

**EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS
RESIDUALES SALINAS MEDIANTE LA INOCULACIÓN DE
MICROORGANISMOS HALOTOLERANTES**

**EDGARDO MARIO CASTELLANO QUINTERO
LUIS ALFONSO NARANJO SARMIENTO**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA – MAGDALENA
2009**

**EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS
RESIDUALES SALINAS MEDIANTE LA INOCULACIÓN DE
MICROORGANISMOS HALOTOLERANTES**

**EDGARDO MARIO CASTELLANO QUINTERO
LUIS ALFONSO NARANJO SARMIENTO**



**Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Ambiental y Sanitario**

**Director
Isaac Romero Borja
Biólogo**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA – MAGDALENA
2009**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Santa Marta, 02 de Octubre de 2009.

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en el recorrido del camino y permitirme lograr una nueva meta en mi vida.

A mi Padre Luis, por su apoyo en los momentos importantes de mi vida.

A mis Hermanos David y Diana, que con su tenacidad me han motivado para ser como ellos, grandes personas y profesionales.

A mi Novia y amiga María Fernanda, que en cada instante los últimos años ha sido un soporte y motivación para ser una mejor persona.

A mis compañeros y amigos,

Y a esa mujer, que con su inagotable esfuerzo y apoyo en todo momento, me enseñó a perseverar para lograr cualquier meta en la vida, a la que le debo la mayor parte de mi educación y formación personal, Toda la vida estaré agradecido contigo MAMÁ.

EDGARDO MARIO CASTELLANO QUINTERO





Dedico todo mi esfuerzo a Dios, Nuestro Señor, quién alimentó mis deseos de superarme por el bien propio y el de mi familia.

A mi gran familia, desde mis adorables abuelos hasta mi encantador sobrino Carlos Andrés. Muchas gracias por enseñarme tantos valores, me sirvieron muchísimo en los momentos de mayor debilidad. Gracias especialmente a mis padres, Luis Alfonso Naranjo Cano y Martha Luz Sarmiento Pachón, y mis hermanos Danny, Maryuris, Stephanie, Andrés y Melissa, a quienes les debo mi educación e inspiraron mi desempeño en la Universidad del Magdalena.

A mis amigos del barrio y de la U, por compartir conmigo, acompañarme y crecer juntos en esta gran experiencia, la más importante de mi vida.

Dios, Padre Todopoderoso, Todo Honor y toda Gloria, por los siglos de los siglos, Amén.

LUIS ALFONSO NARANJO SARMIENTO

AGRADECIMIENTOS

El éxito de este trabajo no hubiera sido posible sin los aportes técnicos, teóricos y los buenos deseos de diferentes personas y entidades. A continuación los presentamos para resaltarlos no sin antes, agradecer su esfuerzo desinteresado por ayudarnos en esta última etapa formal como estudiantes de pregrado de la Universidad del Magdalena. ¡**Muchas Gracias!**

- Universidad del Magdalena: Nuestro Campus, donde inició todo este gran proceso del cual nos sentimos orgullosos. Al Rector Dr. Ruthber Escorcia Caballero, al Vicerrector de Investigación, Dr. Jose Henry Escobar y al Coordinador de Grupos y Proyectos, Dr Rasine Ravelo, por cedernos y adecuar amablemente las instalaciones donde desarrollamos nuestro proyecto. También resaltamos la labor de la Coordinación del Área Agrícola de la Granja, en cabeza del Ing. Pedro Mercado, quién nos permitió el ingreso para la extracción del agua residual.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés –INVEMAR–: Por su generoso préstamo de las bacterias a emplear en el proyecto de investigación. Muy especialmente a la Coordinadora de Laboratorios, Dra. Silvia Narváez
- Isaac Romero Borja, Coordinador del Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad del Magdalena: Más que un Director, un profesor o un asesor fue nuestro amigo incondicional, en quién nos apoyamos cuando no podíamos más, quién aportó su inmenso y valioso conocimiento para guiarnos, quién abrió las puertas del laboratorio varios domingos y festivos con tal de mejorar aspectos fundamentales de la tesis y fue quién recurrió a sus propios recursos económicos para comprar las piezas más importantes del sistema de tratamiento. ¡Mil Gracias Isaac!



- Dirección de Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria: El apoyo técnico y logístico brindado por el Ing. Álvaro Castillo Miranda y la Ing. Daissy Torregroza Meléndez, nos facilitaron mucho el desarrollo del proyecto.
- Muy especialmente a los Ingenieros Faisal Bernal y Yiniva Camargo, por sus correcciones y apreciaciones del Anteproyecto, que mejoraron notablemente las bases de la Tesis. Agradecemos muchísimo la confianza de la Ing. Yiniva Camargo para cedernos todo el material necesario para la construcción de los reactores.
- Nuestros compañeros y amigos de la memorable cohorte 2003-2 y todos aquellos que se sienten parte de ella: A los Ing. Claro R., Julio A., Darwin S., Julian V., Andrés V., Samir H., Weesmery N., Pedro T., Katy H., Annet C., Luis P., Adys V., Johana M., William P., Arnold D., Carlos R., Javier F., y a todos.

IAS
00050
8/1

CONTENIDO

	pág.
1. PRESENTACIÓN.....	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3. ESTADO DE DESARROLLO O ANTECEDENTES	11
4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	14
5. JUSTIFICACIÓN.....	15
6. OBJETIVOS.....	16
6.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	17
7.1 MONTAJE DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS AIREADO.....	17
7.2 SUSTRATO DEL PROCESO BIOLÓGICO	18

7.3 INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS EN LOS REACTORES	18
7.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	19
8. LIMITACIONES	22
9. DESARROLLO DEL TRABAJO	23
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
10.1 RESULTADOS CONCENTRACIÓN DE SAL DE 1%	24
10.2 RESULTADOS CONCENTRACIÓN DE SAL DE 3%	27
10.3 RESULTADOS CONCENTRACIÓN DE SAL DE 5%	29
10.4 CONSOLIDADO DE DATOS EN TÉRMINOS DE PORCENTAJES REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL SISTEMA	31
11. CONCLUSIONES	36
12. RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFIA	38
ANEXOS	42

ANEXO A. DATOS DE VARIABLES MULTIPARAMÉTRICAS.....	42
ANEXO B. VALORES DE REMOCIÓN DE DQO (mg/l).....	52
ANEXO C. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN	65

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla N° 1. Programa de muestreo	21
Tabla N° 2. Cronograma de Actividades.	23
Tabla N° 3. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria <i>Bacillus Cereus</i> a una concentración de sal del 1%.	24
Tabla N° 4. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria <i>Pseudomonas Aeruginosa</i> a una concentración de sal del 1%.	24
Tabla N° 5. Resultados diseño unifactorial para los reactores de Lodos Activados a una concentración de sal del 1%.	25
Tabla N° 6. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria <i>Bacillus Cereus</i> a una concentración de sal del 3%.	27
Tabla N° 7. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria <i>Pseudomonas Aeruginosa</i> a una concentración de sal del 3%.	27
Tabla N° 8. Resultados diseño unifactorial para los reactores de Lodos Activados a una concentración de sal del 3%.	27
Tabla N° 9. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria <i>Bacillus Cereus</i> a una concentración de sal del 5%.	29
Tabla N° 10. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria <i>Pseudomonas Aeruginosa</i> a una concentración de sal del 5%.	29
Tabla N° 11. Resultados diseño unifactorial para los reactores de Lodos Activados a una concentración de sal del 5%.	29
Tabla N° 12. Comparación de niveles según Técnica de Tukey.	32
Tabla N° 13. Resultados diseño factorial 3 x 3 evaluando tipo de grupo bacteriano Vs Concentración de sal.	33



LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura N° 1. Comportamiento de la remoción de materia orgánica en los reactores de lodos activados a una concentración de NaCl del 1%.....	26
Figura N° 2. Comportamiento de la remoción de materia orgánica en los reactores de lodos activados a una concentración de NaCl del 3%.....	28
Figura N° 3. Comportamiento de la remoción de materia orgánica en los reactores de lodos activados a una concentración de NaCl del 5%.....	30
Figura N° 4. Remoción de DQO en los reactores a concentraciones de sal del 1%, 3%, 5%.....	31
Figura N° 5. Comportamiento de la DBO en las diferentes concentraciones de NaCl.	34

1. PRESENTACIÓN

Las tecnologías ambientales que se han desarrollado para el tratamiento de aguas residuales salinas se han alejado de los procesos biológicos debido a la fuerte inhibición de la actividad celular a causa de la alta concentración de sal. Por ello se ha impulsado el uso de tratamientos fisicoquímicos para efluentes salinos, con el fin de remover altas concentraciones de materia orgánica y alta salinidad. El alto costo que requiere esta tecnología, ha permitido desarrollar otras nuevas formas de depurar aguas residuales con características salinas, a través de la implementación de bacterias capaces de permanecer bajo altas concentraciones de sales sin inhibir su dinámica de degradación.

Esta investigación pretende determinar la variabilidad de la tasa de remoción de DQO entre dos bacterias halotolerantes a diferentes concentraciones de sal en los reactores y establecer cuál resulta ser más eficiente en el proceso de degradación de materia orgánica. Las investigaciones acerca del tratamiento biológico de efluentes salinos se centran en la inoculación de microorganismos halófilos como una técnica experimental para el tratamiento de este tipo de agua residual en las industrias, ya que sin un efectivo tratamiento produce impactos ambientales negativos de gran magnitud.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las diversas plantas de tratamiento de aguas residuales salinas fundamentan su eficiencia en procesos biológicos alejados significativamente de la realidad, debido al uso de sistemas con microorganismos altamente capaces de degradar materia orgánica pero que no resisten las altas concentraciones de sales diluidas en este tipo de agua residual industrial, por lo que sufren plasmólisis y pérdida de la actividad celular (Kargi y Dinçer, 2000; Lefebvre y Moletta, 2006; Uygur, 2006; Karapinar y Erten, 2007). Esta reacción de los microorganismos no permite la adhesión de los sólidos en suspensión que se generan en el proceso y como consecuencia ocasiona problemas en la decantación secundaria (Ronzano y Dapena, 1995).

Con el objetivo de mitigar los impactos en la cinética de biodegradación, los tratamientos biológicos convencionales son operados con una baja relación Alimento / Microorganismos cuando se tratan aguas residuales con alta salinidad; aún así, la inhibición proporcionada por la concentración de sal ($> 1\%$) es determinante en los tratamientos biológicos, reduciendo considerablemente la tasa de remoción de Demanda Química de Oxígeno (Dan et al., 2002).

Ante la situación descrita, si las aguas residuales son descargadas al ambiente sin un efectivo tratamiento, causan daños muy serios, expresados en la contaminación del suelo, de las aguas superficiales y de los acuíferos (Lefebvre y Moletta, 2006). El exceso de sales solubles en el suelo reduce el poder de infiltración, puesto que estas sales actúan mediante presión osmótica, frenando la absorción tanto del agua como de otros iones presentes en el suelo; también disminuye la capacidad del mismo para mantener una cubierta vegetal (Seoáñez, 1999; Custodio, 1996). El incremento de sal impide el desarrollo de un cultivo, hace disminuir el rendimiento del mismo y eventualmente elimina las plantas

cultivadas, volviendo improductivo el terreno (Miller, 1994).

La descarga de aguas residuales, con altas concentraciones de sal y sin previo tratamiento, sobre un cuerpo de agua superficial genera una alta demanda de oxígeno, pero también inhibe la actividad bacteriana para la degradación de materia orgánica ocasionando muerte de especies existentes en el ecosistema y disminuyendo la capacidad de depuración natural del cuerpo hídrico.

Siendo consecuentes con lo expresado planteamos los interrogantes que nos llevarán al desarrollo de esta investigación, ¿Cuál de las bacterias halotolerantes estudiadas consume mayor cantidad de materia orgánica?, ¿Cómo se ve afectada la habilidad de las bacterias para degradar la materia orgánica cuando se exponen a diferentes condiciones de sal en los reactores?, ¿Qué tan efectiva es la inoculación de bacterias halófilas con respecto al sistema de lodos activados convencional?, ¿Cuál de los factores analizados (Cultivo Bacteriano – Concentración de Sal) es el más influyente sobre la eficiencia de remoción de DQO en un Sistema de Lodos Activados?

3. ESTADO DE DESARROLLO O ANTECEDENTES

Las tecnologías ambientales que se han desarrollado para el tratamiento de aguas residuales salinas se han alejado de los procesos biológicos debido a la fuerte inhibición de la actividad celular a causa de la alta concentración de sales. Por ello se ha impulsado el uso de tratamientos fisicoquímicos para efluentes salinos, con el fin de remover altas concentraciones de materia orgánica y alta salinidad.

Las técnicas por membrana son la tecnología fisicoquímica más eficaz en la remoción de DQO coloidal y sales (principalmente NaCl). Se destacan la ultrafiltración y la ósmosis inversa. En esta última técnica, según Baird (2001) el agua es forzada bajo presión a atravesar una membrana semipermeable que los iones no pueden cruzar. Sridhar et al. (2002) obtuvo una remoción del 99.4% de sales y el 98.2% de DQO aplicando ósmosis inversa a un efluente de una industria procesadora de aceite. Esta tecnología tiene la ventaja de remover más material orgánico disuelto que otras técnicas de desmineralización y aunque los porcentajes de remoción son bastante elevados, tiene la limitante de que es muy costoso su mantenimiento y requiere de una mano de obra especializada en tratamiento de aguas residuales industriales (Tchobanoglous y Burton, 1991). Es por ello que han surgido técnicas alternativas a costos razonables y una eficaz remoción de DQO. Dan et al. (2002) aplicó un reactor biológico de membrana para depurar aguas residuales con 3.2% de sales alcanzando porcentajes de remoción de DQO del 90%, aproximadamente. Su investigación reporta que es más eficiente la utilización del reactor biológico de membrana cultivado con levadura ya que requiere casi diez veces menos presión transmembrana que el segundo reactor biológico de membrana cultivado con bacterias tolerantes a las altas concentraciones de sal.

Aunque estas tecnologías estén en un exhaustivo proceso de investigación para su aplicación, han demostrado ser muy eficaces en la remoción de nutrientes

específicos.

Kargi y Dinçer (2000) usaron un tipo de agua residual sintética en un reactor aireado para simular la degradación de materia orgánica con una operación tipo Fed-Batch. Se encontró que al aumentar las concentraciones de sal del 1% al 5%, el reactor de lodos activados cultivado con una bacteria halófila llamada *Halobacter Halobium*, mantuvo una tasa de remoción de DQO por encima del 80%, mientras que el segundo reactor de lodos activados libre de *Halobacter* vio seriamente afectado su desempeño, llegando a una tasa de remoción de DQO del 58% aproximadamente. Aunque la alta concentración de sal inhibe la actividad celular, se ha encontrado que concentraciones por debajo del 1% estimulan especialmente a las bacterias degradadoras de materia orgánica. Uygur (2006) observó que el estímulo se dio en el reactor de lodos activados libre de *Halobacter* y en el reactor de lodos activados suplementado con *Halobacter*. Entonces, hubo un aumento en la remoción de DQO para ambos reactores con una concentración de sal al 1%.

Lefebvre et al. (2005) empleó un tratamiento biológico halófilo para las aguas residuales de una curtiembre a través de un reactor tipo Batch en serie, obteniendo porcentajes de remoción de DQO del 95% aproximadamente, para una concentración de sales del 3.4%. Se encontró que el factor más influyente en el desempeño del reactor fue precisamente la concentración de sal, por encima de otros factores tales como el tiempo de retención hidráulico y la carga orgánica del agua residual; el estudio también reveló que las bacterias nitrificantes fueron las más sensibles a las modificaciones hechas en el reactor. Rosa et al. (1998) realizó un estudio para determinar la sensibilidad de las bacterias responsables de la nitrificación en un Filtro Biológico Sumergido Aireado para depurar agua residual sintética con una concentración de 50 gL^{-1} de NaCl. El porcentaje de remoción de materia orgánica del reactor fue del 94% con una operación en ausencia de sales, mientras que al aumentar la concentración de NaCl hasta los 50 gL^{-1} , la eficiencia del reactor, en términos de remoción de materia orgánica, fue del 48%

aproximadamente. Según Ronzano y Dapena (1995), esta sensibilidad de los microorganismos responsables de la nitrificación se hace más evidente debido a su baja densidad poblacional. Kargi y Dinçer (1998) estudiaron los efectos de variables importantes en el sistema de Biodiscos (RBC) tales como la inclusión de *Halobacter*, la relación Área superficial de los discos / Caudal de agua residual, tasa de DQO y la concentración de sal, sobre la eficiencia de remoción de materia orgánica, expresada como DQO. Los resultados obtenidos muestran la variación en la remoción de DQO entre un RBC cultivado con *Halobacter* y otro RBC sin la bacteria halófila, con diferentes concentraciones de sal (1-10%). La presencia de la bacteria halófila en el sistema aumenta las tasas de remoción de DQO, especialmente cuando existen concentraciones de sal por encima del 3%.

La inoculación de dos microorganismos halotolerantes diferentes en un mismo reactor fue estudiado por Kubo et al., 2001. En su investigación se utilizó un reactor tipo Batch con dos microorganismos tolerantes a las altas concentraciones de sales, identificados como *Staphylococcus* sp. y *Bacillus cereus*, reportando un incremento en el rendimiento del sistema de tratamiento biológico de aguas residuales salinas, alcanzando valores de remoción de DQO del 90% aproximadamente, con un 15% de concentraciones de sales.

A nivel nacional se realizó un estudio referente a la degradación de materia orgánica en agua residual salina desarrollado por Abdulaziz, (2005). En su investigación se identificaron cepas bacterianas con características halófilas propias del ambiente marino y otras cepas propias de ambientes con baja salinidad definidas como dulceacuícolas para utilizarlas en el proceso de degradación de materia orgánica en el agua residual salina de la Isla de San Andrés. El estudio científico concluye que las bacterias halófilas en un medio preparado con agua de mar natural fueron las responsables del consumo de la mayor cantidad de materia orgánica en el menor tiempo.

4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Los microorganismos capaces de crecer en ausencia de sal, pero que soportan concentraciones variables son considerados halotolerantes y se incluyen aquí muchas levaduras, hongos filamentosos, algas eucariotas, algas verde-azuladas y bacterias y aquellos seres con necesidad específica de sal son denominados halófilos (Grant y Long, 1989).

La mayoría de las experiencias trabajadas por investigadores especializados se han desarrollado con operaciones derivadas del Reactor tipo Batch, manejando tiempos discontinuos entre cada prueba experimental. Nuestro proyecto pretende establecer el comportamiento de la remoción de materia orgánica, expresada en DQO, con un reactor de flujo continuo a escala de laboratorio, ya que este procedimiento es más cercano a la realidad. El tratamiento biológico aerobio a emplear será Lodos Activados, el cual involucra la producción de una masa activa de microorganismos capaces de estabilizar de manera aerobia un desecho (Crites y Tchobanoglous, 2000; Winkler, 2005). Karapinar y Erten (2007) trabajaron con un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente de Lecho Fijo de forma continua evaluando la capacidad de remoción de materia orgánica de la bacteria *Halanaerobium Lacusrosei*, encontrando un máximo porcentaje de remoción (82% aproximadamente) cuando la concentración de sales fue igual a 3%.

Lefebvre y Moletta, (2006) precisan que los procesos biológicos anaerobios manejan rangos de salinidad inferiores, comparados con los procesos biológicos aerobios, para lograr remociones similares de materia orgánica. Los procesos aerobios son comúnmente usados como la principal técnica para la reducción de DQO en aguas residuales domésticas, debido a que las reacciones aerobias son rápidas, normalmente diez veces más veloces que las reacciones anaerobias (Sayles y Suidan, 1993).

5. JUSTIFICACIÓN

Muchas son las empresas que generan efluentes salinos en el Departamento del Magdalena como lo son las queseras, las curtiembres y los mataderos, los cuales aportan grandes cantidades de carga que no tienen un adecuado tratamiento, por ello resulta pertinente desarrollar esta investigación para tener un campo de aplicación sobre este tipo de problemática

En la búsqueda de mejorar los procesos productivos de las industrias se ha hecho necesario implementar tecnologías para el aprovechamiento de la materia prima y de los subproductos generados, contribuyendo así a la conservación del ambiente y a la protección de una gran biodiversidad amenazada por la contaminación antrópica buscando minimizar los impactos ambientales negativos generados por el vertimiento de aguas residuales salinas.

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de la inoculación de microorganismos halotolerantes mediante la remoción de materia orgánica en sistemas de tratamiento de aguas residuales salinas.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la capacidad de degradación de materia orgánica de las bacterias halotolerantes *Bacillus cereus* y *Pseudomonas Aeruginosa*.
- Determinar los efectos de la concentración de sal sobre un sistema de tratamiento de lodos activados a escala de laboratorio con y sin inoculación de Microorganismos Halotolerantes.
- Analizar la influencia de la concentración de sal y del Cultivo bacteriano sobre la eficiencia de Remoción de DQO en un sistema de Lodos Activados

7. DISEÑO METODOLÓGICO

La presente investigación se basó en las técnicas de activación de reactores de lodos activados a escala laboratorio de Ramírez T., (1988), en el programa de muestreo y diseño del sistema de tratamiento de lodos activados sugerido por Ramalho, (1996) y en el diseño experimental aplicado que hace parte de los descritos en Gutiérrez y De la Vara, (2004).

7.1 MONTAJE DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS AIREADO

7.1.1 Diseño y Montaje de los Reactores de Laboratorio.

Para el desarrollo de la investigación se requirieron nueve (9) reactores de similares características con una capacidad total de 10 litros en la zona de aireación y 4.3 litros aproximadamente como zona de sedimentación (ver anexo C). Los reactores funcionaron en paralelo con un flujo continuo. El agua residual en los reactores fue aireada por bombas de aire con un caudal de 2.2 litros por minuto y provistas de piedras difusoras de burbuja fina.

7.1.2 Montaje del Tanque Distribuidor y Sedimentador Secundario.

Con base en un proceso convencional de Lodos Activados, se operó en un intervalo de tiempo de retención hidráulico entre 9 horas a 5.5 horas, con un caudal promedio de 14.4 litros por hora, por cada reactor. Al calcular la cantidad de agua residual necesaria para satisfacer la demanda diaria se requirió un volumen promedio de agua de 350 litros diarios. Por lo cual el volumen del Tanque Distribuidor (TK) fue de 500 litros. La dosificación del tanque distribuidor hacia cada reactor se hizo por gravedad, para su circulación se utilizaron mangueras de $\frac{1}{4}$ " y válvulas de globo para controlar el caudal.

7.2 SUSTRATO DEL PROCESO BIOLÓGICO

7.2.1 Obtención y Composición del Agua Residual Salina.

El agua residual fue extraída del registro ubicado en la Granja de la Universidad del Magdalena y de un manhole en las afueras del Campus, con una frecuencia de una vez al día manteniendo un flujo continuo. Con la adición de sal común se aumentó la concentración de sal hasta llevarla al 1%, 3% y 5%. La adición de NaCl se realizó en el Tanque Distribuidor (TK) garantizando la misma composición del agua residual salina en los reactores.

7.3 INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS EN LOS REACTORES

7.3.1 Cultivo de Lodos activados.

El cultivo de Lodos Activados de los nueve reactores se obtuvo a través de las técnicas de activación sugeridas por Ramírez, 1988. Que se describen en el numeral 7.4.2 operación de los reactores.

7.3.2 Microorganismos Halotolerantes.

Tres de los biorreactores fueron inoculados con la bacteria *Bacillus Cereus* y otros tres biorreactores fueron inoculados con la bacteria *Pseudomona Aeruginosa*. Las cepas puras de estas bacterias se obtuvieron gracias a la colaboración del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés – INVEMAR, a través de la Colección de Bacterias Marinas de Colombia (CCBM) del Museo de Historia Natural Marina de Colombia.

Los tres últimos biorreactores permanecieron con la población microbiana del Lodo Activado.

7.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

7.4.1 Diseño Experimental.

Esta investigación pretendió conocer la influencia de los factores: concentración de sal y cultivo bacteriano, sobre la eficiencia del sistema de lodos activados. Con ello, se estimaron las diferencias existentes en la remoción de materia orgánica por cada grupo bacteriano inoculado en los reactores.

Se aplicaron diseños unifactoriales a cada grupo bacteriano con el mismo tratamiento según la concentración de sal para comprobar si existían o no diferencias significativas entre ellos, a través de un Análisis de Varianza (ANAVA) y como resultado se obtuvo un valor numérico conocido como "valor F" (Fisher), el valor calculado de Fisher se compara con el valor obtenido en la Tabla de puntos porcentuales de la distribución F, teniendo en cuenta los grados de libertad para cada caso. La conclusión de la tabla ANAVA se genera dependiendo de cuál de los dos valores es el mayor, como se relaciona a continuación:

Si, el Valor de F calculado > Valor de F según tabla → Existen diferencias

Si, el Valor de F calculado < Valor de F según tabla → No existen diferencias

Luego se empleó el diseño factorial 3 x 3 para evaluar la influencia de cada factor sobre el sistema. Se estimaron las diferencias entre niveles, aplicando la técnica de Tukey.

7.4.2 Operación de los Reactores

a) Para iniciar el ensayo de tratamiento de las aguas residuales salinas, en el tanque distribuidor se diluyó sal hasta obtener una concentración del 1%. Se colocaron 14 litros del agua residual en cada reactor, a tres (3) de ellos se le inocularon con 200 ml del cultivo de *Bacillus Cereus*, a otros tres (3) se le

inocularon 200 ml del cultivo de *Pseudomona Aeruginosa*, mientras que a los otros tres (3) reactores se le agregaron 200 ml más de agua residual.

Los nueve (9) reactores se sometieron a aireación continua durante 24 horas; al final de este periodo de tiempo se suspendió la aireación para permitir la sedimentación de los lodos, retirando entonces el líquido clarificado sobrenadante, el cual se desechó. Se colocó nuevamente agua residual fresca en los reactores y se reinició la aireación durante otras 24 horas. Este proceso se repitió diariamente hasta observar el crecimiento de una masa densa y homogénea de lodos en todo el reactor.

b) Se colocó una pantalla separadora de las cámaras de aireación y sedimentación, se mantuvo la aireación continua y se abrieron las válvulas de salida del tanque distribuidor con entrada hacia los reactores.

c) Para determinar el estado de aclimatación de los microorganismos se tuvo en cuenta la DQO del efluente, la cual no sufrió mayor variación. El tiempo de aclimatación de los microorganismos fue de 3 semanas aproximadamente.

d) Una vez alcanzado el estado estable de los lodos activados, se siguió el programa de muestreo que se presenta en la tabla N° 1, teniendo en cuenta las recomendaciones establecidas en el Standard Methods, 2005.

e) Luego de registrar los datos de interés según el programa de muestreo para la condición de sal del 1%, se aumentó la concentración de sal de manera progresiva hasta alcanzar un 3% en el tanque de distribución (TK) y se repitieron los pasos c) y d), anteriormente descritos. El mismo procedimiento se aplicó para aumentar la concentración de sal al 5%.

Tabla N° 1. Programa de muestreo

ANÁLISIS	FRECUENCIA	AFLUENTE	LICOR MEZCLADO	EFLUENTE
DQO (mg/L, O ₂)	3/semana	X		X
pH Temperatura (°C)	Diariamente		X	
OD (mg/L)	Diariamente		X	
Conductividad (mS/cm ²)	Diariamente	X	X	
DBO (mg/L, O ₂)	1/semana		X	

Adaptado de Ramalho, 1996

8. LIMITACIONES

Durante el desarrollo del proyecto se observaron limitaciones operacionales en los siguientes aspectos:

- Disponibilidad de la fuente de agua residual.
- Transporte de agua residual.
- Llenado del tanque de distribución.
- Taponamiento de las líneas de distribución de agua residual debido a caudales bajos al inicio del ensayo.
- Disponibilidad del sitio para los vertimientos del efluente.

9. DESARROLLO DEL TRABAJO

Tabla N° 2. Cronograma de Actividades.

ACTIVIDAD		Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Fase 1: Montaje del Sistema de Lodos Activados Aireado		X															
Fase 2: Sustrato del Proceso Biológico.			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Fase 3: Inoculación de Microorganismos en los Reactores.			X														
Fase 4: Procedimiento Experimental.	Condición salina en reactores		1%			3%			5%								
	Análisis fisicoquímico		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
	Análisis de Datos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Informe final													X	X	X	X	



10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presentación de resultados está soportada por un análisis estadístico basado en diseños unifactoriales según concentración de sal y tipo de grupo bacteriano, además del diseño factorial 3 x 3, involucrando a los dos factores de importancia ya mencionados.

10.1 RESULTADOS CONCENTRACIÓN DE SAL DE 1%.

Tabla N° 3. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria *Bacillus Cereus* a una concentración de sal del 1%.

ANOVA 1% Sal				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
DQO	2	454382,933	227191,467	0,57777778
Error	12	4718592	393216	
TOTAL	14			

Tabla N° 4. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria *Pseudomonas Aeruginosa* a una concentración de sal del 1%.

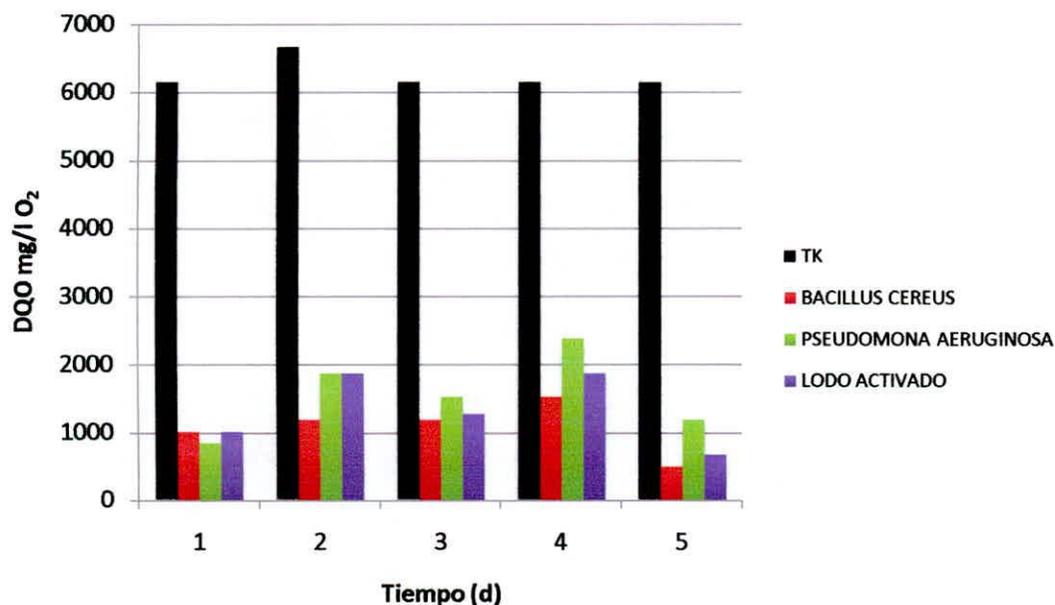
ANOVA 1% Sal				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
DQO	2	34952,5333	17476,2667	0,02173913
Error	12	9646899,2	803908,267	
TOTAL	14			

Tabla N° 5. Resultados diseño unifactorial para los reactores de Lodos Activados a una concentración de sal del 1%.

ANOVA 1% Sal				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
DQO	2	533026,133	266513,067	0,39102564
Error	12	8178892,8	681574,4	
TOTAL	14			

Los valores calculados de Fisher según la ANOVA para cada trío de reactores es menor que el presentado en la Tabla de Puntos Porcentuales de la Distribución F (Gutiérrez y De La Vara, 2004). El valor de $F_{0,05(2,12)}$ corresponde a 3,89. Por ende se concluye que no existen diferencias significativas entre cada trío de reactores. Es importante resaltar que los valores consignados en las tablas N°4, N°5 y N°6, corresponden a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes de cada reactor.

Figura N° 1. Comportamiento de la remoción de materia orgánica en los reactores de lodos activados a una concentración de NaCl del 1%



Los datos fueron obtenidos según la **Tabla N° 1. Programa de Muestreo**, en su última semana de operación bajo una concentración de sal del 1%.

Cuando la condición de sal fue igual al 1%, los nueve reactores registraron valores similares de remoción de materia orgánica, este comportamiento es concordante con la bibliografía consultada en la que se menciona que la concentración de sal de 1% no representa una dificultad significativa en el proceso de degradación de materia orgánica en este tipo de sistemas.

10.2 RESULTADOS CONCENTRACIÓN DE SAL DE 3%.

Tabla N° 6. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria Bacillus Cereus a una concentración de sal del 3%.

ANOVA 3% Sal				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
DQO	2	664098,133	332049,067	0,08899297
Error	12	44774195,2	3731182,93	
TOTAL	14			

Tabla N° 7. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria Pseudomonas Aeruginosa a una concentración de sal del 3%.

ANOVA 3% Sal				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
DQO	2	34952,5333	17476,2667	0,00862069
Error	12	24326963,2	2027246,93	
TOTAL	14			

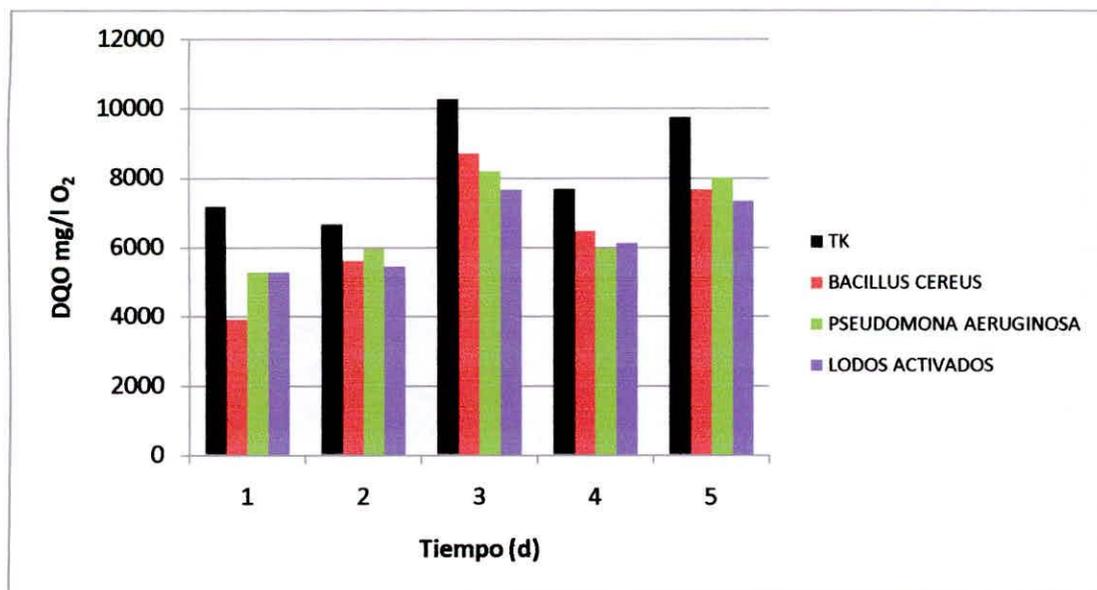
Tabla N° 8. Resultados diseño unifactorial para los reactores de Lodos Activados a una concentración de sal del 3%.

ANOVA 3% Sal				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
DQO	2	978670,933	489335,467	0,29473684
Error	12	19922944	1660245,33	
TOTAL	14			

Según los valores calculados de Fisher en las respectivas ANAVAS, se afirma que no se presentó diferencia significativa alguna entre cada trío de reactores para una concentración de NaCl del 3%. El valor de $F_{0,05(2,12)}$

corresponde a 3,89. Es importante resaltar que los valores consignados en las tablas N°7, N°8 y N°9, corresponden a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes de cada reactor.

Figura N° 2. Comportamiento de la remoción de materia orgánica en los reactores de lodos activados a una concentración de NaCl del 3%



El aumento del promedio de la DQO en el tanque de distribución, se debe a la variabilidad del agua residual de la fuente, así mismo se observa cómo el efecto inhibitor de la sal influyó en la eficiencia del sistema al disminuir la capacidad de los microorganismos para degradar la materia orgánica.

10.3 RESULTADOS CONCENTRACIÓN DE SAL DE 5%

Tabla N° 9. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria Bacillus Cereus a una concentración de sal del 5%.

ANOVA 5% Sal				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
DQO	2	3361996,8	1680998,4	0,9047619
Error	12	22295347,2	1857945,6	
TOTAL	14			

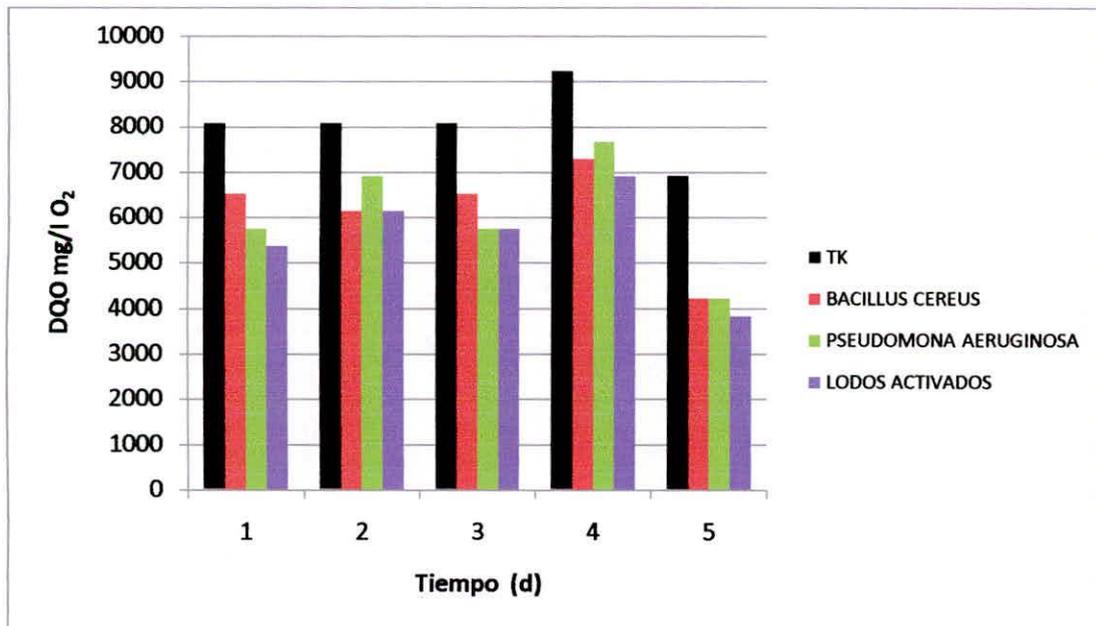
Tabla N° 10. Resultados diseño unifactorial para reactores inoculados con la bacteria Pseudomonas Aeruginosa a una concentración de sal del 5%.

ANOVA 5% Sal				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
DQO	2	2300313,6	1150156,8	0,54166667
Error	12	25480396,8	2123366,4	
TOTAL	14			

Tabla N° 11. Resultados diseño unifactorial para los reactores de Lodos Activados a una concentración de sal del 5%.

ANOVA 5% Sal				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
DQO	2	1238630,4	619315,2	0,29787234
Error	12	24949555,2	2079129,6	
TOTAL	14			

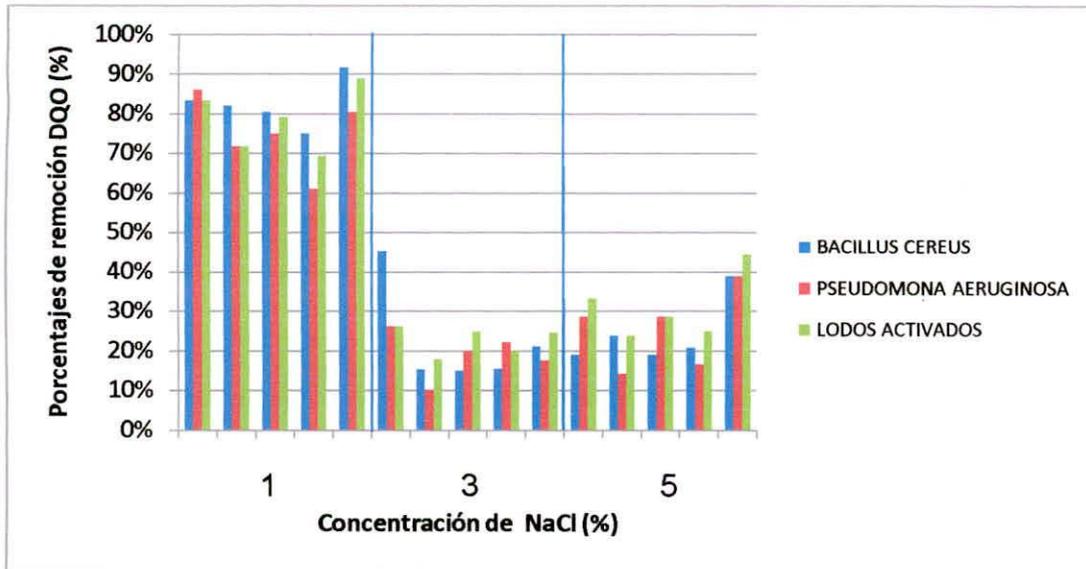
Figura N° 3. Comportamiento de la remoción de materia orgánica en los reactores de lodos activados a una concentración de NaCl del 5%



Al igual que en la anterior condición de sal, se observó el efecto inhibitor del NaCl en los 9 reactores. Los grupos bacterianos que se desarrollaron en los reactores de Lodos Activados no lograron remociones significativas a pesar de que se brindaron las condiciones necesarias para tal proceso. De hecho, no se observa diferencia significativa alguna debida a la inoculación de microorganismos halotolerantes.

10.4 CONSOLIDADO DE DATOS EN TÉRMINOS DE PORCENTAJES REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL SISTEMA.

Figura N° 4. Remoción de DQO en los reactores a concentraciones de sal del 1%, 3%, 5%.



Esta gráfica corresponde al consolidado de los valores de DQO generados a lo largo del desarrollo del proyecto de investigación, en términos de eficiencia de remoción. Al 1% de NaCl, los reactores inoculados con Bacillus Cereus tuvieron una remoción alta que se vio afectada disminuyendo su capacidad de degradación cuando se elevó la concentración de sal al 3%, generando valores de remoción de materia orgánica bastante bajos. Así mismo, al aumentar la concentración de sal al 5%, el grupo de reactores inoculado con Bacillus Cereus presentó un comportamiento similar a la condición de sal de 3%, manteniendo niveles bajos en la remoción de materia orgánica.

Para los reactores inoculados con Pseudomonas Aeruginosa se tuvo una remoción alta reflejando una adaptación del sistema en la condición de sal de 1%, luego disminuyó su capacidad de degradación cuando se elevó la concentración de sal al 3%, generando valores menores de remoción de materia orgánica comparados con los valores de remoción de DQO de

Bacillus Cereus. Al aumentar la concentración de sal al 5%, el grupo de reactores inoculado con Pseudomona Aeruginosa reportó valores similares a los presentados en los reactores inoculados con Bacillus Cereus en la misma condición de sal.

Los reactores de Lodos Activados convencionales mostraron remociones elevadas cuando la concentración de sal fue del 1%, luego el grupo bacteriano redujo su capacidad de degradación cuando se elevó la concentración de sal al 3%, del mismo modo, al aumentar la concentración de sal al 5%, los reactores de Lodos Activado convencionales reportaron valores mayores de remoción de DQO en comparación con Bacillus Cereus y Pseudomona Aeruginosa en la misma condición.

A pesar de estas diferencias de remoción entre los grupos bacterianos, no resultaron ser significativas, según el análisis estadístico de Tukey, mostrando los siguientes resultados.

Tabla N° 12. Comparación de niveles según Técnica de Tukey.

Concentración de Sal (NaCl)	X - Y	X - Z	Y - Z	T α
1%	477,9	256	221,9	552,6
3%	204,8	102,4	307,2	1084,0
5%	76,8	537,6	460,8	1015,7

La comparación de niveles según la Técnica de Tukey muestra que la inoculación de microorganismos halotolerantes no influyó en el rendimiento del sistema de Lodos Activados en comparación con el trío de reactores que no fue objeto de inoculación.

Para explicar porque los microorganismos no fueron un factor influyente en el proceso, se puede inferir que la población de microorganismos cultivados en los reactores se encontraba adaptada a las condiciones salinas

representando una ventaja considerable sobre *Bacillus Cereus* y *Pseudomona Aeruginosa*.

El diseño factorial empleado tuvo por objeto evaluar cuál factor posee la mayor influencia en la degradación de materia orgánica en un sistema de Lodos Activados con y sin inoculación de microorganismos halotolerantes. Los factores evaluados fueron precisamente el tipo de grupo bacteriano y las concentraciones de sal ensayadas.

Tabla N° 13. Resultados diseño factorial 3 x 3 evaluando tipo de grupo bacteriano Vs Concentración de sal.

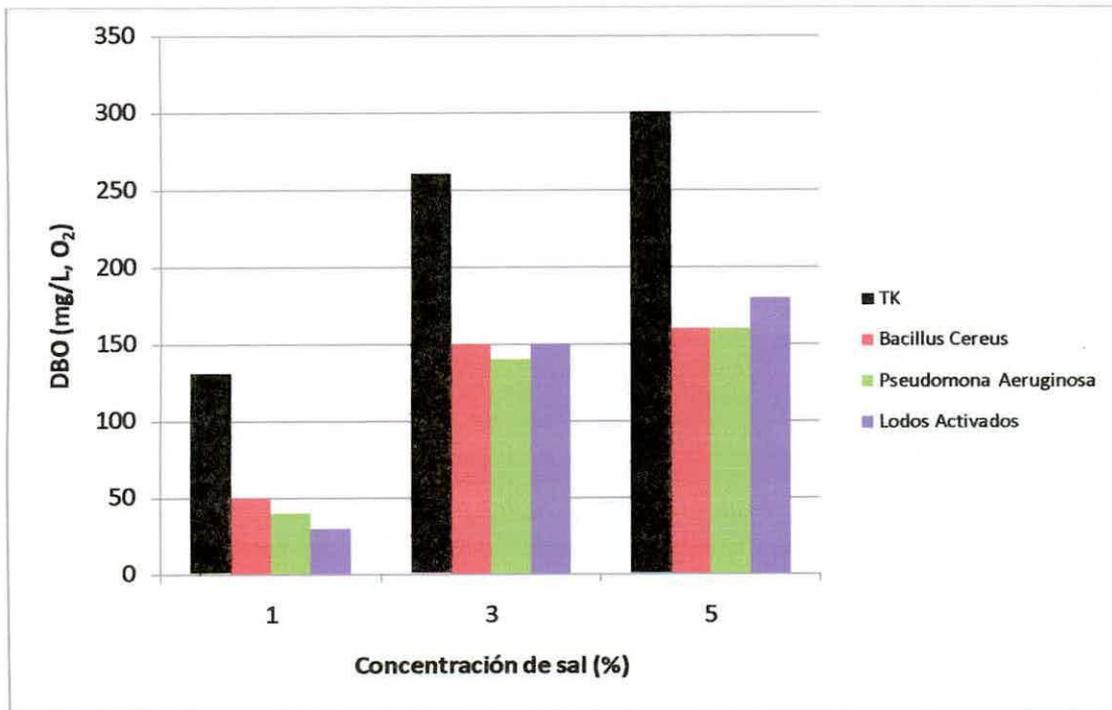
ANOVA				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
Bacterias	2	830203,575	415101,788	0,32604102
Sal	2	241885447	120942723	94,9942647
Bac(Sal)	4	831740,84	207935,21	0,16332237
Error	36	45833693,9	1273158,16	
TOTAL	44	289381085		

Los valores de Fisher según Tabla de Puntos Porcentuales de la Distribución F (Gutiérrez y De La Vara, 2004) son los siguientes: $F_{0,05(2,36)} = 3,226$ y $F_{0,05(4,36)} = 2,642$. Se logra visualizar que el único factor que influyó sobre el rendimiento general de los reactores fue la concentración de sal, ya que el valor de F calculado supera ampliamente el valor de F según tabla.

El tipo de grupo bacteriano, según la conclusión de la ANOVA, no tuvo ninguna influencia sobre la remoción de materia orgánica. Esto puede indicar que las bacterias *Bacillus Cereus* y *Pseudomona Aeruginosa* se vieron afectadas por las altas concentraciones de sal, a pesar de que siempre existió un tiempo de aclimatación para todos los reactores de

aproximadamente 3 semanas y una semana más que correspondía al programa de muestreo. Esta afectación de las bacterias halotolerantes resulta contraria a los resultados de otras investigaciones similares, por lo menos en el caso de *Bacillus Cereus*.

Figura N° 5. Comportamiento de la DBO en las diferentes concentraciones de NaCl.



Las diferencias de remoción de materia orgánica expresada en términos de mg/L, O₂ de DBO se debieron a los cambios en las concentraciones de NaCl a lo largo del proyecto y a la variabilidad de las características fisicoquímicas del agua residual. La remoción registrada para una concentración de sal del 1% de los reactores inoculados con *Bacillus Cereus* fue en promedio del 62%, por otra parte los reactores inoculados con *Pseudomona Aeruginosa* en la misma condición de sal reportaron un promedio de remoción del 69%,

observando la mayor remoción a una concentración de 1% de sal con un promedio de 77%, en los reactores de Lodos activados convencionales.

A una concentración de 3% los tres grupos de reactores reportaron un comportamiento similar mostrando como promedio de remoción los siguientes valores, Bacillus Cereus 42%, Pseudomona Aeruginosa 46%, Lodos activados convencionales 42%. De la misma manera a una concentración del 5% de sal los reactores respondieron arrojando valores de remoción para Bacillus Cereus de 47%, Pseudomona Aeruginosa de 47% y Lodos activados convencionales de 40%.

La información recolectada con respecto a las variables multiparamétricas como lo son oxígeno disuelto (OD), temperatura (°C), conductividad (mS/cm²) y pH se tomaron como datos de control, durante el desarrollo del proyecto y su comportamiento se encuentra consignado en el anexo (A) del presente documento.



11. CONCLUSIONES

- La inoculación de los microorganismos halotolerantes que conformaron el sistema de lodos activados no tuvo efecto significativo alguno sobre la estabilización de la materia orgánica y además no se presentó diferencia significativa en el comportamiento de los reactores inoculados con *Bacillus Cereus* y *Pseudomona Aeruginosa*, ni su desempeño resultó ser efectivo cuando se aumentó la concentración de sal (NaCl).
- Existe un grado de sensibilidad del Sistema de Lodos Activados frente a las condiciones salinas del agua residual, afectando la eficiencia de remoción de materia orgánica que pasa de un valor alto en una concentración baja de NaCl, a un valor bajo con una concentración alta de sal.
- La concentración de sal en el agua residual juega un papel determinante para el tratamiento biológico de la misma, ya que resultó ser el único factor influyente sobre la eficiencia del sistema de Lodos Activados.

12. RECOMENDACIONES

Los proyectos de investigación que deseen evaluar sistemas de tratamiento de agua residual, en general tienen que considerar, entre otros, los siguientes aspectos operacionales:

- Aumentar el caudal de operación de los reactores con el fin de facilitar la implementación de un dispositivo de cabeza constante, o en su defecto, disponer de una bomba peristáltica por reactor para evitar el taponamiento de las líneas de distribución.
- Realizar un análisis microbiológico que permita evidenciar la presencia objetiva de los microorganismos inoculados en los reactores y permita reconocer el resto de la población microbiana.
- Hacer el montaje del proyecto cercano a la fuente de aguas residuales, prever su transporte hasta el Tanque de Distribución y disponer de un sitio para el vertimiento del efluente, considerando nuevamente el transporte del mismo.
- Utilizar elementos de protección personal acorde con los riesgos asociados al desarrollo del trabajo.

BIBLIOGRAFIA

1. ABDULAZIS ELNEZER, Patricia. Identificación preliminar de bacterias halófilas como tratamiento alternativo para la biorremediación de residuales salinos en la Isla de San Andrés. San Andrés Islas, 2005, 71 p. Trabajo de Grado (Especialista en Gestión Ambiental). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Postgrado en Gestión Ambiental.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington : Diaz de Santos, 2005.
3. BAIRD, C. Química ambiental. 2 ed. Barcelona : Reverté, 2001. p. 85 – 93.
4. CRITES, R. y TCHOBANOGUOS, G. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Santafé de Bogotá : McGraw Hill Interamericana, 2000.
5. CUSTODIO, E. Composición de las aguas subterráneas. En: CUSTODIO, E. y LLAMAS, MR. Hidrología Subterránea. 2 ed. Barcelona : Omega, 1996.
6. DAN, N. et al. High salinity wastewater treatment using yeast and bacterial membrane bioreactors. En: Water Science and Technology. Vol. 9, No. 46 (2002); p. 201 – 209.

7. GRANT, W. y LONG, P. Microbiología ambiental. Zaragoza : Acribia, 1989. p. 58.
8. GUTIÉRREZ, Humberto. y DE LA VARA, Román. Análisis y diseño de experimentos. México : McGraw Hill, 2004. p. 93 – 95, 158 – 164.
9. KARAPINAR, I. and ERTEN, B. Anaerobic treatment of saline wastewater by Halanaerobium Lacusrosei. En: Process Biochemistry. No. 42 (2007); p. 449 – 453.
10. KARGI, F. and DINÇER, A. Saline wastewater treatment by halophile-supplemented activated sludge culture in an aerated rotating biodisc contactor. En: Enzyme and Microbial Technology. No. 22 (1998); p. 427 – 433.
11. _____. Use of halophilic bacteria in biological treatment of saline wastewater by Fed-Batch operation. En: Water Environment Research. No. 72 (2000); p. 170 – 174.
12. KUBO, M. et al. Treatment of hypersaline-containing wastewater with salt-tolerant microorganisms. En: Journal of Bioscience and Bioengineering. No. 91 (2002); p. 222 – 224.
13. LEFEBVRE, O. and MOLETTA, R. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. En: Water Research. No. 40 (2006); p. 3671 – 3682.
14. LEFEBVRE, O. et al. Halophilic biological treatment of tannery soak liquor in a sequencing batch reactor. En: Water Research. No. 39 (2005); p. 1471 – 1480.

15. SAYLES, Gregory and SUIDAN, Makram. Biological treatment of industrial and hazardous wastewater. En LEVIN Morris and GEALT Michael. Biotreatment of industrial and hazardous waste. S.I : McGraw-Hill, 1993. p. 245 – 267.
16. METCALF and EDDY. Wastewater engineering : Treatment, disposal and reuse. 3 ed. Singapore : McGraw-Hill, 1991. p.757.
17. MILLER Junior, Tyler. Ecología y Medio Ambiente : Introducción a la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del Planeta Tierra. México : Iberoamerica, 1994. p. 2 – 34.
18. RAMALHO, Rubens. Tratamiento de aguas residuales. Barcelona : Reverté, 2003 : p. 299 – 306.
19. RONZANO, Eduardo y DAPENA José Luis. Tratamiento biológico de las aguas residuales. Madrid : Díaz de Santos, 1995. 497 p.
20. ROSA, M. et al. Biofilm development and ammonia removal in the nitrification of a saline wastewater. En: Bioresource Technology. No. 65 (1998); p. 135 – 138.
21. SEOÁNEZ, Mariano. Contaminación de suelo : Estudios, tratamiento y gestión. Madrid : Mundi-Prensa, 1999. p.148. (Colección Ingeniería del Medio Ambiente)
22. SRIDHAR, S., KALE, A. and KHAN, A. Reverse osmosis of edible vegetable oil industry effluent. En: Journal of Membrane Science. Vol. 1-2, No.205 (2002); p. 83 – 90.

23. UYGUR, A. Specific nutrient removal rates in saline wastewater treatment using sequencing batch reactor. En: Process Biochemistry. No. 41 (2006); p. 61 – 66.
24. WINKLER, Michael. Tratamiento biológico de aguas de desecho. México : Limusa Noriega, 2005. p. 87 – 128.

ANEXOS

ANEXO A. DATOS DE VARIABLES MULTIPARAMÉTRICAS

MULTIPARAMÉTRICO					
Métodos		Concentración de Sal (NaCl) 1%			
Unidad	Fecha y Hora Muestreo	OD (mg/L)	pH	Conductividad mS/cm ²	Temperatura (°C)
TK	21-jul (2:00pm)	0,35	6,56	19,4	30
X1		5,4	6,51	19,07	29,9
X2		6,33	6,49	19,07	29,8
X3		5,47	6,46	19,07	30
Y1		5,84	6,45	19,07	30
Y2		4,58	6,445	19,07	29,8
Y3		4,1	6,43	19,07	30,1
Z1		4,78	6,41	19,07	30
Z2		2,96	6,4	19,07	29,8
Z3		2,9	6,38	19,07	30
TK	22-jul (10:00am)	0,35	6,9	19,4	30
X1		6,01	6,919	19,07	28,3
X2		5,83	6,9	19,04	28,2
X3		6,17	6,89	19,1	28,2
Y1		5,25	6,89	19,09	28,3
Y2		5,45	6,88	19,11	28,2
Y3		4,08	6,88	19	28,4
Z1		4,37	6,89	18,99	28,4
Z2		3,08	6,89	19,12	28,4
Z3		3,14	6,89	19	28,6
TK	22-jul (2:00pm)	0,35	6,9	19,4	30
X1		6,24	7,89	19,13	29,9
X2		5,85	7,87	19,15	29,5
X3		5,81	7,87	19,09	29,6
Y1		5,38	7,87	19,17	29,8
Y2		5,46	7,86	19,17	29,7
Y3		4,61	7,86	19,2	30
Z1		5,22	7,86	19,12	30

MULTIPARAMÉTRICO						
Métodos		Concentración de Sal (NaCl) 1%				
Unidad	Fecha y Hora	OD (mg/L)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)	
Z2	22-jul (6:00pm)	3,61	7,87	19,24	29,7	
Z3		4,51	7,87	19,24	30	
TK		0,35	7,9	19,4	30	
X1		5,83	7,9	19,24	29,6	
X2		6,43	7,9	19,24	29,7	
X3		6,65	7,92	19,27	29,7	
Y1		5,1	7,93	19,24	29,9	
Y2		5,25	7,93	19,25	29,7	
Y3		5,04	7,92	19,27	29,9	
Z1		6,04	7,48	19,28	29,9	
Z2		4,15	7,95	19,28	29,8	
Z3		4,5	7,94	19,23	29,9	
TK		23-jul (10:00am)	0,35	7,9	19,4	30
X1			5,46	7,9	19,35	28,8
X2			4,87	7,9	19,35	27,6
X3	6,68		7,92	19,41	27,8	
Y1	5,66		7,93	19,38	27,8	
Y2	5,45		7,93	19,38	27,8	
Y3	3,16		7,92	19,28	28	
Z1	5,06		7,48	19,47	28,1	
Z2	5,21		7,95	19,41	27,9	
Z3	5,46	7,94	19,46	28,1		
TK	24-jul (10:00am)	0,35	6,9	19,4	30	
X1		5,13	6,7	19,56	28,4	
X2		6	6,7	19,57	28	
X3		6,11	6,7	19,59	28,2	
Y1		5,37	6,7	19,52	28,2	
Y2		5,85	6,7	19,58	28	
Y3		5,48	6,7	19,57	28,3	
Z1		5,53	6,7	19,55	28,4	
Z2		5,39	6,7	19,59	28,2	
Z3	5,93	6,7	19,54	28,4		
TK	04-ago	0,51	6,33	20,9	31,2	

MULTIPARAMÉTRICO					
Métodos		Concentración de Sal (NaCl) 1%			
Unidad	Fecha y Hora	OD (mg/L)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)
X1	3:00pm	5,5	6,35	21,4	30,8
X2		5,43	6,35	21,1	31,1
X3		4,9	6,36	21,1	31,1
Y1		5,15	6,37	21,1	30,8
Y2		5,18	6,38	21	31,2
Y3		5,06	6,39	21,1	31,2
Z1		5,55	6,4	21,2	31,2
Z2		4,94	6,4	21,1	30,9
Z3		5,4	6,4	21,3	31,3
TK		11-ago (10:00am)	0,27	6,66	17,72
X1	8,33		6,65	19,87	29
X2	7		6,63	18,92	28,8
X3	6,85		6,62	18,66	29,2
Y1	7,06		6,62	19,3	29,1
Y2	6,6		6,61	18,75	29
Y3	7		6,6	19,11	29,3
Z1	7,16		6,59	18,93	29,3
Z2	6,65		6,58	18,36	29
Z3	6,33		6,57	19,53	29,3
TK	13-ago (10:00am)	0,27	6,87	17,27	29,7
X1		7,3	6,85	20,1	29,4
X2		7,18	6,84	20,2	29,1
X3		7,24	6,84	20,1	29,3
Y1		7,49	6,84	20,1	29,2
Y2		7,3	6,84	20	29
Y3		7,5	6,85	20,2	29,2
Z1		7,43	6,85	20,1	29,3
Z2		6,99	6,86	20,3	29,1
Z3		7,57	6,86	20,6	29,3
TK	18-ago (3:00pm)	0,27	6,87	17,27	29,7
X1		7,3	6,85	20,1	29,4
X2		7,18	6,84	20,2	29,1
X3		7,24	6,84	20,1	29,3

MULTIPARAMÉTRICO						
Métodos		Concentración de Sal (NaCl) 1%				
Unidad	Fecha y Hora	OD (mg/L)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)	
Y1		7,49	6,84	20,1	29,2	
Y2		7,3	6,84	20	29	
Y3		7,5	6,85	20,2	29,2	
Z1		7,43	6,85	20,1	29,3	
Z2		6,99	6,86	20,3	29,1	
Z3		7,57	6,86	20,6	29,3	
TK		19-ago (10:00am)	0,35	7,06	19,85	28,2
X1			7,33	7,08	19,29	27,3
X2			7,29	7	19,3	27,1
X3	7,07		6,99	18,33	27,9	
Y1	7,5		7,03	18,3	27,4	
Y2	7,62		6,91	18,41	27,2	
Y3	7,72		6,9	18,67	27,4	
Z1	8		6,91	20,1	27,3	
Z2	7,19		6,89	19	27,2	
Z3	9,1	6,89	18,9	27,3		
TK	19-ago (4:00pm)	0,32	6,65	19,8	29,1	
X1		6,42	6,66	19,82	29,1	
X2		6,97	6,65	19,68	28,7	
X3		6,93	6,64	19,32	29	
Y1		7,7	6,63	19,24	29	
Y2		8,01	6,63	19,25	28,6	
Y3		7,8	6,63	19,34	28,9	
Z1		7,1	6,64	19,6	28,8	
Z2		6,3	6,64	19,7	28,6	
Z3	6,7	6,64	19,67	28,8		
TK	20-ago (10:00am)	0,44	6,69	19,62	28,5	
X1		5,75	6,75	19,85	28	
X2		7,25	6,73	19,88	27,7	
X3		6,5	6,72	19,71	27,9	
Y1		7,38	6,71	19,69	27,8	
Y2		6,97	6,71	19,72	27,7	
Y3		6,7	6,7	19,66	28	



MULTIPARAMÉTRICO					
Métodos		Concentración de Sal (NaCl) 1%			
Unidad	Fecha y Hora	OD (mg/L)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)
Z1		6,94	6,7	19,81	29,9
Z2		6,35	6,7	19,83	28,8
Z3		6,4	6,7	19,94	28

MULTIPARAMÉTRICO					
Métodos		Concentración de Sal (NaCl) 3%			
Unidad	Fecha y Hora Muestreo	OD (mg/L)	pH	Conductividad mS/cm ²	Temperatura (°C)
TK	1-sept (10:00 am)	0,21	6,57	43,1	28,7
X1		2,42	6,97	44,1	27,7
X2		2,94	7,12	44	27,5
X3		2,84	6,96	43,9	27,7
Y1		2,15	6,95	43,8	27,7
Y2		2,67	7	43,8	27,6
Y3		2,18	7,88	43,8	27,9
Z1		2,88	7,97	43,8	27,9
Z2		5,5	7,96	43,9	27,5
Z3		2,23	7,95	43,7	27,8
TK	1-sept (4:00 pm)	0,19	6,57	43,2	30,1
X1		2,5	6,97	43,7	30
X2		0,35	7,12	43,3	29,6
X3		2,44	6,96	43,5	29,9
Y1		2,11	6,95	43,5	29,9
Y2		2,65	7,2	43,5	29,6
Y3		3,94	7,88	43,4	30,1
Z1		3,65	7,97	43,6	30
Z2		3,12	7,96	43,8	29,7
Z3		2,85	7,95	43,5	30
TK	2-sept (10:00 am)	1,48	6,57	43,2	28
X1		2,4	6,97	43,4	28,4
X2		3,4	7,12	43,4	28,5
X3		2	6,96	43,3	28,8
Y1		2,3	6,95	43,4	28,7
Y2		2,48	7	43,4	28,5
Y3		2,66	7,88	43,4	28,8
Z1		3,04	7,97	43,3	29
Z2		2,75	7,96	43,5	28,3
Z3		2,73	7,95	43,3	28,8
TK	2-sept (4:00 pm)	0,25	6,45	43	30,6
X1		3,2	6,99	43,4	30,4

MULTIPARAMÉTRICO					
Métodos		Concentración de Sal (NaCl) 3%			
Unidad	Fecha y Hora	OD (mg/L)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)
X2		2,71	6,95	43,3	30,2
X3		2,66	6,95	43,1	30,6
Y1		2,72	6,94	43,3	30,4
Y2		3,01	6,96	43,3	30,1
Y3		2,98	6,95	43,4	30,5
Z1		2,25	6,95	43,1	30,5
Z2		2,43	7,2	43,3	30,2
Z3		1,81	6,93	43	30,6
TK		03-sep (10:00am)	0,21	6,66	42,7
X1	3,08		7,1	43,1	28,6
X2	3,51		7,23	43,1	29,4
X3	3,15		7,23	43,2	29,5
Y1	1,45		6,94	43,2	29,3
Y2	3,2		7,15	43,3	29
Y3	1,85		7,05	43,2	29,4
Z1	2,26		7,07	43,1	29,6
Z2	2,26		7,06	43,2	29,1
Z3	2,18	7,06	43,4	29,3	
TK	3-sept (4:00 pm)	0,3	6,66	42,8	30,4
X1		3,42	7,1	43,2	30,6
X2		2,83	7,23	43,1	30,3
X3		2,49	7,23	43	30,5
Y1		2,2	6,94	43,2	30,5
Y2		3,4	7,15	43,3	30,1
Y3		1,9	7,05	43,1	30,4
Z1		2,84	7,07	43,1	30,4
Z2		2,52	7,06	43,1	30,1
Z3		2,76	7,06	43,3	30,3
TK		0,27	6,66	42,7	29,6
X1		2,37	7,1	42,9	28,9
X2		2,98	7,23	42,9	28,8
X3	3,28	7,23	43,1	28,8	
Y1	3,03	6,94	43,3	28,4	

MULTIPARAMÉTRICO					
Métodos		Concentración de Sal (NaCl) 3%			
Unidad	Fecha y Hora	OD (mg/L)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)
Y2		3,88	7,15	43,3	28,3
Y3		2,6	7,05	43	28,8
Z1		3,28	7,07	43	28,9
Z2		3,18	7,06	43,1	28,8
Z3		3,6	7,06	43,5	28,7

MULTIPARAMÉTRICO					
Métodos		Concentración de Sal (NaCl) 5%			
Unidad	Fecha y Hora Muestreo	OD (mg/L)	pH	Conductividad mS/cm ²	Temperatura (°C)
TK	14-sept (10:00 am)	0,2	6,66	70	29,8
X1		4	7,1	74,1	28,6
X2		5	7,23	74,5	28,9
X3		4,3	7,23	73,9	28,9
Y1		3,9	6,94	73,9	28,7
Y2		4,3	7,15	73,6	29,1
Y3		2,8	7,05	73,4	29,1
Z1		2	7,07	73,5	28,9
Z2		2,8	7,06	73,7	29,1
Z3		2	7,06	73,8	28,9
TK	14-sept (4:00 pm)	0,2	7,18	70	30,2
X1		2,8	7,64	72,8	30,2
X2		4,6	7,88	73,2	30,5
X3		2,5	7,63	72,1	30,3
Y1		3,2	7,74	72,4	30,5
Y2		1,4	7,57	71	30,3
Y3		1,6	7,58	71,6	30,5
Z1		0,6	7,52	71,7	30,4
Z2		0,8	7,54	72,9	30,2
Z3		2,5	7,65	72,9	30,5
TK	15-sept (10:00 am)	0,3	7,26	70	29,5
X1		4,7	7,83	74,1	28
X2		4,7	7,98	74,5	27,9
X3		4,2	7,8	73,9	28,2
Y1		3,5	7,75	73,9	28,2
Y2		3,5	7,71	73,6	28,3
Y3		1,5	7,7	73,4	28,4
Z1		2,3	7,7	73,5	28,5
Z2		3,3	7,78	73,7	28,3
Z3		2,7	7,79	73,8	28,4
TK	15-sept (4:00 pm)	0,3	7,18	70	30,8
X1		3,1	7,64	72,8	30,3

MULTIPARAMÉTRICO						
Métodos		Concentración de Sal (NaCl) 5%				
Unidad	Fecha y Hora	OD (mg/L)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)	
X2		4,2	7,88	73,2	30	
X3		3,2	7,63	72,1	30,4	
Y1		3,3	7,74	72,4	30,4	
Y2		0,7	7,57	71	30,2	
Y3		1,3	7,58	71,6	30,4	
Z1		1,7	7,52	71,7	30,5	
Z2		2,6	7,54	72,9	30,2	
Z3		4,1	7,65	72,9	30,4	
TK		18-sept (10:00am)	0,3	7,18	73,1	28,4
X1			3,1	7,64	72,3	28,1
X2	4,2		7,88	72,7	28,2	
X3	3,2		7,63	73,3	28,4	
Y1	3,3		7,74	72,3	28,4	
Y2	0,7		7,57	72,7	28,3	
Y3	1,3		7,58	71,9	28,3	
Z1	1,7		7,52	72,8	28,6	
Z2	2,6		7,54	73,2	28,2	
Z3	4,1		7,65	69,6	28,4	

ANEXO B. VALORES DE REMOCIÓN DE DQO (mg/l)

DQO (mg/L)							
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml		1% NaCl		Factor de dilución 4	
Unidad	Fecha y Hora Muestreo	Vol FAS gastado en muestra (ml)	DQO (mg/L)	Unidad	Fecha y Hora Muestreo	Vol FAS gastado en muestra (ml)	DQO (mg/L)
Tanque D.	18-08-09 (10:00 am)	2	6144	Tanque D.	18-08-09 (Compuesta)	2	6144
X1		2,9	1536	X1		2,9	1536
X2		2,9	1536	X2		3,1	512
X3		2,6	3072	X3		3	1024
Y1		2,9	1536	Y1		3	1024
Y2		3	1024	Y2		3	1024
Y3		2,6	3072	Y3		3,1	512
Z1		3	1024	Z1		3,1	512
Z2		3	1024	Z2		3,1	512
Z3		3	1024	Z3		2,8	2048
Tanque D.		18-08-09 (4:00 pm)	2	6144		Tanque D.	19-08-09 (10:00 am)
X1	3,1		512	X1	3,1	512	
X2	2,9		1536	X2	3	1024	
X3	2,3		4608	X3	2,9	1536	
Y1	2,9		1536	Y1	3,1	512	
Y2	2,6		3072	Y2	3,1	512	
Y3	2,8		2048	Y3	2,7	2560	

DQO (mg/L)							
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml			Factor de dilución		
Unidad	Fecha y	Vol FAS gastado	DQO (mg/L)	Unidad	Fecha y Hora	Vol FAS	DQO
Z1		2,5	3584	Z1		3	1024
Z2		2,2	5120	Z2		3,1	512
Z3		2,8	2048	Z3		3	1024
Tanque D.	19-08-09 (4:00 pm)	1,9	6656	Tanque D.	20-08-09 (10:00 am)	2,1	5632
X1		3,1	512	X1		2,9	1536
X2		3,1	512	X2		2,9	1536
X3		3,1	512	X3		3	1024
Y1		3,1	512	Y1		3,1	512
Y2		3,1	512	Y2		3,1	512
Y3		3	1024	Y3		3,1	512
Z1		3,1	512	Z1		3	1024
Z2		3,1	512	Z2		3	1024
Z3		3,1	512	Z3		3,1	512
Tanque D.	19-08-09 (Compuesta)	1,9	6656	Tanque D.	20-08-09 (4:00 pm)	1,95	6400
X1		2,9	1536	X1		2,6	3072
X2		2,7	2560	X2		2,8	2048
X3		3,1	512	X3		3,1	512
Y1		2,8	2048	Y1		3,1	512
Y2		3	1024	Y2		2,7	2560
Y3		2,7	2560	Y3		2,9	1536

DQO (mg/L)							
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml 1% NaCl			Factor de dilución 4		
Unidad	Fecha y	Vol FAS gastado	DQO (mg/L)	Unidad	Fecha y Hora	Vol FAS	DQO
Z1		3	1024	Z1		2,9	1536
Z2		2,6	3072	Z2		3	1024
Z3		2,9	1536	Z3		2,9	1536
Tanque D.	20-08-09 (Compuesta)	2	6144	Tanque D.	21-08-09 (4:00 pm)	2	6144
X1		3	1024	X1		3,1	512
X2		2,9	1536	X2		3,1	512
X3		3	1024	X3		3,1	512
Y1		2,9	1536	Y1		2,1	5632
Y2		3	1024	Y2		3,1	512
Y3		2,8	2048	Y3		3,1	512
Z1		3	1024	Z1		3,1	512
Z2		2,95	1280	Z2		3,1	512
Z3		2,9	1536	Z3		3,1	512
Tanque D.	21-08-09 (10:00 am)	1,1	5376	Tanque D.	21-08-09 (Compuesta)	2	6144
X1		2,9	768	X1		2,9	1536
X2		2,7	1280	X2		2,9	1536
X3		2,7	1280	X3		2,9	1536
Y1		2,8	1024	Y1		2,6	3072
Y2		2,8	1024	Y2		2,8	2048
Y3		2,4	2048	Y3		2,8	2048

DQO (mg/L)							
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml			Factor de dilución		
Unidad	Fecha y	Vol FAS gastado	DQO (mg/L)	Unidad	Fecha y Hora	Vol FAS	DQO
Z1		2,8	1024	Z1		2,7	2560
Z2		2,9	768	Z2		2,8	2048
Z3		2,5	1792	Z3		3	1024
Tanque D.	22-08-09 (10:00 am)	2	6144	Tanque D.	22-08-09 (Compuesta)	2	6144
X1		3,1	512	X1		3,1	512
X2		3,1	512	X2		3,1	512
X3		3,1	512	X3		3,1	512
Y1		3,1	512	Y1		3,1	512
Y2		2,7	2560	Y2		2,7	2560
Y3		3,1	512	Y3		3,1	512
Z1		3,1	512	Z1		3,1	512
Z2		3	1024	Z2		3	1024
Z3		3,1	512	Z3		3,1	512
Tanque D.	22-08-09 (4:00 pm)	2	6144				
X1		3,1	512				
X2		3,1	512				
X3		3,1	512				
Y1		3,1	512				
Y2		2,7	2560				
Y3		3,1	512				

DQO (mg/L)							
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml			Factor de dilución		
Unidad	Fecha y	Vol FAS gastado	DQO (mg/L)	1% NaCl			4
Unidad	Fecha y Hora	Vol FAS	DQO				
Z1		3,1	512				
Z2		3	1024				
Z3		3,1	512				

DQO (mg/L)									
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml		3% NaCl		Factor de dilución 4			
Unidad	Fecha y Hora Muestreo	Vol FAS gastado en muestra (ml)	DQO (mg/L)	Unidad	Fecha y Hora Muestreo	Vol FAS gastado en muestra (ml)	DQO (mg/L)		
Tanque D.	31-08-09 (10:00 am)	2	6144	Tanque D.	31-08-09 (compuesta)	1,8	7168		
X1		2,3	4608	X1		2,4	4096		
X2		2,3	4608	X2		2,4	4096		
X3		2,3	4608	X3		2,5	3584		
Y1		2	6144	Y1		2,2	5120		
Y2		2,4	4096	Y2		2,1	5632		
Y3		2,2	5120	Y3		2,2	5120		
Z1		2,1	5632	Z1		1,9	6656		
Z2		2,4	4096	Z2		2,4	4096		
Z3		2,1	5632	Z3		2,2	5120		
Tanque D.		31-08-09 (4:00 pm)	1,9	6656		Tanque D.	01-09-09 (10:00 am)	1,3	9728
X1			2	6144		X1		2	6144
X2	2,1		5632	X2	2	6144			
X3	2,4		4096	X3	1,6	8192			
Y1	2,3		4608	Y1	1,8	7168			
Y2	2,1		5632	Y2	0,9	11776			
Y3	2		6144	Y3	1,8	7168			
Z1	2,2		5120	Z1	1,7	7680			
Z2	2,3		4608	Z2	1,6	8192			



DQO (mg/L)										
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml			Factor de dilución					
Unidad	Fecha y Hora	Vol FAS gastado	DQO (mg/L)	3% NaCl	Unidad	Fecha y Hora	Vol FAS			
							4			
							DQO			
Z3		2,2	5120		Z3		1,8	7168		
Tanque D.	01-09-09 (4:00 pm)	1,9	6656		Tanque D.	02-09-09 (10:00 am)	2,1	5632		
X1		1,8	7168		X1		2,2	5120		
X2		2	6144		X2		2,1	5632		
X3		1,9	6656		X3		2,1	5632		
Y1		2	6144		Y1		2,2	5120		
Y2		1,8	7168		Y2		2,2	5120		
Y3		1,7	7680		Y3		2,4	4096		
Z1		1,5	8704		Z1		2,1	5632		
Z2		1,8	7168		Z2		2,2	5120		
Z3		1,9	6656		Z3		2	6144		
Tanque D.		01-09-09 (compuesta)	1,9	6656			Tanque D.	02-09-09 (4:00 pm)	1,3	9728
X1			2,1	5632			X1		1,6	8192
X2			2	6144			X2		1,7	7680
X3	2,2		5120		X3	1,4	9216			
Y1	2,1		5632		Y1	1,4	9216			
Y2	2		6144		Y2	1,6	8192			
Y3	2		6144		Y3	2,3	4608			
Z1	2,3		4608		Z1	1,8	7168			
Z2	2		6144		Z2	1,2	10240			
Z3	2,1		5632		Z3	1,2	10240			

DQO (mg/L)								
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml			Factor de dilución			
Unidad	Fecha y Hora	Vol FAS gastado	DQO (mg/L)	3% NaCl	Unidad	Fecha y Hora	DQO	
Tanque D.	02-09-09 (Compuesta)	1,2	10240		Tanque D.	03-09-09 (4:00 pm)	1,7	7680
X1		1,8	7168		X1		1,9	6656
X2		1,3	9728		X2		2	6144
X3		1,4	9216		X3		1,6	8192
Y1		1,6	8192		Y1		2,1	5632
Y2		1,7	7680		Y2		2	6144
Y3		1,5	8704		Y3		2	6144
Z1		1,8	7168		Z1		1,7	7680
Z2		1,8	7168		Z2		2,1	5632
Z3		1,5	8704		Z3		1,9	6656
Tanque D.	03-09-09 (10:00 am)	1,7	7680		Tanque D.	03-09-09 (Compuesta)	1,7	7680
X1		1,9	6656		X1		1,9	6656
X2		2	6144		X2		2	6144
X3		1,6	8192		X3		1,9	6656
Y1		2,1	5632		Y1		2,1	5632
Y2		2	6144		Y2		2	6144
Y3		2	6144		Y3		2	6144
Z1		1,7	7680		Z1		2	6144
Z2		2,1	5632		Z2		2,1	5632
Z3		1,9	6656		Z3		1,9	6656
Tanque D.	04-09-09	1,3	9728		Tanque D.	04-09-09	1,3	9728

DQO (mg/L)							
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml			Factor de dilución		
Unidad	Fecha y Hora	Vol FAS gastado	DQO (mg/L)	3% NaCl	Unidad	Fecha y Hora	DQO
	(10:00 am)					(Compuesta)	
X1		1,7	7680		X1		7680
X2		1,3	9728		X2		7680
X3		1,7	7680		X3		7680
Y1		1,4	9216		Y1		9216
Y2		1,7	7680		Y2		7680
Y3		1,8	7168		Y3		7168
Z1		1,7	7680		Z1		7680
Z2		1,8	7168		Z2		7168
Z3		1,8	7168		Z3		7168
X1		1,7	7680				
X2		1,3	9728				
X3		1,7	7680				
Y1		1,4	9216				
Y2		1,7	7680				
Y3		1,8	7168				
Z1		1,7	7680				
Z2		1,8	7168				
Z3		1,8	7168				

DQO (mg/L)							
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml		5% NaCl	Factor de dilución 9		
Unidad	Fecha y Hora Muestreo	Vol FAS gastado en muestra (ml)	DQO (mg/L)	Unidad	Fecha y Hora Muestreo	Vol FAS gastado en muestra (ml)	DQO (mg/L)
Tanque D.	14-09-09 (10:00 am)	2,9	6912	Tanque D.	14-09-09 (Compuesta)	2,8	8064
X1		3,4	1152	X1		2,9	6912
X2		3,3	2304	X2		2,9	6912
X3		3	5760	X3		3	5760
Y1		2,9	6912	Y1		3	5760
Y2		3,5	0	Y2		3	5760
Y3		3	5760	Y3		3	5760
Z1		3,1	4608	Z1		3,1	4608
Z2		3,2	3456	Z2		3	5760
Z3		3,1	4608	Z3		3	5760
Tanque D.		14-09-09 (4:00 pm)	3,3	2304		Tanque D.	15-09-09 (10:00 am)
X1	3,2		3456	X1	2,6	10368	
X2	3,3		2304	X2	3	5760	
X3	3,2		3456	X3	2,9	6912	
Y1	3,2		3456	Y1	2,9	6912	
Y2	3,4		1152	Y2	2,7	9216	
Y3	3,2		3456	Y3	2,7	9216	
Z1	3,1		4608	Z1	2,6	10368	
Z2	3,3		2304	Z2	3	5760	

DQO (mg/L)									
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml		5% NaCl	Factor de dilución 9				
Unidad	Fecha y	Vol FAS gastado	DQO (mg/L)	Unidad	Fecha y Hora	Vol FAS	DQO		
Z3		3,3	2304	Z3		2,7	9216		
Tanque D.	15-09-09 (4:00 pm)	2,8	8064	Tanque D.	16-09-09 (10:00 am)	2,8	8064		
X1		2,6	10368	X1		2,6	10368		
X2		3	5760	X2		1,7	20736		
X3		2,9	6912	X3		1,1	27648		
Y1		2,9	6912	Y1		2,9	6912		
Y2		2,7	9216	Y2		2,7	9216		
Y3		2,7	9216	Y3		0,9	29952		
Z1		2,6	10368	Z1		1,8	19584		
Z2		3	5760	Z2		2,5	11520		
Z3		2,7	9216	Z3		2,8	8064		
Tanque D.		15-09-09 (Compuesta)	2,8	8064		Tanque D.	16-09-09 (4:00 pm)	2,8	8064
X1			3	5760		X1		2,7	9216
X2			3	5760		X2		2,7	9216
X3	2,9		6912	X3	2,8	8064			
Y1	2,9		6912	Y1	2,6	10368			
Y2	2,9		6912	Y2	2,9	6912			
Y3	2,9		6912	Y3	2,7	9216			
Z1	3		5760	Z1	2,7	9216			
Z2	3		5760	Z2	2,8	8064			
Z3	2,9		6912	Z3	2,6	10368			

DQO (mg/L)							
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml		5% NaCl	Factor de dilución 9		
Unidad	Fecha y	Vol FAS gastado	DQO (mg/L)	Unidad	Fecha y Hora	Vol FAS	DQO
Tanque D.	16-09-09 (Compuesta)	2,8	8064	Tanque D.	17-09-09 (4:00 pm)	2,7	9216
X1		3	5760	X1		3	5760
X2		2,9	6912	X2		2,8	8064
X3		2,9	6912	X3		2,8	8064
Y1		3	5760	Y1		2,8	8064
Y2		3	5760	Y2		2,9	6912
Y3		3	5760	Y3		2,8	8064
Z1		3	5760	Z1		2,8	8064
Z2		3	5760	Z2		2,7	9216
Z3		3	5760	Z3		3,1	4608
Tanque D.	17-09-09 (10:00am)	2,7	9216	Tanque D.	17-09-09 (Compuesta)	2,7	9216
X1		3	5760	X1		3	5760
X2		2,8	8064	X2		2,8	8064
X3		2,8	8064	X3		2,8	8064
Y1		2,8	8064	Y1		2,8	8064
Y2		2,9	6912	Y2		2,9	6912
Y3		2,8	8064	Y3		2,8	8064
Z1		2,8	8064	Z1		2,8	8064
Z2		2,7	9216	Z2		2,8	8064
Z3		3,1	4608	Z3		3,1	4608
Tanque D.	18-09-09-	2,9	6912	Tanque D.	18-09-09-	2,9	6912

DQO (mg/L)									
Reactor Lodos Activados Escala Lab		Vol Muestra 2,5 ml		5% NaCl	Factor de dilución 9				
Unidad	Fecha y (10:00 am)	Vol FAS gastado	DQO (mg/L)	Unidad	Fecha y Hora (compuesta)	Vol FAS	DQO		
X1		3,2	3456	X1		3,2	3456		
X2		3	5760	X2		3	5760		
X3		3,2	3456	X3		3,2	3456		
Y1		3,1	4608	Y1		3,1	4608		
Y2		3,3	2304	Y2		3,3	2304		
Y3		3	5760	Y3		3	5760		
Z1		3,2	3456	Z1		3,2	3456		
Z2		3,1	4608	Z2		3,1	4608		
Z3		3,2	3456	Z3		3,2	3456		
Tanque D.		18-09-09- (4:00 pm)	2,9	6912					
X1			3,2	3456					
X2			3	5760					
X3			3,2	3456					
Y1	3,1		4608						
Y2	3,3		2304						
Y3	3		5760						
Z1	3,2		3456						
Z2	3,1		4608						
Z3	3,2		3456						

ANEXO C. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN



Fotografía 1: Reactor

Material: vidrio 5mm

Dimensiones: 0.35 m x 0.2 m x 0.45 m

Descripción: Consta de una zona de aireación y una zona de sedimentación que posee un orificio de salida de agua a través de una válvula de globo de ½”.



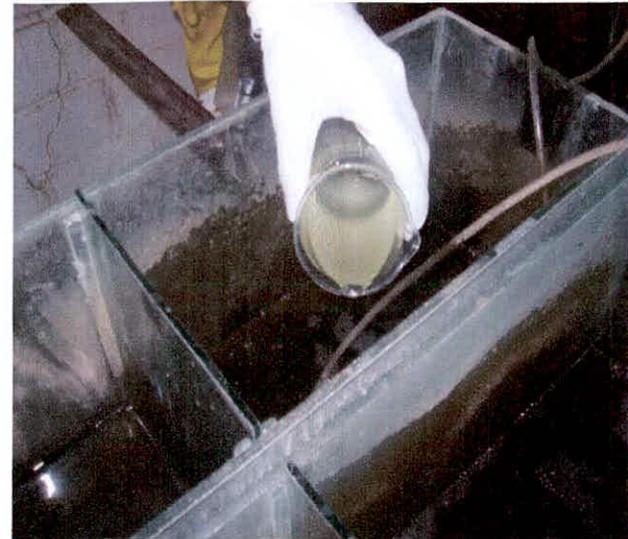
Fotografía 2: Montaje General

Descripción: Consta de un tanque de 500 L que funciona como tanque distribuidor, el cual tiene adherido a su alrededor 5 bombas aireadoras de dos salidas cada una dirigidas a los nueve reactores de vidrio soportados por tres bases metálicas



Fotografía 3: Grupos Bacterianos

Descripción: Botellas de incubación de *Bacillus Cereus* y *Pseudomona Aeruginosa*



Fotografía 4: Inoculación de Bacterias en los reactores.

Descripción: Se realizó la inoculación de microorganismos antes de cada condición de sal con aproximadamente 200 ml por reactor.



Fotografía 5: Transporte de agua residual

Descripción: Transporte diario de agua residual desde la fuente hasta el área de trabajo.



Fotografía 6: Muestras diarias

Descripción: Botellas utilizadas para la toma de muestras diarias en los reactores.