los resultados arrojados en el laboratorio en el análisis sobre la calidad agronómica del agua, en base Mg y Ca señalados como se puede ver en las figuras 9 y 10.

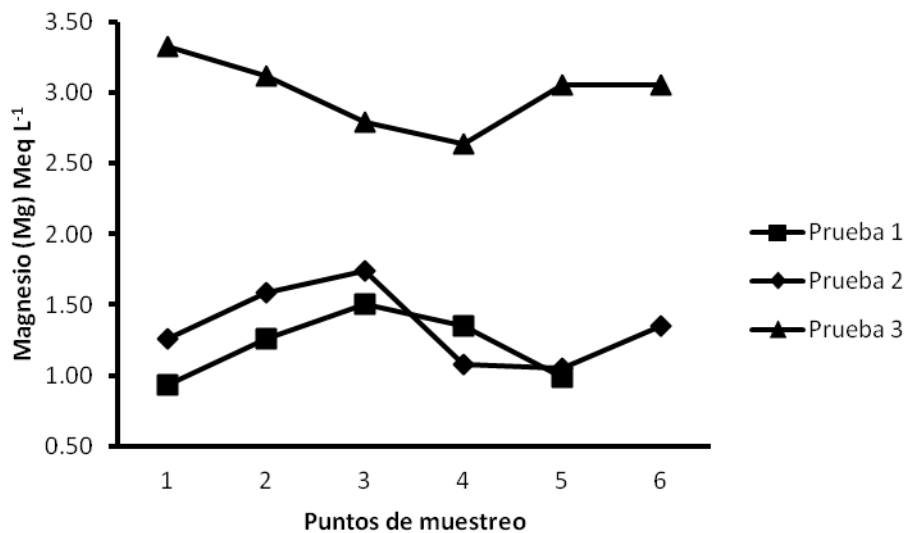


Figura 9. Magnesio (Mg) en cada punto

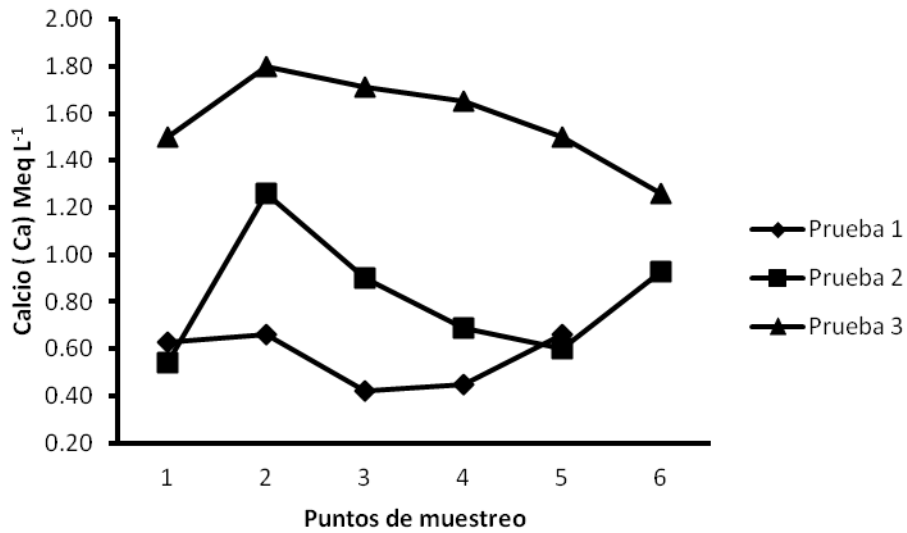


Figura 10. Calcio (Ca) en cada punto

En las figuras 11 y 12 se muestran los CO₃ y HCO₃ en ellas se puede observar el comportamiento en las tres pruebas.

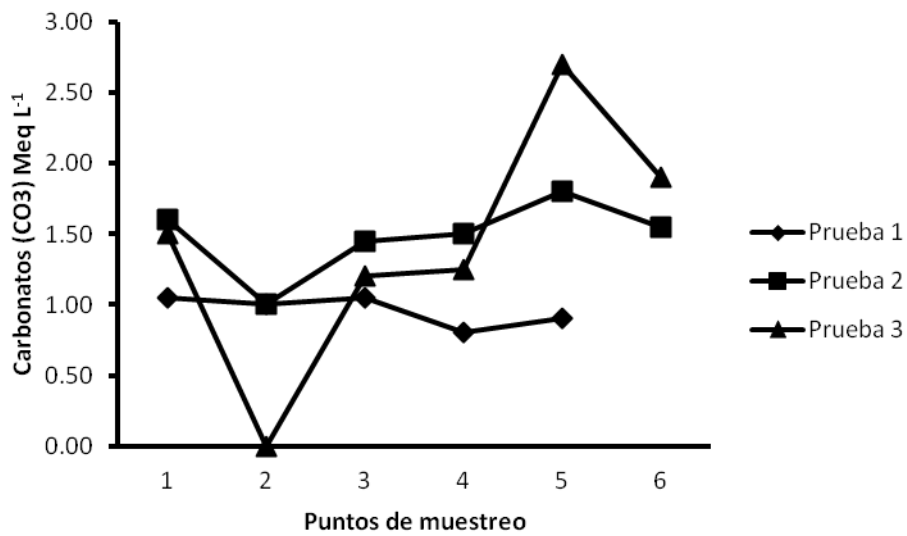


Figura 11. Carbonatos (CO₃) en cada punto.

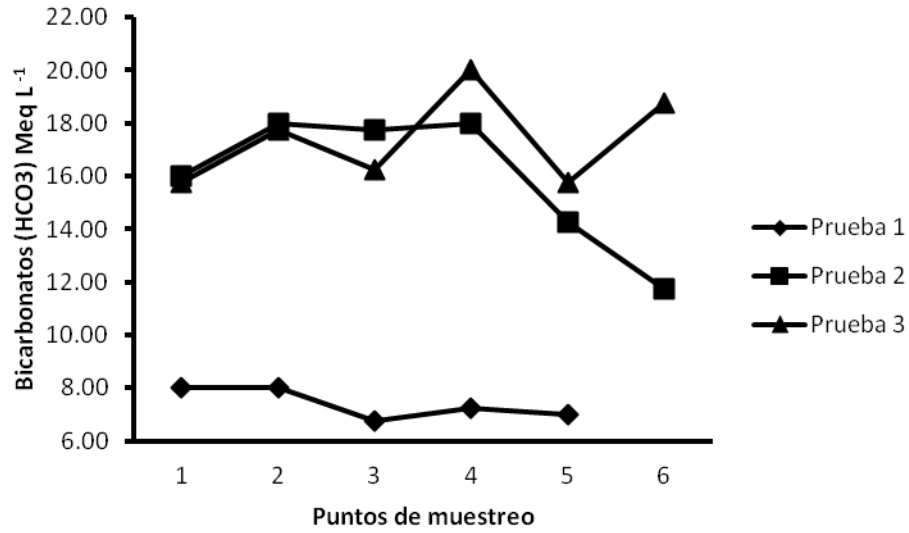


Figura 12. Bicarbonatos (HCO₃) en cada punto.

Las figuras 13 y 14 nos muestran el comportamiento de los Cl y SO₄.

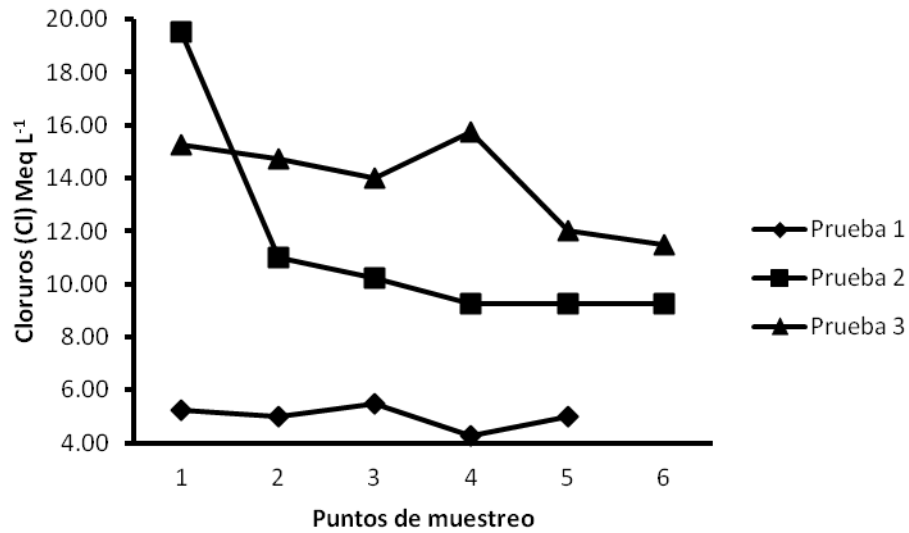


Figura 13. Cloruros (Cl) en cada punto.

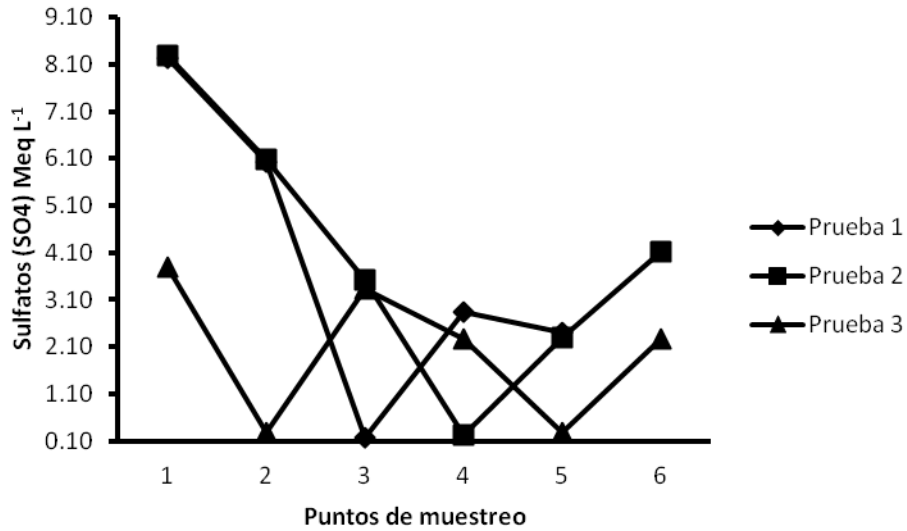


Figura 14. Sulfatos (SO₄) en cada punto.

Se puede observar que si hay una disminución de Na en los tres muestreos como se indica en la figura 15 en relación a la entrada y salida del sistema de la UAAAN.

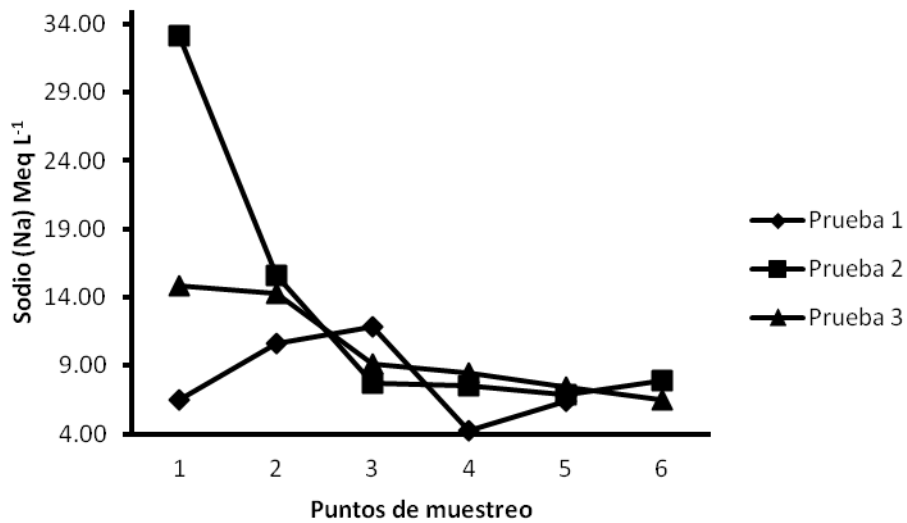


Figura 15. Sodio (Na) en cada punto.

4.1 Clasificación en base a la conductividad eléctrica (CE)

Según la clasificación de CE (INFOAGRO) y en base a los resultados obtenidos el agua del sistema es altamente salina como se puede apreciar en el cuadro 11. Cabe mencionar que este parámetro sí afecta con relación a la calidad del agua ya que entre menos CE presente es mejor la calidad del agua.

Cuadro 11. Concentración de resultados en relación con la CE

Puntos de muestreo	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
1	1601.8
2	1425.5
3	1553.3
4	1531.1
5	1321.7
6	1299.5

4.2 Clasificación según la Norma de Riverside:

El punto 1 (entrada de agua al sistema) nuestra agua es C_3S_3 , es decir, representa:

- Peligro de salinización alto
- Peligro de alcalinización alto

El punto 2 (entrada al humedal superficial) se clasifica en C_3S_2 , es decir, representa:

- Peligro de salinización alto
- Peligro de alcalinización medio

Para los puntos 3 ,4 (entrada al estanque de sedimentación, oriente y poniente respectivamente), 5 (entrada y salida respectivamente del humedal subsuperficial) y 6 (laguna de sedimentación) su clasificación del agua es C_3S_1 , es decir, representa:

- Peligro de salinización alto
- Peligro de alcalinización bajo

El sistema de la UAAAN con la clasificación de la norma de Riverside, es de salinidad alta que sí puede utilizarse para el riego de suelos con un buen drenaje, o haciéndole lavado de suelos y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.

En la entrada del sistema el agua es altamente alcalina, el cual corre peligro de acumular sodio en el suelo. Es importante añadirle materia orgánica y empleo de algunos mejoradores para corregir el exceso de sodio en el suelo y también se requiere un buen drenaje.

En la entrada del humedal superficial, el agua es media alcalina, de ahí a la entrada del tanque de sedimentación, la salida del humedal subsuperficial y la laguna de almacenamiento, presenta bajo contenido de sodio, el cual es apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo puede presentar problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

4.3 Clasificación según el índice de Scott o coeficiente de álkali

Para esta clasificación hizo la conversión a mg L^{-1} y utilizando las ecuaciones definidas por el índice de Scott ya que los resultados se expresan de esta manera como se puede observar en el cuadro 12.

Cuadro 12. Resultados del coeficiente alcalimétrico

Puntos de muestreo	Na (mg L^{-1})	Cl (mg L^{-1})	SO ₄ (mg L^{-1})	Coeficiente alcalimétrico (K)
1	418.0173	472.7067	650.2157	4.0193
2	310.5983	363.3933	396.7688	4.0193
3	219.4965	351.5756	223.8717	4.3346
4	155.2867	345.6668	170.5925	5.9277
5	158.6249	310.2138	159.2891	6.6051
6	165.1455	367.8249	306.7537	5.5706

Según Pavón (2003), la calidad del agua del sistema para los puntos 1, 2, 3, 4 y 6, el **agua es mediocre**, hay que utilizar las aguas con un muy buen drenaje. Exceptuando el Punto 5 que se encuentra en **Aguas Tolerables**, estas se pueden utilizar siempre y cuando se empleen algunas precauciones para evitar problemas futuros.

4.4 Clasificación según la calidad de agua de la FAO

Como se puede observar en la cuadro 13, con respecto al sodio si hay una disminución en lo que son las fosas igualadoras de gastos hacia la laguna de almacenamiento, de acuerdo con la clasificación se puede utilizar para el riego agrícola. Sin embargo según esta clasificación tiene problemas con los cloruros.

Cuadro 13. Concentración de resultados según la FAO

Puntos de muestreo	Na ⁺ (Meq L ⁻¹)	Cl ⁻ (Meq L ⁻¹)	Clasificación	
			Na ⁺ (Meq L ⁻¹)	Cl ⁻ (Meq L ⁻¹)
P ₁	18.1828	13.3333	Grave	Grave
P ₂	13.5103	10.2500	Grave	Grave
P ₃	9.5476	9.9167	Creciente	Grave
P ₄	6.7546	9.7500	Creciente	Grave
P ₅	6.8998	8.7500	Creciente	Grave
P ₆	7.1835	10.3750	Creciente	Grave

4.5 Clasificación de acuerdo a Palacios y Aceves y al laboratorio de salinidad de Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) editado por Samaniego-Moreno (1999).

A continuación se presenta la concentración de resultados para obtener el RAS, CSR y PSI como se puede observar en el cuadro 14.

Cuadro 14. Concentración de los muestreos para determinar su calidad del agua

Puntos de muestreo	CE (µS)	Mg (Meq L ⁻¹)	Ca (Meq L ⁻¹)	Na (Meq L ⁻¹)	*K (Meq L ⁻¹)	Cl (Meq L ⁻¹)	CO3 (Meq L ⁻¹)	HCO3 (Meq L ⁻¹)	SO4 (Meq L ⁻¹)
1	1600	1.84	0.89	18.18	13.82	13.33	1.38	13.25	6.77
2	1430	1.99	1.24	13.51	13.22	10.25	1.00	14.58	4.13
3	1550	2.01	1.01	9.55	14.50	9.92	1.23	13.58	2.33
4	1530	1.69	0.93	6.75	18.42	9.75	1.18	15.08	1.78
5	1320	1.70	0.92	6.90	15.02	8.75	1.80	12.33	1.66
6	1300	2.21	1.10	7.18	20.06	10.38	1.73	15.25	3.19

*Estimado

Clasificación de la calidad agronómica del agua del sistema según Palacios y Aceves como se muestra en el cuadro 15.

Cuadro 15. Concentración de datos según Palacios y Aceves

Punto	SE	SP	CSR	CI	PSP	RAS	Clasificación USDA
1	NR	NR	NR	NR	56.82	15.56	C ₃ S ₄
2	NR	C	NR	NR	50.25	10.89	C ₃ S ₄
3	NR	C	NR	NR	39.71	7.77	C ₃ S ₄
4	NR	C	NR	NR	26.83	5.90	C ₃ S ₄
5	NR	C	NR	NR	31.48	6.03	C ₃ S ₄
6	NR	C	NR	NR	26.37	5.59	C ₃ S ₄

NR= No recomendable C = condicionada C₃ = Alto S₄=muy alto

De acuerdo a la clasificación USDA el agua es altamente salina (C₃), no puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente, por lo tanto se debe seleccionar únicamente especies vegetales muy tolerantes a las sales.

Es inadecuada para el riego ya que es muy alta en sodio, aun cuando se haga un lavado u otros mejoradores, el empleo de esta agua es antieconómico.

Entre los cultivos que se puede establecer es la remolacha, cebada, trigo, entre otros. De los cuales son tolerantes a las sales.

La disminución de las sales durante el proceso de tratamiento del sistema posiblemente sea por:

Las plantas acuáticas existentes como el carrizo que hay y que ha invadido el sistema el cual está absorbiendo y acumulando las sales en sus tejidos.

Una aportación del tanque Imhoff, en relación a tubería con las fosas igualadoras de gasto, las cuales posiblemente están haciendo el efecto de dilución de las sales con respecto a la entrada del sistema. La temperatura promedio con la que se muestreó fue de 25 °C el cual fue favorable para el tratamiento.

V. CONCLUSIONES

El sistema de aguas residuales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en base a criterios con el que se evaluó, no es apta para el riego agrícola, ya que como se puede observar es altamente salina (C3).

Con los análisis realizados en el laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN, los resultados respecto a las sales solubles reflejan que el influente de las fosas igualadoras de gasto del sistema natural de depuración tiene una clasificación “mediocre” según coeficiente alcalinométrico, no siendo apta para el riego, coincidiendo también con la clasificación de Riverside, sin embargo durante el pase por el proceso de tratamiento, la clasificación del agua quedo como “tolerante” con respecto a las sales. Se puede decir que el sistema disminuye el nivel de salinidad, y que puede funcionar adecuadamente con un buen manejo y optado por cultivos tolerantes a la salinidad. El agua en general es baja en sodio teniéndose poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

VI .RECOMENDACIONES

En el sistema, es necesario que se incluyan parámetros de análisis de la calidad del agua de riego, con el fin de ver si mejora su calidad en función del tiempo y establecer los puntos estratégicos de muestreo.

Elaborar y operar un programa de operación y mantenimiento eficiente, lo que proporcionará un nivel más elevado de tratamiento en el sistema.

Colocar contenedores en los laboratorios para evitar la descarga directa al drenaje de materiales o sustancias tóxicas utilizadas en el laboratorio.

Para los cultivos muy sensibles se puede hacer rotación de cultivos en la cual hay que hacer una eliminación de sales del suelo, es factible ya que la mayoría de las que se aportan con el agua de riego son solubles y por ende fácilmente lavables con la misma agua que el cultivo no utiliza.

La calidad del agua residual puede aumentar, en cuanto al aspecto agronómico, si la mezclamos con aguas de mejor calidad, obtendríamos una dilución de sales, por ejemplo la de un pozo, esto sería posible, ya que las aguas residuales contemplan la mayor concentración de sales a diferencia de la de un pozo, es decir contiene menos sales.

VII. LITERATURA CITADA

- Bernal, D. P., Cardona D. A., Galvis A., Peña M.R., 2008. Guía de selección de técnicas para el tratamiento de aguas residuales domesticas por métodos naturales. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Cinara, Universidad del Valle. Pp. 20
- Bistoni, M. A., Hued A., Videla M., Sagretti L. 1999. Efectos de la calidad del agua sobre las comunidades icticas de la región central de Argentina. Revista Chilena de Historia Natural. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2011. Infraestructura de agua potable y alcantarillado. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del Agua en México. Edición 2011. Pp. 73
- Correa, G. 2008. Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia, Colombia. Tesis para obtener el grado de maestría en ingeniería sanitaria. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Pp.10-15
- Estrada, Y. I. 2010. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Escuela de Química Pereira. Pp. 45
- Infoagro. Conductividad eléctrica. En línea: http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_conductividad_electrica.asp?k=53. Consultado en diciembre del 2012.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2009. Correlación entre indicadores de la calidad del agua para uso agrícola. Folleto técnico num.66. Pp. 20
- Lara, A. J. 1999. Depuración de las aguas residuales municipales con humedales artificiales. Tesis Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. Pp. 4-1

- López, C., Germán C., Francisco A., Palomares C. 1998. Filtros verdes en pequeños municipios. Congreso del agua. Escuela Universitaria de Ciencias de la Salud. Universidad de Zaragoza. Pp. 3
- Medrano, W. 2001. Evaluación de la calidad de aguas residuales de la planta de tratamiento de alba rancho (SEMAPA) confines de riego. Tesis Maestría Profesional en "Levantamiento de Recursos Hídricos" (Manejo y conservación de Cuencas). Pp. 5
- Mendoza, I. 2009. Calidad de las Aguas Residuales Urbano- Industriales que Riegan el Valle de Mezquital, Hidalgo, México. Tesis para obtener el grado de Dra. en ciencias. Pp. 33. Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo. Edo. México.
- Moreno, L. 2003. La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno. Instituto Geológico y Minero de España. Pp. 13-23. (serie hidrológica y aguas subterráneas Núm. 4). Publicaciones del instituto geológico y minero de España.
- Pavón, B. 2003. Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. Universidad de Castilla - la mancha. Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícola de ciudad real. Pp. 62-65
- Rodríguez, A. C., Díaz M., Guerra L., Hernández J.M. 1996. Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales. Centro de Investigaciones Hidráulicas. Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría" (ISPJAE). Facultad de Ingeniería Química. Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría"(ISPJAE).
- Rodríguez, A. J. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. En línea: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>. Consultado en Noviembre-2012.
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz A., Sánchez-Salinas E., Ortiz-Hernández M.A. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3) 157-167.
- Yáñez, F. 1993. Lagunas de estabilización. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Pp. 6
- Valencia, V., Sánchez T. L. D., Aponte A. 2009. Evaluación de la filtración lenta en arena como tratamiento terciario del agua residual doméstica con fines de reusó agropecuario y piscícola. Ingeniería de recursos naturales y del ambiente. Núm. 8. Pp 38-49. Universidad del Valle.