



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Estudio de biodegradación anaerobia de materia orgánica en aguas  
residuales provenientes de limpieza del establo de la hacienda La Vaca.**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: JOSÉ MIGUEL CONTRERAS LÓPEZ**

**DIRECTOR: Ing. Carlos Marcelo Matovelle Bustos.**

**MATRIZ CUENCA**

**2018**

## DECLARACIÓN

Yo, José Miguel Contreras López, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



---

**Autor: José Miguel Contreras López**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por José Miguel Contreras López bajo mi supervisión.



---

**Ing. Carlos Marcelo Matovelle Bustos MsCs.**

**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a la Universidad Católica de Cuenca quien me abrió sus puertas para realizar mis estudios y terminar con éxito mi carrera universitaria.

Hago el fraterno agradecimiento hacia mis directores de tesis, Ing. Carlos Matovelle y al Ing. Diego Heras, quienes han dedicado su tiempo y compartir sus conocimientos para la realización de este proyecto, es para mí un gran privilegio haber contado con su apoyo.

De manera especial, agradezco a mi familia por su gran apoyo y consejos durante la realización de este proyecto.

## **DEDICATORIA**

Con la realización del presente trabajo quiero agradecer el esfuerzo, la paciencia y la confianza de mi madre Laura y mi tío Jorge, quienes han sido mi fortaleza y guía para afrontar todos los retos que se presentan a diario en mi vida.

A mi abuela Graciela que en paz descanse, de quien recibí todo el apoyo, sabios consejos y el ejemplo de perseverancia para superar cualquier tipo de obstáculo que se presente durante todos estos años de carrera.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABLAS .....	vii
LISTA DE ANEXOS .....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUCCION.....	16
1.1 Objetivos.....	18
<i>Objetivo general</i> .....	18
<i>Objetivos específicos</i> .....	18
1.2 Alcance.....	18
1.3 Justificación.....	19
2 MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Antecedentes de la contaminación ganadera.....	20
2.1.1 <i>Contaminación ganadera</i> .....	20
2.1.2 <i>Degradación del suelo</i> .....	20
2.1.3 <i>Atmosfera y clima</i> .....	21
2.1.4 <i>Agua</i> .....	22

2.2	Contaminación producida por los desechos del ganado bovino.....	22
2.2.1	<i>Los contaminantes principales.</i> .....	23
2.3	Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. ....	28
2.3.1	<i>Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego.</i> .....	28
2.3.2	<i>Normas generales para descargas de efluentes a cuerpos de agua dulce.</i> ....	29
2.4	Sistemas de tratamiento para la depuración de desechos orgánicos.....	30
2.4.1	<i>Caracterización del agua residual de origen ganadero.</i> .....	30
2.4.2	<i>Aspectos físicos.</i> .....	31
2.4.3	<i>Aspectos químicos.</i> .....	31
2.4.4	<i>Aspecto Biológico.</i> .....	32
2.4.5	<i>Proceso de Digestión anaerobia.</i> .....	32
2.4.6	<i>Proceso microbiológico y bioquímico de la digestión anaerobia.</i> .....	34
2.5	Parámetros condicionantes de la digestión Anaerobia.....	35
2.5.1	<i>Parámetros Ambientales.</i> .....	36
2.5.2	<i>Parámetros operacionales.</i> .....	38
2.6	Productos finales de la digestión anaerobia.....	40
2.6.1	<i>Biosólidos.</i> .....	40
2.6.2	<i>Contaminantes en los biosólidos.</i> .....	40
3	METODOLOGÍA.....	41
3.1	Diseño de tratamiento del agua residual.....	41
3.1.1	<i>Ensayos del primer grupo de reactores.</i> .....	41
3.1.2	<i>Ensayos en el segundo grupo de reactores.</i> .....	42
3.2	Caracterización del agua contaminada de los reactores. ....	43
3.3	Muestreos.....	43
3.4	Análisis de datos. ....	44
3.5	Desarrollo del modelo de calidad de agua. ....	44

4	RESULTADOS.....	45
4.1	Análisis estadístico de los datos obtenidos del estudio de biodegradación anaerobia. ....	45
4.1.1	<i>Análisis estadístico DBO.</i> .....	45
4.1.2	<i>Análisis estadístico DQO.</i> .....	47
4.1.3	<i>Análisis estadístico coliformes fecales</i> .....	48
4.2	Curvas de degradación del agua residual.....	49
4.2.1	<i>Curva de degradación DBO.</i> .....	49
4.2.2	<i>Curva de Degradación DQO</i> .....	60
4.2.3	<i>Curva de Degradación Coliformes Fecales.</i> .....	69
4.3	Modelos de Materia Orgánica y Oxígeno Disuelto. ....	79
4.3.1	<i>Evaluación del vertido de materia orgánica y oxígeno disuelto sin un previo tratamiento.</i> .....	80
4.3.2	<i>Evaluación del vertido de materia orgánica y oxígeno disuelto con un tratamiento anaerobio.</i> .....	82
5	CONCLUSIONES.....	84
6	RECOMENDACIONES .....	87
7	BIBLIOGRAFIA. ....	88
8	ANEXOS .....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Respiración anaeróbica de la glucosa.....	33.
Figura 2. Procesos anaerobios.....	34.
Figura 3. Grupo uno de reactores.....	42.
Figura 4. Grupo dos de reactores.....	43.
Figura 5. Parámetro DBO.....	45.
Figura 6. Parámetro DQO.....	37.
Figura 7. Parámetro Coliformes Fecales.....	48.
Figura 8. Curva de degradación polinómica en el reactor DBO2.....	50
Figura 9. Curva de degradación exponencial en el reactor DBO2.....	51.
Figura 10. Curva de degradación polinómica en el reactor DBO3.....	52.
Figura 11. Curva de degradación exponencial en el reactor DBO3.....	53.
Figura 12. Curva de degradación polinómica en el reactor DBO5.....	54.
Figura 13. Curva de degradación exponencial en el reactor DBO5.....	55.
Figura 14. Curva de degradación polinómica en el reactor DBO6.....	56.
Figura 15. Curva de degradación exponencial en el reactor DBO6.....	57.
Figura 16. Curva de degradación polinómica en el reactor DQO2.....	60.
Figura 17. Curva de degradación exponencial en el reactor DQO2.....	61.
Figura 18. Curva de degradación polinómica en el reactor DQO3.....	62.
Figura 19. Curva de degradación exponencial en el reactor DQO3.....	63.
Figura 20. Curva de degradación polinómica en el reactor DQO5.....	64.
Figura 21. Curva de degradación exponencial en el reactor DQO5.....	65.
Figura 22. Curva de degradación polinómica en el reactor DQO6.....	66.
Figura 23. Curva de degradación exponencial en el reactor DQO6.....	67.
Figura 24. Curva de degradación polinómica en el reactor Coliformes2.....	69.

Figura 25. Curva de degradación exponencial en el reactor Coliformes2.....	70.
Figura 26. Curva de degradación polinómica en el reactor Coliformes3.....	71.
Figura 27. Curva de degradación exponencial en el reactor Coliformes3.....	72.
Figura 28. Curva de degradación polinómica en el reactor Coliformes5.....	73.
Figura 29. Curva de degradación exponencial en el reactor Coliformes5.....	74.
Figura 30. Curva de degradación polinómica en el reactor Coliformes6.....	75.
Figura 31. Curva de degradación exponencial en el reactor Coliformes6.....	76.
Figura 32. Ubicación de las haciendas que producen vertidos hacia el río Yanuncay....	78.
Figura 33. Modelo de la evolución del vertido de materia orgánica y oxígeno disuelto en el río Yanuncay sin previo tratamiento.....	79.
Figura 34. Modelo de la evolución del vertido de materia orgánica y oxígeno disuelto en el río Yanuncay sin previo tratamiento.....	81.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción de residuos por animal.....	24.
Tabla 2. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.....	28.
Tabla 2. Continuación criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola .....	29.
Tabla 3. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	30.
Tabla 4. Parámetros condicionantes.....	36.
Tabla 5. Metales pesados en la inhibición.....	38.
Tabla 6. Rangos de temperatura.....	39.
Tabla 7. Resultados del análisis estadístico DBO .....	46.
Tabla 8. Resultados del análisis estadístico DQO.....	47.
Tabla 9. Resultados del análisis estadístico Coliformes Fecales.....	49.
Tabla 10. Día de mayor degradación de la DBO en el reactor DBO2.....	51.
Tabla 11. Resultados de la mayor degradación de la DBO en el reactor DBO2.....	51.
Tabla 12. Día de mayor degradación de la DBO en el reactor DBO3.....	53.
Tabla 13. Resultados de la mayor degradación de la DBO en el reactor DBO3.....	54.
Tabla 14. Día de mayor degradación de la DBO en el reactor DBO5.....	55.
Tabla 15. Resultados de la mayor degradación de la DBO en el reactor DBO5.....	56.
Tabla 16. Día de mayor degradación de la DBO en el reactor DBO6.....	57.
Tabla 17. Resultados de la mayor degradación de la DBO en el reactor DBO6.....	58.
Tabla 18. Resumen de los resultados obtenidos en el parámetro DBO.....	59.
Tabla 19. Día de mayor degradación de la DQO en el reactor DQO2.....	61.
Tabla 20. Resultados de la mayor degradación de la DQO en el reactor DQO2.....	61.
Tabla 21. Día de mayor degradación de la DQO en el reactor DQO3.....	63.
Tabla 22. Resultados de la mayor degradación de la DQO en el reactor DQO3.....	63.
Tabla 23. Día de mayor degradación de la DQO en el reactor DQO5.....	65.

Tabla 24. Resultados de la mayor degradación de la DQO en el reactor DQO5.....	65.
Tabla 25. Día de mayor degradación de la DQO en el reactor DQO6.....	67.
Tabla 26. Resultados de la mayor degradación de la DQO en el reactor DQO6.....	67.
Tabla 27. Resumen de los resultados obtenidos en el parámetro DQO.....	68.
Tabla 28. Día de mayor degradación de Coliformes Fecales en el reactor Coliformes2.....	70.
Tabla 29. Resultados de la mayor degradación de Coliformes Fecales en el reactor Coliformes2.....	70.
Tabla 30. Día de mayor degradación de Coliformes Fecales en el reactor Coliformes3.....	71.
Tabla 31. Resultados de la mayor degradación de Coliformes Fecales en el reactor Coliformes3.....	72.
Tabla 32. Día de mayor degradación de Coliformes Fecales en el reactor Coliformes5.....	74.
Tabla 33. Resultados de la mayor degradación de Coliformes Fecales en el reactor Coliformes5.....	74.
Tabla 34. Día de mayor degradación de Coliformes Fecales en el reactor Coliformes6.....	76.
Tabla 35. Resultados de la mayor degradación de Coliformes Fecales en el reactor Coliformes6.....	76.
Tabla 36. Resumen de los resultados obtenidos en el parámetro Coliformes Fecales.....	77.

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Imagenes del desarrollo del proyecto .....	93.
---	-----

## RESUMEN.

En el siguiente estudio de investigación se presentan los resultados de la biodegradación de materia orgánica mediante la acción de bacterias anaerobias en el agua residual generada por la limpieza de establos de una hacienda ganadera ubicada en la cuenca del río Yanuncay y que cuyos vertidos sin depuración ingresan directamente al río. En este proceso se dispuso el agua residual en seis reactores de prueba en los cuales se aplicaron bacterias anaerobias en diferentes dosis y además en dos concentraciones de contaminación del agua para simular condiciones de dilución por precipitación. El tiempo de retención elegido es de treinta días, durante este periodo se realizaron diferentes pruebas de laboratorio en cuanto a parámetros de calidad de agua, obteniendo resultados favorables en la degradación de materia orgánica principalmente medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno DQO y Demanda Biológica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>. Luego de este proceso se realiza un análisis estadístico sobre el comportamiento que tiene cada uno de los reactores en la degradación de la materia orgánica en las diferentes condiciones de trabajo. Para identificar los beneficios de la depuración se plantea un modelo matemático de calidad de agua donde son comparados dos escenarios de contaminación. El primer escenario analiza el ingreso del agua residual sin depuración y en el segundo escenario el agua tratada, donde se observa una recuperación del estado natural del río en tramos cortos cuando el agua ingresa con un tratamiento previo.

Palabras clave: Degradación Anaerobia, Materia Orgánica, Aguas Residuales, Modelos de Calidad.

## **ABSTRACT.**

In the following research study are presented the results of biodegradation of organic matter through the action of anaerobic bacteria in the wastewater generated by the cleaning of stables of a cattle ranch located in the basin of Yanuncay River which discharges without depuration enter directly to the river. In this process, the wastewater was placed in six test reactors in which anaerobic bacteria were applied in different doses and also in two concentrations of water contamination to simulate dilution conditions by precipitation. The retention time chosen is thirty days, during this period different laboratory tests were performed regarding water quality parameters, obtaining favorable results in the degradation of organic matter mainly measured as Biochemical Oxygen Demand COD and Biological Oxygen Demand DBO5. After this process, a statistical analysis is performed on the behavior of each of the reactors in the degradation of organic matter in the different working conditions. To identify the benefits of the purification, a mathematical model of water quality is proposed, where two pollution scenarios are compared. The first scenary analyzes the income of wastewater without purification, the second scenary is the treated water, where a recovery of the natural state of the river in short stretches is observed.

Keywords: Anaerobic degradation, organic matter, wastewater, quality models.

## CAPITULO 1

### 1 INTRODUCCION.

Las actividades del sector pecuario tienen un impacto significativo en casi todas las esferas del medio ambiente incluidas en estas el aire, agua, suelo y cambio climático. El impacto de la contaminación en este sector puede ser directo del pastoreo o puede ser indirecto, por ejemplo en la destrucción de los bosques para poder ampliar la zona de cultivos.

El sector pecuario hoy en día presenta un impacto profundo en el medio ambiente que se continúa expandiendo rápidamente. La demanda mundial de carne y leche experimenta un aumento acelerado, por consecuencia del crecimiento demográfico y la urbanización.

El sector pecuario se ve afectado por una gran gama de recursos naturales, por lo que su gestión debe ser muy cuidadosa, debido a que estos recursos se encuentran en un nivel crítico de escasez. Mientras que la producción pecuaria intensiva se expande y agrava en los países grandes, existen aún mayores áreas en donde persiste la producción extensiva. Estos sistemas intensivos y extensivos requieren mayor atención por parte de las autoridades para que el sector genere menos impactos negativos y de esta manera pueda generar impactos positivos sobre la población y bienes públicos a nivel tanto nacional como mundial. (Chávez, 2009)

Una de las razones principales que justifica la realización de este trabajo de investigación es la relación que existe entre la producción pecuaria y el medio ambiente, que no ha recibido la importancia necesaria por parte de aquellos que generan esta contaminación y las autoridades de control. Si bien este sector se ha considerado parte de la agricultura, en diversos lugares se ha desarrollado junto a la industria perdiendo los lazos directos con la tierra.

Los protagonistas de los impactos ambientales se desplazan a una gran velocidad, por lo que en el medio en el que se crían y desarrollan los animales sufre varias modificaciones y estandarizaciones. Las políticas públicas de los países en desarrollo difícilmente pueden avanzar al mismo ritmo de la veloz transformación de las tecnologías de producción y cambios estructurales que sufre este sector. El problema de las leyes ambientales es que se aplican cuando ya se han producido daños significativos y no en la prevención y mitigación de la contaminación, por cuanto se debería tener un enfoque integrado que

combine las medidas del sector público y se actué con tecnologías eficientes para solventar dichos problemas.

La gestión de los recursos hídricos hace referencia al uso adecuado y sostenible de los mismos, el agua es un factor determinante para el desarrollo tanto económico como social, además tiene como función básica mantener una integridad del entorno natural, es de suma importancia proponer e implementar medidas que de alguna manera reduzcan el nivel de contaminación pudiendo así minimizar el peligro de la escases de dicho recurso, promoviendo su conservación y protección a lo largo del tiempo. También resulta de manera urgente la intervención por parte de instituciones como la implementación de normas y leyes que permitirán la toma de decisiones de carácter importante para el manejo adecuado del mismo.

La contaminación que genera el ganado bovino en la actualidad, es una realidad; según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, en la provincia del Azuay el ganado bovino lidera el sector pecuario, con un porcentaje del 8,12% del total nacional, equivalente a trecientas treinta y cinco mil (335.123) cabezas de ganado. («ESPAC», 2016)

Debido a este continuo crecimiento en la actividad ganadera, las aguas se ven gravemente afectadas por las descargas que se realizan en ellas alterando sus propiedades físicas y químicas, pudiéndose observar en los parámetro de calidad DQO y DBO, que se utiliza para medir la contaminación de las aguas, verificando la cantidad de oxígeno en un volumen unitario de agua, al aumentar la contaminación el oxígeno del agua se agota y hace que muchos animales acuáticos mueran por asfixia (Barba, 2002, p.13). Otro de los problemas que acarrea esta contaminación son los microorganismos patógenos que llegan al agua en forma de heces fecales como: bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como escherichia coliel que causa diarrea, además contenidos altos en nitratos que reducen la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, conocida como metahemoglobinemia; hormonas principalmente estrógenos relacionados con la perdida de la cantidad de esperma en los humanos, etc. (Pinos, et al., 2012)

El aumento del consumo de carne y leche proveniente de este sector ganadero, eleva las probabilidades de contaminación de fuentes hídricas, ETAPA EP, en estudios previos, llevados a cabo desde el año 2002, ha evidenciado la creciente contaminación en la Cuenca del rio Yanuncay, dicha cuenca, históricamente representa una de las fuentes de agua más importantes para la ciudad de Cuenca, a través de los estudios mencionados, se ha podido

constatar que 12 kilómetros aguas arriba de la planta de Sustag, existe actividad ganadera, actividad que ha sido monitoreada desde hace 10 años aproximadamente, concluyendo con la existencia de alteraciones en la composición y calidad del recurso hídrico. (La Hora, 2012),(Juan Garzón, s. f.)

Debido a la falta de información acerca de la calidad del agua que se obtiene por el desarrollo de esta actividad, esta investigación pretende hacer un análisis para la implementación de un sistema que minimice la carga de materia orgánica de las aguas residuales y como resultado se mejore el manejo de los desechos producidos por la ganadería mejorando así la calidad ambiental de la zona que es de gran importancia para los habitantes de la ciudad de Cuenca.

## **1.1 Objetivos.**

### ***Objetivo general.***

Estudiar el comportamiento de la biodegradación de materia orgánica del agua residual generada por la actividad ganadera bovina de la hacienda La Vaca mediante la acción de bacterias anaeróbicas.

### ***Objetivos específicos***

- Caracterizar el agua residual con los parámetros (DQO, DBO, Coliformes Fecales, Conductividad, pH, Salinidad, Sólidos Suspendidos, Temperatura) para tener un punto referencial de partida para el desarrollo del proyecto.
- Evaluar la reducción de la carga orgánica con una cantidad de microorganismos en diferentes concentraciones para realizar ensayos en el sistema de degradación y obtener los parámetros de operación óptimos.
- Simular un escenario comparativo de concentración de contaminantes y efectos en el cuerpo de agua producidos por materia orgánica en el punto de vertido.

## **1.2 Alcance.**

El resultado del estudio pretende alcanzar la reducción de la carga contaminante que genera la actividad ganadera mediante la acción de las bacterias anaerobias. Mediante estudios exploratorios se ha identificado que los establos que se encuentran a

las riveras del río Yanuncay tienen un mal manejo de este tipo de residuos ya que descargan sus aguas de lavado directamente hacia el río sin ningún tipo de pretratamiento. La mala gestión por parte de los dueños de las haciendas están produciendo una contaminación que afecta a la calidad del agua del río Yanuncay la cual es fuente hídrica de vital importancia para los habitantes de la ciudad de Cuenca.

### **1.3 Justificación.**

Sabiendo que la ganadería bovina genera contaminación, influyendo de una manera negativa sobre la calidad del recurso hídrico de la cuenca del río Yanuncay en donde se están vertiendo el agua de lavado de los establos que contiene altas concentraciones de contaminantes como materia orgánica, nutrientes en elevadas concentraciones y heces fecales, que desencadenan una serie de problemas tanto para el cuerpo de agua como la salud de las personas que utilizan este recurso para realizar diferentes actividades, es por lo cual que el estudio de degradación de materia orgánica en aguas residuales provenientes de limpieza de establos bovinos, debe ser atendido y es relevante, en razón de la importancia de analizar y resolver la problemática que afecta a la calidad del recurso hídrico del río Yanuncay.

La remoción de materia orgánica constituye uno de los objetivos del tratamiento de las aguas residuales, siendo el mecanismo más importante para la remoción de dicha materia el metabolismo bacteriano que consiste en la utilización por parte de las bacterias, la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar una nueva biomasa.

La aplicación de esta alternativa como una solución a la contaminación del agua viene siendo adoptada en los últimos años con resultados fructíferos en cuanto al funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico, debido al estudio de los microorganismos en los laboratorios, que permitió conocer cómo actúan en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).

De esta manera la implementación de este sistema para lograr la depuración del agua residual en el sector ganadero, contribuye a un adecuado manejo y disposición final de las aguas de lavado provenientes de dicha actividad, obteniendo varios beneficios ambientales y en la salud de las personas que consumen el agua de esta cuenca.

## **CAPITULO 2.**

### **2 MARCO TEÓRICO.**

#### **2.1 Antecedentes de la contaminación ganadera.**

##### **2.1.1 Contaminación ganadera.**

La ganadería vista desde una óptica de transición geográfica se puede decir que es la principal actividad que predomina al planeta, ocupa más de tres mil novecientos millones de hectáreas lo cual representa aproximadamente el 30 % de la superficie total del planeta. De los tres mil novecientos millones de hectáreas, 500 mil millones están cultivadas de una forma intensiva, mil cuatrocientas son pastizales de productividad relativamente alta y el resto de dos mil millones de hectáreas representan a pastizales extensivos de productividad baja. (Pérez Espejo, 2008)

El crecimiento demográfico y el aumento en la transformación de las preferencias alimentarias, están obligando a que la demanda aumente en los productos pecuarios. A la vez se inicia una manera apresurada en la comercialización de insumos y productos. Se prevé que la producción mundial de carne se incrementara en más del doble, pasando de 229 millones de toneladas en 1999/01 a 465 millones de toneladas en 2050, y que la producción de leche crecerá de 580 a 1043 millones de toneladas. (Chávez, 2009)

##### **2.1.2 Degradación del suelo.**

El ganado que utiliza las zonas de pastoreo modifica sustancialmente las propiedades físicas de los suelos. La compactación es una de las principales problemáticas ya que ocasiona una considerable disminución en la porosidad y cambios en la relación suelo – agua – aire, causando efectos negativos al desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad. El pisoteo, la defoliación y el retorno de nutrientes por los animales pueden considerarse como los principales efectos negativos causados en los ecosistemas de pastizales por el pastoreo. En cuanto al reciclaje de nutrientes se pueden evidenciar los efectos en su transferencia a los vegetales en los potreros debido a los productos excretados por los animales. La mayor parte de estos nutrientes retorna al pastizal en forma de heces y orina. Las excretas contienen nutrientes que son necesarios para las plantas, sin embargo estos nutrientes no pueden ser dispuestos inmediatamente sobre las plantas. La orina es rica en N, K y S mientras que las heces contienen fosforo (poco asimilable) así también como Ca y Mg. El agotamiento de las reservas por debajo de un nivel crítico puede

ocasionar la muerte de las plantas y por consiguiente la cubierta vegetal en los pastizales sujetos al sobre pastoreo, contribuyendo con la erosión y deterioro del suelo. (Cuenca Piso, 2014)

### **2.1.3 Atmosfera y clima.**

El sector pecuario representa una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, al generar dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a lo largo del proceso productivo. El ganado contribuye considerablemente al cambio climático al emitir GEI, sea directamente o indirectamente. Se ha podido determinar, en base a los análisis realizados del ciclo de vida (ACV), que dicho sector emite aproximadamente 7,1 Gt de  $\text{CO}_2$  - eq/año o cerca del 18 por ciento del total de emisiones de los GEI. (Rojas et al., 2014)

Según (Rojas et al., 2014) se calcularon las principales fuentes de emisiones a lo largo de la cadena de suministro pecuario de la siguiente manera:

- El uso y el cambio del uso de la tierra: 2,5 Gt  $\text{CO}_2$ -eq/año, incluyendo los bosques y otra vegetación natural reemplazada por pastizales y cultivos de piensos en el Neotrópico ( $\text{CO}_2$ ) y el carbono (C) liberado del suelo, así como los pastizales y tierras cultivables dedicadas a la producción de piensos ( $\text{CO}_2$ ).
- La producción de piensos (excepto el C liberado del suelo): 0,4 Gt  $\text{CO}_2$ -eq/ año, incluyendo el combustible fósil usado en la elaboración de fertilizantes químicos destinados a los cultivos para la producción de piensos ( $\text{CO}_2$ ) y a la aplicación de fertilizantes químicos en los cultivos para piensos, y a los cultivos de leguminosas para piensos ( $\text{N}_2\text{O}$ ).
- La producción animal 1,9 Gt  $\text{CO}_2$ -eq/año, incluyendo la fermentación entérica de los rumiantes ( $\text{CH}_4$ ) y el uso de combustibles fósiles en las granjas ( $\text{CO}_2$ ).
- La gestión del estiércol: 2,2 Gt  $\text{CO}_2$ -eq/año, principalmente a través del almacenamiento, de la aplicación y la deposición del estiércol ( $\text{CH}_4$ ), ( $\text{N}_2\text{O}$ ).
- Procesamiento y transporte internacional: 0,03 Gt  $\text{CO}_2$ -eq/año.

Estos altos niveles de emisiones producidas pueden hacer que existan grandes oportunidades para poder mitigar el cambio climático a través de esta actividad. La intensificación, entendida como el crecimiento de la productividad tanto de la producción pecuaria como de los cultivos forrajeros, pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la deforestación y degradación de los pastizales.

#### **2.1.4 Agua.**

La ganadería es probablemente la mayor fuente de contaminación del agua y contribuye a la eutrofización, a las zonas muertas en áreas costeras, a la degradación de los arrecifes de coral, a la aparición de problemas de salud en los seres humanos, a la resistencia a los antibióticos y a muchos otros problemas. Las principales fuentes de contaminación provienen de los desechos producidos por los animales, antibióticos y hormonas, productos químicos usados en curtiembres, fertilizantes y plaguicidas usados para la producción y cuidado de los cultivos.

La ganadería también es la responsable de afectar a la recarga de los acuíferos por lo que influye en los procesos de compactación del suelo, reduciendo la capacidad de infiltración, desecamiento de llanuras inundadas y disminución de los niveles freáticos. La actividad ganadera al incrementar la deforestación, también incrementa las escorrentías y reduce los cursos de agua durante la estación seca. El impacto de la actividad ganadera en la erosión, sedimentación y regulación del agua puede corregirse mediante la implementación de medidas contra la degradación del suelo. La contaminación puede contrarrestarse mediante un mejor manejo en la disposición final de los desechos animales en las unidades de producción industrial, una gestión más eficiente del estiércol, así como un mejor uso del estiércol procesado en los cultivos. (Chávez, 2009)

## **2.2 Contaminación producida por los desechos del ganado bovino.**

La contaminación ganadera se da como resultado por la generación de residuos principalmente por la cría intensiva o extensiva del ganado. Expuesta la dimensión del problema que representa esta actividad, no solo por el aumento en los volúmenes sino por el uso inapropiado, puede crear diversos problemas medio ambientales siendo estos contaminación directa por el escurrimiento proveniente de los establos, por pérdidas originadas en filtraciones de infraestructuras que se utilizan para el almacenamiento de

estos residuos y por la percolación profunda y transporte a través de las capas del suelo mediante las aguas de drenaje. (Guerrero, Inga, & Samaniego, 2011)

Esta problemática también puede producirse de una manera indirecta a través de fuentes no puntuales provocadas por escorrentías en las zonas de pastoreo y tierras de cultivo. Dicha contaminación es la más preocupante ya que puede darse a través de vías indirectas y desde fuentes que no es posible establecer con exactitud. Este tipo de contaminación puede ser continua o intermitente, siendo esta última relacionada principalmente a las épocas estacionales de escasas de lluvia o de lluvia intensa. (Loaiza Bedoya & Osorio Montoya, 2009)

### **2.2.1 Los contaminantes principales.**

La producción ganadera incorpora diversos contaminantes que son vertidos en los cuerpos de agua, esta definición se basa en el origen de la producción de residuos, dentro de este grupo podemos realizar una clasificación que tengan en cuenta características propias de este tipo de residuos, dando como resultado el siguiente subgrupo:

- Estiércoles y purines.
- Residuos zoonosanitarios.
- Subproductos de origen animal no destinados a consumo humano.

Los estiércoles están formados por las deyecciones sólidas, líquidas y las camas del ganado. Los purines representan el líquido que procede de la mezcla de orinas del ganado y líquidos que fluyen del estercolero, es decir que es el líquido que escurre del estiércol y no la orina de los animales. En cuanto a la producción de estiércoles y purines se puede tomar de una forma general una producción media odiaría aproximada de deyecciones sólidas y líquidas que equivalen al 7% del peso vivo animal, aunque estos datos están sometidos a diversos factores que pueden causar una alteración del valor citado. (Teixeira Machado et al., 2013)

Se pueden encontrar numerosas tablas de producción de desechos por animal que pueden establecerse. Una de ellas es la siguiente:

Tabla. 1 Producción de residuos por animal

Animales	Peso del animal (kg)	Cantidad de excrementos/día (kg)	% peso vivo
Bovinos de carne	200 -250	15 – 30	5,3 – 7
Vacas lecheras	450 – 600	30 – 50	6 – 9

Fuente: (Teixeira Machado et al., 2013)

La mezcla de contaminación se caracteriza por tener altas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo. De igual manera presentan una demanda química de oxígeno considerable para el cuerpo de agua afectando a la biodiversidad que en él se desarrolla. (Loaiza Bedoya & Osorio Montoya, 2009)

#### 2.2.1.1 Contaminación por Nitrógeno y fósforo.

El nitrógeno es el elemento más abundante en el aire que respiramos, el nitrógeno y fósforo facilitan el crecimiento de plantas acuáticas que brindan comida y hábitat a los peces, moluscos y organismos más pequeños que viven en el agua. Sin embargo, cuando existe un ingreso considerable en la cantidad de estos dos nutrientes a un medio, generalmente por actividades humanas, el aire y el agua se ven altamente contaminados. La contaminación por nutrientes ha afectado a muchos arroyos, lagos, ríos, bahías y aguas costeras.

El exceso de nitrógeno y fósforo es el causante de una sobre estimulación en el crecimiento de algas, haciendo que el ecosistema no pueda lidiar con esa cantidad, el aumento excesivo de algas deteriora la calidad del agua. Los hábitats y el alimento se reducen de una manera significativa por la disminución del oxígeno que los peces y otras especies necesitan para vivir, en algunos casos se ha podido constatar niveles de anoxia que es la ausencia del oxígeno en el agua a causa de la eutrofización. Algunos florecimientos de algas son perjudiciales para la salud de los humanos, ya que producen cantidades excesivas de toxinas y crecimiento bacteriano. El agua subterránea es una fuente de agua potable para millones de personas, puede ser peligrosa si se encuentra contaminada por nutrientes incluso si la contaminación presenta niveles bajos. (US EPA, 2013)

### 2.2.1.2 Contaminación por Materia orgánica (MO).

La materia orgánica es una compleja mezcla de macro moléculas que causan color, olor, sabor, desarrollo de microorganismos patógenos o la presencia de materia no biodegradable. La contaminación por parte de la materia orgánica puede deberse a vertidos urbanos, actividades ganaderas, así como también por escurrimientos agrícolas e industriales con manipulación de compuestos orgánicos. Por ejemplo en un agua residual de concentración media, cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica. (Neira & Amparo, 2014)

La concentración de materia orgánica en el agua se puede determinar con la medida del carbono orgánico total (COT) e, indirectamente midiendo la capacidad reductora del carbono existente con la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). (Rivas et al., 2015)

La contaminación de un río, lago o mar con una alta concentración de materia orgánica procede de la descomposición de dicha materia orgánica, siendo básicamente reacciones químicas que necesitan del oxígeno disuelto que se encuentra en el agua para su desarrollo. La descomposición atiende a reacciones de asimilación de la materia orgánica por parte de los microorganismos en la presencia de oxígeno y nutrientes.

Los compuestos orgánicos presentan combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno, con la participación en determinados casos, de nitrógeno, azufre, calcio, magnesio, fósforo, hierro, etc. Además los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas que representan el 40-60%, hidratos de carbono, 25-50%, grasas y aceites, 10%. (Neira & Amparo, 2014)

Las aguas residuales de origen ganadero se identifican por la presencia de material orgánico en suspensión, de acuerdo a la densidad de estos sólidos y a las características del medio en las que son vertidas, esta materia se acumula o asienta en distintos sectores por donde el efluente pase, produciéndose así una contaminación y afectando la calidad del recurso hídrico.

### 2.2.1.3 Contaminación por microorganismos patógenos (Materia fecal)

La aparición o aumento de bacterias, parásitos, virus y hongos en el agua se debe a cambios directos o indirectos en el medio ambiente y la población como crecimiento industrial, ocupación de regiones que antes permanecían deshabitadas, urbanización no controlada y la disposición inadecuada de excretas humanas y animales. Los cambios que

producen estas actividades antropogénicas se ven directamente reflejados en el entorno y, por tanto en el recurso hídrico. De estas actividades la principal que favorece a la contaminación de las aguas es la agropecuaria por sus cultivos, desplazamiento de animales, uso de abonos y pesticidas y una mala disposición de las aguas residuales.

Las bacterias coliformes son microorganismos que se encuentran presentes en la materia fecal, principalmente en el intestino grueso tanto del hombre como de los animales. Estas bacterias forman parte del conjunto de las aguas residuales que son producidas como desechos de diferentes actividades antropogénicas, de manera que un recuento de dichas bacterias coliformes presenta un indicio del grado de contaminación de las aguas. (Neira & Amparo, 2014)

#### 2.2.1.3.1 Principales microorganismos transmitidos por el agua e indicadores microbiológicos de contaminación.

##### 2.2.1.3.1.1 *Bacterias.*

Dentro de las bacterias consideradas como contaminantes del agua se han aislado las Gram negativas, pertenecientes a los géneros: Pseudomonas, Flavobacterium, Gallionella, Aeromonas, Vibrio, Achromobacter, Alcaligenes, Bordetella, Neisseria, Moraxella y Acinetobacter. Sin embargo el grupo que presenta las características de un potencial bioindicador de la calidad del agua es el de las bacterias coliformes o Enterobacteriaceae, anaerobias facultativas, las cuales son las encargadas de producir gas y la fermentación de lactosa, generando ácidos como productos finales. Dichas bacterias representan el 10 % de los microorganismos intestinales de humanos y animales, por lo que su presencia en el agua indica una contaminación fecal.

En el grupo de las enterobacterias se pueden encontrar otros géneros como Shigella y Salmonella, las cuales son responsables de disentería vacila, Salmonella typhimurium y Salmonella typhi, causantes de gastroenteritis y fiebre tifoidea. Otro grupo representa el género Vibrio [bacilos flagelados, curvados, anaerobios facultativos]. Este grupo de bacterias se transmite por el consumo de aguas contaminadas y son las causantes de una diarrea aguda, con altos índices de mortalidad en brotes de cólera. (Universidad de Antioquia et al., 2017)

#### *2.2.1.3.1.2 Virus.*

Los virus son considerados como la principal causa de mortalidad y morbilidad en cuanto se refiere a las enfermedades transmitidas por el consumo de agua contaminada, cerca del 87% de las enfermedades virales que son transmitidas por el agua representan a los virus de la Hepatitis, Rotavirus y Adenovirus. Hasta la fecha se han registrado más de 140 virus patógenos por la transmisión en el agua previamente contaminada con materia fecal ya sea de personas y animales. (Universidad de Antioquia et al., 2017)

Los principales grupos de virus se pueden ver a continuación en la siguiente descripción:

**Enterovirus:** Son los causantes de la poliomielitis y considerados como bioindicadores de la calidad del agua con las limitaciones de estar variables en los ecosistemas acuáticos.

**Virus de la Hepatitis:** dentro de este grupo se puede encontrar la hepatitis A, B, C, D, E, F, G. Siendo las más comunes transmitidas por el agua la hepatitis A y E.

**Rotavirus:** causantes de diarrea acuosa y vomito principalmente en los niños. Son virus no envueltos, estables en el medio ambiente y presentan una fácil propagación.

**Calicivirus:** son los principales causantes de la gastroenteritis a nivel mundial, son virus no envueltos, resistentes a condiciones ambientales y desinfectantes más comunes. Causantes de enfermedades diarreicas y definido como bioindicador viral de enfermedades transmitidas por el agua y alimentos contaminados.

#### *2.2.1.3.1.3 Parásitos.*

**Protozoos:** son causantes de enfermedades diarreicas y en algunas ocasiones provocan enfermedades graves llevando en algunos casos a la muerte en niños, en su mayoría estos parásitos son retenidos en los procesos de filtración de los sistemas de tratamientos de aguas. Los protozoos más comunes que se encuentran en aguas contaminadas son los siguientes: *Giardia intestinalis*, *Entamoeba histolytica*, *Balantidium coli*, *Toxoplasma gondii*, *Blastocystis* spp., *Enterocytozoon bienersi*, *Encephalitozoon intestinalis*, *Cryptosporidium* spp. (Universidad de Antioquia et al., 2017)

#### *2.2.1.3.1.4 Patógenos Emergentes.*

En este grupo pertenecen las denominadas cianobacterias, conocidas también en el medio como algas verdes – azules, son organismos fotosintéticas y productoras de oxígeno, su patología la causan principalmente las toxinas que producen causando problemas al sistema nervioso y hepático.

## 2.3 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.

### 2.3.1 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego.

Según el libro VI, Anexo 1, (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y., s. f.) Indica que:

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes.

Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en esta Norma.

Tabla. 2 Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN-	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0

Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible	-	Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02

Fuente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes recurso agua libro VI anexo 1

Tabla. 2 Continuación Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Sólidos disueltos totales	-	mg/l	3 000,0
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coniformes Totales	nmp/100 ml	-	1 000
Huevos de parásitos	-	Huevos por litro	CERO

Fuente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes recurso agua libro VI anexo 1

### **2.3.2 Normas generales para descargas de efluentes a cuerpos de agua dulce.**

Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del

balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras. Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga.

Si el sujeto de control es un municipio, este podrá proponer las cargas máximas permisibles para sus descargas, las cuales deben estar justificadas técnicamente; y serán revisadas y aprobadas por la Autoridad Ambiental Competente.

*Tabla. 3 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml	-	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5.	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Potencial de hidrógeno	pH	-	5-9
Sólidos Sedimentables	-	ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/l	100
Sólidos totales	-	mg/l	1 600
Temperatura	°C	-	< 35

*Fuente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes recurso agua libro VI anexo 1*

## **2.4 Sistemas de tratamiento para la depuración de desechos orgánicos.**

### **2.4.1 Caracterización del agua residual de origen ganadero.**

El agua residual de origen ganadero es aquella que se compone principalmente de estiércol, purines, paja y el alimento del ganado. Además se pueden encontrar agentes patógenos como coliformes fecales los cuales son excretados junto con las heces y la orina.

Para caracterizar el agua residual del establo de la hacienda La Vaca se tomaron en cuenta aspectos físicos, químicos y biológicos, se debe tener en cuenta que cada agua

residual es única en cuanto a sus características por lo que los parámetros que serán evaluados a continuación representan los principales objetos de estudio.

#### **2.4.2 Aspectos físicos.**

Olor: estas aguas contaminadas presentan un olor muy característico que se generan por los gases volátiles que produce el metano ( $\text{CH}_4$ ) y por los procesos de degradación de la materia orgánica, despidiendo un fuerte olor.

Turbidez: la turbidez del agua residual del ganado bovino se caracteriza por poseer materia orgánica suspendida finamente dividida, por lo que el grado de turbidez de estas agua se puede medir por la abundancia de dicho material suspendido.

Temperatura: influye directamente en el pH del agua y en la solubilidad, representa un parámetro de gran utilidad al momento de determinar los intercambios de temperatura de este y el medio externo.

pH: este parámetro mide la concentración de iones de hidrogeno presentes en el agua, el valor pH de un agua residual de origen ganadero medido antes de algún tratamiento dan como resultado un pH neutro.

Sales: Cationes y aniones inorgánicos (Na, K, Cl, Mg) y sus sales, provenientes de aditivos usados en la alimentación de los animales o de su metabolismo, las cuales incrementan la salinidad del agua reduciendo su capacidad metabolizadora de los microorganismos y además aumenta los costes de potabilización del agua. (Luzardo et al., 2014)

#### **2.4.3 Aspectos químicos.**

Demanda química de oxígeno (DQO): La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro químico, que representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica presente en disolución o suspendida que puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas y se mide como miligramos de "oxígeno" equivalentes a la fracción orgánica disuelta o suspendida por litro de disolución (agua residual). (Moreno, 1994)

Demanda biológica de Oxígeno (DBO5): es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas residuales. La determinación de la DBO5 además de indicar la presencia y biodegradabilidad de la materia organica presente,

es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias presentes en el agua residual. (Urquiaga Cueva, 2013)

#### **2.4.4 Aspecto Biológico.**

Coliformes Totales: En el caso del agua residual proveniente del sector ganadero se puede tomar como indicador de contaminación a los coliformes totales o como indicador de existencia de organismos que produce enfermedades. Entre las principales bacterias se encuentran el *Escherichia coli* potencialmente peligrosa debido a la posible aparición de *Salmonella* y *Shigella*, los *Enterococos*, *Vibrios*, *Yersinia*, *Adenovirus*, *Enterovirus* y *Rotavirus*. (Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria, s. f.)

#### **2.4.5 Proceso de Digestión anaerobia.**

La digestión anaerobia consiste en un proceso biológico muy complejo y degradativo en el cual se parte de un sustrato como residuos de animales y vegetales para convertirlos en biogás, que es una mezcla de dióxido de carbono y metano, esta acción la realizan grupos de bacterias que son sensibles e inhibidas por el oxígeno. Con la utilización del proceso de la digestión anaerobia se pueden transformar grandes cantidades de residuos como estiércol, residuos vegetales, desechos de las industrias alimentarias y fermentativas, la industria papelera y algunas industrias químicas en subproductos útiles. En el proceso de la digestión anaerobia más del 90% de la energía producida por oxidación directa es transformada en metano, un 10% de energía es consumida por el crecimiento bacteriano en comparación a un sistema aeróbico que consume el 50% de esta energía. (María Teresa Varnero Moreno, 2011)

En el proceso de digestión anaerobia los microorganismos que desempeñan una función de enzimas respiratorios son los metanogénicos, a la par con las bacterias no metanogénicas, de esta forma los residuos que son producidos se transforman en su totalidad en biogás que abandona el sistema. Sin embargo hay que tomar en cuenta que el biogás generado suele estar contaminado con la presencia de diferentes componentes dificultando su manejo y aprovechamiento.

##### **2.4.5.1 Respiración anaerobia.**

Es un proceso biológico de óxido-reducción en el cual el aceptor de electrones es una molécula inorgánica distinta al oxígeno. Esta acción la realiza un grupo determinado de

bacterias y para lo cual utilizan una cadena transportadora de electrones análoga a la de las mitocondrias en la respiración aeróbica.

El proceso de respiración anaeróbica requiere aceptores de electrones externos para la disposición de los electrones liberados durante el proceso de la degradación de materia orgánica, los aceptores de electrones en este caso pueden ser  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3$ .

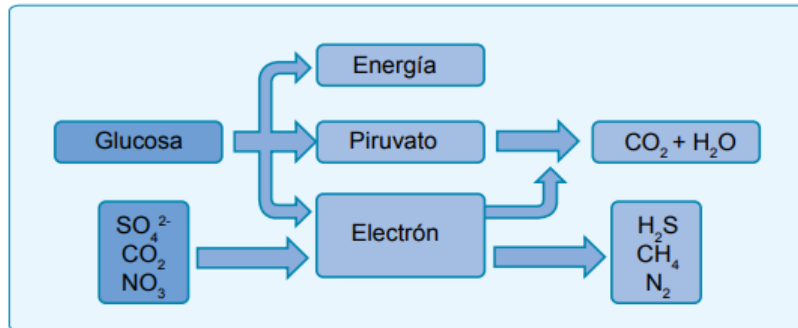


Fig. 1 Respiración anaeróbica de la glucosa

Fuente: (María Teresa Varnero Moreno, 2011).

Cuando el  $\text{CO}_2$  acepta los electrones que han sido liberados por parte de la materia orgánica, se presenta una reducción a gas metano  $\text{CH}_4$ . La producción de este gas mediante este proceso se la conoce con el nombre de metanogénesis hidrogenotrófica y es la responsable de la producción de un tercio de total de metano. Algunos microorganismos anaerobios también suelen utilizar el  $\text{CO}_2$  como un aceptor de electrones reduciendo el hidrogeno a ácido acético. La presencia de un sulfato en un sistema anaerobio desvía parte de la materia orgánica hacia la reducción del sulfato mediante un grupo de bacterias conocidas como reductoras de sulfato. La liberación de sulfuro de hidrogeno es muy característico de ambientes anaeróbicos en los cuales el sulfato actúa como un aceptor de electrones. Cuando el nitrato se utiliza como aceptor de electrones se reduce a gas nitrato, este es un proceso que corresponde a la remoción de compuestos nitrogenados en aguas residuales. (María Teresa Varnero Moreno, 2011)

#### 2.4.5.2 Sulfato como receptor de electrones.

La habilidad para poder y utilizar el sulfato como un receptor de electrones es muy raro, por lo que existe solo un grupo de microorganismos capaces de realizar esta acción, entre los que están el *Clostridium* y el género de *Desulfovivrio*.



#### 2.4.5.3 Dióxido de carbono como receptor de electrones.

Existe un pequeño grupo que utiliza el dióxido de carbono como receptor de electrones, en especial las bacterias arqueas que son las productoras de metano. En este caso la producción de energía se da por la oxidación del hidrogeno.



#### 2.4.6 Proceso microbiológico y bioquímico de la digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso que se caracteriza por la existencia de varias etapas consecutivas que se diferencian por el proceso que se lleva a cabo para degradar el sustrato, por lo general se suele hablar de tres etapas en las cuales intervienen cinco grupos de microorganismos heterogéneos, es decir poblaciones compuestas por seres con diferentes velocidades de crecimiento y sensibilidad a los compuestos intermedios que se generen y actúen como inhibidores. De forma general se identifican tres procesos consecutivos que son: hidrólisis, acidogénesis, y metanogénesis, estos tres procesos constituyen cuatro etapas: hidrolítica, acidogénica, acetogénica y metanogénica. (González Cabrera, 2014a)

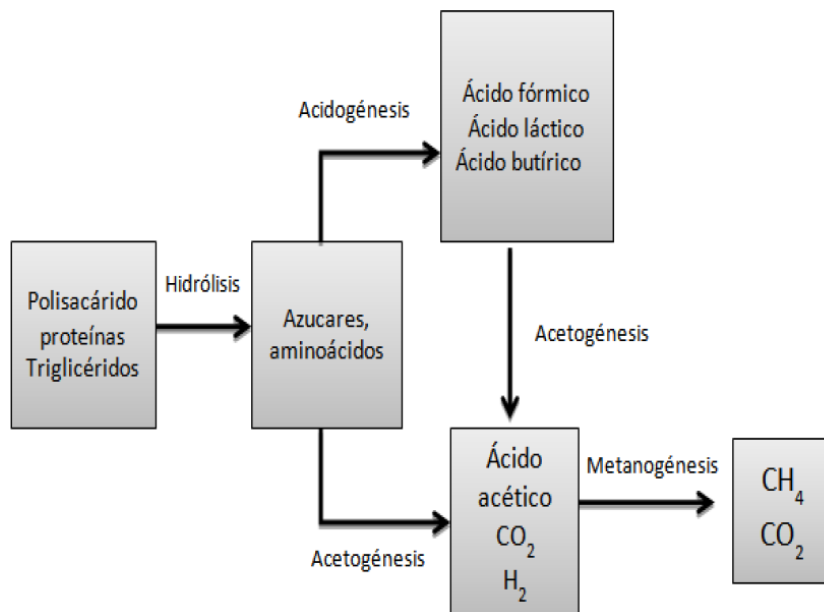


Fig. 2 Procesos anaerobios.

Fuente: (Martínez Martínez & Mosquera Calle, 2012)

#### *2.4.6.1 Etapa Hidrolítica.*

Consiste en la degradación de las moléculas orgánicas complejas como lípidos, proteínas y ácidos grasos los cuales constituyen la biomasa, originando moléculas más simples. Las bacterias que producen la hidrólisis pueden ser anaerobias estrictas o facultativas las cuales son muy numerosas y se desarrollan en el medio cuando las condiciones son favorables. Además en esta etapa se realizan un amplio espectro de actividades enzimáticas sobre los polímeros orgánicos, desdoblándolos en monómeros o fragmentos más sencillos. (Martínez Martínez & Mosquera Calle, 2012b)

#### *2.4.6.2 Etapa Acidogénica.*

Los compuestos solubles resultantes de la etapa hidrolítica pasan a ser transformados por la acción de los microorganismos y bacterias fermentativas, que dan como resultado el ácido acético ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ), hidrogeno ( $\text{H}_2$ ), y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y en menores cantidades: alcoholes, ácidos grasos volátiles y ácidos orgánicos. Como se mencionó anteriormente en este proceso intervienen bacterias acidogénicas, siendo las más comunes el *Butyvirio*, *Propionbacterium*, *Bacteroides*, *Ruminococos*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococos* y *Enterobacterias*. (González Cabrera, 2014a)

#### *2.4.6.3 Etapa Metanogénica.*

Esta etapa constituye la parte final del proceso en la que los compuestos como el ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono son transformados a  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  en esta etapa se distinguen dos tipos principales de microorganismos, los que degradan el ácido acético (bacterias metanogénicas acetoclásicas) y los que consumen hidrogeno (metanogénicas hidrógenofilas). (Martínez Martínez & Mosquera Calle, 2012b)

### **2.5 Parámetros condicionantes de la digestión Anaerobia.**

La digestión anaerobia está condicionada en gran medida por las condiciones en las que se desarrolla el proceso, los parámetros de control que son más relevantes en este proceso y que van a tener una gran influencia se pueden observar en la Tabla 4. De forma general se pueden diferenciar entre parámetros ambientales y operacionales.

Tabla. 4 Parámetros condicionantes

Parámetros Ambientales	Parámetros Operacionales
pH	Temperatura
Potencial Rédox	Agitación/mezclado
Nutrientes	Tiempo de retención
Tóxicos e inhibidores	Velocidad de carga orgánica

Fuente: (González Cabrera, 2014)

### **2.5.1 Parámetros Ambientales.**

#### **2.5.1.1 pH.**

El parámetro del pH va a ser fundamental para el desarrollo de la máxima actividad por los microorganismos que se identifican en cada una de las fases:

- microorganismos hidrolíticos pH entre 7,2 y 7,4.
- Microorganismos acetogénicos pH entre 7 y 7,2.
- Microorganismos metanogénicos pH entre 6,5 y 7,5.

Para poder mantener el pH en niveles óptimos va a ser de gran importancia el mantenimiento del equilibrio del sistema formado por las diferentes formas de carbono inorgánico (dióxido de carbono, bicarbonato). Estos residuos orgánicos complejos al representar valores de pH más elevados, van a ser capaces de autorregular permanentemente el pH en las etapas que se generan una mayor concentración de los ácidos y en el caso de que no ocurriera esta regulación es necesario una intervención externa sobre este parámetro. Las mezclas de estos diferentes tipos de residuos pueden controlar de una manera más fácil la alcalinidad para alcanzar así un nivel de pH optimo, se puede admitir una alcalinidad entre 2 y 3 gCaCO<sub>3</sub>/L para su regulación. (González Cabrera, 2014a)

#### **2.5.1.2 Potencial Rédox.**

Este parámetro debe presentar un valor suficientemente bajo para que de esta manera los organismos metanogénicos estrictos puedan desarrollarse con facilidad, ya que este tipo de microorganismos requieren potenciales de oxidación - reducción inferior a -300 mV.

### 2.5.1.3 *Nutrientes.*

Los residuos que van a ser degradados deben representar una relación adecuada para que permita el desarrollo adecuado de los microorganismos que intervienen en el proceso. Los elementos más importantes para este proceso son: nitrógeno, carbono y fósforo. La relación carbono y nitrógeno debe comprender entre 15/1 y 45/1, siendo un valor recomendable 30/1, ya que valores inferiores pueden causar una disminución en la velocidad de reacción. Mientras que en la relación del carbono y fósforo debe ser 150/1, con valores inferiores pueden darse problemas de inhibición según lo expresa. (González Cabrera, 2014a)

### 2.5.1.4 *Tóxicos e inhibidores.*

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en diferentes concentraciones pueden causar una inhibición en el proceso e incluso interrumpirlo. Cuando se presenta una concentración demasiado alta de los ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílica) se inhibirá la digestión, de igual manera si el nitrógeno se encuentra en altas concentraciones puede producir amoníaco, el cual en grandes cantidades es tóxico, destruyendo las bacterias y alterando el pH. (Martínez Martínez & Mosquera Calle, 2012b)

De igual manera se refiere (González Cabrera, 2014), la toxicidad de los metales pesados va a depender de la forma química en la que se encuentren en el sistema y de los niveles del pH, la Tabla 5 describe los límites para ciertos metales pesados.

Tabla. 5 Metales pesados en la inhibición.

Metal	Concentraciones de inhibición (mg/l)	Límite de toxicidad (mg/l)	Concentración para 50% inhibición (mg/l)
Cr (III)	130	260	-
Cr (VI)	110	420	-
Cu	40	70	211
Ni	10	30	134
Cd	-	20*	-
Pb	340	340*	-
Zn	400	600	136

Fuente: (González Cabrera, 2014)

Otros elementos que actúan como limitantes para la digestión anaerobia son los fenoles, tiosulfatos, tiocianatos, cianuros, agentes oxidantes tales como cromátos y cloro, tensoactivosaniónicos, antibióticos, pesticidas y sales.

## 2.5.2 Parámetros operacionales.

### 2.5.2.1 Temperatura.

La temperatura del sistema se considera como un factor que influye decisivamente en el proceso anaerobio, ya que de este parámetro va a depender en gran medida las velocidades de reacción con las que se lleva a cabo la digestión. La temperatura podrá estar comprendida en rangos psicrófilicos de (15 a 18°C), mesófilico (28 a 33°C), y termófilico (50 a 60°C).

Como lo expresa (González Cabrera, 2014a), en la Tabla 6 se describen los rangos importantes de temperatura, tasas de crecimiento y reacción que aumentan conforme lo hace el rango de la temperatura.

Tabla. 6 Rangos de temperatura.

Bacterias	Rango de Temperaturas			Tiempo de retención (días)	Sensibilidad
	Mínimo	Óptimo	Máximo		
Psicofísicas	4 a 10	15 a 18	25 a 30	>100	±2°/hora
Mesofílicas	15 a 20	28 a 33	35 a 45	30 a 60	±1°/hora
Termofílicas	25 a 45	50 a 60	75 a 80	10 a 16	±0,5°/hora

Fuente: (González Cabrera, 2014)

#### 2.5.2.2 Agitación/mezclado.

Por varias razones en los sistemas anaerobio es necesario mantener un grado de agitación como lo explica (González Cabrera, 2014a) a continuación:

- Con el mezclado se consigue un homogenizado del sustrato de alimentación con el sustrato de la digestión.
- Se evita la formación y acumulación de espumas.
- Se logra una distribución uniforme del calor para mantener una isoterma adecuada.
- Se favorece la transferencia de gases que pueden dar lugar a burbujas en el sustrato.

#### 2.5.2.3 Tiempo de retención.

Otro de los factores más importantes en un sistema anaerobio es que las bacterias tengan un tiempo suficiente para poderse reproducir y metabolizar los sólidos volátiles (SV). Los parámetros clave en este sentido son el tiempo de retención de sólidos (TRS), el cual se describe como tiempo promedio en que las bacterias están en el sistema, y el tiempo de retención hidráulico (THR), que es el tiempo promedio en que el lodo líquido se mantiene en el sistema. (Martínez Martínez & Mosquera Calle, 2012b)

#### 2.5.2.4 Velocidad de carga orgánica.

Se la define como la cantidad de materia orgánica introducida en el sistema por unidad de volumen y tiempo. Un valor bajo de velocidad de carga orgánica implica una baja concentración en el influente o un elevado tiempo de retención, mientras que un incremento lleva a la reducción en la producción de gas por unidad de materia orgánica. Es por este motivo que se debe buscar un valor óptimo para cada instalación y residuo a tratar. (González Cabrera, 2014a)

## **2.6 Productos finales de la digestión anaerobia.**

### **2.6.1 Biosólidos.**

Los biosólidos están compuestos principalmente de material orgánico que puede ser utilizado para diferentes usos por su gran contenido en nutrientes como P, N, K. Un ejemplo de los usos para los biosólidos es incorporarlos a los terrenos y potreros para abastecerlos de nutrientes renovando así la materia orgánica de los mismos.

Esta aplicación de biosólidos al terreno tiene varios propósitos como mejorar las características físicas y químicas del suelo, tales como textura y la capacidad de absorción del agua, las cuales son favorables para el crecimiento de las raíces e incrementando la tolerancia de la vegetación en tiempos de sequía. La aplicación de biosólidos también provee de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo al nitrógeno y el fosforo, así también algunos micronutrientes como el níquel, zinc y el cobre. (Martínez Martínez & Mosquera Calle, 2012b)

### **2.6.2 Contaminantes en los biosólidos.**

#### **2.6.2.1 Metales.**

Los metales que se pueden encontrar en los biosólidos son: zinc, cobre, níquel, cadmio, plomo, mercurio, y cromo. Su potencial de acumulación en los tejidos humanos y su biomagnificación en la cadena alimentaria presentan grandes preocupaciones medioambientales y sanitarias. Estos metales están siempre presentes pero en concentraciones bajas, en las aguas residuales estas concentraciones se encuentran en niveles elevados y preocupantes.

#### **2.6.2.2 Contaminantes orgánicos.**

Los plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tensos activos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y sobre la salud humana. Muchos de estos se degradan lentamente, por lo tanto en sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales con tiempos de residencia más largos se podría aumentar la capacidad para poder eliminar estos compuestos.

### 2.6.2.3 Agentes patógenos.

Los agentes patógenos más importantes que se han encontrado en los lodos son las bacterias, virus (especialmente enterovirus), los protozoos, los trematodos, los cestodos y los nematodos. Para que cualquier vertido de lodos sea seguro es preciso la eliminación de los agentes patógenos, para esto se puede aplicar tratamientos como la pasteurización, digestión anaerobia y aerobia, el compostaje, la estabilización con cal, el almacenamiento en estado líquido, la deshidratación y el almacenamiento en seco.

## CAPITULO 3.

### 3 METODOLOGÍA.

#### 3.1 Diseño de tratamiento del agua residual.

El ensayo cuenta con seis reactores de plástico con una capacidad de 15 litros cada uno, dichos reactores contienen el agua residual proveniente del lavado del establo de la hacienda La Vaca. Los reactores se disponen en dos grupos con diferentes concentraciones de contaminante y dosis de bacterias anaerobias a lo largo de treinta días en los cuales se verifica su comportamiento en la reducción de contaminantes y su efectividad.

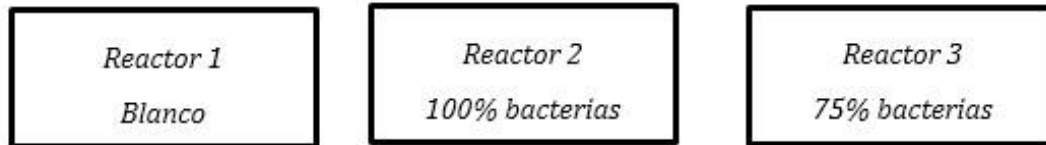
Los controles que se establecen para verificar la reducción de la contaminación se realiza por medio de toma de muestras para su posterior análisis en un laboratorio con los parámetro mencionados a continuación DQO, DBO, Coliformes Fecales, Conductividad, pH, Salinidad, Temperatura, Solidos Suspendidos, durante los días 0, 10, 20 y 30, de esta manera se puede constatar el comportamiento de este sistema y el grado de reducción de la contaminación.

#### 3.1.1 Ensayos del primer grupo de reactores.

El grupo uno contiene los reactores denominados como 1, 2 y 3, el reactor 1 sirve como blanco de muestra en donde se coloca el agua del lavado del establo de la hacienda sin bacterias anaerobias y se toma una muestra para el punto de partida del experimento, el reactor 2 contiene el 100% de bacterias en una concentración del 100% del agua contaminada, en el reactor 3 se coloca el 100% del agua contaminada y se reduce la dosis

de bacterias al 75% para su evaluación en el comportamiento a lo largo de 30 días, según lo expresa (González Cabrera, 2014b), en cuanto a los rangos de temperatura de las bacterias mesofílicas como se muestra en la tabla 6.

*Grupo uno alta carga contaminante.*



*Fig. 3 Grupo uno de reactores.*

*Fuente: El Autor*

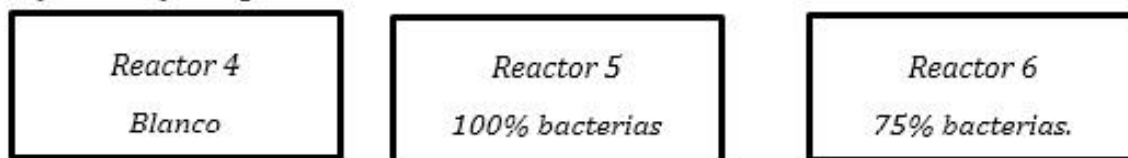
Las dosis que se utilizan son de 52ml de bacterias anaerobias por cada metro cubico de agua contaminada. En los reactores de 15 litros se utiliza una dosificación de 0.77ml que representan el 100% de la dosis, mientras que para el 75% de la dosificación de bacterias se coloca 0.58ml.

La dosificación en la primera semana de tratamiento es aplicar todos los días las bacterias en las dosificaciones correspondientes en cada reactor, la segunda y tercera semana se realiza dos aplicaciones y en la última semana solo una aplicación de mantenimiento.

### **3.1.2 Ensayos en el segundo grupo de reactores.**

El grupo dos contiene los reactores denominados como 4, 5 y 6, en este grupo de reactores la muestra se mantiene diluida al 25% conformado por tres partes de agua contaminada y una parte de agua limpia con el fin de representar las condiciones ambientales de la zona ya que el clima es muy variante presentando precipitaciones de lluvia constante. De la misma manera el reactor 4 sirve como blanco de muestra donde se coloca el agua del lavado del establo de la hacienda sin bacterias anaerobias y se realiza una muestra para el punto de partida del experimento, el reactor 5 contiene 100% bacterias en una concentración del 75% del agua contaminada, en el reactor 6 se coloca el 75% de bacterias con el 75% de concentración del agua contaminada donde se evalúa su comportamiento a lo largo de 30 días.

*Grupo dos baja carga contaminante dilución al 25%.*



*Fig. 4 Grupo uno de reactores.*

*Fuente: El Autor*

De la misma manera la dosis que se aplica es de 52ml por cada metro cubico de agua contaminada. En los reactores de 15 litros se utiliza una dosificación de 0.77ml que representan el 100% de la dosis, mientras que para el 75% de la dosificación de bacterias se coloca 0.58ml.

### **3.2 Caracterización del agua contaminada de los reactores.**

La caracterización del agua contaminada contempla los parámetros de (DBO, DQO, Coliformes Fecales, Conductividad, pH, Salinidad, Solidos Suspendidos, Temperatura) los cuales son definidos como necesarios para alcanzar los objetivos propuestos en el trabajo de investigación, además brindan la información necesaria en cuanto a la degradación de los contaminantes por parte de los microorganismos anaerobios.

Como primer paso se realiza la caracterización de parámetros en los reactores 1 y 4 asignados como blancos del estudio, el reactor 1 con un 100% de la concentración del agua contaminada y el reactor 4 con una dilución al 25% de la misma agua contaminada. Los análisis de agua contemplan los parámetros de DQO, DBO y Coliformes Fecales que son realizados en el laboratorio, mientras que los parámetros de Conductividad, pH, Salinidad, Solidos Suspendidos y Temperatura se los mide insitu. Los resultados obtenidos en este proceso aportan información necesaria para la implantación de la línea base referida a la contaminación del agua.

### **3.3 Muestreos.**

Para efectuar los diferentes muestreos que contiene el estudio se consideró lo siguiente:

1. La primera toma de muestras se realiza a los blancos de cada grupo de reactores 1 y 4 respectivamente. El mismo día se colocan las bacterias en los reactores 2, 3, 5, y 6 para comenzar con el estudio de degradación del contaminante.

2. La segunda toma de muestras se realiza luego de 10 días de la primera aplicación de los microorganismos anaerobios a los reactores 2, 3, 5 y 6
3. La tercera toma de muestras se realiza a los 20 días de la primera aplicación en los reactores 2, 3, 5 y 6
4. La cuarta toma de muestras se realiza a los 30 días de la primera aplicación en los reactores 2, 3, 5 y 6

### **3.4 Análisis de datos.**

Con los datos obtenidos de los muestreos en (DBO, DQO, Coliformes Fecales, Conductividad, pH, Salinidad, Sólidos Suspendidos, Temperatura), se puede interpretar los resultados estadísticamente mediante curvas de comportamiento de la materia orgánica incluidas las bacterias añadidas:

1. El primer análisis hace referencia al nivel de degradación que alcanza cada uno de los reactores en los diferentes escenarios de contaminación y dosis de bacterias que son aplicadas.
2. El segundo análisis contempla las cinéticas de degradación representadas como  $K_1$  que es la velocidad de degradación de la materia orgánica por día y  $K_2$  que es la constante de velocidad de re aireación, dichas cinéticas están directamente influenciadas por los factores ambientales de la zona de estudio.
3. El tercer análisis se refiere al tiempo de retención hidráulico que se considera para este estudio según (Guerrero et al., 2011), un tiempo de 30 días es necesario para observar el comportamiento en la degradación de un sistema anaerobio.

### **3.5 Desarrollo del modelo de calidad de agua.**

En el modelo de calidad de agua se analizan dos escenarios:

1. Ingreso del agua contaminada hacia el río Yanuncay sin un previo tratamiento.
2. Ingreso del agua contaminada hacia el río Yanuncay con el previo tratamiento mediante la aplicación de bacterias anaerobias.

Inicialmente se realiza la recopilación de datos obtenidos luego de haber finalizado las pruebas de laboratorio durante los 30 días, para posteriormente definir el tramo de río, las secciones y los valores fisicoquímicos e hidrológicos a modelar, teniendo como objetivo la

identificación del comportamiento de los parámetros mediante el modelo de Streeter-Phelps.

Durante el proceso de modelación se tienen en cuenta las características hidrológicas de la corriente de agua, las características climatológicas de la zona en donde se realiza el vertido, las características de la calidad de agua del río que está receptando el vertido.

El modelo matemático de Streeter-Phelps hace referencia a la relación que existe en el abastecimiento de oxígeno disuelto en una corriente de agua, cuando a esta ingresa una carga de materia orgánica. De acuerdo con (Jair Ordoñez Moncada & Martín Palacios Quevedo, 2017), para la modelación del comportamiento del oxígeno disuelto con la presencia de una carga orgánica, se considera de manera fundamental dos ecuaciones: la ecuación de la degradación de materia orgánica y la del comportamiento del oxígeno disuelto aguas abajo del punto de vertido.

## CAPITULO 4

### 4 RESULTADOS

#### 4.1 Análisis estadístico de los datos obtenidos del estudio de biodegradación anaerobia.

##### 4.1.1 Análisis estadístico DBO.

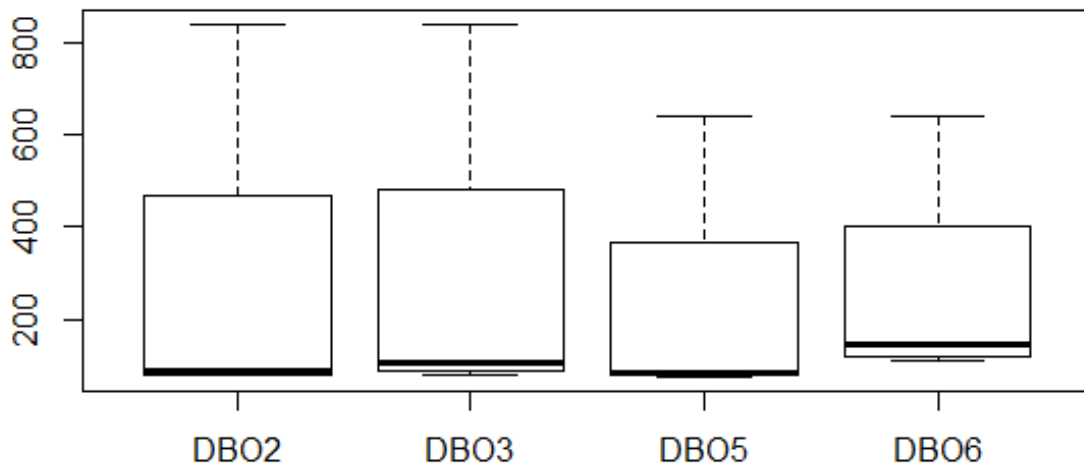


Fig. 5 Parámetro DBO

Fuente: El Autor

Tabla. 7 Resultados del análisis estadístico DBO.

<b>DBO2</b>	<b>DBO3</b>	<b>DBO5</b>	<b>DBO6</b>
Min. : 80.00	Min. : 81.0	Min. : 76.0	Min. :110
1st Qu.: 80.75	1st Qu.: 91.5	1st Qu.: 79.0	1st Qu.:125
Median : 88.00	Median :107.5	Median : 85.0	Median :145
Mean :274.00	Mean :284.0	Mean :221.5	Mean :260
3rd Qu.:281.25	3rd Qu.:300.0	3rd Qu.:227.5	3rd Qu.:280
Max. :840.00	Max. :840.0	Max. :640.0	Max. :640
Desviación Estandar2 = 377.39	Desviación Estandar3 = 371.01	Desviación Estandar5 = 219.06	Desviación Estandar6 = 254.16
Coficiente variación 2= 137.73	Coficiente variación 3= 130.64	Coficiente variación 5 = 125.98	Coficiente variación 6 = 97.75
Regresión= 22.6 días	Regresión= 23 días	Regresión= 16,82 días	Regresión= 16,20 días

Fuente: El Autor

Con respecto al parámetro DBO se muestra en la imagen 5 que todos los reactores en donde se aplican las bacterias anaerobias presentan una disminución considerable en la carga del agua contaminada. El reactor denominado como DBO2 contiene una concentración del contaminante al 100% y una dosis de bacterias del 100% en donde se ve que parte de un valor máximo de 840 mg/l a un mínimo de 80 mg/l. El reactor denominado como DBO3 tiene una concentración del 100% y una dosis de bacterias del 75% partiendo con un valor máximo de 840 mg/l a un mínimo de 81,0 mg/l. Comparando estos dos reactores se puede ver que el reactor DBO2 obtiene una mayor reducción en la DBO, en la Tabla 7 se evidencia este resultado con los valores de la mediana los cuales no varían significativamente, esto se comprueba con los valores de la desviación estándar y el coeficiente de variación para verificar la dispersión de los datos, la diferencia que se presenta se debe a la dosis de las bacterias en cada reactor siendo la más eficiente la del 100%.

Los reactores DBO5 y DBO6 están diluidos al 25% en los cuales se aplica el 100% y 75% de bacterias respectivamente, como se ve en la imagen 4 el reactor que obtiene la

mayor degradación de la DBO es el reactor en el cual se aplica el 100% de la dosis de bacterias comenzando en un máximo de 640 mg/l a un mínimo de 76 mg/l. Esto quiere decir que se debe aplicar la dosis completa de bacteria para obtener una mayor efectividad en el tratamiento de la depuración.

#### 4.1.2 Análisis estadístico DQO.

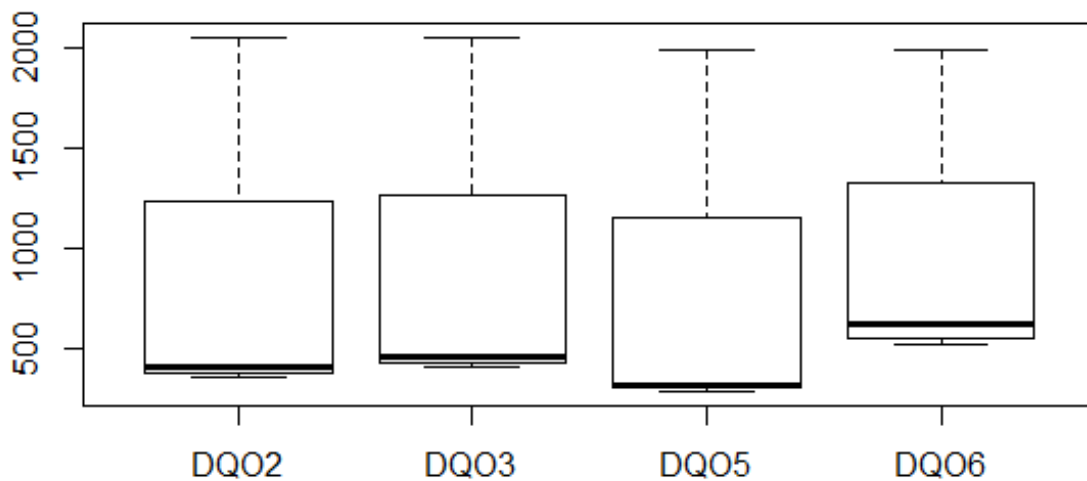


Fig. 6 Parámetro DQO.

Fuente: El Autor

Tabla. 8 Resultados del análisis estadístico DQO.

DQO2	DQO3	DQO5	DQO6
Min. : 360.0	Min. : 410.0	Min. : 294	Min. : 521.0
1st Qu.: 390.0	1st Qu.: 445.2	1st Qu.: 312	1st Qu.: 566.8
Median : 416.0	Median : 467.5	Median : 322	Median : 625.0
Mean : 809.2	Mean : 847.5	Mean : 730	Mean : 938.2
3rd Qu.: 835.2	3rd Qu.: 869.8	3rd Qu.: 740	3rd Qu.: 996.5
Max. : 2045.0	Max. : 2045.0	Max. : 1982	Max. : 1982.0
Desviación Estandar <sup>2</sup> = 824.35	Desviación Estandar <sup>3</sup> = 798.83	Desviación Estandar <sup>5</sup> = 834.77	Desviación Estandar <sup>6</sup> = 698.44
Coefficiente variación 2 = 101.86	Coefficiente variación 3= 94.25	Coefficiente variación 5 = 114.35	Coefficiente variación 6 = 74.44
Regresión= 50.9 días	Regresión= 49.3 días	Regresión= 50.6 días	Regresión= 44.7 días

Fuente: El Autor

En cuanto al análisis del parámetro DQO se puede ver en la imagen 6 que los reactores DQO2 y DQO3 presentan un comportamiento similar en la reducción del mismo, la variación en los datos que muestra la tabla 8 indica que tanto la mediana, desviación estándar y el coeficiente de variación están agrupados representando un comportamiento uniforme. La diferencia de valores en la degradación se debe a la dosificación que recibe cada reactor como se puede ver en el reactor DQO2 empieza en un máximo de 2045.0 mg/l y llega a un mínimo de 360 mg/l, mientras que en el reactor DQO3 llega a un mínimo de 410 mg/l indicando que la dosis más efectiva fue del 100% de bacterias.

Siguiendo con los reactores DQO5 y DQO6 los cuales se encuentran diluidos al 25% indicando una concentración del contaminante más baja, se puede ver en la tabla 8 que ambos reactores inician en un valor máximo de 1982 mg/l, y donde se puede mayor efectividad en la degradación de DQO es en el reactor DQO5 llegando a un mínimo de 294 mg/l, mientras que en el reactor DQO6 solo logra alcanzar un mínimo de 521 mg/l recalcando que la efectividad del tratamiento depende de la dosis de bacterias que se aplique.

#### 4.1.3 Análisis estadístico coliformes fecales

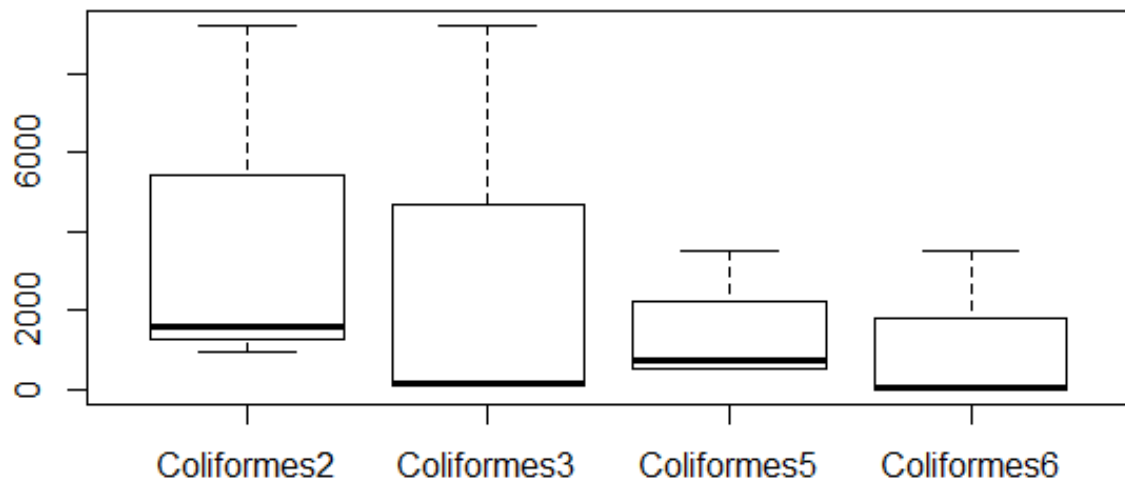


Fig. 7 Parámetro Coliformes Fecales.

Fuente: El Autor

Tabla. 9 Resultados del análisis estadístico Coliformes Fecales.

Coliformes 2	Coliformes 3	Coliformes 5	Coliformes 6
Min. : 920	Min. : 79.0	Min. : 540	Min. : 2.0
1st Qu.:1430	1st Qu.: 109.8	1st Qu.: 540	1st Qu.: 3.5
Median :1600	Median : 145.0	Median : 730	Median : 37.0
Mean :3330	Mean :2392.2	Mean :1375	Mean : 894.0
3rd Qu.:3501	3rd Qu.:2427.5	3rd Qu.:1565	3rd Qu.: 927.5
Max. :9200	Max. :9200.0	Max. :3500	Max. :3500.0
Desviación Estandar2 = 3926.29	Desviación Estandar3 = 4538.65	Desviación Estandar5 = 1427.94	Desviación Estandar6 = 1737.62
Coeficiente variación 2 = 117.89	Coeficiente variación 3 = 189.72	Coeficiente variación 5= 103.85	Coeficiente variación 6 = 194.36
Regresión= 221 días	Regresión= 271 días	Regresión= 92,6 días	Regresión= 105.6 días

Fuente: El Autor

En el análisis de coliformes como se ve en la imagen 7, los reactores Coliformes 2 y Coliformes 3 adquieren un comportamiento diferente en lo que se refiere a la reducción de los niveles de contaminación de este parámetro, en la tabla 9 se puede constatar esta variación ya que ambos reactores parten con una concentración máxima de 9200 NMP/100ml, llegando a un mínimo de 920 NMP/100ml en el reactor Coliformes 2 y 79 NMP/100ml en el reactor Coliformes 3, de la misma manera ocurre en los reactores 5 y 6 que parten con una concentración inicial de 3500 NMP/100ml, llegando a 540NMP/100ml y 2NMP/100ml respectivamente. Este parámetro se comporta de manera distinta a la de DBO y DQO ya que las coliformes tienden a ser representadas con un número más probable de la muestra por lo que se tiene datos aproximados del total de coliformes existentes.

## 4.2 Curvas de degradación del agua residual.

### 4.2.1 Curva de degradación DBO.

Para interpretar la curva de comportamiento de la materia orgánica incluidas las bacterias añadidas del parámetro DBO se parte en base a un análisis con líneas de tendencia polinómica de orden 3 que representan los resultados de las mediciones que se realizan a lo largo de todo el experimento, para luego mediante un análisis matemático con

la obtención y resolución de ecuaciones por derivación se consigue el modelo exponencial el cual describe de una manera real el comportamiento de la degradación del contaminante.

#### 4.2.1.1 Reactor DBO2

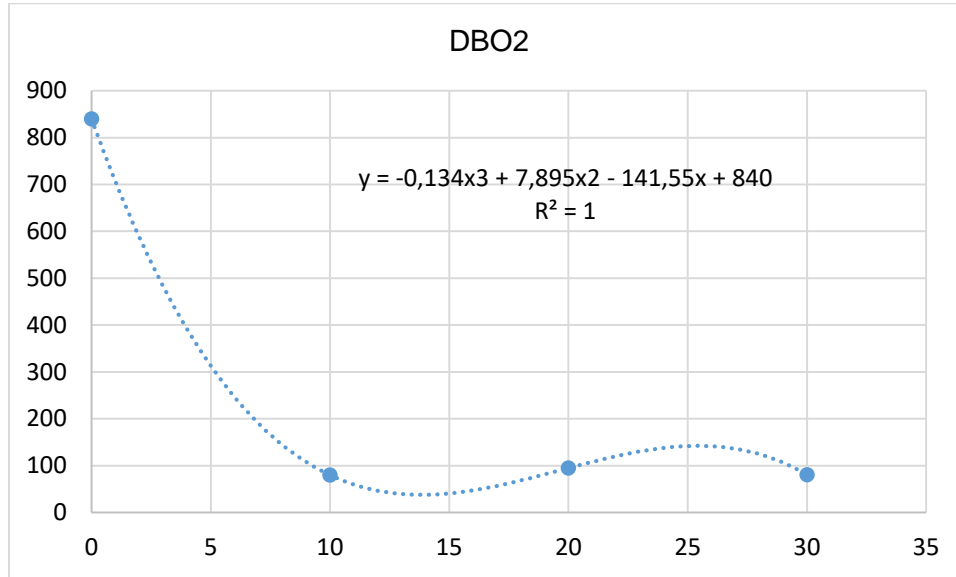


Fig. 8 Curva de degradación polinómica en el reactor DBO2.

Fuente: El Autor

Para el análisis del reactor DBO2 se utiliza una línea de tendencia polinómica de orden 3, como resultado de este análisis tenemos la ecuación 1 en la cual se despeja el dato del eje "x", que representa los días en el que se produce la mayor reducción de DBO durante el experimento como se muestra a continuación:

$$y = -0,134x^3 + 7,895x^2 - 141,55x + 840 \quad (3)$$

Para resolver la ecuación 3 se procede a la derivación matemática la cual nos da como resultado la ecuación 4.

$$-0,402x^2 + 15,79x - 141,55 = 0 \quad (4)$$

Una vez resuelta la ecuación 4 se llega al resultado del día en el que ese produjo la mayor degradación de la DBO como se muestra en la tabla 10.

Tabla. 10 Día de mayor degradación de la DBO en el reactor DBO2.

Día
13,89

Fuente: El Autor

El valor de la tabla 10 es reemplazado en la ecuación inicial para encontrar el punto faltante en el eje "y" que representa la cantidad en miligramos litros de DBO.

$$y = -0,134(13,89)^3 + 7,895(13,89)^2 - 141,55(13,89) + 840 \quad (5)$$

En la tabla 11 se observa el resultado de la ecuación 3 que representa la mayor degradación de la DBO a la cual llego el experimento.

Tabla. 11 Resultados de la mayor degradación de la DBO en el reactor DBO2.

DBO
38,03 mg/l

Fuente: El Autor

Una vez encontrados los puntos necesarios para el ajuste en el modelo de degradación que representa la realidad del experimento tenemos como resultado la figura 9.

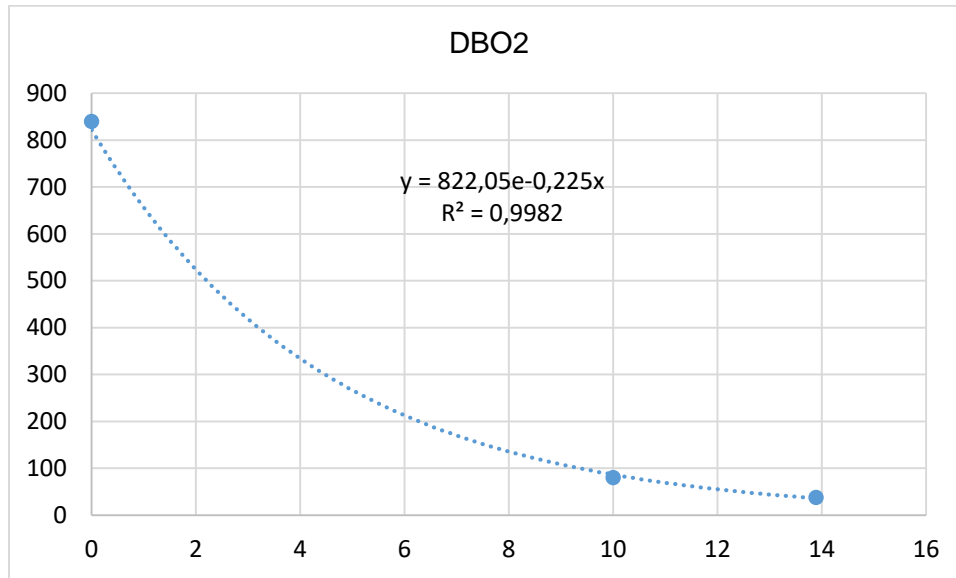


Fig. 9 Curva de degradación exponencial en el reactor DBO2

Fuente: El Autor

La curva de degradación que manifiesta el reactor DBO2 se observa en la figura 9 en la que oscilan valores de concentración iniciales de 840 mg/l, a esta concentración se le aplica la dosis del 100% de bacterias anaerobias dando como resultado una disminución en la concentración de DBO a los 10 días menores a 100 mg/l cumpliendo con los límites de vertido a un cuerpo de agua que se exponen en la tabla 3, e incluso llegando a valores más bajos de 38,03 mg/l a los 14 días. Cabe destacar que los resultados obtenidos en la degradación de DBO en el reactor DBO2 son muy eficientes ya que se logra cumplir con la normativa ambiental y además se mejoran los tiempos de retención hidráulica que oscilan entre 20 días en climas fríos, llegando con el experimento a 14 días con la mayor degradación del contaminante.

4.2.1.2 Reactor DBO3.

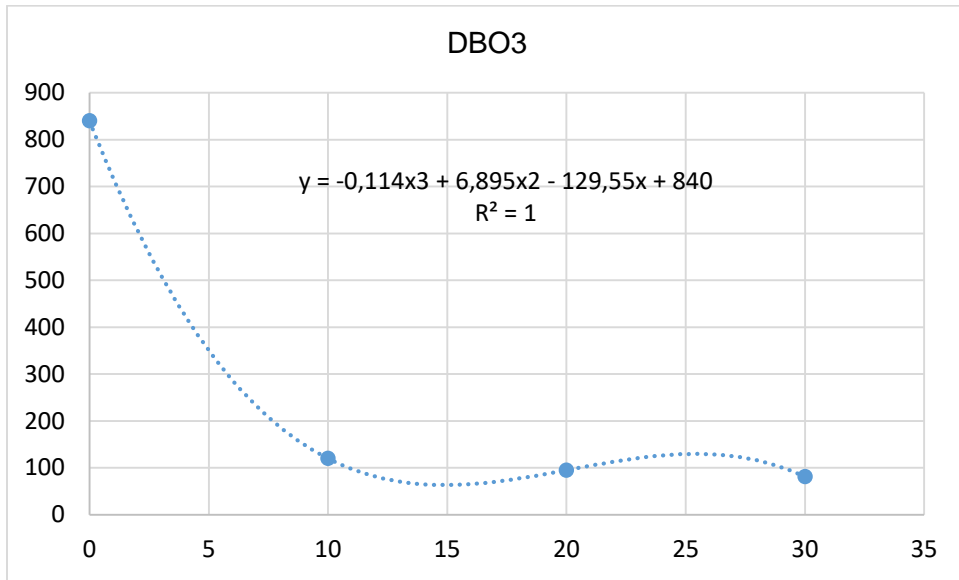


Fig. 10 Curva de degradación polinómica en el reactor DBO3

Fuente: El Autor

Para analizar el comportamiento del reactor DBO3 se utiliza una línea de tendencia polinómica de orden 3 para encontrar los valores exactos de la cantidad máxima a la cual llega la degradación de la DBO y el día en la cual se produce, con estos datos podremos representar de una manera más acertada la realidad del modelo de degradación como se muestra a continuación.

$$y = -0,114x^3 + 6,895x^2 - 129,55x + 840 \tag{6}$$

$$-0,342x^2 + 13,79x - 129,55 = 0 \tag{7}$$

Tabla. 12 Día de mayor degradación de la DBO en el reactor DBO3.

Día
17,46

Fuente: El Autor

El valor de la tabla 12 es reemplazado en la ecuación inicial para encontrar el punto faltante en el eje “y” que representa la mayor degradación en miligramos litros de DBO como se ve en la ecuación 8.

$$y = -0,114(17,46)^3 + 6,895(17,46)^2 - 129,55(17,46) + 840 \quad (8)$$

Tabla. 13 Resultados de la mayor degradación de la DBO en el reactor DBO3.

DBO
73,22 mg/l

Fuente: El Autor

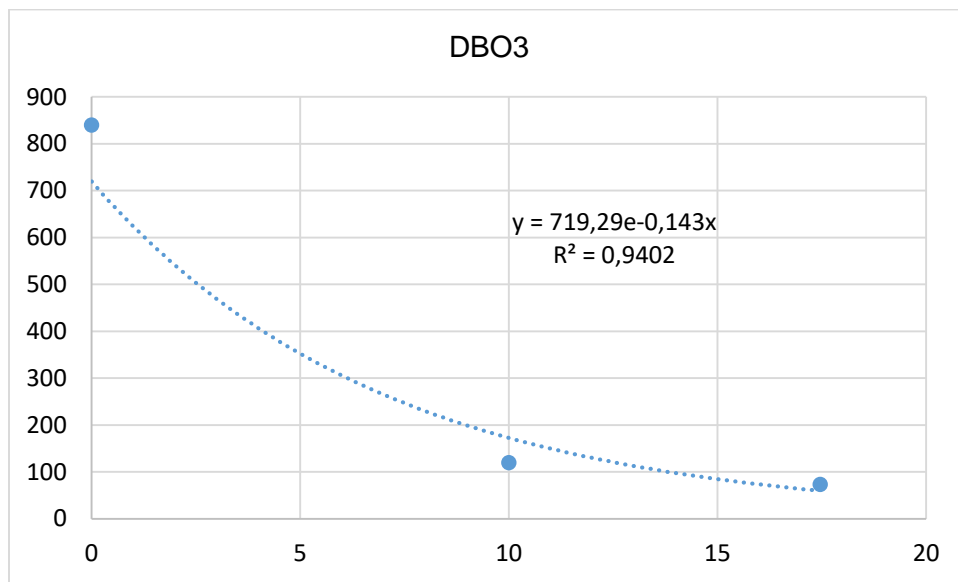


Fig. 11 Curva de degradación exponencial en el reactor DBO3.

Fuente: El Autor

Como se observa en la figura 11 la curva de comportamiento de la materia orgánica incluidas las bacterias añadidas de la DBO en el reactor DBO3 presenta una variación en su ajuste a diferencia del modelo del reactor DBO2, estas variaciones se deben en primera instancia a la dosis de bacterias que recibe este reactor que fue del 75% esto hace que los niveles en la degradación de la DBO varíen como es en el tiempo de degradación que en este caso llego a los 17 días y además degradando menos cantidad de contaminante con un valor de 73,22 mg/l de DBO.

### 4.2.1.3 Reactor BDO5.

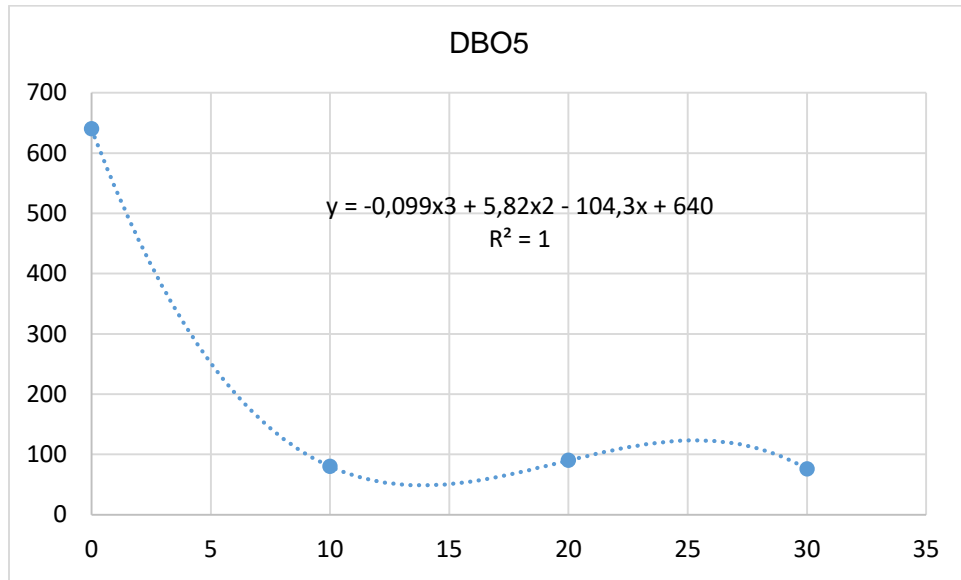


Fig. 12 Curva de degradación polinómica en el reactor DBO5

Fuente: El Autor

El reactor DBO5 se analiza mediante la utilización de una línea de tendencia polinómica de orden tres como se observa en la figura 12, que es el resultado obtenido de la ecuación 9 que se resuelve mediante derivación matemática para verificar el día y la cantidad de DBO que alcanza este reactor.

$$y = -0,099x^3 + 5,82x^2 - 104,3x + 640 \quad (9)$$

$$-0,297x^2 + 11,64x - 104,3 = 0 \quad (10)$$

Tabla. 14 Día de mayor degradación de la DBO en el reactor DBO5.

Día
13,87

Fuente: El Autor

El valor de la tabla 14 es reemplazado en la ecuación inicial para encontrar el punto faltante en el eje “y” que representa la mayor degradación en miligramos litros de DBO como se ve en la ecuación 11.

$$y = -0,099(13,87)^3 + 5,82(13,87)^2 - 104,3(13,87) + 640 \quad (11)$$

Tabla. 15 Resultados de la mayor degradación de la DBO en el reactor DBO5.

DBO
48,84 mg/l

Fuente: El Autor

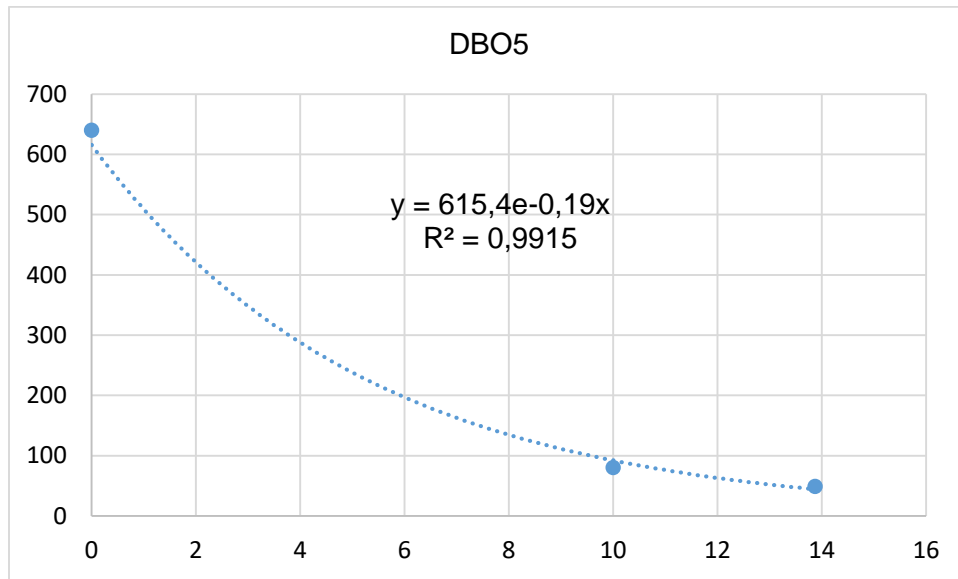


Fig. 13 Curva de degradación exponencial en el reactor DBO5.

Fuente: El Autor

Como se observa en la figura 13 el reactor DBO5 presenta un buen ajuste en la curva de comportamiento de la materia orgánica el cual se obtiene del análisis polinómico de orden 3. Este reactor se encuentra con una concentración menor de contaminante representada como el 25% de dilución, aquí se aplica el 100% de la dosis de bacterias y como se observa en la curva de degradación a los 10 días se obtienen resultados menores a 100 mg/l de DBO partiendo de una concentración inicial de 640 mg/l de DBO cumpliendo con la normativa ambiental que se muestra en la tabla 3, y llegando a un valor máximo de degradación de 48,84 mg/l a los 14 días optimizando los valores de retención hidráulica en climas fríos.

4.2.1.4 Reactor DBO6.

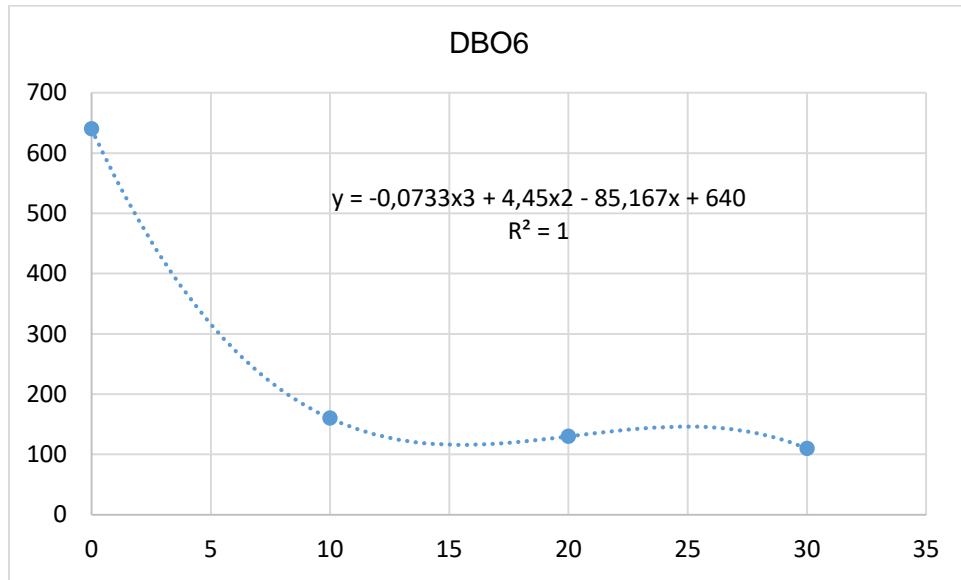


Fig. 14 Curva de degradación polinómica en el reactor DBO6.

Fuente: El Autor

El reactor DBO6 obtiene la línea de tendencia polinómica de orden 3 como se muestra en la Figura 14, la cual es utilizada para despejar valores de tiempo y concentración de DBO que alcanza el experimento.

$$y = -0,0733x^3 + 4,45x^2 - 85,167x + 640 \quad (12)$$

$$-0,21x^2 + 8,9x - 85,167 = 0 \quad (13)$$

Tabla. 16 Día de mayor degradación de la DBO en el reactor DBO6.

Día
14,61

Fuente: El Autor

El valor de la tabla 16 es reemplazado en la ecuación inicial para encontrar el punto faltante en el eje “y” que representa la mayor degradación en miligramos litros de DBO como se ve en la ecuación 14.

$$y = -0,0733(14,61)^3 + 4,45(14,61)^2 - 85,167(14,61) + 640 \quad (14)$$

Tabla. 17 Resultados de la mayor degradación de la DBO en el reactor DBO6.

DBO
117,15 mg/l

Fuente: El Autor

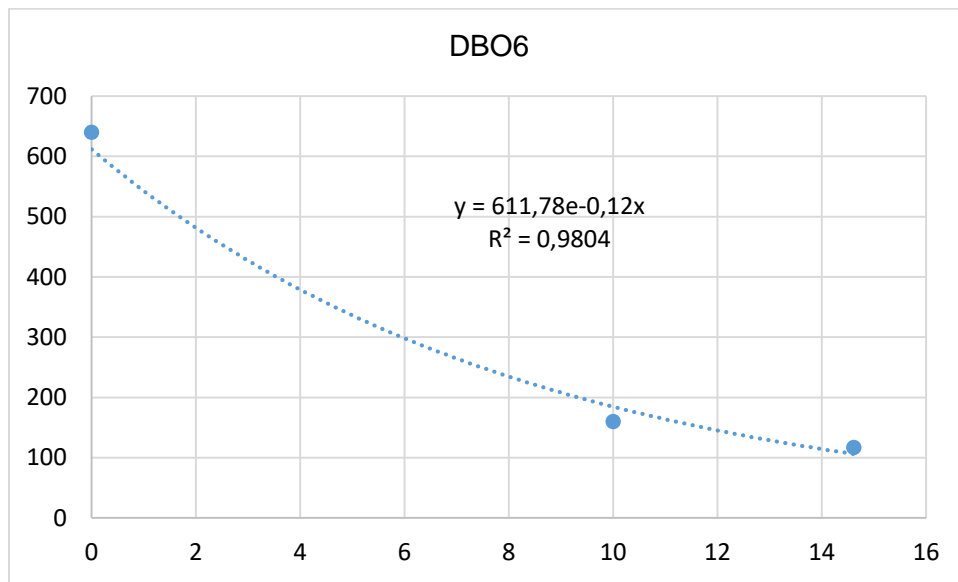


Fig. 15 Curva de degradación exponencial en el reactor DBO6.

Fuente: El Autor

En este reactor la concentración de igual manera presenta una dilución del 25%. Como se observa en la figura 15 los resultados de la degradación en el reactor DBO6 no son muy favorables ya que se obtiene como primer punto una reducción de 160 mg/l de DBO a los 10 días y a partir de este punto una máxima degradación a los 15 días aproximadamente de un valor de 117,15 mg/l incumpliendo con los límites permisibles de la normativa ambiental (tabla 3), esto se debe a que en este reactor solo se coloca el 75% de la dosis de bacterias haciendo que la eficiencia de este tratamiento no sea la adecuada y por consecuencia se obtenga unos resultados no favorables.

Tabla. 18 Resumen de los resultados obtenidos en el parámetro DBO.

Reactor	Temperatura	Degradación (DBO mg/l)	Tiempo de Retención Hidráulico (días)	Cinéticas de Degradación ( $d^{-1}$ )
Reactor DBO2	18°C	38,03	13,89	-0,22
Reactor DBO3	18°C	73,22	17,46	-0,14
Reactor DBO5	18°C	48,84	13,87	-0,19
Reactor DBO6	18°C	117,15	14,61	-0,12

Fuente: El Autor

El tiempo de retención hidráulico que se utiliza para este experimento es de 30 días, debido a la temperatura obtenida en cada uno de los reactores que es de 18°C, esto es comparado según (Guerrero et al., 2011), en su tesis optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino donde se aplica el mismo tiempo de retención hidráulico para la degradación de la materia orgánica mediante un proceso anaerobio.

La tabla 18 muestra un resumen del parámetro DBO a lo largo de todo el experimento, como se puede ver los reactores DBO2 y DBO5 obtienen la mayor eficiencia en reducción de la DBO en un tiempo promedio de 13 días, mientras que los reactores DBO3 y DBO6 obtienen menor eficiencia en la reducción de la DBO en un tiempo promedio de 15 días, estos días hacen referencia a la mayor degradación que se pudo conseguir en cada uno de los reactores, la diferencia entre estos resultados se debe principalmente a la dosis de bacterias anaerobias que se les aplica a cada reactor siendo la más eficiente la dosis del 100%, una reducción en la dosis afecta los niveles de eficiencia de las bacterias dando como resultado menor degradación y mayores tiempos de retención hidráulica. En cuanto a las cinéticas de degradación el reactor que obtiene el mayor valor de degradación es el reactor DBO2 con  $-0,22 d^{-1}$ , dicho valor representa una velocidad de degradación lenta, esto se debe a la baja temperatura que se obtiene provocando que las bacterias anaerobias no presenten un crecimiento óptimo como lo menciona (Francisca Rosenkranz Fernández, 2013) el rango de operación ideal para las bacterias mesofílicas varía de (25 a 45°C) por lo que una reducción afecta considerablemente la eficacia del tratamiento.

Cabe mencionar que los resultados que se obtienen en los reactores DBO2, DBO3 y DBO5 cumplen con los límites de vertido hacia un cuerpo de agua dulce según la normativa ambiental (tabla 3), que es de 100mg/l, el reactor DBO6 es el único que no alcanza el rango debido a la baja dosis de bacterias que se le aplica.

#### 4.2.2 Curva de Degradación DQO

Para interpretar los modelos de degradación del parámetro DQO se parte en base a un análisis con líneas de tendencia polinómica de orden 3 que representan los resultados de las mediciones que se realizan a lo largo de todo el experimento, para luego mediante un análisis matemático con la obtención y resolución de ecuaciones por derivación se consigue el modelo exponencial el cual describe de una manera real el comportamiento de la degradación del contaminante.

##### 4.2.2.1 Reactor DQO2

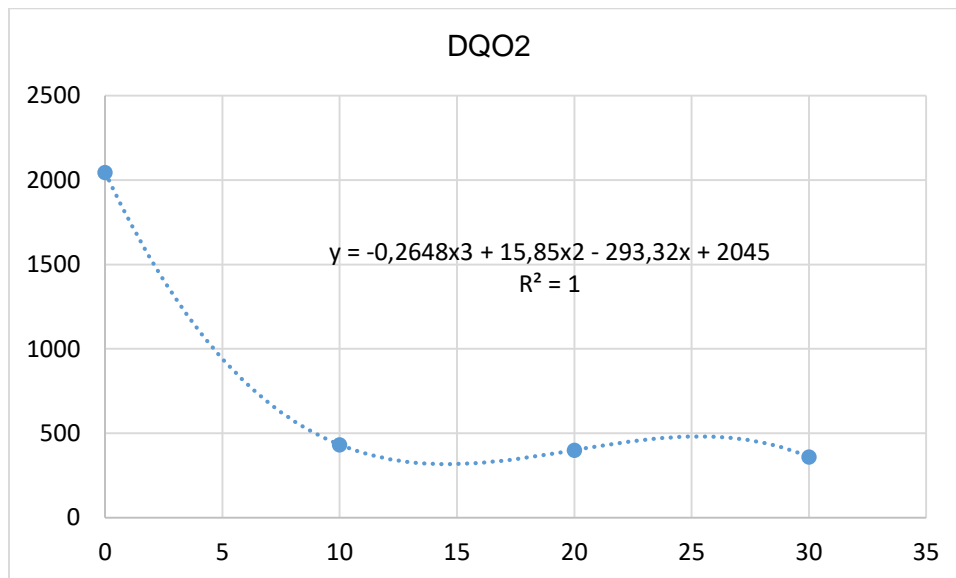


Fig. 16 Curva de degradación polinómica en el reactor DQO2.

Fuente: El Autor

$$y = -0,2648x^3 + 15,85x^2 - 293,32x + 2045 \quad (15)$$

$$-0,794x^2 + 31,7x - 293,32 = 0 \quad (16)$$

Tabla. 19 Día de mayor degradación de la DQO en el reactor DQO2.

Día
14,64

Fuente: El Autor

El valor de la tabla 19 es reemplazado en la ecuación inicial para encontrar el punto faltante en el eje “y” que representa la mayor degradación en miligramos litros de DQO como se ve en la ecuación 17.

$$y = -0,2648(14,64)^3 + 15,85(14,64)^2 - 293,32(14,64) + 2045 \quad (17)$$

Tabla. 20 Resultados de la mayor degradación de la DQO en el reactor DQO2.

DQO
319,55 mg/l

Fuente: El Autor

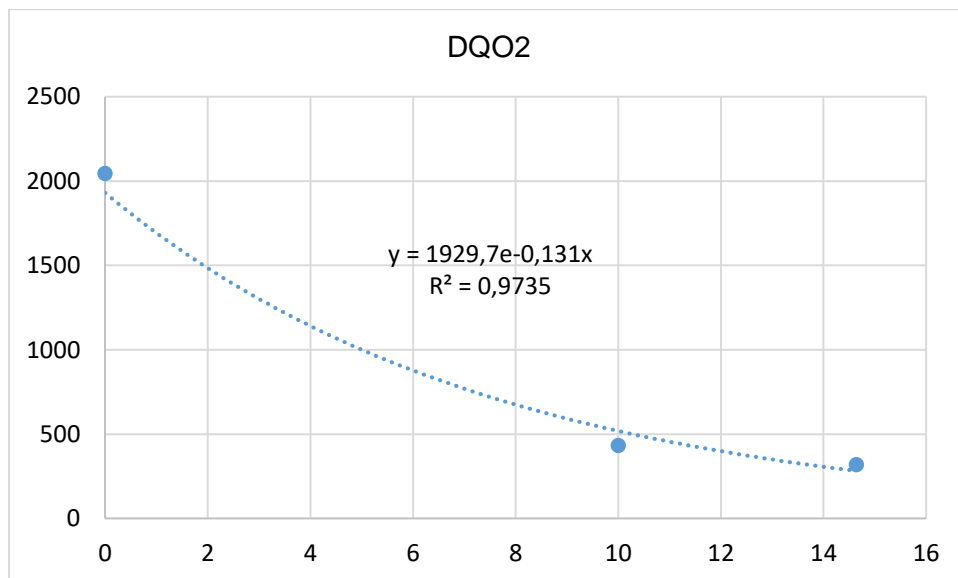


Fig. 17 Curva de degradación exponencial en el reactor DQO2.

Fuente: El Autor

Luego de realizar el análisis polinómico de orden tres se tiene como resultado el modelo exponencial ajustado a la realidad del experimento como se ve en la figura 17, la carga inicial de la DQO parte en 2045 mg/l a esta carga se le aplica el 100% de bacterias durante todo el experimento, a partir de estas condiciones en los primeros 10 días se puede ver una disminución de 432 mg/l y un límite máximo de degradación de 319,55 mg/l a los aproximadamente 15 días, este valor alcanzado incumple con la normativa ambiental de límites de descarga hacia un cuerpo de agua dulce (tabla 3), esto se debe a la excesiva concentración de materia orgánica que contiene los desechos producidos por el ganado bovino. Cabe destacar que la degradación obtenida es muy favorable ya que se puede reducir significativamente los valores de concentración del contaminante.

#### 4.2.2.2 Reactor DQO3

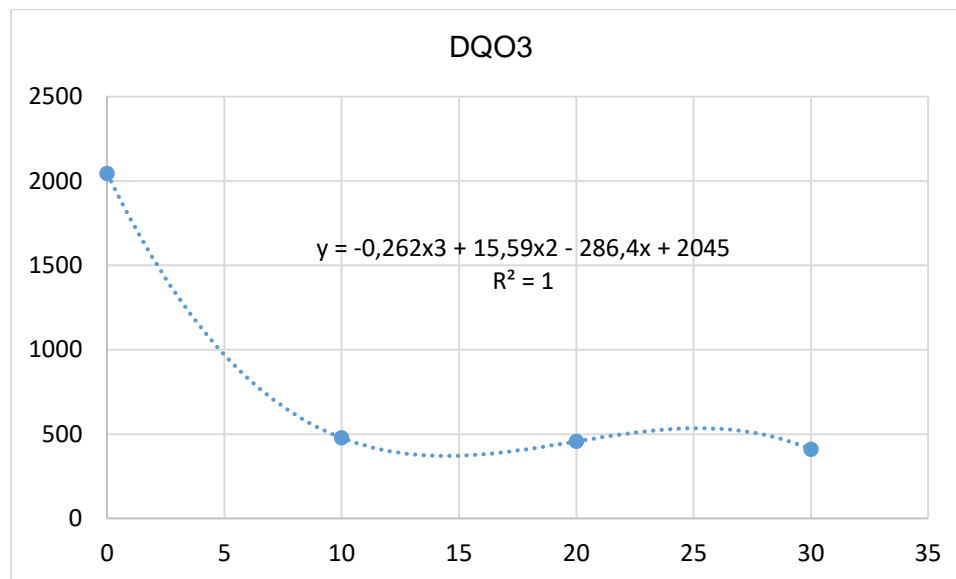


Fig. 18 Curva de degradación polinómica en el reactor DQO3.

Fuente: El Autor

$$y = -0,262x^3 + 15,59x^2 - 286,4x + 2045 \quad (18)$$

$$-0,78x^2 + 31,18x - 286,4 = 0 \quad (19)$$

Tabla. 21 Día de mayor degradación de la DQO en el reactor DQO3.

Día
14,30

Fuente: El Autor

El valor de la tabla 21 es reemplazado en la ecuación inicial para encontrar el punto faltante en el eje “y” que representa la mayor degradación en miligramos litros de DQO como se ve en la ecuación 20.

$$y = -0,262(14,30)^3 + 15,59(14,30)^2 - 286,4(14,30) + 2045 \quad (20)$$

Tabla. 22 Resultados de la mayor degradación de la DQO en el reactor DQO3.

DQO
371,33 mg/l

Fuente: El Autor

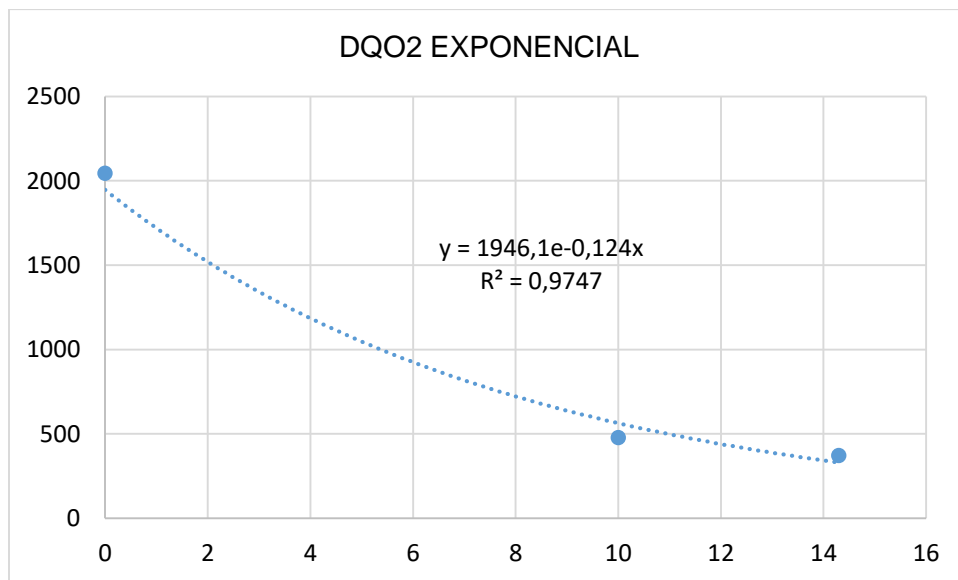


Fig. 19 Curva de degradación exponencial en el reactor DQO3.

Fuente: El Autor

El análisis polinómico de orden tres presenta como resultado la curva exponencial que se muestra en la figura 19, este reactor parte de igual manera con una concentración de 2045 mg/l de DQO y se le aplica una dosis de bacterias de solo el 75%, los resultados obtenidos muestran que en los primeros 10 días que la concentración de la DQO bajo a 478 mg/l, y a partir de este punto se produce una máxima degradación de 371,33 mg/l de DQO a los 14 días. De igual manera no cumple con los límites de vertido hacia un cuerpo de agua dulce (tabla 3) pero se logra reducir la concentración de la DQO a niveles mucho más manejables.

#### 4.2.2.3 Reactor DQO5.

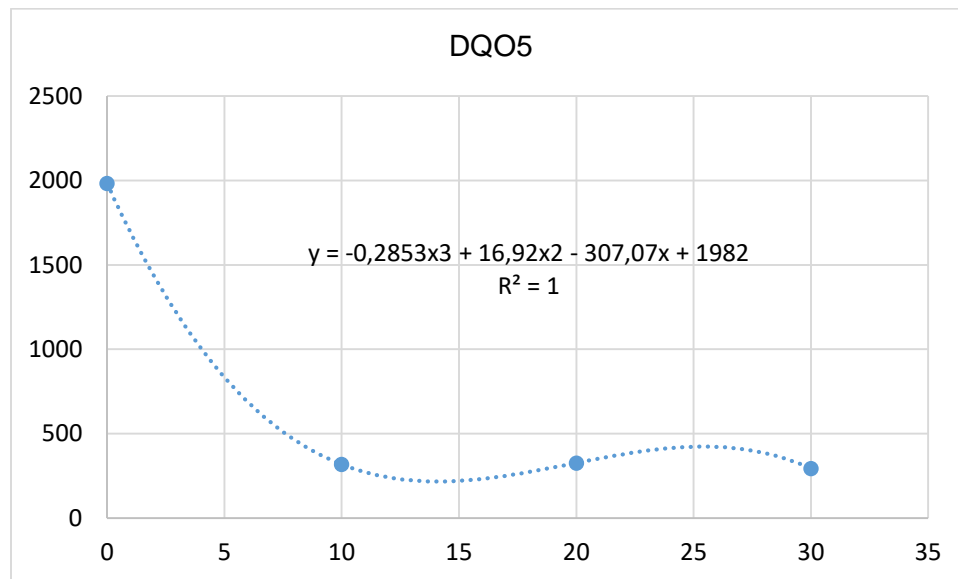


Fig. 20 Curva de degradación polinómica en el reactor DQO5.

Fuente: El Autor

$$y = -0,2853x^3 + 16,92x^2 - 307,07x + 1982 \quad (21)$$

$$-0,855x^2 + 33,84x - 307,07 = 0 \quad (22)$$

Tabla. 23 Día de mayor degradación de la DQO en el reactor DQO5.

Día
14,09

Fuente: El Autor

El valor de la tabla 23 es reemplazado en la ecuación inicial para encontrar el punto faltante en el eje “y” que representa la mayor degradación en miligramos litros de DQO como se ve en la ecuación 23.

$$y = -0,262(14,30)^3 + 15,59(14,30)^2 - 286,4(14,30) + 2045 \quad (23)$$

Tabla. 24 Resultados de la mayor degradación de la DQO en el reactor DQO5.

DQO
216,43mg/l

Fuente: El Autor

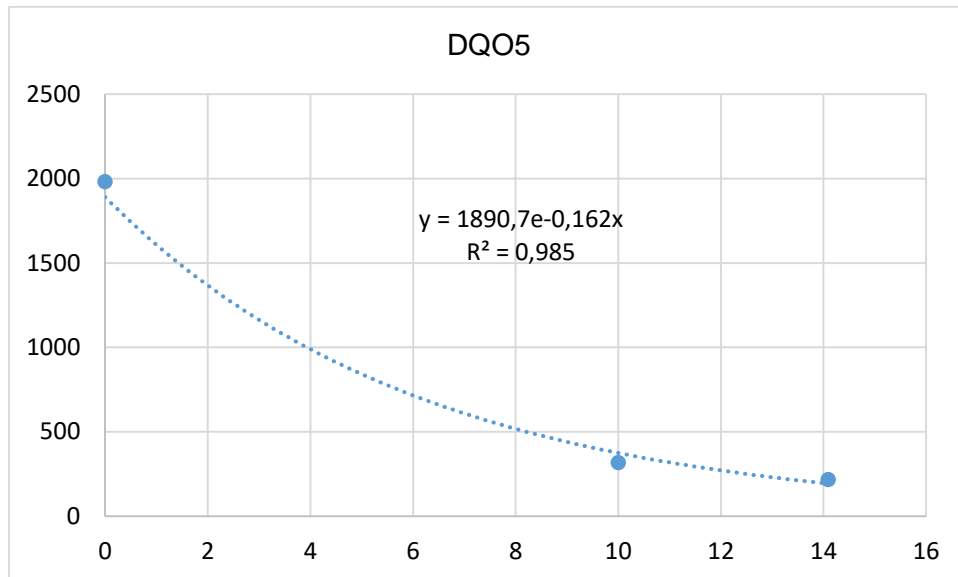


Fig. 21 Curva de degradación exponencial en el reactor DQO5.

Fuente: El Autor

El reactor DQO5 presenta una dilución del 25% en su concentración inicial del contaminante. En la figura 21 se parte de un valor inicial de 1982 mg/l de DQO, a esta concentración se le aplica una dosis del 100% de bacterias anaerobias. Los resultados obtenidos en los primeros 10 días muestran una reducción en la DQO de 318 mg/l, a partir de este punto la DQO continúa descendiendo hasta llegar a los 14 días con un valor de 216,43 mg/l, la reducción de la DQO en este reactor es favorable casi llegando a los límites de vertido hacia un cuerpo de agua dulce (tabla 3), esto se debe a la dosis total de bacterias que se le aplica en una concentración diluida con menos carga de contaminante.

#### 4.2.2.4 Reactor DQO6.

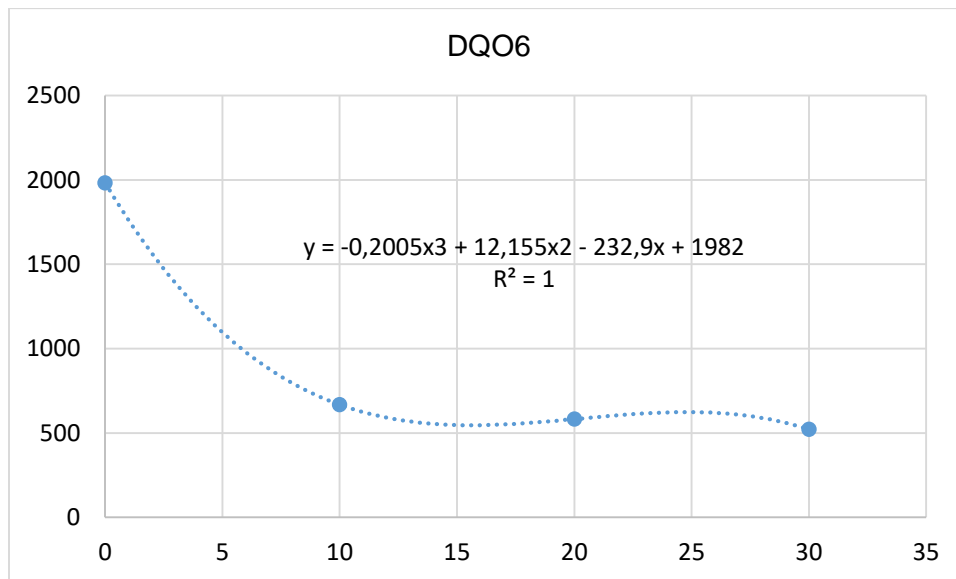


Fig. 22 Curva de degradación polinómica en el reactor DQO6.

Fuente: El Autor

$$y = -0,2005x^3 + 12,155x^2 - 232,9x + 1982 \quad (24)$$

$$-0,6015x^2 + 24,3x - 232,9 = 0 \quad (25)$$

Tabla 25 Día de mayor degradación de la DQO en el reactor DQO6.

Día
15,68

Fuente: El Autor

El valor de la tabla 25 es reemplazado en la ecuación inicial para encontrar el punto faltante en el eje “y” que representa la mayor degradación en miligramos litros de DQO como se ve en la ecuación 26.

$$y = -0,2005(15,68)^3 + 12,155(15,68)^2 - 232,9(15,68) + 1982 \quad (26)$$

Tabla 26 Resultados de la mayor degradación de la DQO en el reactor DQO6.

DQO
544,4mg/l

Fuente: El Autor

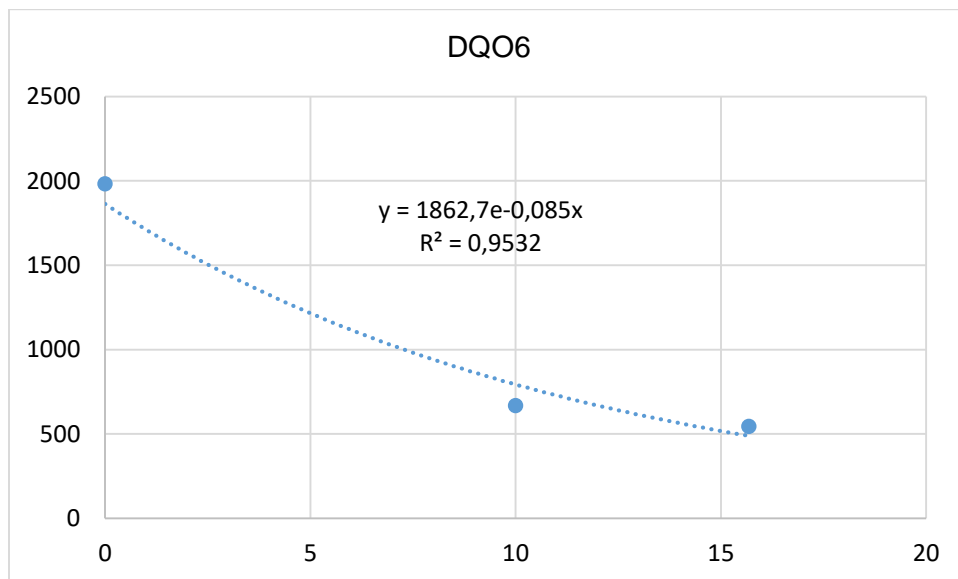


Fig. 23 Curva de degradación exponencial en el reactor DQO6.

Fuente: El Autor

El reactor DQO6 presenta una dilución del 25% en su concentración inicial del contaminante. Como se puede ver en la figura 23 este reactor parte una concentración inicial de 1982 mg/l de DQO a esta concentración se aplica una dosis del 75% de bacterias anaerobias. Luego de los 10 días se observa una disminución de la DQO de 668 mg/l hasta llegar a los 15 días aproximadamente con la máxima degradación que alcanza de 544,4 mg/l. Los resultados obtenidos en este reactor no son muy favorables ya que solo se puede alcanzar menos de la mitad de la degradación de la DQO en un tiempo más prolongado que los otros reactores.

Tabla. 27 Resumen de los resultados obtenidos en el parámetro DQO.

Reactor	Temperatura (°C)	Degradación (DQ.O mg/l)	Tiempo de Retención Hidráulico (Días)	Cinética de Degradación ( $d^{-1}$ )
Reactor DQO2	18 °C	319,55	14,64	-0,13
Reactor DQO3	18 °C	371,33	14,30	-0,12
Reactor DQO5	18 °C	216,43	14,09	-0,16
Reactor DQO6	18 °C	544,44	15,68	-0,08

Fuente: El Autor

La tabla 27 muestra un resumen de los resultados obtenidos en el parámetro DQO a lo largo de todo el experimento, como se puede ver los reactores DQO2 y DQO5 obtienen el mayor nivel de reducción en la DQO en un promedio de 14 días con una velocidad de degradación de  $-0,13d^{-1}$  y  $-0,16d^{-1}$  respectivamente, mientras que los reactores DQO3 y DQO6 obtienen el nivel de mayor reducción de DQO en un promedio de 15 días con una velocidad de degradación más lenta de  $-0,12d^{-1}$  y  $-0,08d^{-1}$ . Como lo expresa (Yañez, Sánchez, & Méndez, s. f.), en los resultados obtenidos de su estudio el tiempo y las cinéticas de degradación entran en este rango con las diferencias de la temperatura que influye de una manera significativa en la velocidad y tiempos de retención hidráulico del experimento.

La diferencia en los valores de reducción de la DQO que se obtienen en cada reactor depende principalmente de la dosis de bacterias anaerobias que se les aplica a cada uno de los reactores siendo la más eficaz la dosis del 100% ya que reduce mayor cantidad de DQO y minimiza los tiempos de degradación por cada día. Los resultados obtenidos en todos los reactores incumplen con los límites permisibles de descarga hacia un cuerpo de agua dulce (tabla 3), pero cabe mencionar que se puede reducir considerablemente la concentración de DQO mejorando también los tiempos de retención hidráulica y velocidades de degradación.

### 4.2.3 Curva de Degradación Coliformes Fecales.

Para interpretar la curva de degradación del parámetro Coliformes Fecales se parte en base a un análisis con líneas de tendencia polinómica de orden 3 que representan los resultados de las mediciones que se realizan a lo largo de todo el experimento, para luego mediante un análisis matemático con la obtención y resolución de ecuaciones por derivación se consigue el modelo exponencial el cual describe de una manera real el comportamiento de la degradación del contaminante.

#### 4.2.3.1 Reactor Coliformes2.

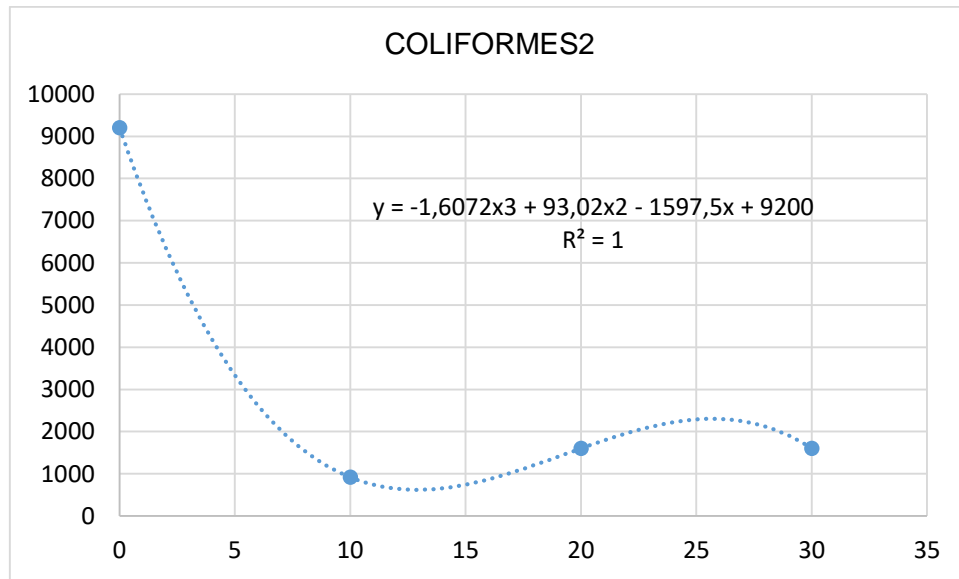


Fig. 24 Curva de degradación polinómica en el reactor Coliformes2

Fuente: El Autor

$$y = -1,6072x^3 + 93,02x^2 - 1597,5x + 9200 \quad (27)$$

$$-4,82x^2 + 186,04x - 1597,5 = 0 \quad (28)$$

Tabla. 28 Día de mayor degradación de Coliformes en el reactor Coliformes2.

Día
12,89

Fuente: El Autor

El valor de la tabla 28 es reemplazado en la ecuación inicial para encontrar el punto faltante en el eje “y” que representa la mayor degradación en NMP/100ml como se ve en la ecuación 29.

$$y = -1,6072(12,89)^3 + 93,02(12,89)^2 - 1597,5(12,89) + 9200 \quad (29)$$

Tabla. 29 Resultados de la mayor degradación de las Coliformes en el reactor Coliformes2.

Coliformes
621,55 NMP/100ml

Fuente: El Autor

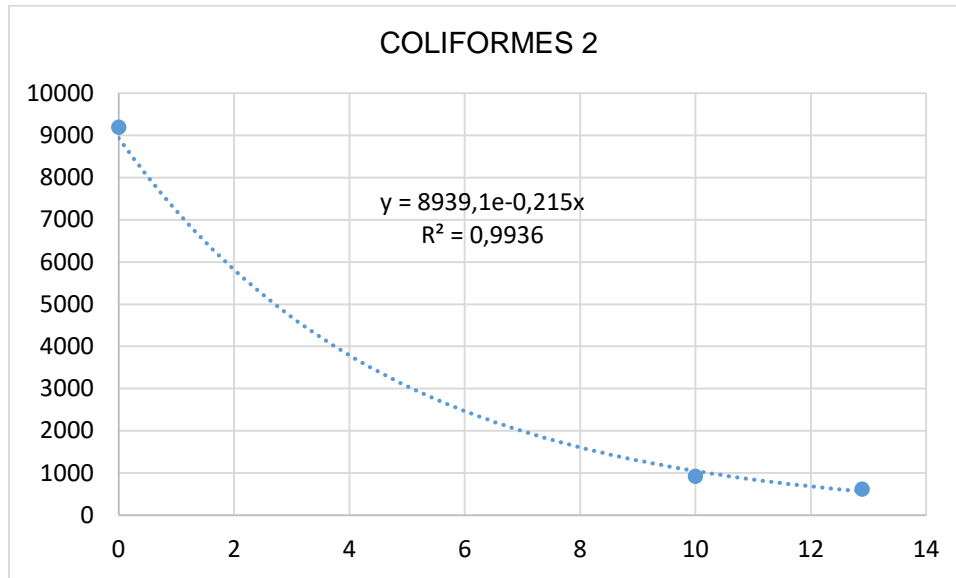


Fig. 25 Curva de degradación exponencial en el reactor Coliformes2.

Fuente: El Autor

Como muestra la figura 25 el análisis del parámetro coliformes en el reactor Coliformes2 parte con un valor de concentración inicial de 9200 NMP/100ml, a este reactor se le aplica el 100% de la dosis de bacterias anaerobias, posteriormente en los primeros 10 días se ve una reducción en esta concentración que llega a 920 NMP/100ml, para luego alcanzar a los aproximadamente 13 días un valor de 621,55 NMP/100ml. Los resultados obtenidos en el reactor Coliformes2 son favorables ya que se puede cumplir con los límites de vertido hacia un cuerpo de agua dulce como se presenta en la (tabla 3), además se puede mantener tiempos hidráulicos menores para obtener la mayor cantidad de degradación en las coliformes.

#### 4.2.3.2 Reactor Coliformes3

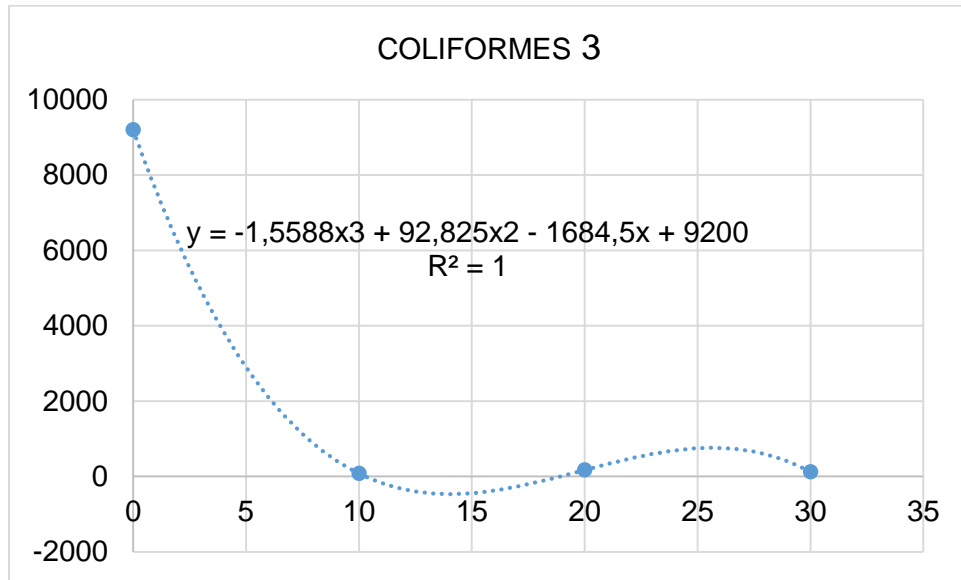


Fig. 26 Curva de degradación polinómica en el reactor Coliformes3.

Fuente: El Autor

$$y = -1,5588x^3 + 92,825x^2 - 1684,5x + 9200 \quad (30)$$

Tabla. 30 Día de mayor degradación de Coliformes en el reactor Coliformes3.

Día
10

Fuente: El Autor

Para este caso en el reactor Coliformes3 se toma en cuenta que al llegar a los 10 días en el experimento se presentan valores en las coliformes de 79 NMP/100ml para posteriormente llegar a valores de 0, por lo que se analiza las coliformes a los 5 días para completar la curva de degradación en el modelo exponencial como se ve en la ecuación 31.

$$y = -1,5588(5)^3 + 92,825(5)^2 - 1684,5(5) + 9200 \quad (31)$$

Tabla. 31 Resultados en la degradación de las Coliformes en el reactor Coliformes3 a los 5 días.

Coliformes
2903,15 NMP/100ml

Fuente: El Autor

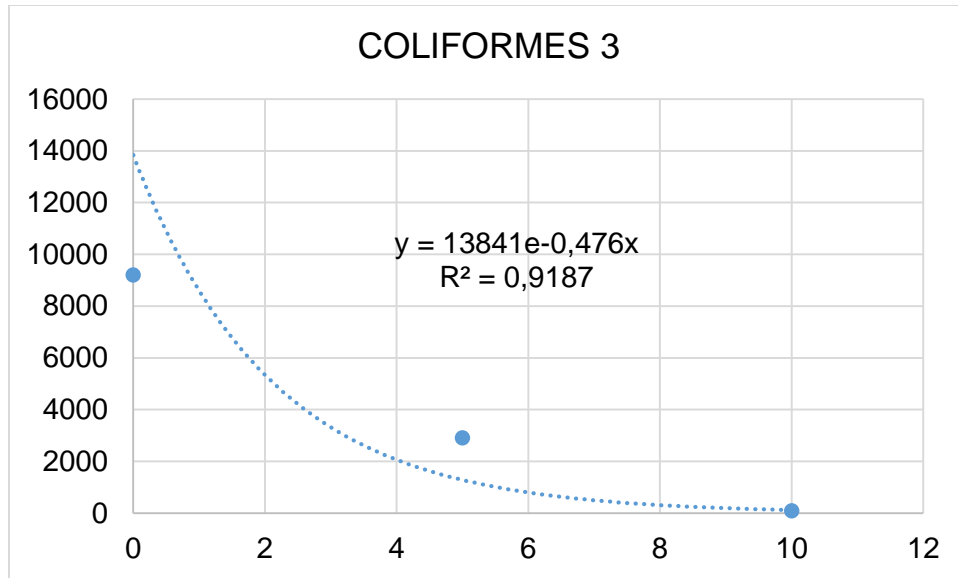


Fig. 27 Curva de degradación exponencial en el reactor Coliformes3.

Fuente: El Autor

Para el análisis del reactor Coliformes3 como se muestra en la figura 27 se toma en cuenta la degradación hasta los 10 días con un valor de 79 NMP/100ml, ya que los valores registrados luego de este periodo presentan valores de cero, por lo que en el ajuste del modelo exponencial se considera el comportamiento del experimento a los 5 días con un valor de 2903,15 NMP/100ml. Los resultados obtenidos en cuanto a la reducción de coliformes en este reactor fueron más favorables ya que solo se le aplica una dosis del 75% de bacterias a diferencia del reactor Coliformes2 en donde se le aplica el 100% de la dosis de bacterias, estos cambios se pueden dar por el rápido desarrollo de las bacterias ya que estas utilizan a las coliformes como fuente de alimento.

4.2.3.3 Reactor Coliformes5.

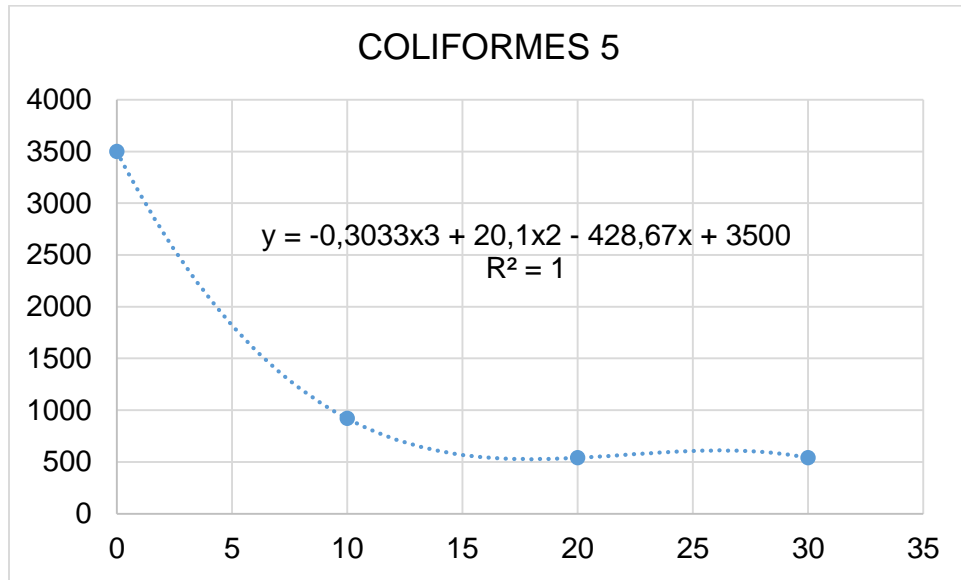


Fig. 28 Curva de degradación polinómica en el reactor Coliformes5.

Fuente: El Autor

$$y = -0,3033x^3 + 20,1x^2 - 428,67x + 3500 \quad (32)$$

$$-0,909x^2 + 40,2x - 428,67 = 0 \quad (33)$$

Tabla. 32 Día de mayor degradación de Coliformes en el reactor Coliformes5.

Día
17,94

Fuente: El Autor

El valor de la tabla 32 es reemplazado en la ecuación inicial para encontrar el punto faltante en el eje “y” que representa la mayor degradación en NMP/100ml como se ve en la ecuación 34.

$$y = -1,6072(12,89)^3 + 93,02(12,89)^2 - 1597,5(12,89) + 9200 \quad (34)$$

Tabla. 33 Resultados de la mayor degradación de las Coliformes en el reactor Coliformes5.

Coliformes
613,9 NMP/100ml

Fuente: El Autor

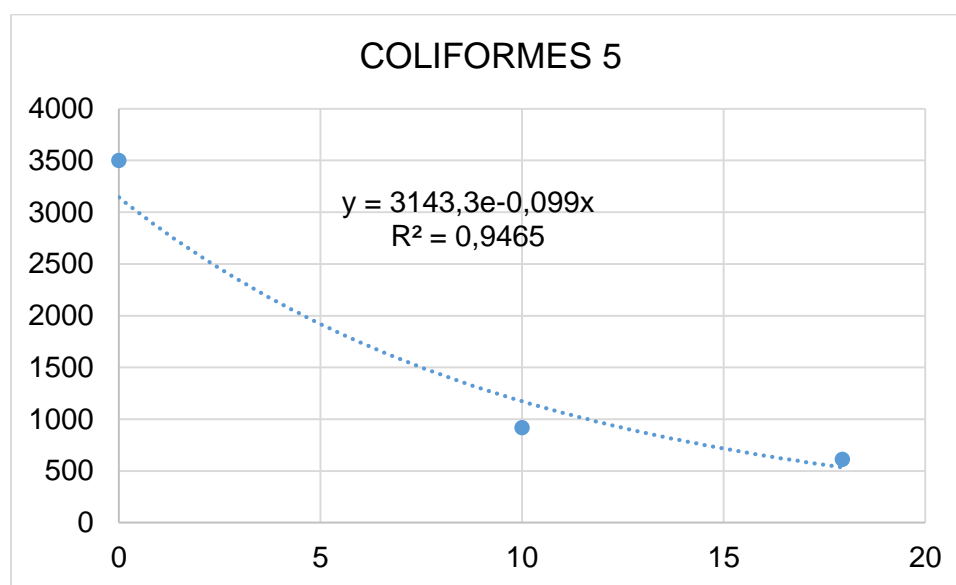


Figura. 29 Curva de degradación exponencial en el reactor Coliformes5.

Fuente: El Autor

Como muestra la figura 29 el análisis del reactor Coliformes5 tiene una dilución del 25% en la concentración del agua contaminada a este se le aplica una dosis del 100% de bacterias anaerobias en una concentración inicial de coliformes de 3500 NMP/100ml, luego de un lapso de 10 días se puede comprobar una reducción en las coliformes llegando a un valor de 920 NMP/100ml, para posteriormente alcanzar un valor final de degradación de 613,9 NMP/100ml a los 17 días del experimento. Los resultados que se obtienen en este reactor de igual manera presentan un panorama favorable ya que se puede reducir el nivel

de coliformes que contiene en un principio el agua residual cumpliendo con los límites de descarga establecidos en la (tabla 3), en cuanto al tiempo que se tarda en reducir el nivel de coliformes es más extenso esto puede deberse a la dilución en la concentración del contaminante por lo que las bacterias no tienen suficiente alimento y por esto hubo una degradación más lenta.

#### 4.2.3.4 Reactor coliformes6.

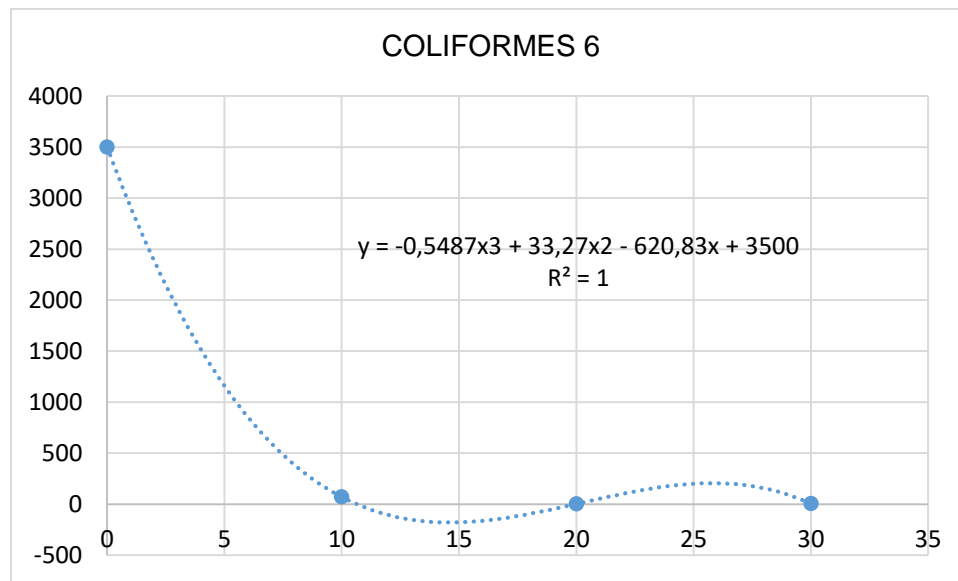


Fig. 30 Curva de degradación polinómica en el reactor Coliformes6.

Fuente: El Autor

$$y = -0,5487x^3 + 33,27x^2 - 620,83x + 3500 \quad (35)$$

Tabla. 34 Mayor degradación de Coliformes en el reactor Coliformes6.

Día
10

Fuente: El Autor

Para este caso en el reactor Coliformes6 se toma en cuenta que al llegar a los 10 días en el experimento se presentan valores en las coliformes de 70 NMP/100ml para posteriormente llegar a valores de 0, por lo que se analiza las coliformes a los 5 días para completar la curva de degradación en el modelo exponencial como se ve en la ecuación 36.

$$y = -0,5487(5)^3 + 33,27(5)^2 - 620,83(5) + 3500 \quad (36)$$

Tabla. 35 Resultados en la degradación de las Coliformes en el reactor Coliformes6 a los 5 días.

Coliformes
1159,02 NMP/100ml

Fuente: El Autor

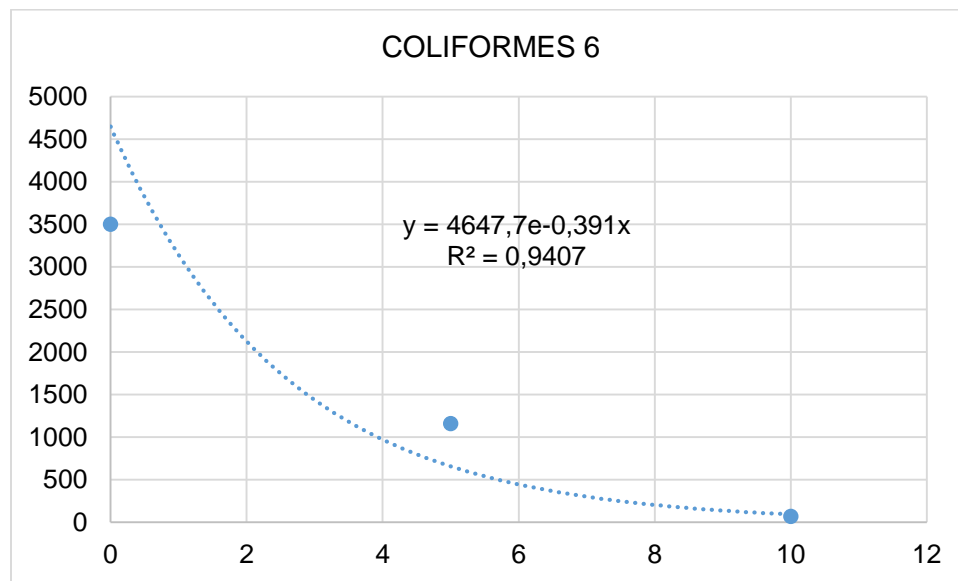


Fig. 31 Curva de degradación exponencial en el reactor Coliformes6.

Fuente: El Autor

Para el análisis del reactor Coliformes6 como se muestra en la figura 31 tiene una dilución del 25% en la concentración del agua contaminada. Se toma en cuenta la degradación hasta los 10 días con un valor de 70 NMP/100ml, ya que los valores registrados luego de este periodo presentan valores de cero, por lo que en el ajuste del modelo

exponencial se considera el comportamiento del experimento a los 5 días con un valor de 1159,02 NMP/100ml. Los resultados obtenidos en cuanto a la reducción de coliformes en este reactor fueron muy favorables ya que solo se le aplica una dosis del 75% de bacterias a diferencia del reactor Coliformes5 en donde se le aplica el 100% de la dosis de bacterias, en este reactor se puede reducir a un nivel mayor que el reactor Coliformes 5 debido a una menor cantidad de la concentración del agua contaminada, haciendo que la degradación sea más rápida por la acción de las bacterias anaerobias.

*Tabla. 36 Resumen de los resultados obtenidos en el parámetro Coliformes Fecales.*

<b>Reactor</b>	<b>Coliformes NMP/100ml</b>	<b>Día</b>
Reactor Coliformes2	621,55	12,89
Reactor Coliformes3	79	10
Reactor Coliformes5	613,19	17,94
Reactor Coliformes6	70	10

*Fuente: El Autor*

Como se ve en la tabla 36 los resultados obtenidos en el parámetro Coliformes Fecales a lo largo de todo el experimento son favorables ya que cumplen con los límites de vertido hacia un cuerpo de agua dulce como manifiesta la (tabla 3), los reactores Coliformes2 y Coliformes5 mantienen niveles promedio en diferentes concentraciones de agua contaminada con una dosis del 100% de bacterias, presentan una diferencia de 5 días aproximadamente en llegar al punto de mayor degradación, este comportamiento se da por los factores de concentración del agua contaminada y dosis de bacterias, el reactor Coliformes2 que obtiene su máxima eficiencia a los 13 días mientras que el reactor Coliformes5 a los 17 debido a la disminución del sustrato que utilizan las bacterias para desarrollarse que en este caso son las coliformes.

En cuanto a los reactores coliformes3 y Coliformes6 presentan valores semejantes en la reducción del nivel de coliformes y tiempo que se tardan en alcanzar este resultado, en estos dos reactores la dosis del 75% de bacterias es la más eficiente llegando a valores de cero coliformes después de un lapso de 10 días.

### 4.3 Modelos de Materia Orgánica y Oxígeno Disuelto.

Para analizar la evolución de la contaminación que presenta el agua residual bovina vertida a la cuenca del río Yanuncay se toman en cuenta las haciendas que se encuentran dentro de un perímetro de 6,4 kilómetros que representa la distancia que existe desde la planta de tratamiento de agua potable de Sustag hasta la hacienda La Vaca como se muestra en la imagen 8, el propósito de esta acción es evaluar la contaminación que se genera a lo largo de este tramo del río por parte de todas las haciendas que generan vertidos luego de la limpieza de sus establos.

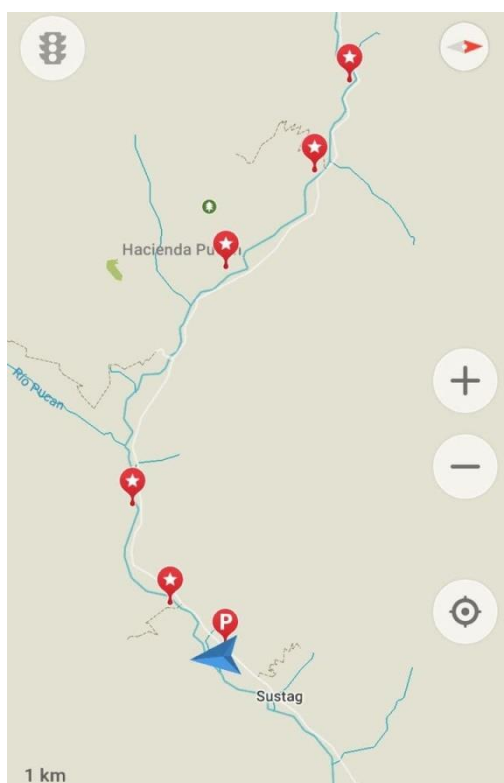


Fig. 32 Ubicación de las haciendas que producen vertidos hacia el río Yanuncay.

Fuente: El Autor

#### 4.3.1 Evaluación del vertido de materia orgánica y oxígeno disuelto sin un previo tratamiento.

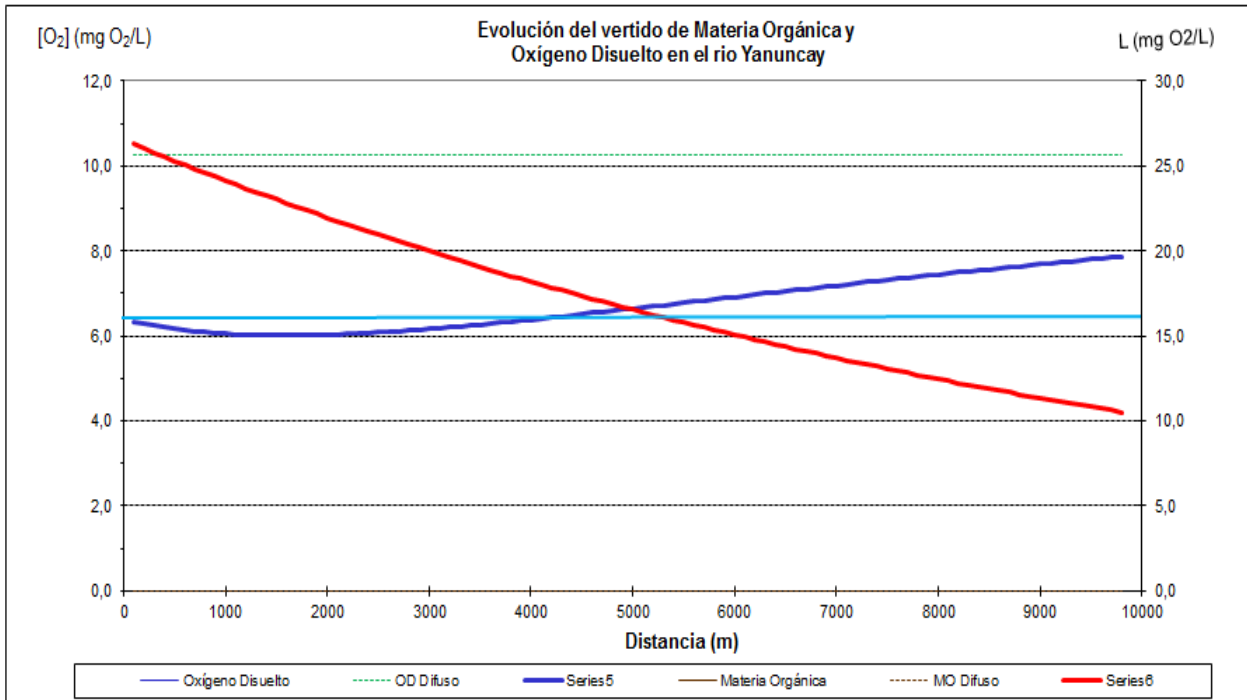


Fig. 33 Modelo de la evolución del vertido de materia orgánica y oxígeno disuelto en el río Yanuncay sin previo tratamiento.

Fuente: El Autor

La figura 33 representa el análisis del comportamiento de la contaminación que se da dentro del río Yanuncay al ingresar el agua residual bovina, la carga inicial de materia orgánica que ingreso sin un previo tratamiento es de 5.040 mg/l DBO la cual representa toda la carga contaminante generada por las haciendas dentro del perímetro como se muestra en la imagen 8, el rango de la distancia de 10.000 metros se plantea con el motivo de evaluar la degradación de la contaminación que puede alcanzar el río desde la hacienda La Vaca hasta aguas abajo de la planta de tratamiento de Sustag. Los resultados obtenidos muestran que el río tiende a tener problemas para poder degradar toda la carga de materia orgánica llegando a niveles de 10 mg/l DBO luego de 10.000 metros, la captación de agua potable se la realiza a los 6.400 metros donde presenta valores todavía más altos de concentración llegando aproximadamente a 15 mg/l DBO lo que representa un problema de contaminación y el incumplimiento según, el Código Ecuatoriano de la Construcción de parte IX Obras Sanitarias en su Norma para el Estudio y Diseño de Sistemas de Agua

Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes en donde el límite máximo aceptable es de 6 mg/l DBO por lo que no se cumple este parámetro para la captación del agua potable.

Otro resultado obtenido es el consumo de oxígeno disuelto en el agua provocado por el proceso de degradación de la materia orgánica que en este caso no representa mayores problemas ya que el río tiende a tener una buena re aireación por las características ambientales del mismo haciendo que se recuperen los niveles de oxígeno en una distancia corta hasta sobrepasar los niveles de saturación, como se puede ver el oxígeno disuelto parte de un nivel de saturación de 6,4 mg/l que se obtiene aplicando la fórmula de (Zison, 1978), en donde se considera la altitud como principal factor determinante que en este caso es de 3093 msnm. A mayor altura se provoca una disminución en la concentración de saturación debida a la disminución de la presión atmosférica (Aguilar et al., 2015), también lo demuestra (Andrade & Fernando, s. f.), en sus mediciones realizadas en las cuenca alta y media del río Yanuncay donde el oxígeno disuelto se mantiene en un rango de 6 a 7 mg/l.

También se logra analizar dentro del modelo las constantes de degradación y re aireación representadas como  $K'1$  y  $K'2$  respectivamente, en donde  $K'1$  según (Ramos, s. f.), se encuentra directamente influenciada por la temperatura del sistema que en este caso al ser una zona de paramo presenta temperaturas bajas que oscilan entre los 14 °C dando como resultado una degradación de la materia orgánica más lenta debido a la poca actividad de los microorganismos en el agua, en cuanto a  $K'2$  se realiza su estimación mediante el método de Covar en donde influye la velocidad que tiene el río que en este caso es de 2,08 m/s y el calado mayor a un metro.

#### 4.3.2 Evaluación del vertido de materia orgánica y oxígeno disuelto con un tratamiento anaerobio.

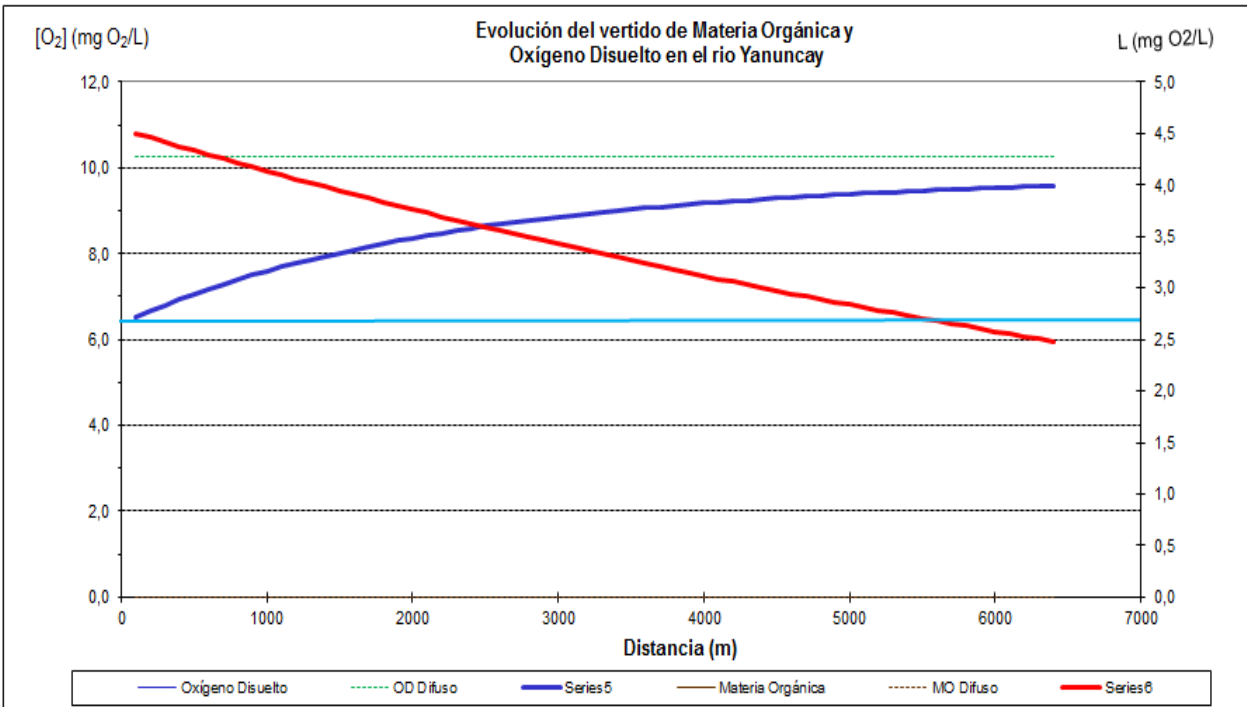


Fig. 34 Modelo de la evolución del vertido de materia orgánica y oxígeno disuelto en el río Yanuncay con un tratamiento anaerobio

Fuente: El Autor

En la figura 34 se puede observar el comportamiento de la materia orgánica y oxígeno disuelto luego de haber pasado por un tratamiento con bacterias anaerobias que reducen la carga contaminante del agua residual bovina que es vertida hacia el río Yanuncay, la carga inicial de contaminante es reducida a 480 mg/l DBO y se evalúa su comportamiento de degradación durante una distancia de 6.400 metros que representa la distancia que existe desde la hacienda La Vaca hasta la captación de agua por parte de la planta de tratamiento de Sustag. La carga inicial de contaminante llega a degradarse hasta niveles de 2,5 mg/l DBO en el punto de captación cumpliendo con el Código Ecuatoriano de la Construcción de parte IX Obras Sanitarias en su Norma para el Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes donde se expresa que el límite máximo permisible es de 6 mg/l DBO. En cuanto a las velocidades de degradación expresadas como  $k'1$  y  $K'2$  presentan una mejoría

ya que se pudo reducir la concentración inicial, haciendo que el río degrade la materia orgánica en una distancia más corta mejorando la calidad de agua.

Otra de las ventajas que se obtienen como resultado al aplicar un tratamiento previo a la descarga del vertido es que el río no presenta consumo de oxígeno disuelto por el proceso de la degradación de la materia orgánica, al contrario se encuentra por encima del oxígeno de saturación llegando a niveles aproximadamente de 9,7 mg/l que es característico de este tipo de ríos de páramo.

## 5 CONCLUSIONES

Luego de culminar este proyecto de investigación se han llegado a las siguientes conclusiones:

- Los reactores que obtienen mayor eficiencia en la reducción de la carga contaminante contenida en el agua residual producto del lavado del establo de la hacienda La Vaca son los reactores 2 y 5 en los que se aplica la dosis del 100% de bacterias anaerobias, una reducción en la dosis de aplicación de las bacterias perjudica los niveles de degradación de la carga contaminante como se puede ver en los resultados de los reactores 3 y 6.
- Los resultados alcanzados en la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los reactores que son sometidos a diferentes concentraciones de agua contaminada, se puede ver que la aplicación del 100% de bacterias anaerobias es la más eficiente para la reducción de los niveles de contaminación llegando a cumplir en la mayoría de reactores el límite permisible de vertido hacia un cuerpo de agua dulce.
- La demanda Química de Oxígeno muestra un comportamiento de igual manera eficiente con la aplicación del 100% de bacterias anaerobias en las diferentes concentraciones de agua contaminada, en este parámetro no se puede alcanzar los límites de vertido hacia un cuerpo de agua dulce pero se consigue disminuir considerablemente la carga contaminante inicial que es vertida hacia el cuerpo de agua.
- En cuanto al parámetro de Coliformes Fecales de la misma manera se obtienen resultados favorables en la disminución de los niveles de concentración, en este

caso una reducción en la dosis de bacterias anaerobias favorece la reducción de coliformes como se puede ver en los reactores 3 y 6.

- La temperatura de  $18^{\circ}\text{C}$  con la que se trabaja en este experimento no es la ideal para el desarrollo idóneo de las bacterias Mesofilicas ya que el rango de funcionamiento ideal de estas bacterias se encuentra superior a los  $25^{\circ}\text{C}$  por consecuencia las bacterias se desarrollan de una forma más lenta haciendo que la degradación pase a tener velocidades más lentas.
- En lo que se refiere a tiempos de retención celular la mayoría de los reactores alcanzaron su mayor nivel de degradación en un promedio de 14 a 15 días lo que representa un tiempo relativamente corto de acuerdo a las condiciones climáticas que presenta la zona.
- Las cinéticas de degradación alcanzadas en cada uno de los reactores son relativamente lentas debido a la baja temperatura en la que se encuentra la zona de estudio, esto causa que las bacterias se desarrollen a velocidades lentas por lo que la degradación de la materia orgánica se vio afectada significativamente.
- En cuanto a el análisis del modelo de Materia Orgánica y Oxígeno Disuelto sin un previo tratamiento se pudo ver que el río Yanuncay presenta problemas para reducir los niveles de materia orgánica que contiene el agua residual bóvida, se realiza un análisis durante 10 kilómetros aguas abajo y la materia orgánica sigue presente en concentraciones que exceden los límites permisibles para ser aprovechada como fuente de agua para los habitantes de la ciudad de Cuenca, en cuanto al oxígeno disuelto no presenta una disminución notable ya que al ser un río con características de re aireación constante el oxígeno consumido por la degradación de la materia orgánica aguas abajo vuelve a ser restablecido.

- El análisis del Modelo de Materia Orgánica y Oxígeno Disuelto con el previo tratamiento por parte de las bacterias anaerobias presenta resultados favorables en cuanto a la disminución de materia orgánica ya que el agua que es vertida hacia el río Yanuncay ingresa con un nivel de carga inferior, lo que ocasiona que el río sea capaz de auto depurar esta carga contaminante llegando a cumplir los límites permisibles para la captación de agua potable de la ciudad de Cuenca. En lo que se refiere al consumo de oxígeno disuelto el modelo no presenta consumo alguno.

## **6 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar mayor número de repeticiones en los análisis con el fin de obtener mayor cantidad de datos para una interpretación estadística completa.
  
- Con la ejecución de este trabajo de investigación y su finalidad en disminuir la carga contaminante contenida en el agua residual bovina, se obtienen como sub productos fangos que contienen contaminantes y bacterias en su composición por los que se recomienda aplicar un tratamiento adecuado que elimine los contaminantes para luego ser utilizado dentro de la hacienda como fertilizante.
  
- Para obtener una mayor eficiencia en el tratamiento anaerobio se recomienda cubrir y aislar los reactores con el fin de que las bacterias anaerobias puedan desarrollarse de una manera óptima, evitando de esta manera cambios bruscos en la temperatura del sistema y la intervención de factores climáticos que alteren y minimicen la efectividad del tratamiento.

## 7 BIBLIOGRAFIA.

- Aguilar, A., Osorio, K., del Socorro Prado Olivares, M., Zúniga-González, C., Rafaela Dios, P., Pablo, S., & José Quiros Madrigal, O. (2015). Efectos de la ineficiencia técnica ambiental en la calidad del agua del Estero Real: Caso Nicaragua. *Universitas* (León), 5, 17. <https://doi.org/10.5377/universitas.v5i2.2031>
- Andrade, A., & Fernando, J. (s. f.). Validación de los indicadores biológicos (macroinvertebrados) para el monitoreo de la cuenca del río Yanuncay”, 232.
- BARBA LUZ. (2002). CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y PARÁMETROS DE MEDICIÓN. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>
- Chávez, R. M. (2009). Reseña de " La larga sombra de Hitler. El cine nazi en España (1933-1945)" de MONTERO, Julio y DÍAZ, M<sup>a</sup> ANTONIA. *Ámbitos*, (18), 259–260.
- Cuenca Piso, D. B. (2014). Impacto de la ganadería sobre las características físicas-químicas del suelo predio Los Altares.
- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. (2016). Recuperado de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2016/Presentacion%20ESPAC%202016.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/Presentacion%20ESPAC%202016.pdf)
- Francisca Rosenkranz Fernández. (2013). Estudio del comportamiento de reactores anaerobios de tipo ASBR frente a compuestos de difícil degradación y/o efectores negativos. Universidad de Santiago de Compostela, Chile. Recuperado de [http://www.usc.es/biogrup/sites/default/files/Tesis\\_doctoral\\_F.Rosenkranz.pdf](http://www.usc.es/biogrup/sites/default/files/Tesis_doctoral_F.Rosenkranz.pdf)

- Fundacion Vasca para la Seguridad Agroalimentaria. (s. f.). EL AGUA EN LAS EXPLOTACIONES GANADERAS. Recuperado de <http://www.elika.eus/datos/articulos/Archivo923/ART%C3%8DCULO%20AGUA%20MAQUETADO%20cast.pdf>
- González Cabrera, A. M. (2014a). Estudio técnico-económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia. Trabajo Fin de Máster en Ingeniería Ambiental (pp. 99).
- González Cabrera, A. M. (2014b). Estudio técnico-económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia. Trabajo Fin de Máster en Ingeniería Ambiental (pp. 99).
- Guerrero, C., Inga, E., & Samaniego, F. (2011). Optimización de un Biodigestor en la Depuración de Agua Residual de Ganado Bovino. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1215/14/UPS-CT002194.pdf>
- Jair Ordoñez Moncada, & Martín Palacios Quevedo. (2017). Modelo de Calidad de Agua Vertimientos a Cuerpo Superficial de Agua Proyecto Vial: Doble Calzada Rumichaca-Pasto Tramo San Juan-Pedregal Consesionario Vial Union del Sur-Consorcio SH (Técnico) (p. 583). Bogotá: Consesionario Vial Unión del Sur Consorcio SH. Recuperado de [https://www3.opic.gov/Environment/EIA/pasto/Annexes/SanJuan/Annex\\_14\\_A.pdf](https://www3.opic.gov/Environment/EIA/pasto/Annexes/SanJuan/Annex_14_A.pdf)
- Juan Garzón. (s. f.). INIAP y ETAPA capacitan a ganaderos en manejo de cuencas hídricas del Austro. Recuperado de [http://www.iniap.gob.ec/nsite/index.php?option=com\\_content&view=article&id=342:iniap-y-etapa-capacitan-a-ganaderos-en-manejo-de-cuencas-hidricas-en-el-austro&catid=97&Itemid=208](http://www.iniap.gob.ec/nsite/index.php?option=com_content&view=article&id=342:iniap-y-etapa-capacitan-a-ganaderos-en-manejo-de-cuencas-hidricas-en-el-austro&catid=97&Itemid=208)

Juan Pinos Rodriguez, Juan Gracia López, Luz Peña Avelino, Juan Rendon Huerta, Cecilia González González, & Flor Tristán Patiño. (2012). IMPACTOS Y REGULACIONES AMBIENTALES DEL ESTIÉRCOL GENERADO POR LOS SISTEMAS GANADEROS DE ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA. 2012, 46(4), 370.

La Hora. (2012, marzo 1). Río Yanuncay estaria afectado por ganaderia. Recuperado de <https://lahora.com.ec/noticia/1101291500/rc3ado-yanuncay-estarc3ada-afectado-por-ganaderc3ada>

Loaiza Bedoya, Y. A., & Osorio Montoya, A. L. (2009). Gestión del agua en el sector de la ganadería bovina en la cuenca Río La Vieja departamentos de Quindío y Risaralda (B.S. thesis). Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Luzardo, O. P., Henríquez Hernández, L. A., Zumbado, M., & Boada, L. D. (2014). Impacto de las instalaciones ganaderas sobre la calidad y seguridad del agua subterránea. Revista de Toxicología, 31(1). Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=91932798005>

Maria Teresa Varnero Moreno. (2011). Manual de Biogás (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO)). Chile. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

Martínez Martínez, B. E., & Mosquera Calle, J. M. (2012a). Evaluación de la digestión anaerobia como alternativa de estabilización de biosolidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira (PhD Thesis). Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Martínez Martínez, B. E., & Mosquera Calle, J. M. (2012b). Evaluación de la digestión anaerobia como alternativa de estabilización de biosolidos producidos en la planta

de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Moreno, E. P. (1994). La preparación de la Cumbre de Essen. Boletín económico de ICE, Información Comercial Española, (2438), 3427–3432.

Neira, Y., & Amparo, E. (2014). Contaminación por materia orgánica en el río Torococha de la ciudad de Juliaca.

NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y. (s. f.). DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA.

Pérez Espejo, R. (2008). El lado oscuro de la ganadería. Problemas del desarrollo, 39(154), 217-227. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0301-70362008000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0301-70362008000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Ramos, D. S. (s. f.). Tema 12 Calidad del agua en ríos, 32.

Rivas, F., María, R., Leal, R., Alfredo, J., Moleón, J., Carmen, M. del, & Esparza Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. Revista internacional de contaminación ambiental, 31(3), 253-264. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0188-49992015000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-49992015000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., Gomez Pando Pedro Leon-Lobos, L. G., Alercia, A., Diulgheroff, S., ... Bazile, D. (2014). Estado de la conservación ex situ de los recursos genéticos de quinua. FAO.

- Teixeira Machado, R., Grzybovski, D., Barth Teixeira, E., & David da Silva, M. (2013).  
Governança de pequenas empresas familiares brasileiras: aspectos a considerar  
no modelo adotado. *Revista de Ciências da Administração*, 15(37).
- Universidad de Antioquia, Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., Universidad de  
Antioquia, Gutiérrez-Builes, L. A., & Universidad Pontificia Bolivariana. (2017).  
Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo  
humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247.  
<https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Urquiaga Cueva, E. A. (2013). Implementación de un sistema de reutilización de agua de  
proceso para reducir el consumo de agua fresca en una planta papelera.
- US EPA, O. (2013, marzo 12). The Problem [Overviews and Factsheets]. Recuperado 14  
de diciembre de 2017, de <https://www.epa.gov/nutrientpollution/problem>
- Yañez, C. S., Sánchez, R. J. G., & Méndez, G. B. (s. f.). CINÉTICAS DE DEGRADACIÓN  
DE DQO PARA EL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES DE  
RASTRO., 7.

## 8 ANEXOS

### 8.1 Anexo A Imágenes del desarrollo del proyecto.



*Fig. 35 Establo de la hacienda La Vaca.*



*Fig. 36 Cabezas de ganado*



*Fig. 37 Corrales del ganado.*



*Fig. 38 Agua residual del establo.*



*Fig. 39 Tanque de almacenamiento*



*Fig. 40 Agua residual*



*Fig. 41 Recolección del agua residual*



*Fig. 42 Recolección del agua residual*



*Fig. 43 Reactores de plástico*



*Fig. 44 Identificación de reactores*



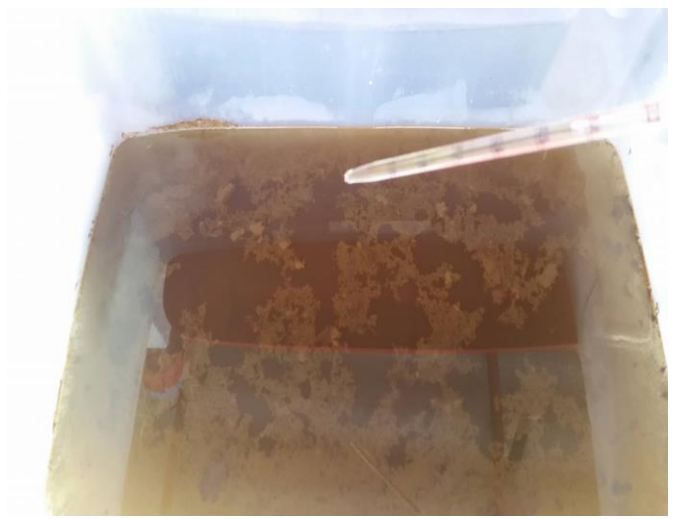
*Fig. 45 Puesta de 15 litros de agua residual*



*Fig. 46 Grupos de reactores*



*Fig. 47 Aplicación de bacterias anaerobias.*



*Fig. 48 Aplicación de bacterias*



*Fig. 49 Medición de parámetros*



*Fig. 50 Toma de muestras*



Fig. 51 Formación de flóculos



Fig. 52 Contaminación descendente



**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL**

Yo, **José Miguel Contreras López** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0104707328. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Estudio de biodegradación anaerobia de materia orgánica en aguas residuales provenientes de limpieza del establo de la hacienda La Vaca”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de septiembre de 2018

F: .....  
**José Miguel Contreras López**  
C.I. 0104707328