



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE MANABÍ  
“MANUEL FELIX LÓPEZ”**

**DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE**

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD:  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:  
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA MEDIANTE HUMEDALES  
ARTIFICIALES CON PASTO SABOYA (*Panicum máximum*) Y  
PASTO ELEFANTE (*Pennisetum purpureum*) EN AGUAS  
RESIDUALES BOVINAS**

**AUTORES:  
AGUILAR GUTIÉRREZ JOSÉ DAVID  
CORNEJO MERA ROBERT CRISTÓBAL**

**TUTOR:  
ING. DIANA C. CEDEÑO ALCÍVAR, M.Sc.**

**CALCETA, OCTUBRE DE 2021**

## DERECHOS DE AUTORÍA

**JOSÉ DAVID AGUILAR GUTIERREZ y ROBERT CRISTÓBAL CORNEJO MERA**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.



---

**JOSÉ D. AGUILAR GUTIERREZ**



---

**ROBERT C. CORNEJO MERA**

## CERTIFICACIÓN DE TUTOR

**ING. DIANA CAROLINA CEDEÑO ALCIVAR, Mg. Sc.**, certifica haber tutelado el proyecto **REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES CON PASTO SABOYA (*Panicum máximum*) Y PASTO ELEFANTE (*Pennisetum purpureum*) EN AGUAS RESIDUALES BOVINAS**, que ha sido desarrollada por **JOSÉ DAVID AGUILAR GUTIERREZ y ROBERT CRISTÓBAL CORNEJO MERA**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. DIANA CAROLINA CEDEÑO ALCIVAR, Mg. Sc.**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES CON PASTO SABOYA (*Panicum máximum*) Y PASTO ELEFANTE (*Pennisetum purpureum*) EN AGUAS RESIDUALES BOVINAS**, que ha sido propuesto, desarrollado por **JOSÉ DAVID AGUILAR GUTIERREZ y ROBERT CRISTÓBAL CORNEJO MERA**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. Carlos Luis Banchon Bajaña, MsC.**  
**MIEMBRO**

---

**ING. José Miguel Giler Molina, MsC.**  
**MIEMBRO**

---

**ING. Carlos Delgado Villafuerte, Mg.C. A**  
**PRESIDENTE**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme el privilegio de la vida, la fuerza y la perseverancia en el ámbito académico, a mi familia por ser mi pilar y llevarme en el camino del bien, del amor, la justicia y de la sabiduría, a mis padres que han sabido amarme, educarme y sobre todo apoyarme incondicionalmente en cada etapa de mi vida, a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

A mis catedráticos de la carrera de Ingeniería Ambiental que aportaron con mi educación universitaria brindándome sus conocimientos para enriquecer los míos, en especial a mi tutora la Ing. Diana Cedeño Alcívar, Mg. Sc. por su apoyo incondicional.

Al tecnólogo Pinargote, encargado del área de CIIDEA, quien me colaboro en todo momento y brindó sus conocimientos para la ejecución de mi tesis.

**JOSÉ D. AGUILAR GUTIERREZ**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la vida, sus bendiciones y sabiduría derramada sobre mí, que permitieron alcanzar este logro tan importante.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

A mis padres Ángel y Lilia por el apoyo incondicional tanto afectivo como material, sin ustedes no podría haberlo logrado

A mis hermanos Alexander y Eduardo, quienes fueron mi equipo de soporte técnico a lo largo de mi experiencia universitaria.

A mi tutora Ing. Diana Cedeño Alcívar, Mg. Sc. por estar siempre presta a guiarnos en el desarrollo de nuestra tesis e instruirnos de manera desinteresada cada vez que así lo requerimos.

Al tecnólogo Pinargote por su ayuda desinteresada en la ejecución de la tesis y los consejos valiosos para el correcto desarrollo de la misma.

**ROBERT C. CORNEJO MERA**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios por contar siempre con su bendición y darme las fuerzas de salir adelanté y luchar día a día por mis ideales para llegar a la meta.

A mis padres por apoyarme constantemente durante mi formación profesional y por inculcarme las buenas costumbres llevándome por el camino correcto, justo y moral, a ellos les dedico todo el esfuerzo que he puesto para la realización de este trabajo de tesis, ya que gracias a su esfuerzo y cariño pude culminar mi carrera profesional con éxito.

A mi pareja sentimental que con todo su amor ha contribuido en mi formación y está siempre presente en todo momento y demás seres queridos por haberme brindado de una u otra forma su apoyo constante.

**JOSÉ D. AGUILAR GUTIERREZ**

## **DEDICATORIA**

A Dios por otorgarme su protección y la sabiduría necesaria para afrontar los retos académicos presentados a lo largo de mi periodo estudiantil.

A mis padres Ángel Cornejo y Lilia Mera que desde el día de mi nacimiento han brindado su cuidado y me han instruido a lo largo de mi vida para que sea un ciudadano de bien, apoyándome en cada proyecto que iniciara y corrigiéndome cada vez que lo necesitaba.

A mí hermano Alexander que cada vez que necesité de su apoyo estuvo presto a colaborar.

A mi novia Noemí Bermeo que me acompañó cada día de mi etapa universitaria e hizo de los momentos más difíciles más llevaderos.

**ROBERT C. CORNEJO MERA**



## CONTENIDO GENERAL

<b>DERECHOS DE AUTORÍA.....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE TUTOR .....</b>	<b>III</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>VII</b>
<b>CONTENIDO GENERAL.....</b>	<b>IX</b>
<b>CONTENIDO DE TABLAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>CONTENIDO DE FIGURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3. OBJETIVOS.....	4
<i>OBJETIVO GENERAL.....</i>	<i>4</i>
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</i>	<i>4</i>
1.4. HIPÓTESIS.....	4
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	5
2.1.1. CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES BOVINAS.....	6
2.1.2. CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES BOVINAS CON MATERIA ORGÁNICA .....	8
2.2. HUMEDALES ARTIFICIALES .....	9
2.2.1. PASTO SABOYA ( <i>Panicum maximum</i> ) .....	11
2.2.2. PASTO ELEFANTE ( <i>Pennisetum purpureum Schum</i> ).....	13
2.3. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES .....	14
2.3.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO [DBO] .....	14
2.3.2. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.....	15
2.3.3. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DBO <sub>5</sub> PARA DESCARGAS A UN CUERPO DE AGUA DULCE .....	15
2.3.4. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS .....	15

2.4. EXPERIENCIAS CON PASTOS .....	16
2.4.1. EXPERIENCIA CON <i>Panicum maximum</i> .....	16
2.4.2. EXPERIENCIA CON <i>Pennisetum purpureum</i> Schum .....	16
<b>CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....</b>	<b>18</b>
3.1. UBICACIÓN .....	18
3.2. DURACIÓN.....	19
3.3. FACTOR EN ESTUDIO .....	19
3.4. NIVELES DEL FACTOR.....	19
3.5. TRATAMIENTOS .....	19
3.6. DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL .....	19
3.6.1. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	19
3.6.2. ESQUEMA DE ANÁLISIS DE VARIANZA .....	20
3.6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	20
3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL .....	20
3.8. MANEJO DE EXPERIMENTO.....	20
3.8.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD Y VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL BOVINA.....	21
3.8.2. DETERMINACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL CON MAYOR EFICIENCIA PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.....	22
3.8.3. DEFINICIÓN DE LA RELACIÓN COSTO/ BENEFICIO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL CON MAYOR EFICIENCIA PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES BOVINAS .....	24
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
4.1. CONCENTRACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL BOVINA.....	25
4.2. REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.....	26
4.3. COSTO/ BENEFICIO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL .....	29
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>32</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	32
5.2. RECOMENDACIONES.....	32
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>39</b>

## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Clasificación botánica del pasto saboya ( <i>panicum maximum</i> ) de acuerdo a peñaherrera (2015). .....	11
<b>Tabla 2.2.</b> Clasificación botánica del pasto elefante ( <i>pennisetum purpureum</i> ) de acuerdo a suárez (2016). .....	13
<b>Tabla 3.1.</b> Referencias geográficas .....	18
<b>Tabla 3.2.</b> Tratamientos .....	19
<b>Tabla 3.3.</b> Delineamiento experimental .....	19
<b>Tabla 3.4.</b> Esquema de anova .....	20
<b>Tabla 3.5.</b> Descripción de las unidades experimentales .....	20
<b>Tabla 4.1.</b> Estimación del volumen de agua residual bovina .....	26
<b>Tabla 4.2.</b> Composición bioquímica y volumen del agua residual previa a la remoción de materia orgánica.....	26
<b>Tabla 4.3.</b> Aclimatación de los pastos saboya y elefante en humedales artificiales como removedores de materia orgánica en aguas residuales bovinas.....	27
<b>Tabla 4.4.</b> Comportamiento de pastos en humedales artificiales como removedores de materia orgánica en aguas residuales bovinas (tdrh, 24h). .....	28
<b>Tabla 4.5.</b> Relación costo/ beneficio de los pastos saboya y elefante en humedales artificiales como removedores de materia orgánica en aguas residuales bovinas.....	29
<b>Tabla 4.6.</b> Descripción de materiales y valor total de tratamiento para la construcción de los humedales artificiales como removedores de materia orgánica en aguas residuales bovinas ..	30
<b>Tabla 4.7.</b> Valor total de tratamiento para la construcción de los humedales artificiales que deseen implementar los agricultores y ganaderos para la remoción de materia orgánica en aguas residuales bovinas.....	30

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Mapa de ubicación de implementación del proyecto .....	18
<b>Figura 4.1.</b> Mapa de ubicación del punto de muestreo .....	25
<b>Figura 4.2.</b> Concentración de dbo removida en cada tratamiento. ....	27
<b>Figura 4.3.</b> Porcentaje de remoción de dbo .....	28

## RESUMEN

La remoción de materia orgánica mediante humedales artificiales utilizando pasto saboya (*Panicum máximum*) y pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) es una técnica que se utiliza para tratar las aguas residuales bovinas. La investigación se realizó en el área de CIIDEA (Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo Agropecuario); las muestras de agua residual bovina fueron tomadas en los predios de la hacienda “Bella Aurora”, parroquia Eloy Alfaro, cantón Chone, con una duración de 9 meses con el objetivo de remover la materia orgánica mediante humedales artificiales con pasto saboya (*Panicum máximum*) y pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) en aguas residuales bovinas. Se manipularon dos tipos de pastos (*Panicum Máximum* y *Pennisetum purpureum*). La unidad experimental se conformó por dos humedales artificiales, cada humedal artificial tuvo tres repeticiones, en uno se trasplantaron 4 macollo de pasto saboya y en el otro 4 macollo de pasto elefante. El método experimental empleado fue un (DCA) diseño completamente al azar unifactorial, Los datos fueron analizados a través del ANOVA al 5% de significancia y la separación de medias a través de la prueba de Tukey, se utilizó el software estadístico *Infostat* versión libre 2020. El caudal promedio de agua residual bovina de la hacienda Bella Aurora, parroquia Eloy Alfaro del cantón Chone, fue de  $0,0289 \text{ l/s}$ . El resultado obtenido de la muestra evaluada demostró un nivel alto de DBO en agua residual bovina excediendo lo establecido en la normativa vigente. La demanda bioquímica de oxígeno mostró diferencias significativas entre los tratamientos, al utilizar pastos saboya y elefante como removedores de materia orgánica en aguas residuales bovinas, se logró reducir un 36,79% mediante el pasto saboya cuyo costo de tratamiento fue de \$237,40 y un 39,96% utilizando pasto elefante con un costo de \$277,90. El costo final de implementación del humedal artificial para la remoción de materia orgánica para agricultores y ganaderos es de \$88,00 para pasto saboya y de \$128,50 para para pasto elefante en USD/m<sup>2</sup> de H A. Por lo que se podría sugerir esta técnica en futuras investigaciones debido a sus bajos costos.

**PALABRAS CLAVE:** remoción, humedales artificiales, pastos, aguas residuales bovinas, materia orgánica, DBO.

## ABSTRACT

The removal of organic matter by artificial wetlands using Savoyard grass (*Panicum maximum*) and elephant grass (*Pennisetum purpureum*) is a technique used to treat bovine wastewater. The research was carried out in the area of CIIDEA (Centre for Research, Innovation and Agricultural Development); bovine wastewater samples were taken on the grounds of the estate "Bella Aurora", Eloy Alfaro parish, Chone canton, lasting 9 months with the aim of removing organic matter by artificial wetlands with Savoyard grass (*Panicum maximum*) and elephant grass (*Pennisetum purpureum*) in bovine wastewater. Two types of pastures (*Panicum Maximum* and *Pennisetum purpureum*) were handled. The experimental unit consisted of two artificial wetlands, each artificial wetland had three repetitions, in one were transplanted 4 macollo of Savoy grass and in the other 4 macollo of elephant grass. The experimental method used was a completely random unifactorial (DCA) design, the data were analyzed through the ANOVA at 5% significance and the separation of means through the Tukey test, the Infostat free version statistical software 2020 was used. The average flow of bovine wastewater from the Bella Aurora estate, Eloy Alfaro parish in the canton chone, was 0.0289 l's. The result obtained from the sample evaluated demonstrated a high level of BOD in bovine wastewater exceeding the provisions of current regulations. Biochemical demand for oxygen showed significant differences between treatments, using Savoyard and elephant pastures as removers of organic matter in bovine wastewater, it was possible to reduce by 36.79% through Savoyard grass whose treatment cost was \$237.40 and 39.96% using elephant grass at a cost of \$277.90. The final cost for the implementation of an artificial wetland for the removal of organic matter for farmers and ranchers was \$ 88.00 for savoy grass and \$ 128.50 for elephant grass in USD / m<sup>2</sup> of H A. So it could be suggest this technique in future research due to its low costs.

**KEY WORDS:** removal, artificial wetlands, pastures, bovine wastewater, organic matter, BOD.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Bokova (2017) afirma que una de las mayores problemáticas alrededor del mundo es el tratamiento de aguas residuales. Dicho autor calcula que más del 80% de estas aguas se esparcen al ambiente sin ningún tipo de tratamiento. Además, manifiesta que países subdesarrollados mantienen una cifra de más del 95%. Este problema sanitario tiene consecuencias negativas en la salud humana, la productividad económica, la calidad del agua dulce y los ecosistemas.

El mayor consumidor de agua dulce es el sector agropecuario. Este sector usa el agua en sistemas de riego de cultivos y pastizales, así como limpieza y consumo animal. El agotamiento de este recurso por parte de dicho sector se encuentra en un nivel muy alto y con tendencia a aumentar (Pineda, 2016). Por su parte Monzón, *et al.*, (2001) manifiestan que las concentraciones de materia orgánica (MO) en aguas residuales bovinas son muy elevadas debido al bajo volumen de agua que lo transporta.

De acuerdo con la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA, 2012) el uso predominante de agua es del sector agrícola con 80% del caudal total ecuatoriano. Por su parte, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2012) reportó que sólo el 38,51% del total de la población conoce buenas prácticas ambientales y el 21,01% tiene capacitación ambiental. Sin embargo, el porcentaje de capacitación disminuye al 12,84% en zonas rurales del país.

En la Hacienda Bella Aurora, sitio Domingullo, parroquia Eloy Alfaro, cantón Chone se ha evidenciado que las aguas utilizadas en la limpieza del hato bovino son depositadas directamente al suelo. Dichas aguas contaminan los cuerpos hídricos subterráneos a causa de sus altas cargas de (MO).

Dado los antecedentes anteriormente expuestos se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál será la eficiencia de los humedales artificiales con pasto saboya (*Panicum maximum*) y pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) para la remoción de materia orgánica en aguas residuales bovinas?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Según Culqui (2015) informa que la utilización de pasto *Pennisetum purpureum* en la remoción de efluentes orgánicos arrojan excelentes resultados. Además, se obtuvo una remoción del 86% en DQO, y en cuanto a color y sólidos suspendidos se alcanzó una remoción de 86,2% y 90% respectivamente. Así mismo Palta y Morales (2014) indican que los pastos *Panicum maximum* y *Pennisetum purpureum* presentaron 16,84% y 19,73% de remoción en DBO; 45,22% y 46,86% en DQO; 72,27% y 74,35% en coliformes totales respectivamente.

Estudios realizados por Badillo *et al.*, (2016) mencionan que desarrollaron humedales artificiales con dimensiones pequeñas de 30 cm x 30 cm x 40 cm, evidenciando cambios positivos en los diferentes parámetros evaluados, además de incluir: turbiedad, pH, temperatura y conductividad eléctrica.

De acuerdo con Gómez (2017) utilizó grupo de 4 macollos por m<sup>2</sup> de especies de pasto *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides*, y así consiguió demostrar que con la utilización de medios inundados (humedales artificiales) se facilita la depuración de aguas residuales.

Esta investigación corresponde a la línea de investigación de la carrera de ingeniería ambiental de la ESPAM MFL: tecnologías de protección a los bienes ambientales. Además, a nivel territorial aportará con el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una vida. Eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida. Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, y con los objetivos del Milenio (ONU, 2019), objetivo 6 (Agua limpia y saneamiento). Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

El estudio contribuye a la Zona de Planificación 4-Pacífico (provincias: Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas) netamente en el sector agrícola y ganadero, debido a la aplicación del humedales artificiales que depuren aguas residuales de origen pecuario, el sector agrícola se benefició con el saneamiento de estas aguas que fueron reutilizadas en campos agrarios, cosechando alimentos sanos,

así como también el sector ganadero experimentó mejoras en su gestión ambiental logrando distribuir productos y derivados bovinos de calidad.

La investigación cumple con la normativa correspondiente, la cual se expresa en el libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Anexo 1 en la tabla 12: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, aportando de esta forma al medio ambiente y la salud humana. Cabe destacar que actualmente no se han registrado estudios similares en la zona antes mencionada para con este fin. Dando la apertura a nuevos estudios que se relacionen con esta temática.

El Ministerio de Ambiente (2017) menciona que en Ecuador se realizan operativos de control a través de técnicos ambientales, ellos se amparan en el Art. 259 del Acuerdo Ministerial No. 061, ya que señala que los proyectos, obras o actividades podrán ser inspeccionados sin necesidad de notificación previa. En casos de incumplimientos, existen planes de acción y remediación de las zonas afectadas, así como también incluye sanciones administrativas y económicas de hasta 200 Remuneraciones Básicas Unificadas (RBU), además de acciones penales contempladas en el Código Orgánico Integral Penal (COIP).

El presente trabajo investigativo tuvo como finalidad, evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica mediante humedales artificiales utilizando pasto Saboya y Pasto Elefante en el tratamiento de aguas residuales bovinas, evitando incrementar el índice de amenaza hacia el medio ambiente y la repercusión a la salud humana.



### **1.3. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la remoción de materia orgánica mediante humedales artificiales con pasto saboya (*Panicum máximum*) y pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) en aguas residuales bovinas

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar la calidad y volumen de agua residual bovina de la hacienda Bella Aurora, parroquia Eloy Alfaro del cantón Chone.
- Determinar el humedal artificial con mayor eficiencia para la remoción de materia orgánica.
- Definir la relación costo/ beneficio del humedal artificial con mayor eficiencia para la remoción de materia orgánica en aguas residuales bovinas.

### **1.4. HIPÓTESIS**

Los humedales artificiales con pasto saboya y pasto elefante remueven la materia orgánica en las aguas residuales bovinas.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

De acuerdo con Aguilar (2009) afirma que uno de los recursos naturales más importantes en el planeta tierra es el agua y forma parte del desarrollo de cualquier país en el mundo; es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida en su totalidad. Con el tiempo su disponibilidad es paulatinamente menor debido a su contaminación por diversos medios ambientales, incluyendo a los acuíferos, lo cual representa un desequilibrio medio ambiental, y socioeconómico.

Espigares (s.f.) manifiesta que desde que aparecieron las primitivas poblaciones estables, la necesidad de la eliminación de los residuos ha constituido un problema primordial para las sociedades humanas en general, ya que nació la necesidad de eliminación tanto de las excrementos como de los restos de alimentación, por otra parte Ramos (2009) menciona que uno de los mayores e importantes desafíos en todo el mundo es la cantidad limitada de agua no contaminada y utilizable para distintos usos futuros, como la producción de bebidas y alimentos.

UNESCO (La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2017) indica que la mayoría de las actividades humanas que utilizan agua generan aguas residuales, debido al crecimiento de la población y de la demanda global de agua, la cantidad de aguas residuales generadas diariamente y su nivel de contaminación del medio ambiente se encuentran en constante aumento a nivel mundial.

Espigares (s.f.) informa que las aguas residuales se definen como aquellas que simbolizan un riesgo para la humanidad y deben ser rechazadas, porque almacenan un alto contenido de microorganismos y/o sustancias. Díaz *et al.*, (2014) manifiestan que el agua residual se compone de elementos físicos, químicos y biológicos; debido a que su composición contiene materiales orgánicos e inorgánicos, así mismo sólidos suspendidos o disueltos.

La UNESCO (2017) detalla que, principalmente en los países no desarrollados, una gran parte de las aguas residuales se descargan directamente al medio receptor sin un tratamiento previo. Acarreando problemas a la salud humana, productividad económica, calidad de los cuerpos hídricos dulce y ecosistemas en general, por ello Aguilar *et al.*, (2009) aseveran que habiendo un tratamiento de las aguas residuales se mejorara la calidad y cantidad suficiente del recurso hídrico, aumentando una mejoran a la salud humana y medio ambiente en general.

### **2.1.1. CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES BOVINAS**

De acuerdo con Sánchez (2015) señala que el agua dentro de su ciclo natural entra en contacto con otros elementos por el movimiento de las aguas e influyen en la mezcla y contienen una gran diversidad de sustancias de origen natural, estas pueden ser: “impurezas naturales” y contaminantes, sin embargo Vásquez (2010) afirma que las aguas residuales, son aquellas cuya composición fisicoquímica ha cambiado según su actividad, y para impedir que estos elementos físico químicos afecten a la sociedad y representen un problema ambiental se necesita aplicar una serie de tratamientos antes de su descarga.

Carrión (2012) expresa que las aguas residuales bovinas provienen de la actividad ganadera, además indica que, cuando existe una operación constante e intensiva de dicha actividad se vierten directamente las aguas residuales a los cauces aledaños, los cuales son identificados como vertidos localizados, constantes y concentrados.

Arango *et al.*, (2008) afirman que el balance natural de las fuentes de agua, implican preservar y conservar las condiciones químicas, físicas y biológicas del recurso hídrico. Además, Pérez *et al.*, (2016) sugieren el desarrollo de actividades que sean sustentables y ecológicos para con el tratamiento de las aguas residuales, aplicando procesos anaerobios que se enfocan en la reducción de contaminantes, además de generar beneficios ambientales y económicos.

En algunos países se utiliza el estiércol como abono natural, influyendo de forma negativa en los establos, ya que los compuestos de las aguas residuales constituyen un foco de contaminación difusa en las cuencas. La cuenca normalmente debe tener vertidos localizados como difusos de contaminación ganadera (Carrión, 2012).

Los aspectos orgánicos han adquirido una progresiva importancia en el estudio de los sistemas hídricos, debido a que las variables físicas y químicas no establecen con precisión la calidad de las aguas y sólo dan una idea determinada sobre ella (Arango *et al.*, 2008).

Silvia *et al.*, (2008) señalan que las aguas residuales simbolizan una significativa fuente agregada para compensar la demanda del recurso, debido al recurso limitado de agua potable para cubrir los requerimientos de las poblaciones mundiales, bajos precio, beneficios para las superficies agrícolas y la baja del impacto sobre el medio ambiente en general.

Carrión (2012) declara que las aguas residuales bovinas contienen características similares a las aguas residuales domésticas ya que estas proceden de animales de sangre caliente y su relación es muy semejante. Además, menciona que la cantidad de agua que transporta los residuos fecales de los animales es muy baja en comparación en las presentada en las aguas residuales doméstica, evidenciando que las concentraciones de materia orgánica o de sólidos en suspensión sean muy elevadas.

Castañeda (2014) indica que el método natural de las aguas residuales maneja procesos biológicos, especialmente cierto tipo de plantas presentes en humedales naturales benefician el crecimiento de microorganismos en su red reticular y sustrato, ayudando a la remoción de contaminantes, los cuales son también formas de nutrientes esenciales para las plantas y son fácilmente absorbidos.

Silvia *et al.*, (2008) anuncian que para el reúso de aguas residuales se sugiere ejecutar siempre un tratamiento preliminar y primario; finalmente el tratamiento secundario mueve de manera eficiente la materia orgánica.

### **2.1.2. CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES BOVINAS CON MATERIA ORGÁNICA**

El agua en la tierra compone un aproximado de 361 millones de Km<sup>2</sup> de la superficie, correspondiendo a un volumen de 1460 millones de Km<sup>3</sup>, los océanos representan una cifra de alrededor 1370 millones de km<sup>3</sup> y el resto corresponde a las aguas subterráneas, glaciares, nieves perpetuas, lagos, humedales subterráneos y superficiales, humedad atmosférica, así como también corrientes de agua. Estos datos hacen creer que es un recurso inagotable, aunque se puede apreciar la falta de agua apta para su uso a nivel terrestre (Viveros, 2016).

Aguilar *et al.*, (2009) consideran que se detecta cuando el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus propiedades químicas, físicas, biológicas o su composición, debido a que resta su potabilidad en su composición, para consumo diario o para su uso en acciones domésticas, industriales o agrícolas. Además, Castillo *et al.*, (2012) revelan que las acciones agropecuarias son una de las primordiales fuentes de contaminación del agua; así pues, el método biológico de las aguas es una opción viable para purificar una extensa gama de restos industriales, reduciendo el golpe de los contaminantes sobre el medio ambiente.

Guevara y Martínez (2017) detallan que el manejo que existe de las diferentes excretas y de las aguas residuales significan un potencial peligro de contaminación para las aguas subterráneas, como lo son daños a la salud por las dificultades de exposición a bacterias y contaminantes químicos, lo que provoca la contaminación del aire por volatilización de la materia orgánica, así como la producción de gases efecto invernadero que son una alta fuente de contaminación mundial.

Los autores antes mencionados manifiestan que estos contaminantes también provocan la propagación de moscas y otros insectos desagradables para la salud humana que son un foco de enfermedades y contaminan los cuerpos de agua con organismos patógenos indeseables que producen elevadas cargas tanto orgánicas como inorgánicas que limitan el oxígeno del agua.

Viveros (2016) explica que la utilización de la tecnología sostenible es necesaria en el proceso hacia una mayor cobertura mundial en la gestión integral del recurso del agua, para la captación del agua hasta su tratamiento y reúso. Así mismo Guevara y Martínez (2017) proponen el tratamiento de aguas residuales derivados del establo, para que dé una salida al problema de contaminación por una impropia disposición y que a su vez sea viable, así como también utilizable en nuestro contexto nacional.

De acuerdo con Sánchez (2015) nombra (MO) a compuestos con una estructura química muy variable, constituida principalmente por Carbono C, Hidrógeno H y Oxígeno O, y en menores medida de Nitrógeno N, Fósforo P y Azufre S, derivada por los organismos autótrofos (plantas, algas, bacterias) a partir de materia inorgánica y energía (fotosíntesis/quimiosíntesis). Además, forma parte de los organismos vivos (biomasa), y se encuentran en forma de restos o residuos.

Guevara y Martínez (2017) advierten que el agua se contamina por excrementos ganaderos directamente a través de deslizamientos, infiltraciones, percolación profunda en los establos, escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo, también en tierras de cultivo, por su parte Viveros (2016) plantea que los humedales artificiales utilizan como método de mejora para el tratamiento de las aguas residuales, además es de gran importancia la ventaja que tienen estos sistemas como son la disminución de la turbiedad, color, sólidos suspendidos, DQO y DBO de estas aguas.

Castillo *et al.*, (2012) puntualizan que las primeras aplicaciones de estos tratamientos son: la eliminación de la materia orgánica carbonosa del agua residual, medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Carbón Orgánico Total (COT) o Demanda Química de Oxígeno (DQO); nitrificación, desnitrificación, eliminación de fósforo y la estabilización de lodos.

## **2.2. HUMEDALES ARTIFICIALES**

Arias *et al.*, (2010) afirman que los humedales artificiales son espacios que se definen por poseer un suelo saturado de agua y una comunidad viva de flora y fauna. Así pues, la palabra "humedal" se usa para especificar áreas que tienen tres componentes típicos:

- **Presencia de agua:** El humedal cumple la función de permanecer constantemente o periódicamente inundado con menos de un metro de profundidad.
- **Suelos característicos:** Los suelos se catalogan como hídricos.
- **Vegetación:** Las plantas macrófitas son las protagonistas dentro de un humedal, prevaleciendo en las condiciones del mismo.

Montenegro *et al.*, (2019) detallan que los humedales artificiales (CW, en sus siglas en inglés) simbolizan un método de propiedades que se le da a las aguas residuales no convencionales de muy bajos precios. Posteriormente, Pérez *et al.*, (2015) informan, que la utilización de humedales artificiales como depurativos naturales de aguas residuales en los últimos años se está investigando en diferentes puntos de vista: biótico (macrófitos y microorganismos) y abiótico (sedimentación).

Aguilar *et al.*, (2009) destacan que los tratamientos de aguas residuales en humedales artificiales son una buena alternativa, por su eficiencia en la remoción de diferentes contaminantes. Así mismo Amabilis *et al.*, (2016) mencionan que los humedales artificiales (HA) especialmente en países en desarrollo son una eficiente alternativa, dado por sus bajos precios de instalación mantenimiento y operación.

Pérez *et al.*, (2015) manifiestan que el volumen depuratorio de los humedales se basa en grandes rasgos, en dos mecanismos, el primero utiliza los nutrientes disueltos en el agua por los productores primarios (macrófitos y microorganismos) y el segundo sedimenta las partículas que lleva el agua, al atravesar lentamente amplias superficies.

Los mismos autores señalan que el tratamiento de las aguas residuales por HA se basa en los principios de los sistemas naturales, debido a que se asemejan con lo que ocurre en la naturaleza, y se catalogan como "sistemas naturales de tratamiento". En efecto, esta tecnología aplica para tratar las aguas residuales por su ligereza y rentabilidad económica.

### 2.2.1. PASTO SABOYA (*Panicum maximum*)

De acuerdo con Peñaherrera (2015) revela que el pasto Saboya es una gramínea exótica originaria de África, además presenta las siguientes características: perenne, alta (hasta 250 cm) y vigorosa, raíz adventicia, tallo con pelos largos en los nudos, hojas alternas, dispuestas en 2 hileras sobre el tallo, así mismo la inflorescencia es una panícula grande, las flores son muy pequeñas y hay una sola semilla fusionada a la pared del fruto.

Derichs (2017) informa que el pasto Saboya, también conocido como guinea, chilena o cauca de origen africano, está bien distribuido en el Ecuador. La Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria detalla que el pasto Saboya ocupa la mayor superficie de pastos cultivados a nivel nacional con un total de 1'147.091 hectáreas (48,31%). En la tabla 2.1 se presenta la clasificación botánica:

**Tabla 2.1.**

*Clasificación Botánica del Pasto Saboya (Panicum maximum) de Acuerdo a Peñaherrera (2015).*

<b>Familia:</b>	Gramineae
<b>Subfamilia:</b>	Panicoideas
<b>Tribu:</b>	Paniceas
<b>Género:</b>	Panicum
<b>Especie:</b>	Máximum
<b>Nombre científico:</b>	<i>Panicum máximum</i> Jacq.
<b>Nombres comunes:</b>	Saboya, guinea, castilla, coloniae.

#### a) Características morfológicas

El pasto presenta las siguientes características: es perenne en crecimiento semi-erecto, hojas delgadas, porte medio y abundantes pigmentaciones en las inflorescencias color carmín, así como también refiriéndose a un semblante de dicho color de las espigas (Vela, 2015).

Gonzales (2013) sugiere las siguientes generalidades del pasto Saboya, implicando que el desarrollo de la pastura sea productivo, además se requiere saber los aspectos morfológicos y fisiológicos tales como:

- **Ubicación y estado de los puntos de crecimiento.** La formación de las hojas, macollos y la inflorescencia se da en el ápice de crecimiento y están en función de la velocidad a la que ocurran los rebrotes del pasto saboya. La



especie varía en función a la altura que se encuentra, hábito de crecimiento, época del año, etc.

- **Área foliar.** Se conoce que a mayor interceptación de luz mayor IAF, hasta un punto calificador que es el preciso en el tema de la fotosíntesis siendo su punto máximo. Esto expresa la densidad de las hojas de la pastura del pasto saboya.
- **Macollaje.** Se define macollaje al proceso en que las gramíneas producen los macollos. Este mecanismo es la base de la creación y la elaboración de pasto de las pasturas. Originándose en lasyemas ubicadas en las axilas de las hojas
- **Sustancias de reserva.** Cuando finaliza un pastoreo o un período de latencia, el retoño de los macollos pende del área foliar y de las sustancias de reserva de la planta.

#### **b) Características agronómicas**

Este pasto exige en la fertilidad del suelo, después del corte tiene un contenido de rebrote respetando de ante mano el meristemo apical. Responde de manera excelente a la fertilización. El porcentaje de hoja es adecuada (Vela, 2015).

- **Requerimientos y Manejo**

El pasto Saboya se desarrolla mejor en suelos de mediana a alta fertilidad y tiende a desaparecer cuando se somete a períodos de sequías extremas o períodos de inundaciones, con una buena recuperación después de la quema; soporta la sombra y se distribuye a nivel mundial en territorios ubicados de 0 a 2000 m.s.n.m. En general, es un pasto que resiste las sequías y muere rápidamente bajo pastoreo continuo (Derichs, 2017).

- **Producción de pasto Saboya**

Gonzales (2013) alega en su investigación que la gramínea *Panicum maximum* produce alrededor de 50 a 80 toneladas aproximadamente de hierba fresca por hectárea, realizándose el respectivo corte de cada 4-8 semanas; así mismo mencionan que, es recomendable podarla a los 30 o 40 días después de nacida ya que el volumen de fibra es mínimo, además es resistente al pastoreo y es deseada por el ganado.

- **Plagas y enfermedades**

Peñaherrera (2015) menciona en relación a la especie como fuerte a plagas y enfermedades; pero los retoños sensibles presentan casualmente agresiones de falsa langosta (*Spodoptera frugiperda*); también se puede observar una leve incidencia de *Cercospora sp* cuando el cultivo está muy maduro y sus hojas bajas muestran una pigmentación amarillenta; estimando que los ataques no tienen efecto económico.

### 2.2.2. PASTO ELEFANTE (*Pennisetum purpureum Schum*)

Vivas *et al.*, (2019) muestran que el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) es una de las principales gramíneas de corte utilizadas para la alimentación animal. Además, Hinojosa *et al.*, (2014) mencionan que estos pastos se caracterizan por ser forrajes de porte alto, de gran contenido nutricional, alta velocidad de crecimiento, entre otras.

González *et al.*, (2011) testifican que el pasto elefante es una gramínea forrajera de origen africano. Este ha mostrado una excelente adaptación a las condiciones de suelo y clima del trópico bajo latinoamericano. Su alta capacidad fotosintética, favorecida por las altas temperaturas, le permite producir altas cantidades de biomasa. Hinojosa *et al.*, (2014) mencionan que, actualmente el uso intensivo de pastos para corte se considera una herramienta de bajo costo para incrementar la producción de los animales.

Suárez (2016) detalla que el pasto elefante es de las especies gramíneas más utilizadas por los ganaderos, este es usado principalmente en ganadería de leche intensiva. El pasto elefante es una planta perenne que produce pastizal abierto en forma de macollas de tallos erectos. En la tabla 2.2. se presenta la clasificación botánica de acuerdo a Suárez (2016).

**Tabla 2.2.**

*Clasificación Botánica del Pasto Elefante (Pennisetum purpureum) de Acuerdo a Suárez (2016).*

<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Subfamilia:</b>	Liliopsida
<b>Tribu:</b>	Poales
<b>Género:</b>	Pennisetum
<b>Especie:</b>	P. purpureum Schumach
<b>Nombre científico:</b>	<i>Pennisetum purpureum Schum</i>
<b>Nombres comunes:</b>	Eefante, napier y Uganda.

- **Adaptación**

El pasto elefante es una especie con excelente adaptabilidad a condiciones tropicales y subtropicales (0 a 1800 m.s.n.m.). No obstante, su desarrollo idóneo está por debajo de los 1500 m.s.n.m.; temperaturas entre 17° a 27 °C; humedad relativa entre 60 y 80 por ciento; precipitación de 1200-2200 mm/año (Suárez, 2016).

## **2.3. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

La caracterización de aguas residuales implica conocer el tipo y la concentración de un contaminante. Esta caracterización es importante para determinar el tratamiento idóneo que se aplicará al agua residual. El o los parámetros que se analizarán, serán los que demuestren el contenido de materia orgánica presente en el fluido (Tuset, 2014).

### **2.3.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO [DBO]**

Raffo y Ruiz (2014) afirman que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable. Esta medida es el resultado de la acción de oxidación aerobia en un tiempo de 5 días; se expresa en  $mg/l$  O<sub>2</sub> y es conocido como DBO<sub>5</sub>. La prueba DBO<sub>5</sub> consiste en poner una muestra del agua residual en una botella cerrada y medir la concentración de oxígeno disuelto (OD). Esta medición se la realiza al principio de la prueba y al cabo de cinco días; la diferencia de OD dividida por el volumen de desperdicio (P) es DBO<sub>5 total</sub>. Esta se describe en la ecuación 2.1.

$$DBO_{Final} = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{P} \quad [2.1]$$

donde,

- DBO= Demanda Bioquímica de Oxígeno
- OD= Oxígeno Disuelto
- P= Volumen de la muestra

### 2.3.2. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

La eficiencia de remoción de la materia orgánica es la capacidad que tiene un tratamiento para cumplir apropiadamente la función de remoción de esta. En la presente investigación se evaluó la disminución de dicha materia (DBO) en las muestras de agua residual pecuaria mediante la ecuación aplicada por Olea (2013). La eficiencia se representa mediante la ecuación 2.2.

$$E = \frac{DBO_{afluente} - DBO_{efluente}}{DBO_{afluente}} * 100 \quad [2.2]$$

donde,

- E= eficiencia
- DBO afluente= concentración de DBO antes del tratamiento
- DBO efluente= concentración del DBO después del tratamiento

### 2.3.3. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DBO<sub>5</sub> PARA DESCARGAS A UN CUERPO DE AGUA DULCE

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Anexo 1: Recurso Agua. Manifiesta que, los límites de descarga en cuerpos de agua dulce deben utilizar la Tabla 12 de dicho anexo. Esta tabla contiene los parámetros para las concentraciones correspondientes a valores medios diarios. En cuanto a la DBO<sub>5</sub>, el límite máximo permisible de descarga a un cuerpo de agua dulce es de 100 mg/L (MAE, 2015).

### 2.3.4. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización, además, instituye las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos. Esta norma se

aplica particularmente cuando una muestra (simple o compuesta) no puede ser analizada en el sitio de muestreo y tiene que ser trasladada al laboratorio para su análisis.

## **2.4. EXPERIENCIAS CON PASTOS**

Los resultados obtenidos dentro y fuera del Ecuador consideran que la aplicación de los sistemas de humedales artificiales construidos en zonas periurbanas, pequeños núcleos rurales y para industrias agrícolas son de gran importancia debido a su eficiencia y bajo costo de implementación.

### **2.4.1. EXPERIENCIA CON *Panicum maximum***

Chavan y Dhulap (2012) manifiestan que, el pasto Saboya *Panicum máximum* se utiliza para el tratamiento de aguas residuales a través de humedales artificiales, estos pastos tienen un mayor crecimiento cerca de las áreas de eliminación de dicho efluente. El análisis se lo realizó en muestras con porcentajes de dilución entre el 10% al 100%, con intervalo de 10. La muestra con dilución al 80% presentó los resultados más eficientes. La DQO se redujo 61,05%; la DBO 59,25%; los sólidos totales (ST) 54,31%. Además, el olor y la turbidez se eliminaron resultando en agua clara.

Noukeu *et al.*, (2016) analizaron los efluentes de 11 industrias de procesamiento de alimentos de diversos sectores. La caracterización se la realizó mediante parámetros físicos y químicos. Entre estos efluentes, se aplicó un ensayo de tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Panicum maximum*. Los resultados mostraron que *Panicum maximum* y *Eichhornia crassipes* redujeron significativamente las cargas contaminantes de las aguas residuales. La eficiencia del tratamiento con *Panicum maximum* mostro los siguientes valores de reducción de contaminantes: DQO (98.31%); DBO<sub>5</sub> (98,82%); sólidos suspendidos SS (88%); PO<sub>4</sub> (0,99%); NO<sub>3</sub> (100%); Cd (63,73%).

### **2.4.2. EXPERIENCIA CON *Pennisetum purpureum Schum***

Zahui *et al.*, (2018) propusieron demostrar los efectos de cinco plantas forrajeras de su localidad (*Andropogon gayanus*, *Chrysopogon zizanioides*, *Echinochloa pyramidalis*, *Pennisetum purpureum* y *Tripsacum laxum*), y determinar su

eficiencia en la eliminación de materia orgánica (MO) mediante humedales artificiales de flujo vertical.

Se utilizó una escala piloto compuesta por seis camas construidas con ladrillos y rellenas de abajo hacia arriba con grava de 0,1 m cubierta con tela y 0,6 m de arena blanca de laguna. Cinco camas fueron trasplantadas por plántulas forrajeras locales, mientras que una se usó como testigo. Se aplicaron 80L de aguas residuales sintéticas domésticas en las camas de manera intermitente durante seis meses.

Las cinco especies de plantas presentaron un óptimo crecimiento, mejorando así la eliminación de materia orgánica. Sin embargo, *P. purpureum* obtuvo un mayor crecimiento con 15,86 kg/m<sup>2</sup>. Esta planta logró los mejores resultados en cuanto a eficiencia se trata. Sólidos suspendidos totales (SST) 93,81%; Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 98,51%; y Demanda química de oxígeno (DQO) 95,92%. Por los resultados obtenidos los humedales artificiales trasplantados con *P. purpureum* son un método alternativo rentable de tratamiento de aguas residuales (Zahui *et al.*, 2018).

Qiaoling y Lihua, (2019) construyeron tres humedales de flujo vertical. el sistema A (plantado con *Pennisetum sinense Roxb*), el sistema B (plantado con *Pennisetum purpureum Schum.*) Y el sistema C (sin plantas como testigo) para calcular la contribución de los sustratos, plantas y microorganismos para la eliminación de materia orgánica. Los compuestos orgánicos acumulados en el sustrato en los sistemas A, B y C fueron 12,03%; 11,91%; y 9,4%, respectivamente. La utilización sinérgica de compuestos orgánicos por microorganismos y plantas en los sistemas A, B y C fue del 80,95%; 81,58%; y 80,11%, respectivamente (Qiaoling y Lihua, 2019).

# CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

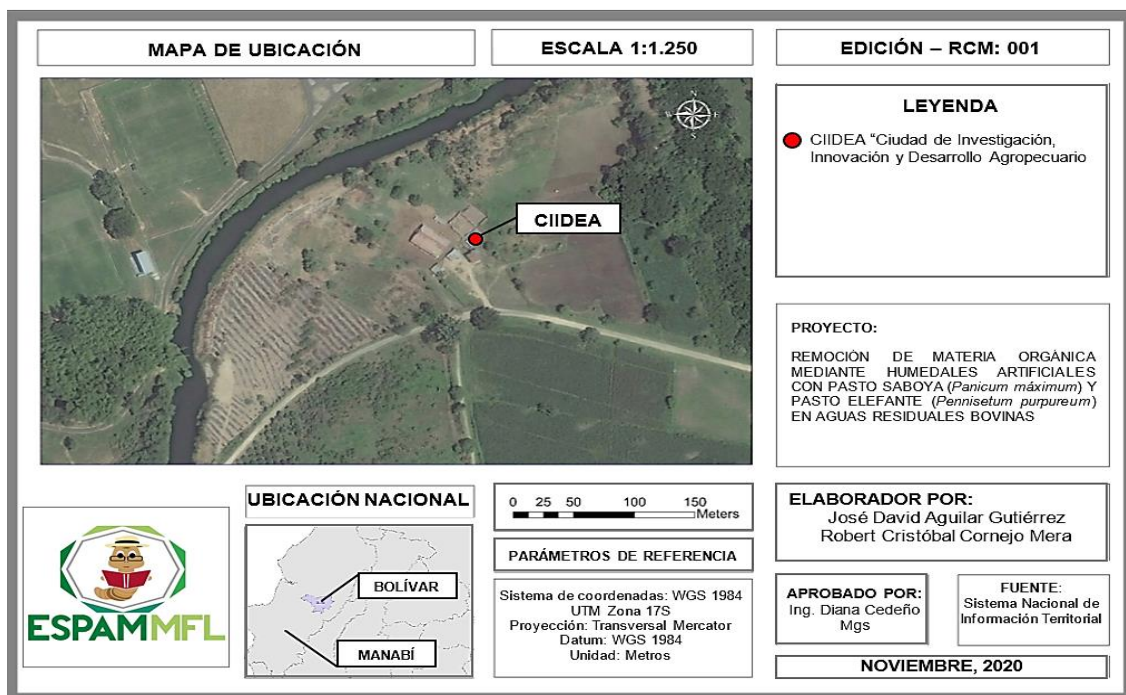
## 3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en el área de CIIDEA (Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo Agropecuario); las muestras de agua residual bovina fueron tomadas en los predios de la hacienda “Bella Aurora”, parroquia Eloy Alfaro, cantón Chone.

Así mismo los análisis de las muestras se realizaron en los laboratorios de investigación de la Universidad de Las Américas, ubicada en la avenida de Los Granados y José Queri, cantón Quito, provincia de Pichincha. En la tabla 3.1 se presenta las referencias geográficas.

**Tabla 3.1.**  
*Referencias Geográficas*

Lugar	Coordenadas geográficas	
	X	Y
CIIDEA (lugar del experimento).	591073,00	9908237,00
Hacienda “Bella Aurora” (toma de aguas residuales).	591171,00	9952716,00



**Figura 3.1.** Mapa de ubicación de implementación del proyecto  
**Elaborado por:** Aguilar y Cornejo (2020)

### 3.2. DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de 9 meses a partir de la aprobación del proyecto en estudio.

### 3.3. FACTOR EN ESTUDIO

Factor A: Humedales artificiales con pastos

### 3.4. NIVELES DEL FACTOR

Los niveles de factor a son los siguientes:

- **A<sub>1</sub>**: PASTO SABOYA (*Panicum Maximum*)
- **A<sub>2</sub>**: PASTO ELEFANTE (*Pennisetum purpureum Schum*)

### 3.5. TRATAMIENTOS

Se manipularon dos tipos de pastos (*Panicum Maximum* y *Pennisetum purpureum Schum*), con los que se obtienen dos tratamientos y tres repeticiones. Estos se detallan a continuación en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2.**  
*Tratamientos*

T <sub>1</sub>	Pasto saboya
T <sub>2</sub>	Pasto elefante

### 3.6. DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL

#### 3.6.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El método experimental empleado fue un (DCA) Diseño completamente al azar unifactorial, el cual se detalla en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3.**  
*Delineamiento Experimental*

<b>Diseño experimental</b>	Diseño completamente al Azar (DCA) Unifactorial
<b>Número de tratamientos</b>	2
<b>Número de repeticiones</b>	3
<b>Niveles</b>	Humedales artificiales con pastos
	1. Pasto saboya
	2. Pasto elefante



### 3.6.2. ESQUEMA DE ANÁLISIS DE VARIANZA

**Tabla 3.4.**  
*Esquema de Anova*

Fuente de variación	Grados libertad
Total	6
Tratamiento	1
Error Experimental	5

### 3.6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron analizados a través del ANOVA al 5% de significancia y la separación de medias a través de la prueba de Tukey. Para el tratamiento de los datos se utilizó el software estadístico *Infostat* versión libre 2020 (Di Rienzo et al, 1998).

### 3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental se conformó por dos humedales artificiales de 40cm x 60cm x 30cm, cada humedal artificial tuvo tres repeticiones, en uno se trasplantaron 4 macollo de pasto saboya y en el otro 4 macollo de pasto elefante en aguas residuales bovinas con un volumen de 20L (tabla 3.5).

**Tabla 3.5.**  
*Descripción de las Unidades Experimentales*

Unidades experimentales	Nomenclatura	Combinaciones	
		Humedales artificiales con pastos (4 macollos)	Agua residual bovina
T <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Pasto saboya	20L
T <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	Pasto saboya	20L
T <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	A <sub>3</sub>	Pasto saboya	20L
T <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	A <sub>4</sub>	Pasto elefante	20L
T <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	A <sub>5</sub>	Pasto elefante	20L
T <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	A <sub>6</sub>	Pasto elefante	20L

### 3.8. MANEJO DE EXPERIMENTO

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se realizaron las siguientes actividades:

### 3.8.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD Y VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL BOVINA

#### Actividad 1. Georreferenciación del punto de muestreo

Se utilizó la aplicación móvil Handy GPS (free), versión 34.5 para extraer las coordenadas precisas del punto de descarga de las aguas residuales pecuarias, lugar donde se tomó la muestra sin previo análisis y 6 canecas de 20 litros para el desarrollo de la investigación.

#### Actividad 2. Estimación del volumen de agua residual bovina

El caudal se calculó mediante el método volumétrico, el cual consiste en cronometrar el tiempo de llenado en un recipiente con un volumen conocido. El recipiente se colocó bajo la corriente de tal forma que el flujo de agua fuera receptado; así pues, se activó un cronómetro, el mismo que inició cuando el recipiente se colocó en la corriente del agua residual y se detuvo en el momento en que se retiró de ella.

Finalmente se cronometraron 3 tiempos de llenado para obtener un valor promedio, basándose en la ecuación sugerida por el Programa Integral Red Agua, (2016).

$$Q = \frac{L}{s} \quad [3.1]$$

donde,

- $Q = \text{caudal en } l/s$
- $V = \text{volumen en litros (l)}$
- $T = \text{tiempo de segundos (s)}$

#### Actividad 3. Toma de muestras del agua residual bovina

El procedimiento utilizado fue el establecido en la NTE INEN 2176:2013 en la toma de muestras; acto seguido, la muestra sin tratamiento llevó una cadena de frío a 5° C hasta ser colocada en un congelador, tal como lo indica la NTE INEN 2169:2013. Además, seis canecas de 20 litros cada una fueron llenadas y transportadas inmediatamente al área del experimento (CIIDEA). Se vertieron en

las gavetas plásticas marca Pika de 40 cm de ancho x 60 cm de largo x 30 cm de alto para una capacidad efectiva de 68 L y se dejó actuar al pasto 24 horas.

#### **Actividad 4. Determinación de materia orgánica del agua residual bovina previo al tratamiento**

La caracterización de la muestra se realizó antes de ser colocadas en los humedales artificiales, consistiendo en la evaluación del DBO<sub>5</sub> de acuerdo con la NTE INEN 2169:2013.

### **3.8.2. DETERMINACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL CON MAYOR EFICIENCIA PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA**

#### **Actividad 5. Diseño y construcción de humedales artificiales**

El diseño y construcción de los humedales artificiales se realizó en el área de CIIDEA, en gavetas plásticas de 40 cm de ancho x 60 cm de largo x 30 cm de alto (Pika, Ecuador), para una capacidad efectiva de 68 L, el H.A fue de tipo flujo subsuperficial con una dinámica de flujo vertical, además se empleó un solo tipo de suelo (soporte para las plantas) compuesto por arena, grava y arcilla adquirido en tienda de materiales para construcción Disensa - Portoviejo, la cual se aplicó para cada uno de los tratamientos, lo anteriormente descrito estuvo basado en la metodología aplicada por (Badillo, Carvajal, & Plata, 2016).

#### **Actividad 6. Adquisición de los pastos saboya (*Panicum maximum*) y elefante (*Pennisetum purpureum Schum*)**

El pasto saboya fue cedido de otra investigación ya realizada en el área CIIDEA, el pasto elefante, por su parte, se obtuvo del área de potreros de la carrera de Medicina Veterinaria.

#### **Actividad 7. Aclimatación de los pastos saboya (*Panicum maximum*) y elefante (*Pennisetum purpureum Schum*) al medio inundado**

Los brotes de pasto elefante adquiridos previamente del área antes mencionada, se colocaron en tierra para así obtener los nuevos macollos. Al llegar al día 7 aparecieron los nuevos brotes del pasto y en el día 14 alcanzaron 15 cm de altura.

Una vez obtenida la altura deseada del pasto elefante (15cm) se empezó a trabajar con el pasto saboya, el cual ya se encontraba plantado. Este pasto fue podado a la misma altura del pasto elefante para luego trasplantar ambos pastos a las gavetas.

Al tercer día de haber sido trasplantados los pastos a las gavetas, se procedió a inundar los pastos para su aclimatación. Esta resulto satisfactoria ya que ningún macollo sufrió deterioro, al quinto día desde que se inundó el medio presentaron una altura de 20 cm y 14 días después se realizó el experimento teniendo en cuenta que los pastos presentaron una altura promedio de 50 cm.

### **Actividad 8. Métodos de evaluación de la remoción de materia orgánica en aguas residuales bovinas**

La remoción de materia orgánica en aguas residuales bovinas se evaluó mediante el análisis de la DBO<sub>5</sub> de acuerdo a la NTE INEN 1202 (2013). Para el cual se dispone de métodos de dilución y métodos instrumentales que se derivan de métodos respirométricos que permiten seguir automáticamente la evolución de la DBO<sub>5</sub> a 20° C en el curso de oxidación de las materias orgánicas contenidas en el agua, los reactivos que habitualmente se utilizan son: agua destilada, agua residual bovina, solución fosfatos, monohidrógenofosfato de sodio: 8,493g, dihidrogenofosfato de potasio: 2,785 g, Agua destilada hasta enrase a 1 dm<sup>3</sup>.

La técnica utilizada para la medición consiste en introducir un volumen definido de la muestra líquida en un recipiente opaco que evite que la luz pueda introducirse en su interior (se eliminarán de esta forma las posibles reacciones fotosintéticas generadoras de gases), se introduce un agitador magnético en su interior, y se tapa la boca de la botella con un capuchón de goma en el que se introducen algunas lentejas de sosa cáustica. Se cierra la botella con un sensor piezoeléctrico, y se introduce en una estufa refrigerada a 20° C.

## Expresión de los resultados

$$DBO = F(T_0 - T_5) - (F - 1) * (D_0 - D_5) \quad [3.3]$$

donde,

- $D_0$  = Contenido de oxígeno (mg/l) del agua de dilución al principio del ensayo.  
 $D_5$  = Contenido medio de oxígeno (mg/l) del agua de dilución al cabo de 5 días de incubación.
- $T_0$  = Contenido de oxígeno (mg/l) de una de las diluciones de la muestra al principio del ensayo.
- $T_5$  = Contenido de oxígeno (mg/l) de una de las diluciones de la muestra al cabo de 5 días de incubación.
- $F$  = Factor de dilución.

### 3.8.3. DEFINICIÓN DE LA RELACIÓN COSTO/ BENEFICIO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL CON MAYOR EFICIENCIA PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES BOVINAS

#### Actividad 8. Análisis costo-beneficio

El análisis costo beneficio se realizó generando un presupuesto, tomando en cuenta los gastos que se generaron en la adquisición y adaptación de los pastos saboya y elefante, como también la construcción del humedal que obtenga la mayor eficiencia. La metodología adoptada fue de (Vinza, 2012), la cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$CP = (Mp + Mod + Gp) \quad [3.2]$$

donde,

- $CP$  = costo de producción
- $Mp$  = materia prima
- $Mod$  = mano de obra directa
- $Gp$  = gasto de producción

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CONCENTRACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL BOVINA

La figura 4.1., muestra la georreferenciación del punto de muestreo del agua residual bovina proveniente de la hacienda Bella Aurora, parroquia Eloy Alfaro del cantón Chone (anexo 1-A).

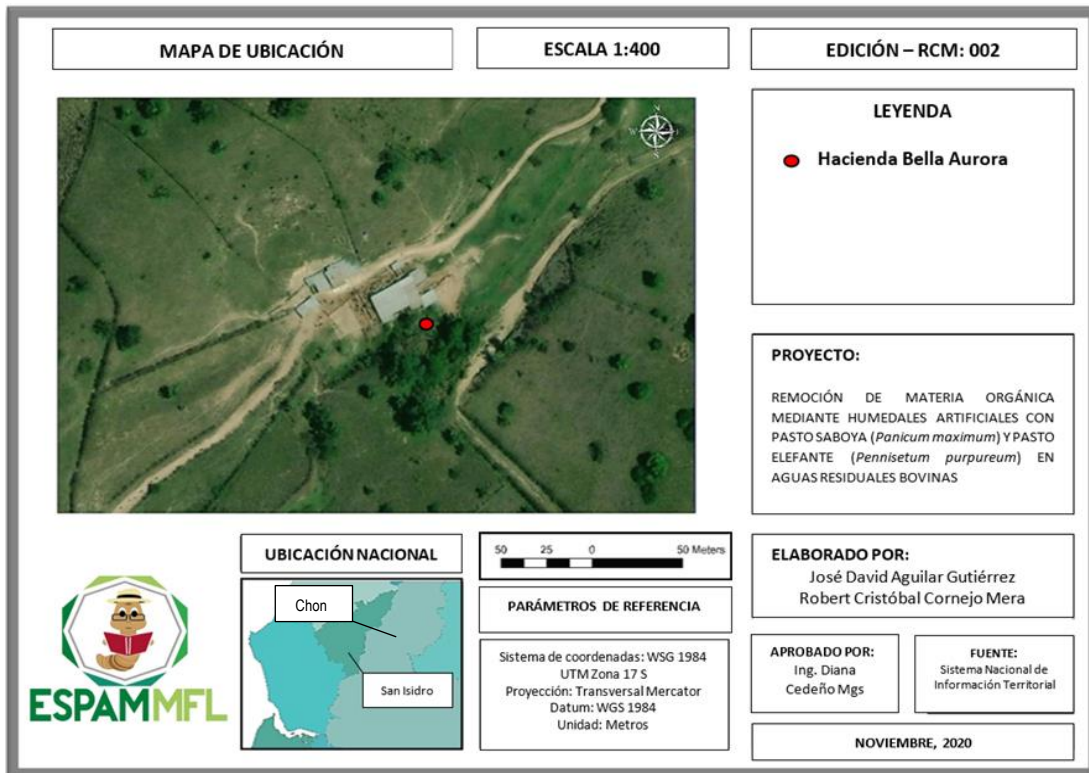


Figura 4.1. Mapa de ubicación del punto de muestreo  
Elaborado por: Aguilar y Cornejo (2020)

Las muestras fueron tomadas siguiendo las pautas de la norma técnica NTE INEN 2176:2013 (anexo 1-B), la rotulación de estas se la realizó con la información que recomienda la norma NTE INEN 2169 (anexo 1-C). Así mismo, las muestras fueron colocadas en botellas de vidrio color ámbar tal como lo recomienda la norma de conservación de muestras NTE INEN 2169 (anexo 1-D).

La estimación del volumen del agua residual bovina (anexo 1-E) se la efectuó mediante el método volumétrico, utilizando un recipiente con una capacidad de

1 litro, se cronometró el tiempo de llenado en tres ocasiones para determinar un caudal estimado, cuyo resultado es de  $0,0289 \text{ l/s}$  (tabla 4.1).

**Tabla 4.1.**  
*Estimación del volumen de agua residual bovina*

Número de cronometrado	Volumen del recipiente, l	Tiempo de llenado, s	Q, l/s
1	1	34,2	0,02923
2	1	35,6	0,02808
3	1	34	0,02941

El resultado obtenido de la muestra evaluada (tabla 4.2) demostró un nivel alto de DBO en agua residual bovina excediendo lo establecido en la normativa vigente, (Tabla 12, Anexo 1. TULSMA, 2017) la cual señala que para descargas a cuerpos de agua dulce sus niveles no deben superar los  $100 \text{ mg/dm}^3$  por lo que es evidente la presencia de contaminación (anexo 1-F).

**Tabla 4.2.**  
*Composición Bioquímica y Volumen del Agua Residual previa a la Remoción de Materia Orgánica*

DBO <sub>5</sub> , mg/dm <sup>3</sup>	Q, l/s	Límite máximo permisible DBO <sub>5</sub> , mg/dm <sup>3</sup>
463	0,0289	100

Mendoza et al., (2019) reportaron durante un periodo de muestreo valores de DBO que oscilan entre los 340 a  $330 \text{ mg/dm}^3$ , esto debido a la variabilidad temporal entre edades, número de animales y cantidad de agua utilizada en la limpieza. Por su parte, Estrada *et al.*, (2008) obtuvieron un valor  $435 \text{ mg/dm}^3$  para el parámetro de DBO, ya que dentro de la muestra se encontraba gran cantidad de sólidos totales generando un aumento en la concentración de materia orgánica.

## 4.2. REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

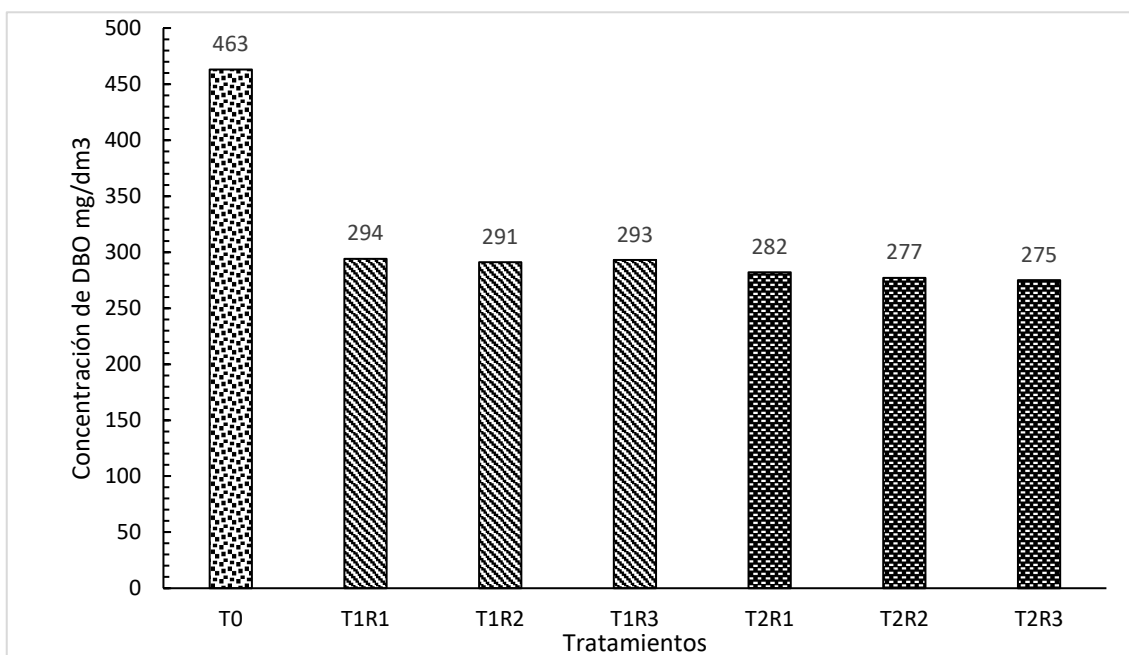
Para la determinación del Humedal artificial con mayor porcentaje de remoción se llevó a cabo un proceso de aclimatación de los pastos, tal como lo muestra la tabla 4.3., esta evidencia el periodo completo desde la adquisición hasta la adaptación al medio inundado, así como también los detalles relevantes a cada etapa previo a su utilización como removedores de materia orgánica en aguas residuales bovinas. Cabe destacar que durante el proceso ya mencionado no se presentó la muerte de ningún brote, por lo que el proceso se cumplió con normalidad (anexo 2).

**Tabla 4.3.**

*Aclimatación de los Pastos Saboya y Elefante en Humedales Artificiales como Removedores de Materia Orgánica en Aguas Residuales Bovinas*

Aclimatación del pasto	Periodo de tiempo	Detalle
Adquisición de brotes	Día 1	
Trasplante de brotes	Día 1	
Etapa de crecimiento inicial	Día 1	
Etapa de macollos	Día 7 - Día 14	Aparecieron nuevos brotes Alcanzaron 15cm de altura
Trasplante de macollos al sustrato del (HA)	Día 18	
Inundación de los (HA)	Día 21	Se inundaron para su aclimatación
Adaptación de los macollos al medio inundado	Día 26	Presentaron 20cm de altura

La figura 4.2 muestra la concentración inicial de DBO del agua residual bovina de la hacienda Bella Aurora y la reducción efectuada por los tratamientos. Esta expone una considerable reducción de la DBO por parte de T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, con mejor rendimiento por parte de T<sub>2</sub>. Cabe destacar que no existen dentro de la legislación ecuatoriana límites de descarga para aguas residuales agropecuarias ni de descargas por infiltración subterránea de las mismas. Por tal motivo se usa como referencia los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (anexo 1-G), lo que indica que todas las réplicas superan los límites máximos permisibles establecidos en la ya mencionada tabla (anexo 1-F).



**Figura 4.2.** Concentración de DBO removida en cada tratamiento.

Elaborado por: Aguilar & Cornejo (2021)



Delgadillo *et al.*, (2010) afirman que los humedales artificiales funcionan como tratamientos secundarios, por lo que es necesario un tratamiento primario de sedimentación que elimine los sólidos presentes en el agua residual. Manahan (2007) considera que el tratamiento primario debe reducir entre un 25% - 35% de DBO<sub>5</sub>, un 50% - 70% de sólidos en suspensión y un 30% - 40% de bacterias coliformes. Por lo que en el caso de aguas residuales bovinas es necesario emplear un tratamiento primario para reducir la carga orgánica y cumplir con lo estipulado en la norma (anexo 1-F).

La demanda bioquímica de oxígeno mostró diferencias significativas entre los tratamientos, al utilizar pastos saboya y elefante como removedores de materia orgánica en aguas residuales bovinas, se logró reducir un 36,79% mediante el pasto saboya y un 39,96% utilizando pasto elefante (tabla 4.4).

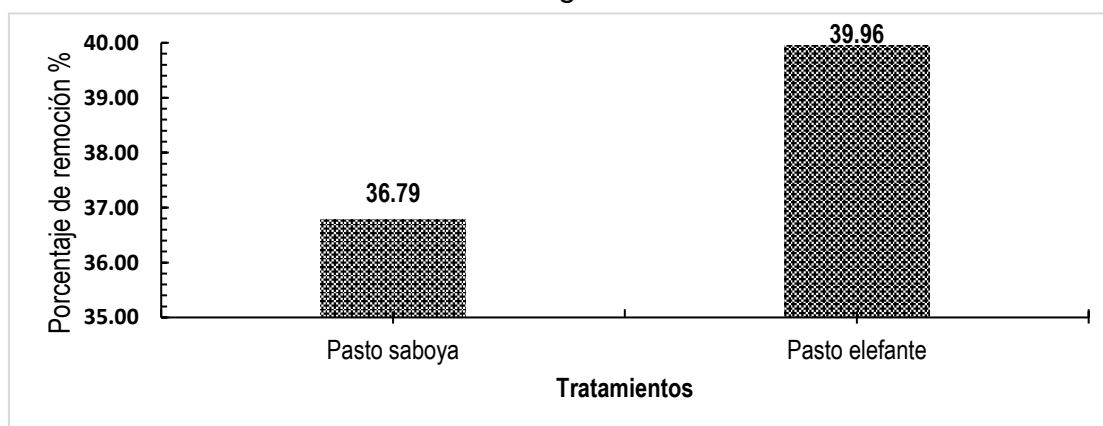
**Tabla 4.4.**

*Comportamiento de Pastos en Humedales Artificiales como Removedores de Materia Orgánica en Aguas Residuales Bovinas (TdRH, 24h).*

	Tipos de pastos		SEM	CV%	p-valor
	T <sub>1</sub> pasto saboya	T <sub>2</sub> pasto elefante			
N	3	3			
DBO, mg/l	292,67 <sup>a</sup> ±1.6	278,00 <sup>b</sup> ±1.6	6,28	0,97	0,0029

<sup>1</sup>Error estándar de la media. <sup>2</sup>Coefficiente de variación. <sup>3</sup>Valor de Probabilidad p ( $\alpha < 0,05$ ).

En la figura 4.3., se presenta la remoción de materia orgánica en porcentajes, donde la mayor eficiencia corresponde al T<sub>2</sub> (pasto elefante), con una media del 39,25%; mientras que el T<sub>1</sub> (pasto saboya) alcanzó una media de 36,79% de eficiencia en la remoción de materia orgánica.



**Figura 4.3.** Porcentaje de Remoción de DBO  
Elaborado por: Aguilar & Cornejo (2021)

Los resultados encontrados corresponden con el estudio realizado por Chavan y Dhulap (2012) cuyo resultado trabajando con pasto saboya dio un valor de remoción de materia orgánica de 59,25%. Mientras que Qiaoling y Lihua, (2019) demostraron una eficiencia de 81,58% en la remoción de materia orgánica empleando pasto elefante.

El efecto se debe a que las plantas sometidas a encharcamientos prolongados actúan como bombas de oxígeno atmosférico, para luego ser utilizado por los microorganismos en procesos de degradación. Además, la adsorción ejercida sobre las partículas del sustrato, así como consecuencia del envenenamiento que ejecutan los antibióticos producidos por las raíces de los pastos sobre los organismos patógenos, y por la acción depredadora de bacterias y protozoos como las micorrizas que excretan sustancias antibióticas que previenen y desalojan patógenos de las raíces, suministrando vitaminas y otros componentes que benefician el crecimiento de las gramíneas (Palta y Morales, 2014).

### 4.3. COSTO/ BENEFICIO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

En la tabla 4.5 se presenta el análisis de la relación costo beneficio de los humedales artificiales con base en el costo de producción por cada tratamiento y en la cantidad de materia orgánica removida en las aguas residuales bovinas. Se evidenció que el T<sub>2</sub> tuvo una mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica con una concentración final de 278 mg/l de DBO en comparación con el T<sub>1</sub> cuya concentración final fue de 292,67 mg/l de DBO, partiendo de la muestra inicial de agua residual bovina sin previo tratamiento con 463 mg/l de DBO.

**Tabla 4.5.**

*Relación Costo/ Beneficio de los Pastos Saboya y Elefante en Humedales Artificiales como Removedores de Materia Orgánica en Aguas Residuales Bovinas*

	Tipos de pastos	
	T <sub>1</sub> pasto saboya	T <sub>2</sub> pasto elefante
DBO, mg/l	292,67	278,00
Costo de producción en USD por m <sup>2</sup> de H.A.	237,40	277,90

Sin embargo, se logró constatar que el T<sub>1</sub> resulta como una opción rentable de saneamiento en aguas residuales bovinas, debido a su bajo costo de producción, exactamente \$237,40, esto gracias a que se diferencian en el valor de manejo

de cultivo para cada pasto en un área de 0,72 m<sup>2</sup>, técnicamente el pasto saboya requiere menor uso de tecnología agrícola y nutrientes, así como también el uso de fertilizantes, cabe señalar que el valor total por cada tratamiento es una inversión inicial que representa el costo de estudio para su implementación, siendo así el costo de proyecto en dólares por metro cuadrado (tabla 4.6).

**Tabla 4.6.**

*Descripción de materiales y valor total de tratamiento para la construcción de los humedales artificiales como Removedores de Materia Orgánica en Aguas Residuales Bovinas*

		Tipos de pastos	
		T <sub>1</sub> pasto saboya	T <sub>2</sub> pasto elefante
<b>Gastos de producción</b>	Materiales y envases	24.40	24.40
	Gavetas	48.00	48.00
	Gigantografía	10.00	10.00
	Viáticos	50.00	50.00
<b>Materia prima</b>	Envíos	17.00	17.00
	Sobres de semilla (130 unidades)	40.00	30.00
<b>Mano de obra directa</b>	Riego y mantenimiento de los humedales	40.00	40.00
	Producto biológico, limpieza de sanidad, fertilizantes y recurso hídrico	8.00	58.5
<b>Valor total USD/m<sup>2</sup> de H A</b>		<b>237.40</b>	<b>277.90</b>

En la tabla 4.7 se detallan los valores totales por cada tratamiento de humedal artificial para un agricultor o ganadero que desee implementar dicho estudio, teniendo en cuenta que la inversión se la realiza una sola vez, además le resulta más económico debido a que se omiten gastos de producción, así mismo se observa que el T<sub>1</sub> resulta más rentable que T<sub>2</sub> por su diferencia en el costo de producción.

**Tabla 4.7.**

*Valor total de tratamiento para la construcción de los humedales artificiales que deseen implementar los agricultores y ganaderos para la remoción de Materia Orgánica en Aguas Residuales Bovinas*

		Tipos de pastos	
		T <sub>1</sub> pasto saboya	T <sub>2</sub> pasto elefante
<b>Materia prima</b>	Sobres de semilla (130 unidades)	40.00	30.00
<b>Mano de obra directa</b>	Riego y mantenimiento de los humedales	40.00	40.00
<b>Manejo de cultivo</b>	Producto biológico, limpieza de sanidad, fertilizantes y recurso hídrico	8.00	58.5
<b>Valor total USD/m<sup>2</sup> de H A</b>		<b>88.00</b>	<b>128.50</b>

Cabe destacar que el manejo en el humedal artificial de flujo subsuperficial vertical es importante para una mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica, los resultados encontrados tienen correspondencia con Delgadillo *et*

*al.*, (2010) quienes afirman que los sistemas verticales con flujo subsuperficial son cargados intermitentemente. De esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por periodos de instauración, estimulando el suministro de oxígeno.

Además, el pasto elefante requiere de un mayor control y por ende un incremento en el costo de producción, Martínez (2019) detalla que el pasto elefante es susceptible al ataque de plagas como gusanos, escarabajos (*Phillophaga spp*, *Lissorhoptrus spp*), *Blissus leucopterus* y salivazo (Mión), lo cual implica el uso de productos biológicos que contienen hongos parasitarios o bacterias para poder controlar, además de la utilización correspondiente de fuentes de Nitrógeno, por ser una planta que extrae grandes cantidades de potasio del suelo.

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES

- La evaluación de la muestra de agua residual bovina de la hacienda Bella Aurora previa al tratamiento, no cumple con el límite máximo permisible en el parámetro de la DBO ( $100 \text{ mg/dm}^3$ ) establecido en la tabla 12 del anexo 1 del TULSMA.
- Bajo las condiciones controladas del experimento, las dos variedades de pasto removieron materia orgánica, siendo el pasto elefante el de mayor remoción con 39,96%.
- El pasto elefante contribuye con la mayor remoción de materia orgánica, sin embargo, el costo/beneficio de la investigación realizada se obtiene a través de la aplicación del pasto saboya en \$237,40 por  $\text{m}^2$  de H.A.
- Para fines de optimización de recursos y para el manejo sustentable de la economía del agricultor o ganadero se maneja con un costo final de \$88,00 para pasto saboya y de \$128,50 para para pasto elefante en USD/ $\text{m}^2$  de H A.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Aumentar el tiempo de retención hidráulico (T<sub>dRH</sub>) a más de 24 horas, ya que las experimentaciones demuestran un aumento en la remoción de MO a medida que se aumenta el T<sub>dRH</sub>.
- Determinar la capacidad de biodegradación del suelo sin pastos para conocer su nivel de eficiencia en la remoción de MO.
- Analizar otros parámetros físicos químicos (pH, alcalinidad, sólidos totales y temperatura).
- Es importante realizar la toma de muestras en época seca para que las precipitaciones no interfieran en la saturación de los H.A y evitar la alteración de valores físicos, químicos y/o biológicos.
- Emplear un tratamiento primario de sedimentación que logre reducir parte de la materia orgánica y sólidos en suspensión presentes en el agua residual bovina.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M; Cruz, A; Salinas, E; Hernández L. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. México. Rev. Internacional Contaminación Ambiental. 25 (3), 10.
- Amabilis, L; Siebe, C; Moeller, G; Domínguez, M. 2016. Remoción de mercurio por *Phragmites australis* empleada como barrera biológica en humedales artificiales inoculados con cepas tolerantes a metales pesados. México. Rev. Internacional Contaminación Ambiental. 32 (1), 12.
- Arango, M; Álvarez, L; Arango, G; Torres, O; Monsalve, A. 2008. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. Antioquia, Colombia. Rev. EIA. 1 (9), 141.
- Arias, S; Betancurt, F; Gomez, G; Salazar, J; Hernandez, M. 2010. Colombia. Rev. SENA. 74 (1), 22.
- Badillo, L., Carvajal, C., y Plata, D. y. 2016. Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque. Revista de tecnología, xv(2), 161-170.
- Bokova, I. 2017. Aguas residuales - El recurso no explotado. París: UNESCO.
- Carrión, S. 2012. Aguas residuales: Clasificación, Características y Composición. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf>
- Castañeda, A. 2014. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. Rev. Tecnología y Sociedad, "Innovación y difusión de la tecnología". 1 (5), 13.
- Castillo, E; Rojas, A; Menéndez, R; Osorio J; Pat, R. 2012. Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. Mérida, México. 16 (2), 10.
- Chavan, B., y Dhulap, V. 2012. Sewage treatment with constructed wetland using *Panicum maximum* forage grass. Journal of Environmental Science and Water Resources, 223-230.
- Culqui, N. 2015. <https://bibdigital.epn.edu.ec/>. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10559/1/CD-6246.pdf>
- Delgadillo, O; Camacho, A; Perez, L; Andrade M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Serie Técnica. Cochabamba – Bolivia. p 115.

- Derichs, K. 2017. "Evaluación de diferentes intervalos de corte sobre el rendimiento de materia seca de pasto saboya (*Panicum maximum*) y la composición química del ensilaje". Quito, EC. Tesis. Médico Veterinario y Zootecnista. Universidad Central del Ecuador. p 91.
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada, M. y Robledo, C. 1998. Estadística y Biometría y de Diseño de Experimentos de la Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC). *InfoStat software estadístico*. Consultado el 20 de ene. 2020. Disponible en: <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=46>
- Díaz. 2014. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. Quivera, Redalyc.org, 14(1), 21.
- Espigares, M. y. Pérez, J. (s.f.). Aguas residuales. Obtenido de [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
- Estrada, J., Gómez, G. y Jaramillo, A. 2008. Efecto del biodigestor plástico de flujo continuo en el tratamiento de aguas residuales de establos bovinos. Veterinaria y Zootecnia, S9-S9.
- Gómez, Y. 2017. Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas servidas. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2875/P10-G654-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gonzales, L. 2013. Evaluación de la composición nutricional de microsilos de king grass "*Pennisetum purpureum*" y pasto saboya "*Panicum maximum jacq*" en dos estados de madurez con 25% de contenido ruminal de bovinos faenados en el camal municipal del cantón Quevedo. Cotopaxi, EC. Tesis. Médico Veterinario y Zootecnista. Universidad Técnica de Cotopaxi. p 86.
- González, I; Betancourt, M; Fuenmayor, A; Lugo, M. 2011. Producción y composición química de forrajes de dos especies de pasto Elefante (*Pennisetum sp.*) en el Noroccidente de Venezuela. Aragua, Venezuela. Rev. Zootecnia Trop. 29 (1). p 10
- Guevara, R; Martínez, T. 2017. Propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales del establo de ganado bovino perteneciente a la estación experimental de la facultad de Ciencias Agronómicas De la Universidad de El Salvador. Tesis. Ingeniería Química. Universidad de El Salvador facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos. p 304.

- Hinojosa, Y; Yépez, N; Rodal, C; Ríos, O; Claros, B; Suarez, N; Jiménez, L. 2014. Producción y características agronómicas de cuatro variedades de
- INEC. 2012. Anuario Estadístico 2012 de la República del Ecuador. Quito: INEC.
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). 2013. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. Agua, Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. (En línea). Consultado el 20 de ene. 2020. Formato PDF. Disponible en <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACI%C3%93N-DE-MUESTRAS.pdf>
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). 2013. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. EC. (En línea). Consultado el 20 de ene. 2020. Formato PDF. Disponible en <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%C3%89CNICAS-DE-MUESTREO.pdf>
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). 2013. NTE INEN 1202. Demanda bioquímica de oxígeno DBO5. (En línea). Consultado el 27 de ene. 2020. Disponible en <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1202-AGUAS.-DEMANDA-BIOQUÍMICA-DE-OXÍGENO-DBO5.pdf>
- MAE (Ministerio del Ambiente Ecuatoriano). 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Libro VI. Anexo 1. (En línea). EC. Consultado, 21 de ene. 2020. Formato PDF. Disponible en <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Manahan, S. 2007. Introducción a la Química Ambiental. México D.F. MX. Reverté S.A. p 209 – 210
- Martínez, F. 2019. Ficha técnica pasto elefante morado (pennisetum purpureum cv Camerún rojo). Obtenido de [https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-corte/pasto-elefante-morado-pennisetum-purpureum-cv-camerun-rojo/#Origen\\_y\\_descripcion\\_del\\_Pasto\\_Elefante\\_Morado](https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-corte/pasto-elefante-morado-pennisetum-purpureum-cv-camerun-rojo/#Origen_y_descripcion_del_Pasto_Elefante_Morado)
- Mendoza, V., Fernández, J., Hernández, J., Hernández, I. y Palacios, M. 2019. *Zero discharge: Pilot project for biodegradation of cattle effluent by pyroclastic “lapilli” treatment for fodder irrigation. Journal of Environmental Management, 231, 345–351. doi:10.1016/j.jenvman.2018.09.050*
- Ministerio de Ambiente. 2017. Las descargas de aguas residuales son controladas por el Ministerio del Ambiente. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/las-descargas-de-aguas-residuales-son-controladas-por-el-ministerio-del-ambiente/>



- Montenegro, K; Fernández, L; Villamar, C; Espinoza, P. 2019. Humedales artificiales y celdas de combustibles microbianas como sistemas individuales y combinados para el tratamiento de aguas residuales: una revisión. *Rev. InfoAnalítica* 7 (2), 37.
- Monzón, I., López, J., Burgos, A., y Gonzales, J. 2001. Introducción a la ingeniería sanitaria y ambiental. Santander: Escuela Técnica Superior Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Noukeu, N., Gouado, I., Priso, R., Ndongo, D., y Taffouo, V. (2016). Characterization of effluent from food processing industries and stillage treatment trial with *Eichhornia crassipes* (Mart.) and *Panicum maximum* (Jacq.). *Water Resources and Industry*, 1-18.
- Olea, R. 2013. Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Coatepec, Veracruz. (En línea).MX. Consultado, 21 de ene. 2020. Formato PDF. Disponible en: <https://studylib.es/doc/6924102/%E2%80%99Cevaluaci%C3%B3n-de-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residual...>
- ONU. 2019. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago: NU CEPAL.
- Palta, G., y Morales, S. 2014. Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximun* en el municipio de Popayán, Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, XI(2), 57\_65.
- pasto de corte del género *Pennisetum*, en Trinidad, Bolivia. *Rev. Agrociencias. Amazonía*. 1 (3), p 8.
- Peñaherrera, A. 2015. "producción y calidad forrajera de pasto saboya (*Panicum máximum* Jacq) a diferentes edades y alturas de corte". Santo Domingo de los Tsachilas. Tesis. Ingeniero Agropecuario. ESPE (Universidad de las Fuerzas Armadas). p 57.
- Pérez, F; Armenteros, T; Hernández, 2016. Sistema de tratamiento para las aguas residuales en la empresa de aprovechamiento hidráulico villa clara. Villa Clara, Cuba. *Rev. Centro Azúcar*. 43 (1), 8.
- Pérez, M; Sánchez, S, Rojo, C. 2015. Función depuradora de los humedales ii: una revisión bibliográfica sobre el papel del sedimento. Madrid, España. *Rev. SEHUMED*. 123 (15), 8.
- Pineda, O. 2016. El uso adecuado del agua en explotaciones de ganado bovino. Obtenido de Ergomix: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/uso-adecuado-agua-explotaciones-t39737.htm>

- PIRAgua (Programa Integral Red Agua). 2016. Corantioquia. Obtenido de [http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual\\_Medici%C3%B3n\\_de\\_Caudal.pdf](http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf)
- Qiaoling, X., y Lihua, C. 2019. Removal of COD from synthetic wastewater in vertical flow constructed wetland. *Water Environment Research*, 1-8.
- Raffo, E; Ruiz, E. 2014. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. (En línea). Consultado, 21 de ene. 2020. Formato PDF. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81640855010>.
- Ramos, C. 2009. Medicamentos de consumo humano en el agua, propiedades físico-químicas. *Rev Cubana Hig Epidemiol*, 47(2), 10.
- Sánchez, D. 2016. Contaminación del Agua. España. Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de ciudad Real. 20 (15), 32.
- Santana, X. y Santos, J. 2016. Eficiencia del pasto vetiver (*chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río muerto, cantón Manta (Tesis de Ingeniería en Medio Ambiente). ESPAM MFL, Calceta.
- SENAGUA. 2012. Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador. Quito: CEPAL. Obtenido de <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Ilc%202012-2.pdf>
- Silva, J; Torres, P; Madera, C. 2008. Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. Colombia. *Rev. Agronomía Colombiana*. 26 (2), 359.
- Suárez, C. 2016. Evaluación agronómica y nutricional del pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) a partir de diferentes biofertilizantes en la finca los robles de la Fundación Universitaria de Popayán. Colombia. Tesis. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. p 95.
- Tuset, S. 2014. Caracterización del agua residual. Documento presentado en Ingeniería conceptual aplicada a tratamiento de aguas residuales, tratamiento de residuos sólidos y líquidos y tratamiento de emisiones., Barcelona, España. Recuperado de <https://blog.condorchem.com/caracterizacion-del-agua-residual/>
- UNESCO (La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2017. Aguas residuales del recurso desaprovechado. París: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017.

- Vásquez, L. 2010. Situación del tratamiento de aguas residuales en los establos lecheros de Tijuana y los factores limitantes en su tecnificación. El colegio de la frontera Norte. Tesis. Maestra en Administración Integral del Ambiente. Tijuana, México. p 132.
- Vela, L. 2015. Comportamiento agronómico y valor nutricional de la asociación de cuatro variedades de pastos (*Panicum máximum* Jacq), con la leguminosa matarratón (*Gliricidia sepium*), en el Colegio Jaime del Hierro en Santa María del Toachi. Quevedo, EC. Tesis. Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica Estatal de Quevedo Unidad de Estudios a Distancia. p 67.
- Vivas, L; Navas, R; Escobar R; Ron, J. 2019. Evaluación de cuatro genotipos de pasto elefante en Calabozo estado Guárico, Venezuela. La Paz, Bolivia. Rev. J. Selva Andina Biosph. 7 (1), p 10.
- Viveros, D. 2016. Postratamiento de aguas residuales en plantas de beneficio de ganado porcino y bovino utilizando humedales artificiales. Tesis: Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales, Colombia. p 74.
- Zahui, F., Pétémanagnan, J., Konaté, M., Coulibaly, L., y Coulibaly, L. 2018. Use of different plants species in vertical-flow constructed wetland for organic matter removal from domestic wastewater. International Journal of Current Research, 73167-73177.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### CARACTERIZACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL BOVINA

#### 1-A Georreferenciación del muestreo



#### 1-B Toma de muestra



#### 1-C Rotulación de muestra previa



#### 1-D Muestra de la materia orgánica previo al tratamiento



### 1-E Estimación del volumen del agua residual bovina



### 1-F Resultados de análisis - laboratorio

DGI		wda		RESULTADO DE ANÁLISIS DBO <sub>5</sub>						
Nombre del Solicitante:		Robert Cornejo								
Fecha de entrega de muestras:		30/09/2020								
Fecha de análisis:		30/09/2020								
Condiciones de muestra:		Las muestras fueron entregadas en botellas de vidrio ámbar en cadena de frío a 4°C.								
Preparación de muestra:		Se colocó volumen respectivo de cada una de las muestras en las botellas para la determinación de DBO <sub>5</sub>								
Técnica utilizada:		OXI-TOP								
Responsable del análisis:		Genoveva Granda								
Límite máximo permisible*:		100 mg O <sub>2</sub> /L								
RESULTADOS DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L										
MUESTRA	VOLUMEN	DILUCIÓN	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	DBO mgO <sub>2</sub> /L		
T0	365 ml	2	191	208	208	220	232	463		
T1R1	432 ml	1	121	132	132	139	147	294		
T1R2	432 ml	1	121	131	133	138	146	291		
T1R3	432 ml	1	121	133	134	134	148	293		
T2R1	432 ml	1	117	126	126	134	141	282		
T2R2	432 ml	1	114	124	132	132	139	277		
T2R3	432 ml	1	114	123	130	138	138	275		

Observaciones:

\* Acorde a la Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Norma de Calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso de Agua.

  
Firma de Responsable Técnico  
María Genoveva Granda  
Técnica  
Laboratorios de Investigación

  
Firma de Autorización  
Gabriel Iturralde  
Coordinador  
Laboratorios de Investigación



## 1-G Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (Tabla 12, Anexo 1, TULSMA)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<sup>B</sup> Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10

## ANEXO 2

### DETERMINACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL CON MAYOR EFICIENCIA PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

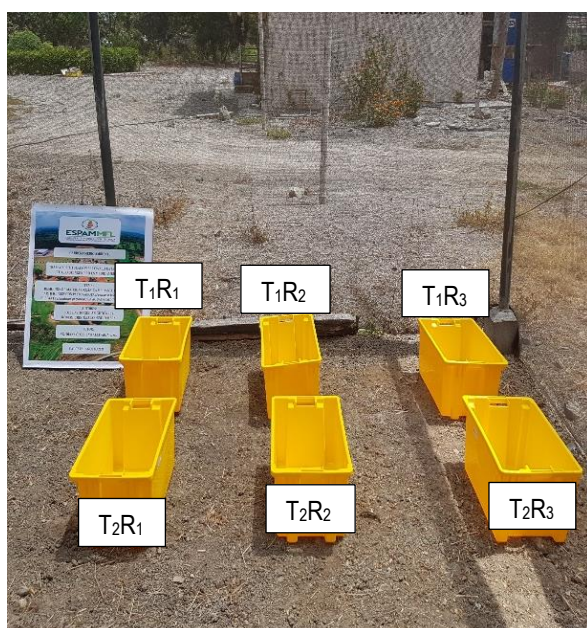
2-A Área de trabajo - CIIDEA



2-B Limpieza del área



2-C Área de experimento establecida



2-D Adquisición de los pastos





**2-E Pastoreo de macollos****2-F Aplicación del sustrato****2-G Aclimatación de los pastos****2-H Pastos en el medio inundado**

### 2-I Crecimiento y aclimatación de los pastos



### 2-J Pastos aclimatados



### 2-K Humedales artificiales aptos para el tratamiento de agua residual bovina



### 2-L Vertimiento de agua residual bovina para su tratamiento



## ANEXO 3

### DEFINICIÓN DE LA RELACIÓN COSTO/ BENEFICIO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL CON MAYOR EFICIENCIA PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES BOVINAS

#### 3-A Definición de la relación costo/beneficio

COSTO/BENEFICIO	Tipos de pastos	
	Pasto saboya (T1)	Pasto elefante (T2)
DBO, mg/l	292,67	278,00
Costo de producción por m <sup>2</sup> de H.A, USD	237,40	277,90