



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**Efectividad de la Eichhornia Crassipes (Bora) en la remoción de
fenoles presentes en los efluentes de la Estación de Flujos SINCO D.
Distrito Barinas de PDVSA (2018).**

AUTOR:

Yenifer Carolina Gil G.

C.I: 25299176

**Tutor Académico:
Gericksson Devies
CI: 13636850**

Barinas, febrero 2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**Efectividad de la Eichhornia Crassipes en remoción de
fenoles presentes en los efluentes de la Estación de Flujos SINCO D.
Distrito Barinas de PDVSA (2018).**

Trabajo Especial de Grado presentado como requisito parcial para optar por
el título de: Ingeniero de Petróleo.

AUTOR:

Yenifer Carolina Gil G.

C.I: 25299176

Tutor Académico:

Gericksson Devies

CI: 13636850

Barinas, febrero 2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor (a) del Trabajo de Especial de Grado presentado por el ciudadano **Yenifer Carolina Gil Gil, C.I. 25299176**, para optar al título de **Ingeniero de Petróleo**, considero que este reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Barinas a los _____ días del mes de _____ de _____

Tutor (a): Gericksson Devies
C.I.: 13636850



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**Efectividad de la Eichhornia Crassipes en remoción de
fenoles presentes en los efluentes de la Estación de Flujos SINCO D.
Distrito Barinas de PDVSA (2018).**

POR AUTOR: Yenifer Carolina Gil Gil
C.I.:25299176

Trabajo Especial de Grado aprobado en nombre de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” por el siguiente jurado, a los _____ días del mes de _____ de _____.

JURADO C.I.

JURADO C.I.

DEDICATORIA

A DIOS por darme la sabiduría, el conocimiento y ayudarme a mantenerme constante en el cumplimiento de toda mi carrera.

A mi padre Rafael Ángel Gil por brindarme su apoyo, pues fueron ese impulso para que nunca me rindiera y lograra el objetivo de ser Ingeniera en
Petróleo.

A mi madre Dora Angélica porque me enseñó que siempre debo tener dedicación y esmero.

A mi tía María Borjas por ser una persona bondadosa y darme su apoyo incondicional cada vez que lo necesite.

A mi tía Rosa porque me dio su apoyo en todas las formas posibles para lograr cumplir mi meta.

A mis amigos de la universidad y compañeros de estudio, Miguelixa Prisco, Jorgelis Brito, Dairis Araque, Jesus Garcias, Ismarys Gonzalez, Efrain Arriechi, Lucio Rojas, , Randy Gutiérrez, Jesús Montilla, y demás compañeros que vivieron conmigo esta gran experiencia, como lo es la vida universitaria.

Yenifer Gil

RECONOCIMIENTO

En la realización de este trabajo debo hacerles reconocimiento a muchas personas que con sus valiosos aportes, sugerencias y motivación hicieron posible la realización de este Trabajo Especial de Grado.

En primer lugar a mi casa de estudio, la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” (UNELLEZ) por brindarme esta oportunidad de recibir la formación como ingeniero de petróleo en su recinto durante estos años.

A mi tutor académico Gericksson Devies por guiarme en este tiempo, por su valiosa contribución, por enseñarme, tener confianza y paciencia en mí, cuando más lo necesite; Dios lo Bendiga Siempre.

Al ingeniero Henry Briseño, por apoyarme en todo lo que estuvo a su alcance, para contribuir en el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

Yenifer Gil.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE GRÁFICOS	xi
RESUMEN.	xii
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I	16
Contaminantes remanentes de la estación de flujo Sinco D.	16
Objetivos de la Investigación.....	19
Objetivo General.	19
Objetivos Específicos	19
Justificación de la Investigación.	20
Alcances y Limitaciones	22
Alcances.....	22
Limitaciones.	22
CAPITULO II	23
Fundamentos técnicos y principios legales sobre el uso de la fitorremediación en tratamiento de aguas efluentes.....	23
Marco Teórico.	26
Sistema de Variables.	69
Mapa de Variables.	70
Normativa y Aspectos Legales.	73
CAPITULO III	79
Marco Metodológico.....	79
Tipo de Investigación.	79
Nivel de la investigación.....	80
Diseño Experimental.	84
Metodología.....	87
Etapa I.....	87
Etapa II.....	93

Población y Muestra.....	108
Técnicas, Instrumentos y Materiales Aplicados en la Recolección de Datos.	108
7.1 Técnicas de investigación.	108
8. 1 Instrumentos de investigación.	112
Glosario de Términos	115
CAPITULO IV	117
Análisis y Discusión de los Resultados de la Investigación.....	117
Resultado del primer Objetivo Específico.....	117
Describir el proceso de fitorremediación empleado en tratamientos de efluentes industriales.....	117
Resultado del segundo Objetivo Específico.	121
Indicar las propiedades fitorremediadoras de la Bora (Eichhornia Crassipes) útiles para la remoción de fenoles presentes en efluentes de la estación Sinco D.	121
Resultados del tercer objetivo específico.	122
Establecer teóricamente la adaptabilidad de la planta bajo las condiciones físicos naturales de la Estación de Flujo Sinco D.....	122
Resultados del cuarto objetivo específico.	124
Calcular la eficiencia del empleo de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles presentes en muestras de efluentes de la Estación de Flujo SINCO D del Distrito Barinas de PDVSA.	124
CAPITULO V	138
Conclusiones y Recomendaciones	138
Conclusiones.....	138
Recomendaciones.....	139
Referencias Bibliográficas.....	141
Anexos.	148

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Líneas de investigación sobre fitorremediación.....	38
Tabla 2. Características de la especie (Eichhornia Crassipes).....	44
Tabla 3. Principales ventajas y desventajas de lo tipos de tratamientos.	57
Tabla 4. Propiedades químicas y formula general.....	66
Tabla 5. Propiedades físicas del fenol.....	66
Tabla 6. Mapa de Variables.....	70
Tabla 7. Documentos consultados para la obtención de cada variable.....	71
Tabla 8. Actividades y Recursos utilizados	72
Tabla 9. Cronograma de actividades.....	86
Tabla 10. Presentación de la cantidad de agua problema sin tratamiento para llevar al laboratorio.....	106
Tabla 11. Cantidad de agua problema tratada con la Eichhornia para llevar al laboratorio.....	107
Tabla 12. Reactivos requeridos para la determinación de la espectrofotometría.	107
Tabla 13. Mecanismo de fitorremediación y contaminantes que remueven algunas plantas.....	118
Tabla 14. Remoción de algunos contaminantes en % según algunos estudios realizados con Eichhornia Crassipes.	120
Tabla 15. Relación entre las condiciones de adaptación de la Eichhornia Crassipes (Bora), y las condiciones de la estación de flujo Sinco D.	123
Tabla 16. Muestra 1, Eichhornia Crassipes con agua de la estación	125
Tabla 17. Muestra 2, envase con agua de la estación	125
Tabla 18. Diferencia de Evaporación.....	126
Tabla 19. Lecturas obtenidas con el espectrofotómetro HASH DR5000	127
Tabla 20. Concentraciones calculadas.....	129
Tabla 21. Valores de concentración, volumen cantidad, y remoción en %. 130	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fitorremediación.	30
Figura 2. Lemna spp.	36
Figura 3. Pistia stratiotes.....	37
Figura 4. Eichhornia Crassipes	40
Figura 5. Eichhornia Crassipes.	44
Figura 6. Diagrama General de flujo de los sistemas de tratamiento de las aguas de producción.....	64
Figura 7. Infraestructura de producción de la estación de flujo Sinco D	64
Figura 8. Estructura química del Fenol	65
Figura 9. Esquema de procedimiento en la realización de cada objetivo.....	83
Figura 10. Diseño experimental	85
Figura 11. Eichhornia Crassipes	88
Figura 12. Parámetros físicos - químicos del agua de biolagunas, estación Sinco D.	89
Figura 13. Parámetros físicos- químicos del agua del canal de descarga Sinco D	90
Figura 14. Parámetros físicos- químicos y bacteriológicos (estación Sinco D).	91
Figura 15. Parámetros físicos- químicos y bacteriológicos presentes en el canal de descarga.....	92
Figura 16. De la Eichhornia Crassipes.....	94
Figura 17. Envases calibrados en el laboratorio.	95
Figura 18. Envase calibrado con un agujero en la tapa para evitar que el fenol fuera volatilizado	95
Figura 19. Eichhornia Crassipes con agua de la estación Sinco D.	96
Figura 20. Eichhornia Crassipes con agua de la estación Sinco D.	97
Figura 21. Envase calibrado solo con agua de la estación Sinco D.....	98
Figura 22. Muestras en su primer día	98
Figura 23. Muestras en su primer día	99

Figura 24. Muestras colocadas en el huerto	99
Figura 25. Colocación de la cubierta.....	100
Figura 26. Esquema de determinación de fenol.....	103
Figura 27. Vertidos de los reactivos de los sobres de Penol 1 y Penol 2 con contenido de 4-aminoantipirina	104
Figura 28. Separación de los componentes en dos capas de las muestras diluidas.....	104
Figura 29. Proceso inicial de separación al a agitar las muestras y destapar para dejar escapar los gases se dejaba reposar hasta que ocurriera la separación de las capas	105
Figura 30. Celdas de 25 ml del equipo RD 500, con el contenido de la capa inferior obtenida del embudo de separación (Blanco y algunas muestras) .	105
Figura 31. Instrumentos utilizados en el laboratorio.....	114

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Concentración de muestras con Eichhornia Crassipes.	133
Gráfico 2. Agua con tratamiento fitorremediador volumen vs días.....	134
Gráfico 3. Tratamiento fitorremediador del agua cantidad vs días.....	134
Gráfico 4. Presentación de la remoción % vs días.....	135
Gráfico 5. Concentración mg/L de <muestra sin E.C.	136
Gráfico 6. Concentración vs tiempo	136
Gráfico 7. Concentración vs Muestras en los diferentes días	137
Gráfico 8. % de remoción del agua de la estación Sinco D	137



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

**Efectividad de la Eichhornia Crassipes en remoción de
fenoles presentes en los efluentes de la Estación de Flujos SINCO D.
Distrito Barinas de PDVSA (2018).**

AUTOR:
Yenifer Carolina Gil G.
TUTOR (Académico):
Gericksson Devies
Mayo, de 2018

RESUMEN.

El presente trabajo se orientó a determinar la efectividad de la Eichhornia Crassipes como agente fitorremediador de aguas contaminadas por fenoles provenientes de la industria petrolera ubicada en el Edo. Barinas – Venezuela; aplicando la fitorremediación, representada como una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados, usando plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes. Para ello se tomo una muestra de agua de la Biologueta (B) de la Estación de Flujo Sinco D de la División Boyacá de PDVSA, que se colocaron en contacto con una planta de Eichhornia Crassipes (Bora) por espacio de siete (7) días, monitoreando la evolución del tratamiento al tercer y séptimo día realizando la determinación de la cantidad de fenoles presentes en las aguas empleando como método de análisis el colorimétrico directo con 4 amino antipirina a través del equipo Hach DR5000 del Laboratorio de Análisis de Agua de la UNELLEZ en Barinas. Se aplicó como principio de diseño experimental el método de contraste ya que durante el tiempo en estudio se monitoreo una muestra de agua expuesta al ambiente (bajo las mismas condiciones) sin presencia de la planta debido a la naturaleza volátil de los compuestos orgánicos de interés lo que permitió cuantificar la efectividad del tratamiento. Encontrando un porcentaje en remoción de 60,6 % para fenoles en la muestra tratada con la Bora lo que orienta hacia la aplicación de esta planta para complementar el tratamiento que en la actualidad se lleva a cabo en la estación.

PALABRAS CLAVES: Fitorremediación, Contaminación, Aguas residuales, Biotecnología, Tratamiento de aguas de producción petrolera.
Email del autor: Yefernin@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Uno de los rasgos característicos de la sociedad moderna es la creciente emisión al ambiente de sustancias contaminantes, destacando aquellas procedentes de las actividades industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas. Como estos compuestos tóxicos representan una amenaza para los seres vivos, desde tiempo atrás, se han desarrollado una serie de métodos para enmendar el impacto causado. Generándose otros convencionales que suelen ser costosos y afectar a su vez, de manera irreversible, las propiedades del suelo, agua y de los seres vivos que en ellos habitan.

Sin embargo también se han propuesto estrategias que pueden dar alternativas, que sean menos costosas y más viables para contribuir a la sociedad, empresas y sobre todo para ayudar con la descontaminación del medio ambiente; un ejemplo de ello, lo es la fitorremediación que desde la década de 1970 ha retomado interés, implicando una biotecnología capaz de degradar, acumular, extraer, e inmovilizar los contaminantes del suelo, aguas superficiales y subterráneas, es una técnica efectiva, de bajo costo y presenta un impacto ambiental mínimo o nulo respecto a otros métodos de descontaminación físicos y químicos; representando una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados, todos los procesos de remediación biológica aprovechan la capacidad degradativa de los microorganismos del suelo y en algunos caso también de la capacidad depuradora de las plantas, esta tecnología no convencional, utiliza la capacidad de ciertas plantas (acuáticas, terrestres, leñosas) para remover, contener y transformar productos contaminantes del entorno.

Por los aspectos recién mencionados, se tomó esta técnica en cuenta para estudiar el efecto en una muestra real de agua al ponerse en contacto con una planta y de esta manera observar qué tan eficiente es el proceso en

la remoción de los fenoles, el agua de interés para esta investigación provino de la estación de flujo Sinco D y la especie seleccionada fue la *Eichhornia Crassipes*, dadas sus propiedades remediadoras sustentadas por estudios a nivel mundial.

La investigación se realizó a través de un diseño experimental de tipo comparativo entre dos muestras de agua en donde una recibió tratamiento fitorremediador y el otro, en donde los fenoles fueron las sustancias indicadores para el estudio. La razón por la cual se seleccionó este tipo de sustancia es que representa uno de los principales problemas para su remoción en la estaciones de flujos, aunado al alto costo y complejidad del tratamiento biológico que actualmente se emplea.

El problema de contaminación de los ecosistemas barineses a causa de las diversas industrias instaladas (dentro de ella la petrolera) en la región es una preocupación constante tanto para los organismos públicos como para los residentes de la región llanera, por lo que uno de los fines que persigue esta investigación es presentar un aporte en la búsqueda de soluciones ecológicas para la recuperación de las aguas contaminadas provenientes de dichas industrias a fin de poder minimizar su capacidad de contaminación al devolverlas al ambiente.

Para lograr la finalidad del trabajo, inicialmente se describen los problemas presentes en la estación y cómo se define el área de acción del autor de la investigación a través del planteamiento de los objetivos (capítulo I), para luego dar paso a la conceptualización de la fitorremediación y sus usos potenciales en tratamiento de aguas efluentes así como también se identifican las propiedades fitorremediadoras de la Bora que llevaron a su selección para la remoción del fenol, principal variable en estudio (capítulo II); luego se describirá la metodología empleada en donde resalta el diseño experimental creado en el marco metodológico del trabajo (capítulo III).

Posteriormente se presentan los resultados, y un análisis en donde el lector podrá formarse un criterio propio sobre la utilidad de la planta en base al porcentaje de efectividad alcanzado en el estudio (capítulo IV). Dada la importancia del estudio, en el capítulo V, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de la experiencia desarrollada.

Cabe destacar que la investigación se encuentra soportada legalmente en las leyes y normativas vigentes de la República Bolivariana de Venezuela y como principal razón de ser, la responsabilidad de cada uno de los habitantes del planeta en “preservar el ambiente” tal como se expresa en el V objetivo histórico del Segundo Plan Socialista de la Nación (2013 – 2025).

Contaminantes remanentes de la estación de flujo Sinco D.

Desde tiempo atrás las principales fuentes de contaminación son producidas por las actividades industriales y también por aquellas que proceden de actividades mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas, realizándose en muchos países a nivel mundial donde la contaminación del agua se debe a la incorporación de cualquier tipo de energía, organismo o sustancia, que afecta las características de los ecosistemas, modificando negativamente sus propiedades y su capacidad para asimilarlas o degradarlas. Hoy en día la sociedad es consciente de la necesidad de preservar el medio ambiente, así como también reflexionar, ya que la propia actividad de trabajo en las industrias, del ser humano puede provocar diferentes tipos de residuos (tanto en forma de material como de energía) que pueden tener consecuencias y provocar alteraciones en el medio ambiente, como en la diferentes especies de seres vivos, incluyéndose el ser humano (pérdida de hábitats, de ritmos biológicos como el sueño o alteraciones conductuales, por ejemplo).

Las principales fuentes de contaminación de las aguas son las actividades industriales que en muchos países se lleva a cabo. Tal y como señala Ana Amat, investigadora del investigador del campus de Alcoy de la Universidad Politécnica de Valencia (AOP-UPV), “más de un 80% de los residuos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos industriales se vierten al agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos”.

Aunado a esto, Venezuela es un país que basa su economía en la producción y obtención de petróleo, pero la contaminación que puede

generar la industria es muy elevada, por lo que de muchas maneras se puede romper el equilibrio de la naturaleza. Las principales vías de contaminación por esta industria son los desechos gaseosos y los vertidos de aguas al ambiente, los cuales a pesar de ser tratadas llevan consigo cantidades de metales pesados, sulfuros, cloruros, fenoles que hacen daño al ambiente. Es por ello que ha surgido la necesidad de la toma de conciencia y la búsqueda de alternativas para su solución, surgiendo cada vez propuestas para ayudar a mejorar el entorno.

En la región de Barinas específicamente en las estaciones de flujo se presentan estos problemas, donde al agua se le realiza un proceso de purificación pero queda en ella cierto contenido de contaminantes que son enviados al ambiente y representan una amenaza para los seres vivos, por lo que se han desarrollado una serie de métodos para enmendar el impacto causado. Estos métodos suelen ser costosos y se realizan mediante la instalación de una planta de tratamiento que permite conseguir la separación de los diferentes sólidos y residuos de crudo disueltos en el agua.

Sin embargo como alternativa ecológica para solventar el manejo de efluentes se busca plantear el uso de la fitorremediación, que consiste en la descontaminación de los suelos y la depuración de las aguas residuales usando plantas vasculares, algas y hongos. Lo cual reduce el uso de sustancias químicas cuyos residuos provocan la alteración de las propiedades del agua mencionada anteriormente y es de bajo costo.

Esta técnica surge en los años ochenta y se basa en el empleo de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos del suelo, sedimentos, agua y aire a partir de procesos bioquímicos realizados por las especies vegetales y sus microorganismos asociados que conducen a la reducción, mineralización, degradación, estabilización o volatilización de dichos contaminantes. Se

trata, en efecto de un método natural que se aprovecha de la misma acción de las plantas para tratar aguas sucias, por ejemplo las residuales, un aire contaminado o suelos que también precisan actuaciones de recuperación.

Así mismo las plantas pueden actuar como filtros naturales de gran eficacia contra contaminación orgánica e inorgánica. La fitorremediación permite mejorar de una manera natural el agua contaminada, lo que significa evitar el uso de productos químicos, a diferencia de otros sistemas de descontaminación que los usan o trasladan el problema a otro lugar, la fitorremediación representa una solución mucho más ecológica.

Por otra parte como grandes ventajas, pueden citarse su efectividad, seguridad, rentabilidad, así como la posibilidad de aplicar en grandes superficies de forma muy variada y escalable. Sin embargo la elección de las plantas es clave para la preservación o recuperación de distintos ecosistemas, por lo que resulta importante cuidar este aspecto.

Esta es una alternativa que a se ha generado en otros países y ha dado resultados dependiendo de cómo o dónde se aplique, para disminuir las consecuencias que trae consigo el agua contaminada; así mismo no causar un impacto ambiental, además de buscar soluciones para el problema.

La siguiente investigación estará orientada a demostrar experimentalmente la efectividad que puede tener la Eichhornia Crassipes. En función de lo expuesto surgen las siguientes interrogantes:

- ¿Es posible emplear la Bora como agente fitorremediador para remover fenoles de los efluentes de la estación de flujo Sinco D?
- ¿Las condiciones del agua (composición y temperatura) permitirán el desarrollo de la planta acuática?
- ¿La intervención o uso de la Bora en el tratamiento de las aguas efluentes de la estación de flujo se puede considerar como eficiente?

Objetivos de la Investigación

Objetivo General.

Determinar la efectividad de la Eichhornia Crassipes en tratamiento de aguas de efluentes de la estación Sinco D.

Objetivos Específicos

- Describir el proceso de fitorremediación empleado en tratamientos de efluentes industriales.
- Indicar las propiedades fitorremediadoras de la Bora (Eichhornia Crassipes) útiles para la remoción de fenoles presentes en efluentes de la estación Sinco D.
- Establecer teóricamente la adaptabilidad de la planta bajo las condiciones físico-naturales de la Estación de Flujo Sinco D.
- Calcular la eficiencia del empleo de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles presentes en muestras de efluentes de la Estación de Flujo SINCO D del Distrito Barinas de PDVSA.

Justificación de la Investigación.

Los métodos convencionales de purificación de agua a menudo no son efectivos para la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos y pueden ser muy costosos, incluso se han desarrollado los denominados avanzados procesos de oxidación (PAOS). Aunado a esto; han usado la deshalogenación electroquímica para iniciar la descomposición de disoluciones diluidas de hidrocarburos clorados en aguas residuales. Otra de las propuestas es un método denominado oxidación química. Pero cada uno de estos procesos resulta muy caro, y es más económico tratar de eliminar todos los compuestos orgánicos e inorgánicos a través de pre-tratamientos convencionales y reservar su uso únicamente para las sustancias más resistentes.

Por tal razón se presentan alternativas como la biodegradación y remoción de contaminantes por medio de plantas donde la descontaminación del agua se lleva a cabo por la acción de bacterias y otros microorganismos presentes en las raíces de las plantas y rizomas.

Así mismo estas plantas también remueven metales y aumentan el pH del agua, destruyendo así otros microorganismos nocivos. Mediante esta técnica, se generan menos lodos, se evita el uso de productos químicos y se requiere el uso de menos energía.

El propósito del trabajo es demostrar la eficacia del uso de la *Eichhornia Crassipes* en la remoción de fenoles para el tratamiento de efluentes basado en el estudio de la planta, ya que esta puede ser empleada para depurar y remover así como degradar por medio de las bacterias y microorganismos en sus raíces las sustancias contaminantes que estén presentes.

Este proceso es conocido como fitorremediación el cual es una tecnología aplicable y eficiente para la restauración ambiental, puede utilizarse de manera alternativa o complementaria a otras tecnologías, resulta más barata, sostenible y compatible con el medio, más sencilla y amigable que otras, ofrece más ventajas que desventajas, las perspectivas de desarrollo son prometedoras.

Desde el punto de vista ambiental basándose en el plan de la patria objetivo histórico n° 5 literal V), donde se especifica que se debe contribuir con la preservación de la vida en el planeta y la salvación de la especie humana., se busca impulsar un mecanismo de protección al ambiente, mejorar la eficiencia en la utilización de recursos y el logro de un desarrollo sostenible, implementando la reducción y el reúso en todas las actividades económicas públicas y privadas. Este mecanismo de fitorremediación puede contribuir de manera eficiente y menos costosa además de prevenir la contaminación del agua, del suelo así mismo del medio ambiente, lo que podría significar un gran aporte a las empresas y a la sociedad ya que es el método menos destructivo, porque utiliza los organismos naturales y preserva el estado natural del medio ambiente.

Alcances y Limitaciones

Alcances.

Con la presente investigación está enfocada a demostrar que la Bora es eficiente para tratar aguas provenientes de la estación Sinco D, mediante un proceso fitorremediador así como saber la cantidad de fenol que esta remueve y en presentar las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo de la Bora.

Limitaciones.

Según Valbuena M., (2011). Expresa que, las limitaciones son obstáculos bien sea teóricos, metodológicos y prácticos encontrados en la ejecución de la investigación, es decir que son aquellas restricciones del diseño de esta y de los procedimientos utilizados para la recolección, procesamiento y análisis de los datos. Estas no pueden estar referidas a las funciones o actividad del propio investigador, sino que dependerán de factores externos a estos. En relación a lo dicho por Valbuena, en este trabajo de grado en el cual se determina la efectividad de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles se presentaron limitaciones vinculadas con la disponibilidad de los técnicos de laboratorio, así como los reactivos necesitados a la hora de realizar los análisis del agua para emplear el método colorimétrico, lo cual condujo a la reducción del numero de ensayos que se traduce en insuficiencia de datos para corroborar los valores encontrados.

También se considera como limitante el agua proporcionada por la estación, no se tenía una cantidad suficiente para exponer la planta por un periodo tiempo mas prolongado al contaminante.

Fundamentos técnicos y principios legales sobre el uso de la fitorremediación en tratamiento de aguas efluentes

La presente investigación se desarrolló en los laboratorios de agua de la Unellez en Barinas, con muestras de aguas procedentes de la estación de flujo Sinco D, de la División Boyacá de PDVSA, que fueron sometidas a un proceso de depuración de fenoles con la *Eichhornia Crassipes*. Teniendo como referencia para la realización de los objetivos planteados, los antecedentes del estudio; los cuales se han realizado para mejorar o recuperar ambientes que han sido contaminados y sirven de base en este estudio, en tal sentido.

Rubén Sierra, (2006). Título: “Fitorremediación de suelos contaminados con plomo por actividad industrial” en México, la finalidad fue utilizar un pasto llamado Rye Grass para extraer plomo de un suelo salino-sódico contaminado a altas concentraciones por este metal. Donde se determinó la capacidad de Rye Grass en la fitorremediación de un suelo contaminado con plomo, por actividad industrial, ya que los metales pesados contribuyen fuertemente contaminación ambiental, y pueden alcanzar niveles de concentración que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas como la reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrimentos, variación de PH generando suelos ácidos.

Esta investigación sirve como referencia ya que emplea especies vegetales en la recuperación de ambientes contaminados, en este caso los conformados por sustratos sólidos (suelo), estableciendo una metodología donde se aplica la fitorremediación y se considera en la presente investigación.

Zambrano Karla, (2012). Título: “Biorremediación de sedimentos de una fosa contaminados con hidrocarburos utilizando bacterias autóctonas” en el estado Zulia, realizó un estudio para tratar de adecuar el sedimento contaminado con hidrocarburos contenido en una fosa denominada “Laguna B”, la cual se encuentra ubicada en una planta de tratamiento de efluentes perteneciente a una Industria Petroquímica, a través de la utilización de un consorcio bacteriano proveniente de la misma laguna, con la finalidad de disminuir los contaminantes y darle la disposición final al sedimento sin afectar el ambiente.

El estudio realizado por Zambrano tenía la finalidad de disminuir los contaminantes del sedimento, empleando la Biorremediación el cual es un proceso que utiliza microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para retornar a un medio ambiente alterado por contaminantes; a su condición natural, sin afectar al ambiente, en este caso utilizo un consorcio bacteriano que provenía de la misma laguna disminuyendo así el hidrocarburo presente, dando un ideal o referencia para tomar en cuenta en el contenido de este estudio.

Villegas Romero (2008). Título: “Determinación del tiempo máximo de absorción de cadmio por macrófitas acuáticas en condiciones de laboratorio” en México. El trabajo consiste en promover el uso de plantas acuáticas, que son consideradas como plagas o maleza (planta indeseable), como es el lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*) como fitorremediador para la remoción de cadmio, dando un resultado en cuanto a la remoción de 80.03%.

El estudio de Villegas fue algo similar a la presente investigación donde se busca determinar la efectividad de la *Eichhornia Crassipes*, en la remoción de fenoles para el tratamiento de efluentes, solo que el basó su estudio en remediar aguas contaminadas con cadmio pero empleando la

misma especie vegetal llamada Eichhornia Crassipes el cual es la misma macrófita acuática, realizando los estudios en laboratorio. El autor Villegas hizo la determinación del tiempo máximo de absorción por medio de esta planta, dando resultados factibles con una remoción de 80,03%, todo realizado por medio de un análisis espectrofotométrico, donde se realiza una curva de calibración y se determina la absorbancia y concentración del cadmio. Dicha investigación sirve de referencia y base para la realización de la efectividad de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles.

Calcurian Rita, (2014), Título: “Factibilidad de uso de la asociación planta-hongos glomeromycota en la biorestauración de un suelo contaminado con hidrocarburo” en el estado Maracay; se evaluó la factibilidad del uso de la asociación de plantas-hongos Glomeromycota para la restauración de un suelo contaminado con hidrocarburo de una fosa petrolera del estado Anzoátegui-Venezuela, y se realizó la presente investigación, partiendo de un levantamiento de vegetación del área afectada y de la toma de muestras de suelo para su análisis químico, físico y biológico.

Rita baso su estudio en plantas y hongos glomeromycota para restaurar un suelo contaminado con hidrocarburos es decir que empleo la fitorremediación en el proceso, asimismo la aplicabilidad de la Eichhornia Crassipes busca remediar las aguas que contienen concentraciones de contaminantes y que suelen ser un problema para las estaciones de flujo y las industrias es por ello que dicho estudio se vincula con la presente investigación.

Durante un año y medio se cumplió la primera fase de estudio, en el Instituto de Zoología Tropical UCV-Caracas, para la identificación de esporas micorrízicas, obtención del inóculo nativo, y caracterización del lodo petrolizado procedente de la fosa, además de la identificación de especies vegetales con potencialidad fitorremediadoras (Herbario del Jardín Botánico

de Caracas). Al final de toda la investigación se ratificó el papel decisivo que pueden asumir los hongos MA en la eliminación de derivados de petróleo contaminantes del suelo, razón por la cual han de considerarse entre los planes de fitorremediación en Venezuela.

Marco Teórico.

Las bases teóricas corresponden a un conjunto de conceptos que contribuyen un enfoque determinado dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado. A continuación se presentan las bases teóricas relacionadas con la presente investigación.

1.1 Aguas Residuales.

Según declara Antonio Moreno (2011), la conservación de los recursos naturales es de gran importancia ya que ha despertado en el hombre una preocupación buscando métodos para cuidarlos y recuperarlos para que puedan ser aprovechados por los seres vivos; de allí surge la importancia de hacer del agua un objeto de estudio.

Las aguas residuales son aquellas vertientes provenientes de procesos industriales; es decir, aquellas aguas que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción o manejo industrial, donde para ser desechados necesitan estar tratadas previamente, adecuándose en las respectivas redes de vertidos, depuradoras o sistemas naturales, tales como lagos, ríos, embalses, entre otros.

Las impurezas se encuentran en el agua como materia en suspensión, coloidal o en solución; mientras que la de suspensión siempre separa por medio mecánico, con intervención o no de la gravedad, la coloidal requiere un tratamiento físico, químico preliminar y la de solución puede tratarse en el propio estado molecular o iónico o precipitarse y separarse utilizando

procesos semejantes a los empleados para la separación de sólidos inicialmente en suspensión. A esto se le denomina tratamiento de las aguas.

Cuando se habla de la aplicación de procesos biológicos, se hace referencia casi exclusiva a los tratamientos de aguas residuales, donde se busca como objetivo principal eliminar los componentes definidos como contaminantes molestos o nocivos para el medio ambiente, de manera tal que se puede ajustar el agua residual, a la calidad de agua vertida a las especificaciones legales existentes, haciendo énfasis en esos procesos biológicos que son utilizados para tratar el agua, se encuentran los tratamientos biológicos (Biorremediación) donde el término Biorremediación se utiliza para describir una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos a productos metabólicos inocuos o menos tóxicos. Esta estrategia biológica depende de las actividades catabólicas de los organismos, y por consiguiente de su capacidad para utilizar los contaminantes como fuente de alimento y energía (Van Deuren y col., 1997).

Las rutas de biodegradación de los contaminantes orgánicos, varían en función de la estructura química del compuesto y de las especies microbianas degradadoras. El proceso de Biorremediación incluye reacciones de óxido-reducción, intercambio iónico, e incluso reacciones de acomplejamiento que resultan en la inmovilización de metales (Eweis y col., 1999).

El proceso de Biorremediación en suelos contaminados con sustancias orgánicas puede llevarse a cabo de dos formas: in situ y ex situ, éstas comprenden una serie de técnicas cuyo objetivo principal es la degradación del contaminante, a través de procesos biológicos y no biológicos, buscando la eficiencia y una manera de bajar costos, disminuyendo la cantidad del contaminante hasta cumplir con la normativa

ambiental. De allí que para la selección de la mejor técnica se debe tomar en cuenta los parámetros técnicos y económicos. (Eweis 1999).

Al mismo tiempo otro de los procesos considerados biorremediadores, es la fitorremediación, el cual es una técnica que emplea plantas para corregir, disminuir contaminantes en el medio a tratar concentrando las sustancias tóxicas en las especies vegetales que tienen potencialidad de contenerlos, degradarlos, expulsarlos.

2.1 Fitorremediación.

Según expresa, (Núñez, R., et. al, 2004). La fitorremediación representa una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados. El término fitorremediación hace referencia a una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos, e incluso aire. Se compone de dos palabras, fito que en griego significa planta o vegetal, y remediar (del latín *remediare*), que significa poner remedio al daño, corregir o enmendar algo. Fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales. De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes.

Para (Hou et al. 2001). La fitorremediación es una técnica emergente, que involucra el empleo de plantas y su microbiota asociada, la aplicación de enmiendas, materia orgánica y/o fertilizantes, que en conjunto, remueven, toman o inmovilizan los contaminantes del ecosistema

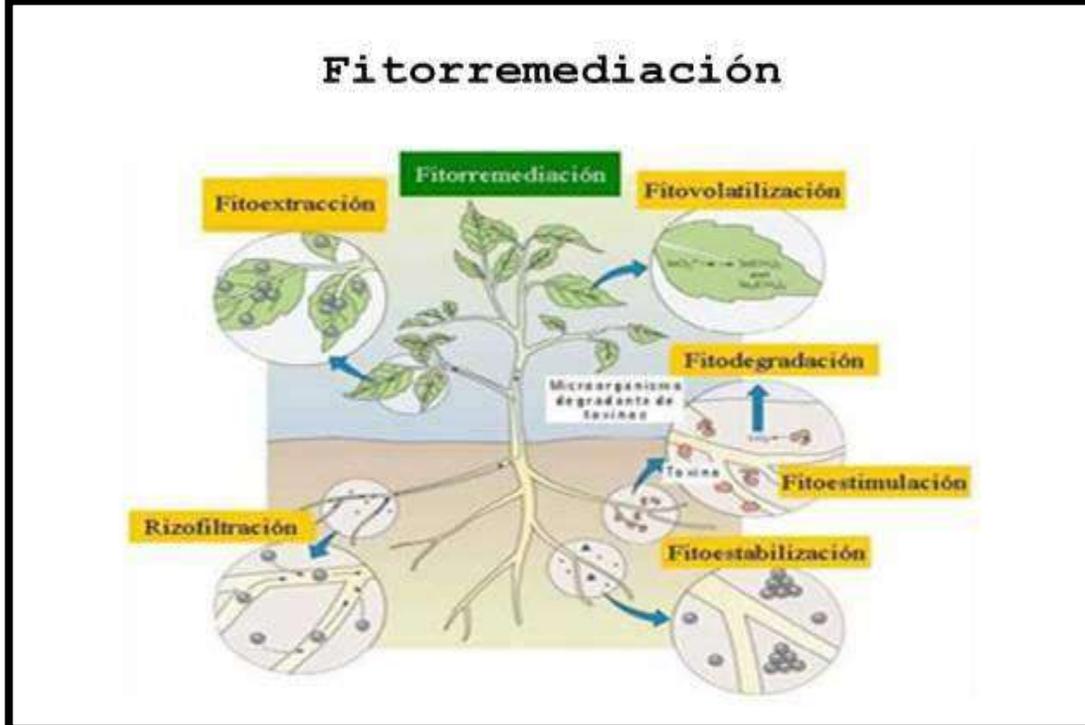
Merki et al (2005) e Infante (2007) señalan en sus estudios las ventajas que implica el uso de esta tecnología, entre las que se cuenta:

- Comparativamente económica
- El suelo contaminado no requiere ser excavado, reduciendo así los costos de aplicación
- El suelo o el agua puede ser reutilizado después del tratamiento
- De gran aceptación ambientalista y público en general
- De uso en la recuperación de suelos y aguas subterráneas en un mismo ecosistema.
- Aplicable a gasolina, explosivos, solventes, metales pesados.

De acuerdo a Cunningham et al., (1997), esta técnica puede presentar ciertos obstáculos al momento de su aplicación, tales como la ubicación del contaminante más allá de la profundidad radical de la planta empleada, y/o cuando ejerce efectos fito toxicológicos a la planta. Otro aspecto limitante a considerar, es lo relativo a la imprecisión del tiempo que dura el proceso, por lo tanto, y en función de superar esas limitaciones, se hace necesario estudiar y comprender los procesos y las fases involucradas, e interacciones con los microorganismos.

Según Suarez y Flórez (2017), explican que de acuerdo con el tipo de contaminante y las condiciones del área acuática, la fitorremediación puede utilizarse como medio de contención a través de la rizofiltración, la fitoestabilización y fito-inmovilización; o como medio de eliminación a través de la fitodegradación, la fitoextracción y la fitovolatilización, como se observa en la figura.

Figura 1. Fitorremediación.



Fuente: <https://geoinnova.org/blog-territorio/curso-restauracion-fitorremediacion/fitorremedicacion/>

2.2 Procesos o mecanismos involucrados en la fitorremediación.

2.2.1 Fitoextracción o fitoacumulación: Consiste en la absorción de contaminantes por las raíces; implica la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje. Este mecanismo ha sido ampliamente estudiado en plantas que acumulan metales (Banks et al., 2000), y con materiales radioactivos (Dushenkov, 2003).

2.2.2 Fitoestabilización: es un mecanismo que utiliza la planta para desarrollar un sistema denso de raíces, el cual le permite reducir la biodisponibilidad y la movilidad de los contaminantes, evitando así el transporte a capas subterráneas o a la atmósfera (Joner y Leyval, 2003).

2.2.3 Fitodegradación: consiste en la transformación de los contaminantes orgánicos en moléculas más simples. En determinadas ocasiones, los

productos de la degradación le sirven a la planta para acelerar su crecimiento, en otros casos los contaminantes son transformados (Pilón, 2005).

2.2.4 Fitovolatilización: se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera (López et al., 2005).

2.2.5 Fitoestimulación o rizodegradación: Como parte principal de la fitorremediación, el sistema radical de las plantas tiene un papel preponderante en la capacidad de adaptación, supervivencia, absorción de nutrientes y agua en suelos contaminados. De manera particular, la rizósfera tiene especial importancia en la degradación de compuestos orgánicos de origen natural y xenobióticos. El sistema radical además de liberar enzimas que inician la oxidación de los contaminantes orgánicos, también contribuye significativamente a la estimulación de la actividad de grupos microbianos responsables de la oxidación, degradación y completa mineralización de los contaminantes en el suelo (Joner y Leyval, 2003).

2.2.6 La rizofiltración: La rizofiltración, es una técnica de fitorremediación que usa raíces de plantas para descontaminar agua superficial, subterránea o efluentes líquidos contaminados con metales pesados, toxinas orgánicas, entre otros elementos, (García et al.).

Las plantas que se utilizan con este fin se cultivan en invernaderos, con las raíces sumergidas en agua, en lugar de tierra. Cuando el sistema radicular de la planta; esto significa, (conjunto de raíces de la misma planta), está bien desarrollado, sus raíces se colocan en contacto con el agua o efluente a tratar.

“Algunos ejemplos referenciales del uso de la rizofiltración para el tratamiento de agua contaminada con petróleo se tienen en Virginia (USA), donde se utilizaron plantas de pasto y trébol. En la India se aplicó para el tratamiento de agua contaminada con cadmio, plomo y níquel empleando raíces de mostaza, geranio y girasol. Esta técnica se ha aplicado incluso para el tratamiento de agua con residuos radiactivos, en Chernobyl (Ucrania), donde se usaron plantas de girasol”. Guevara, Torre, Villegas y Criollo (2009).

2.3.1 Plantas que realizan el proceso de fitorremediación.

Según algunos investigadores precisan que existe una infinidad de especies vegetales utilizadas en el proceso de fitorremediación dando resultados satisfactorios en cuanto al contaminante removido, como por ejemplo el Pireno, en donde nueve especies diferentes se sometieron a un proceso fitorremediador con un suelo contaminado con 78.4 ppm donde se obtuvo el 74% de remoción en 8 semanas, Liste y Alexander (2000).

También otros autores sometieron a la festuca arundinacea en un suelo contaminado con 50.000 ppm de hidrocarburos totales de petróleo alcanzando una remoción del 50% según Huang et al., (2005).

Son numerosas las especies de plantas que han sido estudiadas con la finalidad de uso como fitorremediadoras de metales pesados e hidrocarburos del petróleo. Muchas de ellas tienen la capacidad de metabolizar o inmovilizar hidrocarburos del petróleo por medio de numerosos procesos (Pérez et al., 2002), a la vez que estimulan las poblaciones de microorganismos en el sistema rizosférico.

Muchas plantas se caracterizan por tener la capacidad de crecer y desarrollarse en suelos contaminados con compuestos xenobióticos, ejemplos ellas, son: *Amaranthus tricolor* Linn., *Brassica Parachinensis* Bailey,

Raphnussativus L., Ipomoea aquatica Forsk, Glycine max Merr., Phaseolus vulgaris L., Brassica chinensis L., Brassica oleracea L., Spinacea oleracea L., Solanummelongena L. y Lolium multiflorum Lam, las cuales han sido capaces de remediar hasta un 0,01% de fenantreno y 0,24% de Pireno del suelo contaminado (Gao y Zhu, 2004).

De la misma manera en Venezuela se llevan a cabo experimentos que ayuden a mejorar el medio ambiente, de allí surgió la estrategia de evaluar algunas plantas preseleccionada con capacidad de ser fitorremediadoras, por lo tanto se eligieron 57 especies nativas de sitios con petróleo y se identificaron 18 Fabáceas, 19 gramíneas, 17 herbáceas, estas especies vegetales conforman una importante base para el estudio de fitorremediación, Merkl et al., (2004).

Más tarde Brandt et al., (2006), expresaron que la planta de vetiver (Vetiveria zizanioides L.), era tolerante a la presencia de crudo. En este sentido muchos investigadores desde algunos años han dado aportes para contribuir a las industrias y disminuir la contaminación del agua/tierra para ayudar a la descontaminación de los ecosistemas.

2.3.2 Criterios de selección de plantas para la fitorremediación.

La eficiencia de remoción de contaminantes durante el proceso de fitorremediación dependerá principalmente de la especie de planta utilizada, el estado de crecimiento de las plantas, su estacionalidad y el tipo de metal a remover. Por lo mismo, para lograr buenos resultados, las plantas a utilizar deben tener las siguientes características:

- ▲ Ser tolerantes a altas concentraciones de metales.

- ▲ Ser acumuladoras de metales.

- ▲ Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad.
- ▲ Ser especies locales, representativas de la comunidad natural.
- ▲ Ser fácilmente cosechables.

3.1 Tratamiento de aguas residuales utilizando plantas que realizan la fitorremediación.

Tanto en Venezuela y otros países del mundo, tales como México, Ecuador, Perú, Chile Bolivia y Colombia podemos evidenciar los distintos esfuerzos que se realizan para poder minimizar los daños ecológicos que se presentan en distintos campos laborales, la mayoría de estos daños son dadas por acciones antrópicas, son muchos años de investigación y trabajo donde se reflejan los grandes avances y el empeño en esta temática, que se han logrado representar estudios de mucho valor y peso con grandes aportes tecnológicos, pero falta bastante para lograr un trabajo conciso y beneficioso para los distintos entornos que están involucrados con la contaminación de muchas tierras y campos, por lo cual se dan apartes de las problemáticas en distintos países y se han hecho estudios de plantas acuáticas como terrestres, las cuales han servido, indicando que son capaces de remover, inmovilizar, transformar o degradar algunos contaminantes presentes en donde ellas crecen, estas plantas pueden llegar a dar respuesta a las aguas contaminadas, usualmente producidas o generadas por las industrias y pueden resultar de gravedad para los ecosistemas en donde el agua es enviada, y estas tienen la potencialidad de coexistir en ambientes no tan puros.

“Existen alternativas como es el uso de plantas acuáticas, que por su capacidad de asimilación de nutrientes, son empleadas para el tratamiento de aguas residuales, tal es el caso de estudios realizados con plantas flotantes como *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua), *Salvinia mínima* (oreja de

ratón) y *Eichhornia Crassipes* (lirio acuático), que han demostrado ser capaces de atrapar metales pesados del agua” Oporto, (2001). p.4

“Además la *Eichhornia Crassipes*, *Ipomoea acuática*, *Limnocharis flava*, *Pistia stratiotes* y *Salvinia mínima*, son capaces de absorber elementos como N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe y Mn de los ecosistemas acuáticos (Garcés, 2006)”. “Se considera a la *Pistia stratiotes* y *Salvinia mínima* cosmopolitas, porque se localizan en zonas tropicales de América, Asia y África” (Jiménez, 2001), p. 4.

De acuerdo con Crow (2002), el crecimiento de la *Pistia stratiotes* y *salvinia mínima* es rápido, se despliegan a finales de primavera y principios de verano, además se desarrollan en regiones tropicales y subtropicales y en lugares como pantanos, lagunas, canales, lo que las hace excelentes candidatas para ser utilizadas en la remoción de exceso de nutrimentos en cuerpos de agua.

Adicionalmente las plantas tienen un papel muy importante en la estructura y funcionamiento de lagos someros, y constituyen, por lo tanto, un elemento clave en el diseño de estrategias de conservación y rehabilitación de ambientes acuáticos (Olguín et al., 1994; Meerhoff y Mazzeo, 2004).

3.2 Lemna spp.

Lemna es un género de plantas acuáticas de libre flotación de la familia de las lentejas de agua *Araceae*. Las lentejas de agua se han clasificado como una familia separada, las *Lemnaceae*, pero otros investigadores del Grupo para la Filogenia de las Angiospermas APG II las consideran en las *Araceae*. *Lemna* spp. Crecen libremente, flotando sus tallos en o justo debajo de la superficie del agua. Muchos son pequeños, no más de 5 mm de longitud.

Figura 2. Lemna spp.



Fuente. <https://www.flowgrow.de/db/aquaticplants/lemna-spp>

3.3 Pistia stratiotes.

Las plantas de *Pistia stratiotes* flotan en la superficie del agua con sus raíces que cuelgan sumergidas debajo de las hojas flotantes. Es una planta perenne monocotiledónea con las hojas gruesas, suaves que forman una roseta. Las hojas pueden tener hasta 14 centímetros de largo y tener algún vástago, son de márgenes verdes, con las venas paralelas, onduladas ligeras y se cubren con pelos cortos que forman como la estructura de una cesta que atrapan burbujas de aire, aumentando la flotabilidad de la planta. Las flores son dioicas, y se ocultan en el centro de la planta entre las hojas, las bayas verdes pequeñas se forman después de la fertilización.

La planta puede también realizar un tipo de reproducción asexual, la planta madre y las hijas están conectadas por un estolón corto, formando densas esteras que cubren las superficies de charcas y de ríos de caudal lento.

Figura 3. Pistia stratiotes.



Fuente. <http://latour-marliac.com/en/floating/54-pistia-stratiotes-water-lettuce.html>

En la **tabla 1** se muestran algunas líneas de investigación registradas en diversas instituciones y proyectos de fitorremediación en México financiados por el Conacyt o por programas de apoyo institucional local.

Tabla 1. Líneas de investigación sobre fitorremediación.

Línea de investigación y proyectos en desarrollo	Contaminante	Medio	Institución	Estado	Año
Fitorremediación de aguas residuales de granjas porcinas y de procesamiento del café	Materia orgánica y nutrientes	Agua	Inecol	Veracruz	1994
Bioabsorción de plomo, cadmio y arsénico empleando dos plantas acuáticas flotantes tropicales (<i>Spirodela polyrrhiza</i> y <i>Salvinia</i>) en lagunas de flujo tapón	Metales pesados	Agua	Inecol	Veracruz	2001
Desarrollo de un bioadsorbente a partir de la biomasa de <i>Spirulina</i> sp					2001
Remoción de arsénico de efluentes mineros y aguas subterráneas por plantas nativas acumuladoras mediante la implementación, a escala piloto, de humedales construidos	Metales pesados	Agua	Cimav	Chihuahua	2001
Remoción electroquímica de metales de la biomasa de plantas o bioadsorbentes	Metales pesados	Agua	Cideteq	Querétaro	2001

Fuente: Elaboración propia basada en datos obtenidos de:

https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

Tabla 2. Continuación de líneas de investigación sobre fitorremediación.

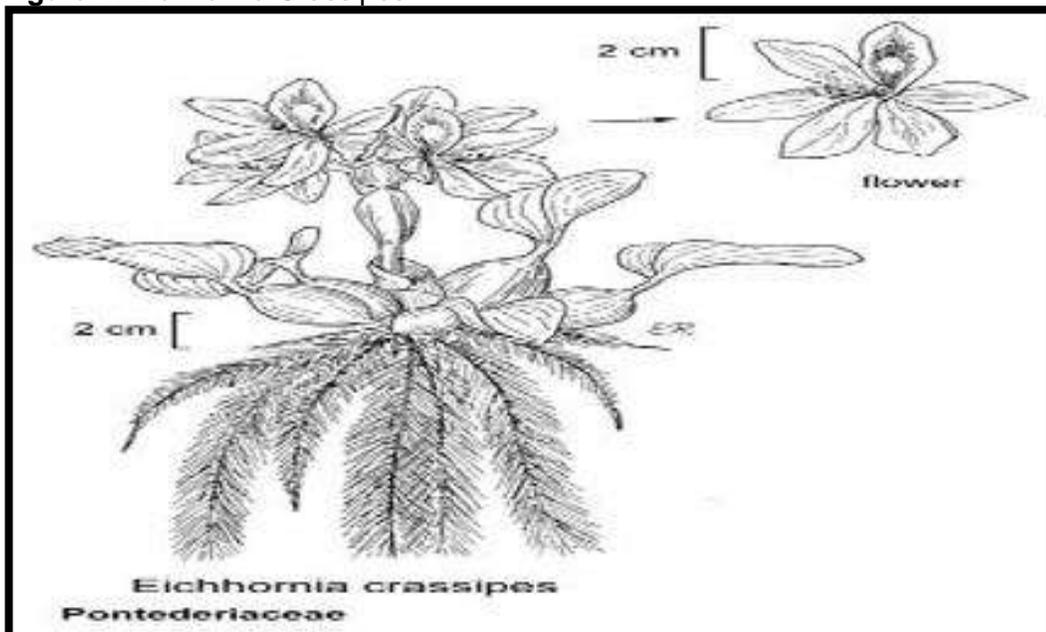
Línea de investigación y proyectos en desarrollo	Contaminante	Medio	Institución	Estado	Año
Uso del lirio acuático (Eichhornia Crassipes) para la remoción de metales pesados de aguas contaminadas.	Metales pesados	Agua	Cideteq	Querétaro	2001
Producción de fitoquelatinas por Salvinia minima expuesta a plomo y arsénico	Metales pesados	Agua	CICY	Yucatán	2001-
Mejoramiento de la capacidad de remoción de plomo y arsénico por plantas acuáticas					
Remoción de contaminantes y patógenos de aguas residuales por el método vertical de raíces, utilizando plantas de la región	Materia orgánica y patógenos	Agua	UADY	Yucatán	98-02
Fitorremediación de metales pesados en el tanque Tenorio y su impacto ambiental	Metales pesados	Agua	UASLP	San Luis Potosí	2002-

Fuente: Elaboración propia basada en datos obtenidos de: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

3.4.1 Planta utilizada como fitorremediadora para absorber contaminantes, *Eichhornia Crassipes* (Bora o Jacinto de agua).

El Jacinto de agua es una especie invasora que se multiplica rápidamente; la principal característica del buchón o Bora es, que tiene la capacidad de purificar el agua contaminada. Se ha demostrado en trabajos anteriores que esta planta *Eichhornia Crassipes* presenta una alternativa segura para la fitorremediación de Arsénico además la eficiencia que obtuvo en remoción fue alta debido a su producción de biomasa y las concentraciones del Arsénico no influyeron en el desarrollo de la planta.

Figura 4. *Eichhornia Crassipes*



Fuente: http://ucjeps.berkeley.edu/eflora/eflora_display.php?tid=23856

Suarez y Flórez (2017), en su investigación de evaluación in vitro de la Taruya (*Eichhornia Crassipes*) como agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo; describe fundamentándose en otros autores a la “*Eichhornia Crassipes*, como una especie macrófita flotante, de raíces sumergidas, dotada de un rizoma emergente, del cual se abre un rosetón de hojas casi circulares de 2,5 a 16 cm de largo y de 3 a 12 cm de ancho, con

superficie esponjosa y notablemente inflada que le permite mantenerse sobre la superficie del agua.

Asimismo en la búsqueda del cumplimiento de su investigación fundamentan teóricamente que el número de flores por espiga en la *Eichhornia C.* es variable, encontrándose dispuestas aisladamente una por una, sobre el raquis veloso, en los dos tercios superiores, existiendo flores en la parte basal, cubierta por la espata.

Las flores se presentan en una espiga de duración efímera entre 1 y 3 días, luego sufren el encorvamiento paulatino del pedúnculo, para sumergirse y fructificar bajo el agua. Pueden medir hasta 5 cm de largo, son de color lila, variando de azul a morado, con la base tubulosa y hacia el ápice dividida en 6 segmentos desiguales, 3 externos y 3 internos

Cuando son jóvenes sus raíces son fibrosas, tienen una longitud entre 10 y 30 cm, de color negro con extremidades blancas y cambian a negro violáceo cuando son adultas, momento en el cual se convierten en un excelente soporte para el desove de las especies ovíparas y en un refugio para los alevines, incluso en ellas se desarrolla una microfibra que sirve como alimento inicial para los mismos. Gracias al potente sistema radicular de la planta, las raíces pueden alcanzar más del 50% de su biomasa". Pág. (16-17).

Cabe destacar que la planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes. Posee un sistema de raíces, que pueden tener microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de la planta y son capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados, (como cadmio, mercurio y plomo específicamente).El mecanismo para lograr esto es por medio de

formaciones de complejo entre el metal pesado con los aminoácidos presentes dentro de la célula, previa absorción de estos metales a través de las raíces.

3.4.2 Mecanismos de fitorremediación que realiza la Eichhornia Crassipes.

En los procesos de filtración que realiza esta la fitoestimulación fitovolatilización, fitoestabilización, y la rizofiltración que consiste en purificar aguas que tengan toxinas orgánicas, líquidos contaminados, metales pesados entre otros. La función de la planta en este proceso es remover por medio de la raíz aquellos contaminantes que sean peligrosos, y esto lo hace de la siguiente forma:

La raíz absorbe los metales pesados en la planta, y esto lo hace por un proceso de difusión en el medio, y por intercambio de cargas electrónicas. Es importante resaltar que la raíz de dicha planta posee cargas negativas, mientras que los metales tienen cargas positivas, lo que implica que en el momento que la rizodermis interactuó con los metales y entrarán en un equilibrio dinámico, esto facilitará la entrada al interior de la célula de la planta, así los cationes entran por la pared celular, y finalmente cuando las cargas positivas se adhieran a las cargas negativas de la pared celular los metales serán transportados por dos vías la apoplástica o la simplástica, la apoplástica es aquella donde los metales entran disueltos en el agua, y siguen la ruta por los espacios intercelulares y por las paredes celulares, mientras que por la vía simplástica solo entran los iones necesarios y no es precisa su selección. De esta forma es como explican que se hace el proceso de rizofiltración.

Las ventajas de tal método radican en no producir contaminantes secundarios y no son necesarios lugares para desechos, por lo tanto es poco perjudicial en el ambiente, se puede reciclar recursos naturales como el

agua, estas son algunas de las ventajas que existen por utilizar la Bora como proceso de purificación del agua.

Experimentos realizados demuestran que mediante el uso de esta planta se pueden obtener buenas eficiencias en la remoción de los contaminantes más comunes de aguas residuales, siendo significativo las remociones en carga de nitrógeno entre 7 y 38 kg de NTK/Ha.d ¹ y cargas de fósforo entre 0,9 y 13 kg de Pt/Ha.d, observándose que el tamaño de la planta así como su sistema radicular influyen en la remoción de contaminantes. Las plantas utilizadas presentan velocidades de crecimiento entre 123 y 487 g/m².d (peso húmedo), con un contenido de proteínas entre 25 y 30% (base seca), Obando Johanna (2006).

Estos tratamientos son capaces de eliminar, hasta cierto punto, casi todos los constituyentes del agua considerada como contaminantes.

- Sólidos suspendidos
- Materia Orgánica
- Nitrógeno
- Fósforo
- Elementos traza.
- Compuestos orgánicos de traza.

¹ NTK: Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L; Ha.d: hectáreas por días.

Figura 5. Eichhornia Crassipes.



Fuente: <http://jehuite.blogspot.com/2008/06/un-taller-sobre-el-lirio-acutico.html>

La Eichhornia Crassipes ha sido aplicada a sitios contaminados con:

- Metales pesados (plomo, cadmio, hierro, cobre)
- Pesticidas
- Solventes
- Explosivos
- Petróleo crudo.

En la **tabla 2**, mostrada a continuación se presentan las características de la especie vegetal Eichhornia Crassipes.

Tabla 3. Características de la especie (Eichhornia Crassipes).

Características de la especie (Eichhornia Crassipes).	
Nombre científico o latino	Eichhornia Crassipes
Nombre común o vulgar	Jacinto de agua, camalote, lampazo, violeta de agua, buchón, taruya, lirio de agua
Familia	Pontederiaceae (Pontederiáceas).

Origen	En la cuenca del Amazonas, en América del Sur
Multiplicación	Mediante división de los rizomas, por medio de estolones
Especie	Especie flotante de raíces sumergidas
Tallo	Carece de tallo aparente.
Rizoma	Provista de un rizoma; muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática.
Hojas	Hojas sumergidas lineares, y las emergidas, entre obovadas y redondeadas, provistas de pequeñas hinchazones que facilitan la flotación.

Fuente: Elaboración propia basada en datos obtenidos de: <https://www.monografias.com/trabajos37/estanques-de-jacinto/estanques-de-jacinto2.shtml>

Tabla 2. Continuación de las características de la especie (Eichhornia Crassipes).

Características de la especie (Eichhornia Crassipes).	
Flores	En verano produce espigas de flores lilas y azuladas que recuerda vagamente a la del Jacinto
Raíces	Las raíces son muy características, negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes, negro violáceo cuando son adultas
	Sol o semi-sombra, requiere iluminación

Luz	intensa, que, si es artificial, deberá ser proporcionada por una rampa luminosa completa.
Temperatura	Se cultiva a una temperatura entre 20-35°C. No resiste los inviernos fríos (hay que mantenerla entre 15-18°C en contenedores con una profundidad de al menos 20cm. y una capa delgada de turba en el fondo).
Agua	Necesita aguas estancadas o con poca corriente e intensa iluminación.
Tolerancia	Demuestra alta tolerancia a metales pesados, cianuro, arsénico, fosforo, nitrógeno entre otros.
Biomasa	Alta producción de biomasa con un buen desarrollo de raíces
Lugar donde se produce	Es adecuada para uso en estanques de tratamiento aguas residuales para adornar pequeños lagos, embalses, pero sobre todo para estanques y también acuarios, se encuentran en los ríos, lagunas y caños.

Fuente: Elaboración propia basada en datos obtenidos de: <https://www.monografias.com/trabajos37/estanques-de-jacinto/estanques-de-jacinto2.shtml>

3.4.3 Reproducción y crecimiento de la *Eichhornia Crassipes*

Suarez y Flórez (2017), definen en su investigación “que la reproducción de la *Eichhornia Crassipes* (Bora), es sexual y asexual. Se reproducen por propagación vegetativa, a partir de fragmentos del tallo (brote) y por estolones. Las semillas suelen ser importantes fuentes de rebrote una vez que son eliminadas las plantas adultas. Pueden duplicar su tamaño en diez días, y durante ocho meses de normal crecimiento, una sola planta es capaz de reproducir 70.000 plantas hijas, que pueden llegar a medir de 0.5 a 1.5 metros desde la parte superior hasta la raíz. Durante la etapa de crecimiento, absorben e incorporan los nutrientes en su propia

estructura y funcionan como sustrato para los microorganismos que promueven la asimilación de estos nutrientes a través de transformaciones químicas, incluyendo nitrificación y des-nitrificación.

Las plantas crecen primero de forma horizontal, hasta que la superficie del cuerpo de agua está prácticamente cubierta y posteriormente comienza el crecimiento vertical, llegándose a encontrar plantas de hasta 1.2 metros desde la inflorescencia hasta la raíz. El tiempo de duplicación de la superficie cubierta por esta vía puede ser de 6 a 18 días en condiciones óptimas de temperatura y humedad, llegándose a alcanzar una tasa de crecimiento de hasta 60 cm/mes y una producción de 140 toneladas de materia seca por hectárea al año. En cuanto a la reproducción sexual, sus semillas pueden permanecer viables de 15 a 20 años. La reproducción por semillas parece ser muy limitada debido a que éstas son sensibles a diversos factores de crecimiento tales como el estrés de oxígeno, luz y temperatura y periodos de inactividad” p.19-20

3.4.4 Condiciones de mantenimiento de la *Eichhornia Crassipes*.

Asimismo, Suarez y Flórez (2017), continúan explicando que; “para crecer necesita superficies extensas y aguas neutras, que mantengan un pH entre 6,8 y 7,5, con una profundidad de al menos 20 cm y preferiblemente a una temperatura entre 20° y 30°C, pero esta puede resistir a temperaturas mas altas como 35°C o 36 °C, aunque en el invierno pueden resistir temperaturas entre 15° y 28°C. Requiere iluminación intensa y aguas con poca corriente, muy bien provistas de principios nutritivos y abonos complejos como pueden ser ciertos elementos contaminantes” p.20.

Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes. Poseen un sistema de raíces, que pueden tener

microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas (Novotny and Olem, 1994).

La *Eichhornia Crassipes* puede remover algunos compuestos orgánicos, tales como: ácido fórmico, colorantes y pesticidas, y disminuir niveles de DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), y sólidos suspendidos (Metcalf y Eddy, 1995). También se han observado reducciones en la concentración de bacterias de los efluentes, por acumularse alrededor de las raíces, lo cual puede convertir a la biomasa en una fuente de contaminación, en cuyo caso se requiere un manejo cuidadoso en su cosecha.

3.4.5 La *Eichhornia Crassipes* sus ventajas y desventajas y trabajos realizados por algunos investigadores, dando utilidad a esta especie.

La *Eichhornia Crassipes* es una especie que depende de las personas verla como maleza o como un producto sustentable que pueda ayudar en diversas áreas, si bien es cierto que puede duplicar su masa muy rápidamente en un cuerpo de agua, así lo expresa la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), pues por su rápido crecimiento puede limitar el libre paso del sol y del oxígeno afectando la supervivencia de animales y plantas con las que comparte el ecosistema, asimismo impedir el crecimiento del fitoplancton, esto reduce la densidad poblacional del zooplancton afectando la cadena alimenticia. A pesar de todo esto es una especie que puede crecer sin ningún problema por fuentes hídricas, ricas en nitrógeno, fósforo y potasio.

Atendiendo a estas consideraciones la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), iniciaron estudios para esta planta, e hicieron una convocatoria internacional con el fondo de CONACYT, donde se involucraba México y otros países como Francia y España, de este modo, el doctor Ernesto Favela Torres del departamento de Biotecnología de la AUM-

Iztapalapa se dedicó por varias décadas a este estudio, pues buscan convertir el lirio acuático en diversos productos, que ayuden al control sustentable de sus poblaciones, se están realizando estrategias de eliminación principalmente en cuerpos de agua productivos como sitios navegables o plantas hidroeléctricas ya que representa grandes cantidades de masa orgánica, cuya movilización puede resultar cara.

El objetivo de estas investigaciones es hacer del lirio acuático un recurso, es así como se propone desarrollar una estrategia de manejo sustentable para no verlo como un problema sino como un insumo, por ello; atendiendo a las virtudes de esta masa orgánica, los involucrados en los proyectos crearon una serie de alternativas que van desde la producción de fertilizantes y combustibles hasta nanopartículas.

Ernesto Torres señala que según las características específicas de las poblaciones de la planta se puede determinar su utilidad, ya que en cuerpos de agua donde halla contaminación con metales pesados o microorganismos patógenos, el lirio tendrá un uso específico y no podrá ser destinado a productos desarrollados para consumo animal o humano. Atendiendo a las características del entorno es que se debe diseñar estrategias de aprovechamiento sustentable pues como el mismo investigador dice “no se trata de crear un negocio del insumo ni mucho menos de erradicarlo”.

Es así como los investigadores trabajan de acuerdo a sus competencias y recursos hídricos. Por decir el grupo de la universidad de Guadalajara (UdeG), estudian el lago de Chápala pues tienen fósforo y nitrógeno debido a detergentes y fertilizantes, sustancias que han facilitado la proliferación de la planta, por otro lado la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), trabajan con el composteo en los canales de agua de Villahermosa, lugar donde se aumenta la proliferación de la Eichhornia

Crassipes, existen otros sitios del mismo estado, en que el lirio acuático puede ser utilizado para ayudar a controlar derrames propios de la industria petrolera, esto se hace en tabasco ya que hay muchos derrames en las zonas petrolíferas. El uso de esta planta se debe a su habilidad para remover diversos elementos como una especie de esponja natural.

Debido a que la *Eichhornia Crassipes* representa una biomasa con altos contenidos de compuestos lignocelulíticos necesarios para la degradación de composteos que llevan a la producción de etanol, este no solo se usa como combustibles, sino que además es un producto con diversas aplicaciones en la industria farmacéutica. En Veracruz, el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca (ITSTB), vinculado al proyecto de la UAM, se enfoca en la producción de etanol, un compuesto químico que se obtiene a través de la fermentación de los azúcares y que derivan a un biocombustible, de esta manera aprovechan los recursos del lirio que crecen en los afluentes de la Cuenca del Papaloapan y trascienden a los estudios a nivel laboratorio.

Del mismo modo, Favela Torres en México trabajan con la planta en las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC), para producir Biogás y Composta, en dicha producción de biogás los especialistas extraen el lirio del agua y separan la materia líquida y sólida para trabajarla por separado pero con el mismo objetivo obtener biogás. También trabajan con el composteo y vermicomposteo, donde el composteo tiene que ver con microorganismos, se trata de una microbiota constituida por diferentes tipos microbianos.

Suarez y Flórez (2017). Presentaron como alternativa “la Taruya (*Eichhornia Crassipes*) para utilizarla en la Biorremediación de aguas contaminadas con cromo; donde dieron como conclusión a sus análisis que la *Eichhornia Crassipes* presenta características propias de la clase

macrófita, que permite su uso como agente de Biorremediación en aguas contaminadas por Cromo (VI). Hecho que se evidencia por la reducción de concentración de cromo en el agua al final del tratamiento, mostrando una reducción promedio de 65,38%, 69,57% y 65,36 para las concentraciones iniciales de 1,2 ppm, 1,5 ppm y 1,8 ppm respectivamente. La capacidad de absorción de metales en la Taruya se favorece debido al alto porcentaje de Celulosa en las raíces y tallos y por la presencia de grupos hidroxilos que posibilitan la formación de puentes de hidrogeno con sustancias externas. Llevándose a cabo la acumulación de metales pesados por bio-absorción al interior de la célula para su difusión como ion metálico por la membrana celular” p.50.

3.4.6 Posibles usos y aplicaciones de la Eichhornia Crassipes.

Juárez L. Gregorio N. (2011). En su investigación cambios en la composición del lirio acuático (Eichhornia Crassipes) debidos a su grado de madurez y a su transformación biotecnológica menciona algunas aplicaciones y usos de la Eichhornia C.

“A pesar de que el lirio pareciera ser el responsable de muchos problemas generados donde ella habita, se debe de pensar positivamente en esta planta como una fuente de biomasa y proteína para muchos procesos actuales (Lindsey y Hirt, 2000 y Malik, 2007). Se han desarrollado diversos procedimientos para darle un uso práctico a esta maleza y otros siguen aún discutiéndose. Algunos de ellos son:

a) Agente de Biorremediación

El lirio acuático es una planta que ha llamado la atención por su capacidad de crecer en agua altamente contaminada además de ser capaz de acumular cationes metálicos principalmente en las raíces. Se sabe que las macrófitas acuáticas son capaces de remover iones metálicos por

adsorción superficial y/o absorción e incorporación de ellos a sus propios sistemas (principalmente enzimáticos) o almacenamiento en forma ligada. Se han llevado a cabo investigaciones a nivel piloto para remover materia orgánica y disminuir la demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales domésticas, obteniéndose resultados prometedores. También se ha demostrado la posibilidad de reducir la DBO en aguas residuales de criaderos de cerdos en estanques piloto e industriales en estado continuo. Por último, se ha observado que los lodos de plantas utilizadas para fitorremediación producen significativamente más biogás que el producido por plantas crecidas en aguas limpias. Debido a estas características, uno de los primeros usos que se le dio fue como agente de tratamiento de aguas residuales y ha sido muy efectivo, al grado que se dice que los suelos húmedos que han sido invadidos por el lirio acuático funcionan como riñones naturales (Malik, 2007; Gakwavu, 2007).

b) Carbonización.

La carbonización es una alternativa que consisten en un proceso de 3 etapas (gasificación, pirolisis y carbonización) del cual es posible obtener carbón que puede ser utilizado como combustible dentro del mismo proceso; sin embargo, se presentan dos problemas en este proceso, el primero es el alto contenido de agua y el segundo es el alto contenido de cenizas (llegando a alcanzar hasta 40% de peso seco) que lo convierten en un combustible de baja calidad (Malik, 2007).

c) Producción de etanol (Bioetanol)

Debido a que los combustibles fósiles son una fuente de energía no renovable, se han buscado alternativas para encontrar fuentes de energía renovables efectivas, que permitan satisfacer las demandas de combustibles en el futuro. La celulosa y hemicelulosa, (componentes del material lignocelulíticos) son considerados como fuertes candidatos para la

producción de etanol como combustible. El alto contenido de estos polímeros que se ha reportado en el lirio acuático indica que éstos podrían ser una buena fuente para la bio-conversión. Debido a su composición, la producción de etanol a partir de él, requiere un proceso de múltiples etapas, entre las cuales se puede incluir la hidrólisis, la fermentación y la destilación. El líquido resultante de la hidrólisis contiene cantidades variables de monosacáridos (pentosas y hexosas) y un amplio rango de otro tipo de sustancias resultantes de la degradación de la lignina o de la reacción de éstas con los azúcares. Por lo anterior, existe el inconveniente de la posible formación de sustancias inhibitorias durante la hidrólisis y que pueden ocasionar efectos negativos en el crecimiento de los microorganismos durante la fermentación. Así que el proceso de fermentación requiere de un microorganismo que sea capaz de fermentar todos los azúcares además de ser resistente a los inhibidores formados (Nigam, 2002). Por otro lado, el contenido de proteína del lirio es adecuado para actuar como fuente de nitrógeno en cualquier proceso fermentativo. Algunos autores han reportado que la productividad de etanol a partir de lirio acuático es equiparable a la obtenida por la fermentación de bagazo de caña (Nigam, 2002). Sin embargo también se ha encontrado que el balance energético en la producción de etanol a partir de lirio es negativo por lo que se ha recomendado su aplicación solo en casos en los que la demanda de alcohol como combustible sea muy alta (Gunnarsson y Mattsson, 2007; Malik, 2007; Nigam, (2002).

d) Producción de biogás

El biogás es un combustible formado por la mezcla de metano (50 – 70%), dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y agua. Esta mezcla gaseosa es formada de manera natural. Se produce espontáneamente en los estómagos de los rumiantes, en el fondo de lagos y pantanos y en los vertederos de basura (Lindsey y Hirt, 2000). La producción de biogás se basa en la digestión anaerobia, proceso a través del cual la materia orgánica

es degradada en ausencia de oxígeno. El biogás resultante puede ser usado para cocinar, calentar, producir energía eléctrica y otros procesos industriales (Gunnarsson y Mattsson, 2007). El gas natural (biogás) es la forma de energía que ha presentado menor impacto ambiental, sobre la salud humana y la contaminación. Esta característica junto con la problemática actual de los combustibles fósiles y otras fuentes de energía hacen que la digestión anaerobia sea un proceso de alto interés para los científicos (Gunnarsson y Mattsson, 2007). Se han reportado altos rendimientos de biogás producido a partir de lirio acuático, y rendimientos aún mejor cuando este se mezcla con desechos animales, obteniéndose también un residuo sólido rico en nutrientes que puede ser usado como abono (Malik, 2007). Se han hecho estudios para aumentar la productividad de biogás estimulando la actividad microbiana modificando algunos aditivos químicos y modificando las condiciones de operación, reportándose en algunos casos que lirio con un alto contenido de metales pesados y lirio utilizado para fitorremediación presentan mayor rendimiento en la producción de biogás (Gunnarsson y Mattsson, 2007). Sin embargo existen algunos factores que limitan el aprovechamiento del lirio a través de este proceso. Entre otros, el gran tamaño de los reactores y equipos, una baja eficiencia en la bio-conversión debido a la alta humedad de esta planta y el pretratamiento obligatorio para eliminar aire atrapado en los tejidos del lirio (Malik, 2007).

e) Composta

Otra alternativa es el composteo, es decir la descomposición aerobia. La composta se puede definir como la descomposición y estabilización biológica de los sustratos orgánicos bajo condiciones que permitan el desarrollo de temperaturas elevadas como resultado del calor generado biológicamente. El producto final debe ser estable, libre de organismos patógenos, semillas de plantas y benéfico cuando es aplicado en la tierra. Para disminuir la evaporación y pérdida de nitrógeno, en forma de amonio, la

composta debe de ser cubierta con paja, pasto o plástico. Es ventajoso usar paja ya que los microorganismos pueden utilizarla como fuente de energía y captar el amonio para satisfacer su demanda de nitrógeno (Gunnarsson y Mattsson, 2007)”; p.11-15.

Además de todo lo dicho anteriormente se propone mirarla como un recurso renovable y crear con ella biocombustibles, absorbentes de hidrocarburos o productos que ayuden a la nutrición de humanos y animales. Así como atacar la contaminación de los cuerpos de agua; para ayudar a controlar el crecimiento de la Eichhornia Crassipes bien conocida también como lirio acuático. Ernesto Favela y Christopher Augur en México, demostraron que con la Eichhornia Crassipes, es posible fabricar biocombustibles como Bioetanol y biogás. También desarrollar una patente para usarlo en la creación de prebióticos, moléculas que favorecen el crecimiento de las bacterias que ayudan a procesar los nutrientes de los alimentos. Resaltando que esta planta es vista como un problema, porque no se ha sido capaz de generar estrategias para su aprovechamiento.

La Eichhornia Crassipes que esta contaminada con metales pesados u otro contaminante, no podrá destinarse para obtener productos de nutrición animal o humana, por lo que debe existir otra estrategia o camino para su aprovechamiento luego que esta contaminada.

Ese camino lo comenzaron a trazar los hermanos José Carlos, José Lorenzo y Silvestre Vargas, quienes en 1999 fundaron Tecnología Especializada en el Medio Ambiente (TEMA), empresa cuya materia prima es la Eichhornia Crassipes. No son biotecnólogos, pero la curiosidad y su espíritu innovador los llevó a este vegetal.

Hallaron que su estructura es muy porosa, dice José Carlos Vargas, director de TEMA, además de que tiene una alta capacidad de absorber contaminantes. La empresa desarrolló una técnica para sacarlo, secarlo y

procesarlo y con ello crear materiales para limpiar suelos contaminados con hidrocarburos y aceites. Hoy su producto se utiliza en el sector automotriz, petrolero y minero

César García Díaz, actual director de la carrera de Ingeniería en Biotecnología en el Tecnológico de Monterrey, de México, conoció los productos de la empresa TEMA y decidió estudiar por qué el lirio acuático tenía esa capacidad de absorber contaminantes.

En su búsqueda encontró que el lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*), incluso después de ser secado y procesado, conserva una textura que lo hace ser una especie de esponja, donde se albergan bacterias capaces de degradar hidrocarburos.

El lirio absorbe parte del contaminante del suelo, lo lleva a donde está el microorganismo y éste lo empieza a degradar. Encentrándose que los microorganismos no siempre van a ser los mismos, cambian dependiendo de cada lote de lirio

El doctor García expresa; que se puede utilizar como material para crear biofiltros, donde se coloquen microorganismos que tengan la capacidad de degradar contaminantes volátiles.

Los estudios y actividades que hasta ahora la empresa tema han realizado a nivel nacional contempla metodologías, procesos y productos derivados del procesamiento de la *Eichhornia Crassipes*, entre ellos la producción de un cereal para consumo humano, alimento para ganado, fertilizante de suelo, agente para fijar plaguicidas y como alternativa para generar energía.

Estos son algunos de los usos y estudios que actualmente se le está dando a esta especie, por esta razón también se implementó estudiar la

Eichhornia Crassipes para remover fenoles ya que este contaminante puede resultar perjudicial para la vida y el ecosistema, además de encontrarse en las aguas de producción.

4.1 Diferentes tratamientos de remediación.

En la tabla 3, se muestran las principales ventajas y desventajas del uso o aplicación de los métodos biológicos, fisicoquímicos y térmicos, clasificación de acuerdo al tipo de tratamientos para el agua.

Tabla 4. Principales ventajas y desventajas de lo tipos de tratamientos.

	Ventajas	Desventajas
Tratamientos biológicos	Son efectivos en cuanto a costos. Son tecnologías más benéficas para el ambiente, los contaminantes generalmente son destruidos; se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior.	Quieren mayores tiempos de tratamiento, es necesario verificar la toxicidad de intermediarios y/o productos, no pueden emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano
Tratamientos fisicoquímicos	pueden realizarse en periodos cortos, el equipo es accesible y no se necesita de mucha energía ni ingeniería	Los residuos generados por técnicas de separación, deben tratarse o disponerse, aumento en costos y necesidad de permisos. Los fluidos de extracción pueden aumentar la movilidad de los contaminantes: necesidad de sistemas de recuperación

		Pueden causar problemas secundarios.
Tratamientos térmicos	Permite tiempos rápidos de limpieza	Es el grupo de tratamientos más costoso. Los costos aumentan en función del empleo de energía y equipo. Intensivos en mano de obra y capital

Fuente: Zambrano K. (2012).

Desde otra perspectiva, el agua de producción que se halla en las estaciones de flujo tiene que ser tratada para su posterior traslado, por lo que se hace necesario enfatizar primeramente la actuación ambiental que presenta PDVSA así como la problemática ambiental generada. Por tanto a continuación se muestra las tareas o actividades que realiza la corporación para cumplir con las normativas regidas por el ministerio del ambiente.

5.1 PDVSA y su Actuación Ambiental

Nidia C. Morales M. (2010); relata en su investigación de una Metodología para la aplicación de las Normas ISO 14001:2004. En una estación de flujo; que “La protección del ambiente constituye una prioridad para PDVSA, en su esfuerzo por lograr el desarrollo de la industria en armonía con el ambiente y la seguridad del personal, se basa en la política programas y acciones que supone la inversión de importantes recursos materiales y humanos para preservación del ambiente. Específicamente la corporación realiza tareas para prevenir y controlar situaciones que puedan afectar los ecosistemas de las áreas operacionales, investigaciones que permitan minimizar el impacto ambiental de sus actividades, labores de apoyo a las instituciones responsables de la preservación de la naturaleza y campaña para concienciar a la colectividad sobre la protección del ambiente.

PDVSA intervienen en la manufactura de productos limpios, tratamientos de efluentes líquidos, control de emisiones atmosférica, disposición de residuos industriales, conservación del suelo y construcción de obras de infraestructura ambiental. En cuanto a la prevención de contingencias, se actualizarán los planes correspondientes y se realizan simulacros de derrames de petróleo, productos de hidrocarburos y sustancias peligrosas, los cuales refuerzan la preparación del personal y permitan evaluar y comprobar la eficiencia de los equipos y procedimientos establecidos. El compromiso de PDVSA con la preservación ambiental también se evidencia con programas de preservación de parques nacionales y al proveer asistencia técnica al sector agrícola venezolano. De acuerdo a la política corporativa de Seguridad Higiene y Ambiente ahora llamada Ambiente Higiene Ocupacional, de la corporación se han ejecutado proyecto por un monto de 29 mil millones de bolívares, dirigidos a disminuir el nivel de azufre en los crudos pesados y diesel, reducir los niveles de plomo en la gasolina; y desarrollar métodos de control de derrame en agua marina, sistema de tratamiento y control de efluentes y emisiones atmosféricas, manejos de desechos industriales y saneamiento de áreas afectadas, mejoradas en la calidad de emisiones y efluentes de refinerías y petroquímicos, y elaboración de estudios de impactos ambientales para los proyectos mayores.

La gerencia que lleva a cabo todo lo citado anteriormente es la Gerencia de AHO, con la ayuda de INTEVEP para el desarrollo de nuevas tecnologías”. p. 21-22.

5.2 Problemática Ambiental en La División Centro Sur

Nidia C. Morales M.(2010); continua explicando que “una de las características muy particulares que presenta la División Centro Sur con respecto a las demás Divisiones que conforman a PDVSA, es el alto caudal asociado al crudo producido, la proporción de agua crudo se encuentra en el orden 10/1 BA/BP. Esta condición aunada a la poca disponibilidad de pozos

que puedan ser convertidos en inyectores, no permite la utilización del método más usado a nivel mundial para la disposición de las aguas de producción como lo es la inyección de dichas aguas en pozos productores inactivos o de poca producción, ya que la construcción de nuevos pozos resulta muy costosa. Al no poder utilizarse el método de inyección para la disposición de las aguas de producción, estas aguas deben ser tratadas previamente para su posterior disposición en caños o esteros.

Las mayorías de estas aguas contienen concentraciones de fenoles, hidrocarburos, nitrógeno, cloruros, sulfuros y altas temperaturas, por encima de las regulaciones ambientales. De acuerdo a la información de campo, históricamente esta agua venía siendo vertida al ambiente, siendo tratado el efluente principalmente para remoción de crudo, dada la conveniencia de su recuperación. Actualmente a pesar de las investigaciones efectuadas y a la optimización a los sistemas de tratamiento existentes, aún persisten las concentraciones de los contaminantes fuera del límite impuesto por la legislación”, p.24-25.

Es necesario conocer la problemática ambiental que presenta la División Centro Sur, para lograr atender esas deficiencias, y contribuir con diferentes estrategias y tecnologías solucionando los parámetros que se presentan a lo largo de las actividades que allí se realiza, además de causar deterioro al ambiente. De allí parte la importancia de generar alternativas en las distintas problemáticas presentadas en una estación de flujo. Este trabajo se centra en proponer una biotecnología en donde se presente la fitorremediación por medio de *La Eichhornia Crassipes* para darle solución a uno de los parámetros que afectan las aguas de las estaciones de flujo como lo es el fenol. Ya que es tolerante tanto a los metales pesados como a otros contaminantes que también afectan dichas aguas.

A continuación se presenta la ubicación e información general de la estación Sinco D, la cual dará un conocimiento más consolidado del lugar donde se tratan estas aguas, de los procesos que allí se realizan y la cantidad de producción que llegan de los pozos activos, además del lugar a donde van las aguas luego de pasar por los distintos procesos de tratamiento.

5.3 Estación Sinco D.

5.3.1 Ubicación Geográfica

Se encuentra ubicada en el área operacional del Distrito Barinas, en Campo Sinco a 70 Km. al sureste de la ciudad de Barinas, en la zona del “El Toreño”, en la vía que conduce hasta la población de San Silvestre, Municipio Barinas, Edo. Barinas. Las instalaciones abarcan un área de 230.000 m². Sus coordenadas geográficas son: N918972.88; E382206.96 referidas al Datum “La Canoa”.

La Estación de flujo recibe, maneja y procesa la producción proveniente de los Campos Silvestre, Hato, Área 16 y Sinco para limpiar y tratar las aguas que son enviadas al ambiente mediante una serie de procesos que se dan dentro de la estación.

Es en esta Estación donde se procesa la mayor cantidad de fluido, estimándose en 180.000 BFPD, con una producción neta de +/- 9.500 BPPD, lo que la ubica en la segunda estación en el manejo de crudo del Estado Barinas. Los cuerpos de agua más cercana y donde son vertidos los efluentes es el caño Morrocoy.

5.3.2 Información General.

Las estaciones de flujo forman parte de PDVSA División Centro – Sur, que a su vez, es una división de petróleo de Venezuela. Los procesos

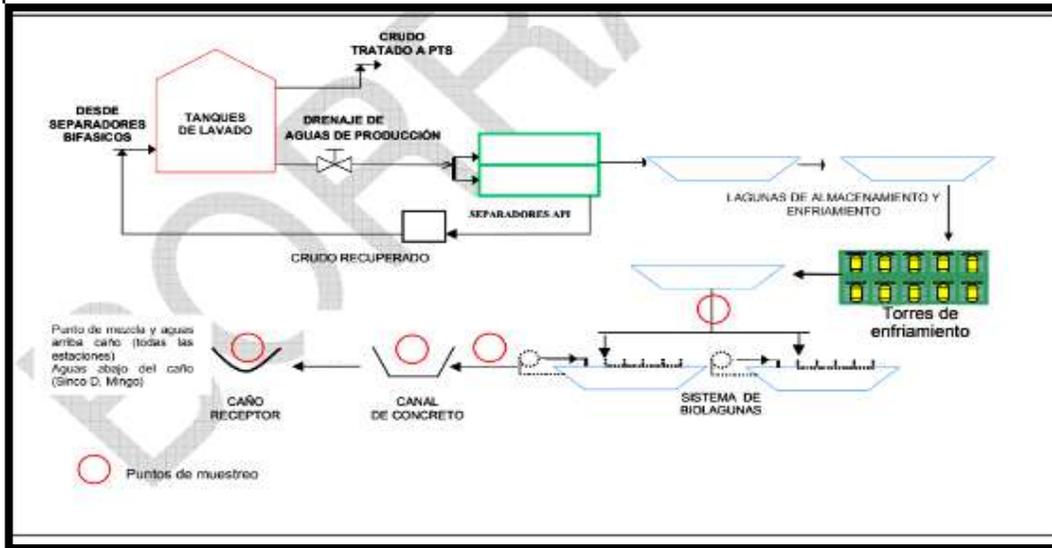
realizados en las estaciones de flujo son: la deshidratación y desgasificación del crudo, y su producto principal es un crudo con un contenido de agua y sedimento menor 1%, el cual es enviado y almacenado en los patio de tanques y de allí es enviado a la Refinería El Palito para su posterior procesamiento. Las estaciones de flujo también son las responsables del tratamiento de las aguas que son generadas en el proceso de deshidratación ante de ser vertida al ambiente. La División Centro-Sur cuenta con estaciones de flujo en las áreas operacional Barinas y Apure ubicadas en los Estados Barinas y Apure respectivamente. Las estaciones de flujo ubicadas en el área operacional Barinas son: Silvan, Sinco "D" y Mingo; en el área operacional Apure se encuentra: Guafita y la Victoria. Las dimensiones de las estaciones de flujo varían de estación a estación ya que las áreas ocupadas por las estaciones van a depender de la cantidad de fluido que llegue a cada estación y de los sistemas de tratamiento de efluentes que se generan en cada una de las estaciones. Todas estas estaciones de flujo se encuentran fuera del perímetro urbano, encontrándose dentro de las fincas o hatos, motivo por el cual PDVSA se ha visto obligada a contraer con los propietarios de dichas fincas o hatos contratos de servidumbre por la utilización de sus tierras. El nombre de la finca y del propietario de la Estación de Flujo Sinco "D" es Mataé Garza de la Sra. Isabel Mora.

La Estación de Flujo Sinco "D" y su Necesidad de Mejorar su Actuación Ambiental. Las estaciones de flujo forman parte de las operaciones de producción que a su vez son las actividades generadoras de efluente debido a que en estas se realizan los procesos de estabilización y deshidratación del crudo proveniente de los pozos de producción. Durante el proceso de estabilización se generan emisiones atmosféricas y en el proceso de deshidrataciones generan cuantiosos volúmenes de agua asociados diversos tipos de contaminantes altas temperaturas, debidos a las características particulares de los yacimientos. Como se dijo anteriormente la

problemática ambiental de la División Centro Sur radica en los grandes volúmenes de agua de producción asociados al petróleo, y precisamente esta agua son manejadas por la estación de flujo, quienes además son los responsables del acondicionamiento adecuado de los efluentes para su posterior disposición al ambiente. Esta situación ha venido generando durante muchos años contaminación a los cuerpos de agua y tierra donde son vertidos estos efluentes, grandes pérdidas de dinero a la División en indemnizaciones a las personas que se ha visto afectadas por esta situación e inconvenientes con los órganos de regulación ambiental.

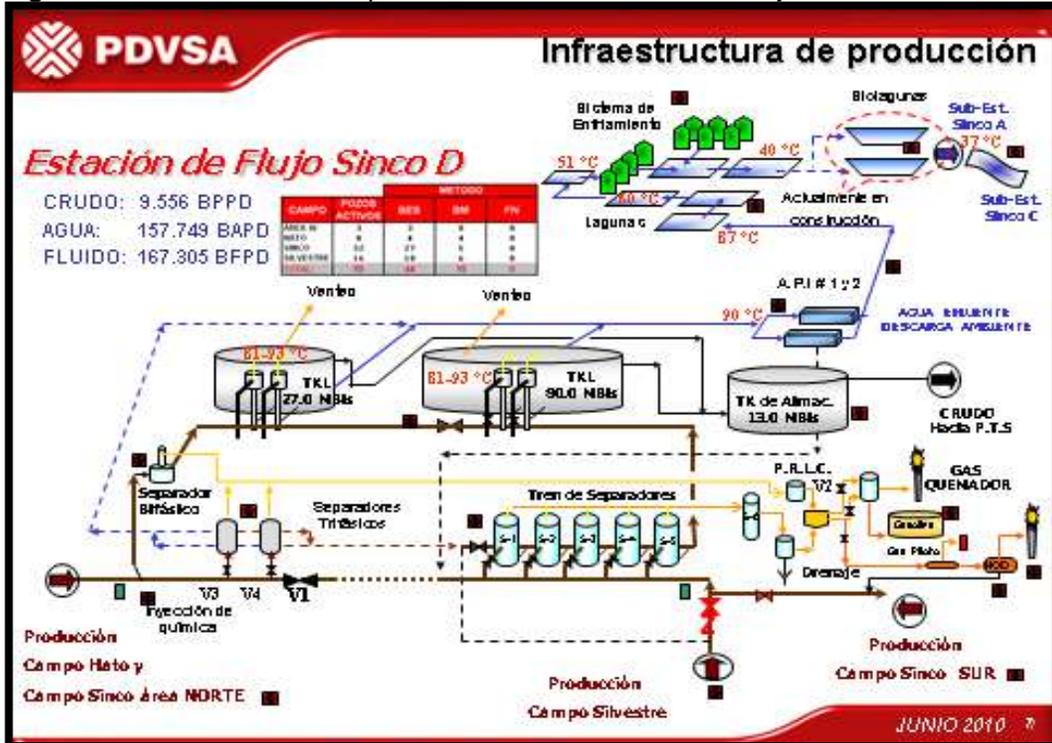
Por todo lo citado anteriormente se hace necesaria la implementación de una alternativa ecológica y sostenible con el medio ambiente, que pueda ser aplicable, eficiente, que contribuya a mejorar el desempeño ambiental que se realiza actualmente en la Estación de Flujo Sinco "D", el cual garantice mejoramiento continuo y aumente los beneficios ambientales, económicos y sociales para la corporación, en este caso empleando una biotecnología conocida como fitorremediación utilizando la *Eichhornia Crassipes* como fuente biorremediadora. A continuación se presenta en la figura 6, un diagrama general de los sistemas de tratamiento de las aguas de producción, en las estaciones Silvan, Mingo y Sinco-D, pertenecientes a la División Boyacá.

Figura 6. Diagrama General de flujo de los sistemas de tratamiento de las aguas de producción



Fuente: PDVSA (2012).

Figura 7. Infraestructura de producción de la estación de flujo Sinco D

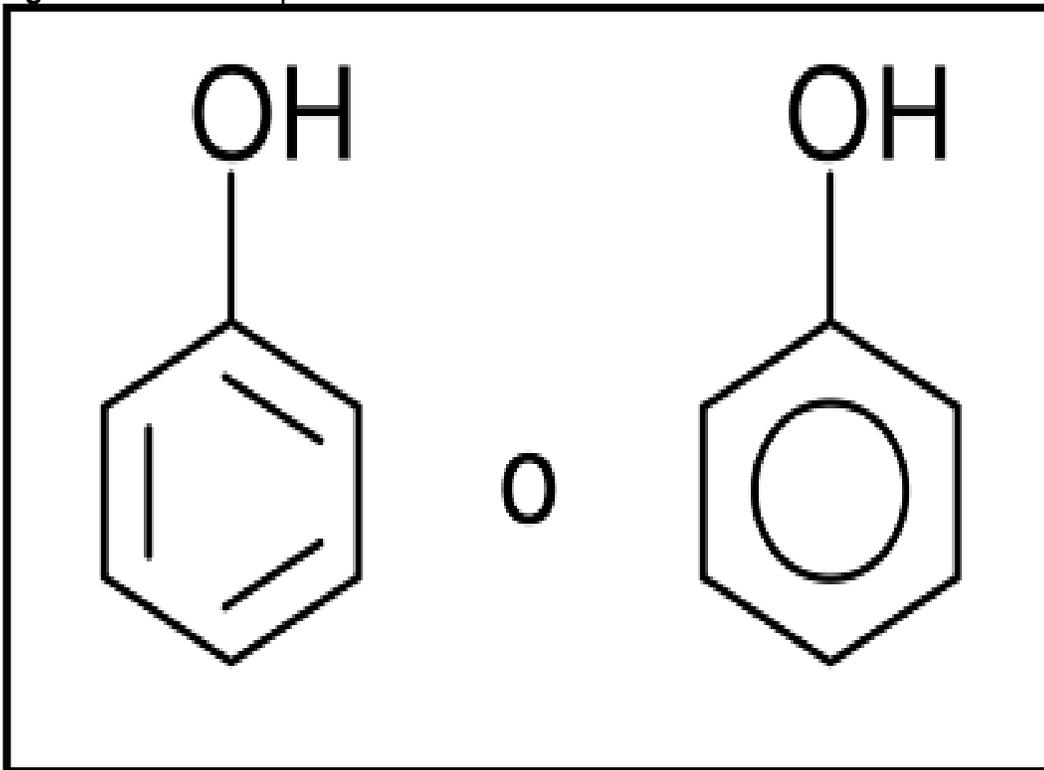


Fuente: PDVSA (2012).

6.1 Descripción General del Fenol

El fenol puede estar en su forma pura como un sólido cristalino de color blanco-incoloro, a temperatura ambiente es conocido como ácido fenico pero puede también ser llamado de muchas formas como ácido carbólico, ácido fenico, alcohol fenílico, ácido fenílico, fenihidróxido, hidrato de fenilo, oxibenceno o hidroxibenceno. Su fórmula química es C_6H_6O . Puede sintetizarse mediante la oxidación parcial del benceno, su estructura química es como se muestra en la **figura 8**.

Figura 8. Estructura química del Fenol



Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fenol>

Tabla 5. Propiedades químicas y formula general

Propiedades químicas	
Acidez	9.95 pka
Solubilidad en agua	8.3 g/100 ml (20 °C)
General	
Formula semidesarrollada	C ₆ H ₅ OH o φ OH
Formula molecular	(C ₆ H ₅ OH)

Fuente: Elaboración propia basada en datos obtenidos de:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Fenol>

Tabla 6. Propiedades físicas del fenol

Propiedades físicas	
Apariencia	Blanco-incoloro
Densidad	1070 kg/m ³ ; 1,07 g/cm ³
Masa molar	94.11 g/mol
Punto de fusión	40,5 °C (314 K)
Punto de ebullición	181,7 °C (455 K)
Color	Sin color a un rosado bajo

Olor	Aromas definidos, algo repugnante, dulce y picante
Solubilidad	Agua: 8.28×10^4 mg.L-1 a 25°C Solventes Orgánicos: Soluble en agua y etanol, muy soluble en éter, miscible con acetona y benceno
pH	4.8-6.0 al 5% en agua

Fuente: Elaboración propia basada en datos obtenidos de:

<https://www.mismumi.com/fenoles/>

6.2 Usos del fenol.

El fenol es usado como material sin procesar en la manufactura de una variedad de químicos incluyendo colorantes, desinfectantes y resinas sintéticas incoloras o ligeramente coloreadas, como reactivo en análisis químicos y como un agente antimicrobiano (Kanekar, 1999). Tanto fenol como componentes fenólicos son comúnmente encontrados en efluentes de procesos industriales, por ejemplo es usado en refinerías, plantas petroquímicas, plantas de cerámica, manufacturación de textiles, fungicidas y herbicidas (Rigo & Alegre, 2004; Tziotzios et al., 2005; Saravanan et al., 2008a; Moussavi et al., 2009). Otras fuentes de agua residual que contienen fenoles son las industrias farmacéutica, producción de plásticos, productos de madera, pinturas, pulpas y papel (Busca et al., 2008).

6.3 Efectos del fenol en el medio ambiente.

Se podría decir que su incidencia con el medio ambiente, es una sustancia nociva para los organismos acuáticos, provocándoles efectos adversos de distinta magnitud en función de la concentración a la que se encuentren expuestos. El fenol está clasificado como un Compuesto

Orgánico Volátil (VOC) y podría contribuir potencialmente a la formación de ozono troposférico, dañino para los cultivos, la fauna y el hombre.

Naturalmente el fenol se forma por la descomposición de materia orgánica. Su incremento ambiental se ve reflejado por la quema de bosques (WHO, 1994). Sin embargo, la mayor cantidad de fenol es liberado al ambiente a causa de la actividad industrial y la comercialización de productos que lo contienen (WHO, 1994; ATSDR, 2008). La combustión que se produce por automóviles también libera fenol a la atmósfera. El fenol pasa al agua y suelos desde el aire por deposición húmeda. Una vez en el suelo, se puede mover por lixiviación con ayuda de la lluvia, llegando a las aguas subterráneas. La evaporación de fenol en agua es lenta (WHO, 1994). El fenol no muestra bioacumulación significativa (IPCS, 1994). Al ser descargado en cuerpos de agua representa riesgo frente a organismos acuáticos. La EPA determinó un nivel de preocupación de fenol de $0.02 \mu\text{g.L}^{-1}$ (WHO, 1994). En concentraciones de 5 a 25 mg.L^{-1} puede ser tóxico y/o letal para los peces (Annachatre & Gheewala, 1996). En concentraciones bajas, el fenol no permanece ni en el aire, ni en el suelo o el agua superficial, esto se debe a que reacciona fotoquímicamente en el aire y en el agua superficial y puede ser biodegradado aeróbica y anaeróbicamente tanto en el agua como en el suelo (WHO, 1994).

Sistema de Variables.

El sistema de variables se relaciona por un conjunto de elementos y factores que describen lo que se va a investigar en donde se hace la definición de los objetivos propuestos juntamente con sus dimensiones y operación de las variables que definen sus respectivos indicadores, ese sistema forma parte de una guía sobre el proceso a seguir en el desarrollo de la investigación.

Igartua y Humanes (2004), define a la variable independiente como aquella que el investigador utiliza para ver en qué medida cambia la variable dependiente, además Hernández (2003) explica a la variable independiente como la propiedad que tiene una variación que puede medirse u observarse, es por esta razón que se considera en este trabajo como variable independiente a la cantidad de remoción de fenoles del agua contaminada empleando un cultivo de Bora, asimismo como el contaminante a utilizar. De la misma manera y basándose en el concepto previo, se designó a la efectividad de remoción de la *Eichhornia Crassipes* como la variable dependiente dado que según Igartua y Humares este tipo de variable es la susceptible a los cambios generados por la variable independiente que se pretende investigar y explicar en el transcurso del desarrollo de esta investigación.

Variable interviniente: “Es aquella que puede influir en la variable dependiente, pero que no está sometida a consideración como variable de investigación” (Ibid, p.60). La variable interviniente que puede influir a la hora de considerar si hubo efectividad de la remoción de fenol constituida como la variable dependiente; es la volatilización de los fenoles.

Mapa de Variables.

Objetivo General: Determinar la efectividad de la Eichhornia Crassipes en tratamientos de aguas de efluentes de la estación Sinco D.

Tabla 7. Mapa de Variables

Objetivos Específicos	Variable	Definición Operacional	Indicadores	Ítems
Describir la conceptualización de la fitorremediación y sus usos potenciales en tratamiento de aguas efluentes.	Fitorremediación y usos potenciales.	Técnica que utiliza ciertas plantas vegetales para remover, acumular, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos, y la adecuación de esta, en la limpieza de lugares contaminados por diversas sustancias.	Fitorremediación, plantas que realizan el proceso de remediación, tratamiento de aguas residuales utilizando plantas fitorremediadoras	2.1 2.3.1 3.1
Indicar las propiedades fitorremediadoras de la Bora (Eichhornia Crassipes), útiles para la remoción de fenoles presentes en efluentes de la estación Sinco D.	propiedades fitorremediadoras	Se definen como las cualidades esenciales que posee la Eichhornia Crassipes para utilizar los mecanismos fitorremediadores.	capacidad metabólica, fitoestimulación, fitoestabilización, fitovolatilización, rizofiltración	2.2 3.4.2
Establecer teóricamente la adaptabilidad de la planta bajo las condiciones físico naturales de la estación de flujo Sinco D.	condiciones ambientales	Conjunto de cualidades presentes en el ambiente necesarias para la normal existencia y cumplimiento de todas las funciones vitales de la Eichhornia Crassipes	temperatura, nutrientes, Iluminación.	3.4.1 3.4.3 3.4.4
Calcular la eficiencia del empleo de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles presentes en muestras de efluentes de la Estación de Flujo SINCO D del Distrito Barinas de PDVSA.	eficiencia de la Eichhornia Crassipes	La eficiencia es aquella que permite el cumplimiento del objetivo planteado en menor tiempo, por medio de esta, se establece si puede emplearse o no como agente fitorremediador	Capacidad Remoción en %. Concentración mg/L	8.1.2

Fuente: Gil Y. (2018)

Tabla 8. Documentos consultados para la obtención de cada variable

Objetivos	Variable	Documento a consultar (Referencias bibliográficas)
<p>Describir la conceptualización de la fitorremediación y sus usos potenciales en tratamiento de aguas efluentes</p>	<p>Fitorremediación y usos potenciales.</p>	<p>Explicado en el marco teórico del presente trabajo, algunos trabajos realizados fueron:</p> <p>2) Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación,</p> <p>8) La fitorremediación: plantas para tratar la contaminación ambiental</p> <p>12) Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones.</p> <p>13) Una Mirada a la Fitorremediación en Latinoamérica.</p>
<p>Establecer teóricamente la adaptabilidad de la planta bajo las condiciones físico naturales de la estación de flujo Sinco D.</p>	<p>Condiciones ambientales</p>	<p>17) Metodología para la aplicación de las normas Iso 14001:2004. En una Estación de Flujo.</p> <p>18) Cambios en la composición del lirio acuático (<i>Eichhornia Crassipes</i>) debidos a su grado de madurez y a su transformación biotecnológica.</p> <p>19) Evaluación In Vitro de la Taruya (<i>Eichhornia Crassipes</i>) como agente Biorremediador en aguas contaminadas con cromo.</p> <p>(Se busco información tanto por fuentes electrónicas como por parte del personal de la estación para lograr cumplir con este objetivo)</p>
<p>Indicar las propiedades fitorremediadoras de la Bora (<i>Eichhornia Crassipes</i>), útiles para la remoción de fenoles presentes en efluentes de la</p>	<p>Propiedades fitorremediadoras</p>	<p>7) Estanques de Jacinto de agua (<i>Eichhornia Crassipes</i>) para tratamiento de residuos industriales</p> <p>9) Mecanismos de Fitorremediación</p> <p>12) Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones.</p>

estación Sinco D.		
Determinar la eficiencia del empleo de la Eichhornia Crassipes en el tratamiento de efluentes.	Eficiencia de la Eichhornia Crassipes	Guía para la calidad del agua, manual para el análisis físico- químico del agua con el Espectrofotómetro RD5000 (anexo)

Fuente: Gil Y. (2018)

Tabla 9. Actividades y Recursos utilizados

Objetivos específicos	Actividades	Recursos
Describir el proceso de fitorremediación empleado en tratamientos de efluentes industriales	- Revisión bibliográfica. - Buscar información de fuentes electrónicas - Transcribir la información - Describir la técnica fitorremediadora	- Lápiz. - Cuaderno de notas. - Computadora. - Internet. - Libros. - Pendrive
Indicar las propiedades fitorremediadoras de la Bora (Eichhornia Crassipes) útiles para la remoción de fenoles presentes en efluentes de la estación Sinco D.	- Revisión bibliográfica - Revisión documental. - Interpretación de la información. - Transcribir la información - Proponer la Eichhornia Crassipes para realizar la fitorremediación	- Lápiz. - Cuaderno de notas. - Computadora. - Pendrive. - Internet.
Establecer teóricamente la adaptabilidad de la planta bajo las condiciones físicas naturales de la Estación de Flujo Sinco D.	- Revisión bibliográfica - Revisión documental. - Entrevista al Ing. Henry Briseño para la obtención de información de las condiciones, físicas naturales de la Estación de Flujo Sinco D	- Lápiz. - Cuaderno de notas. - Computadora. - Internet. - Pendrive.
Calcular la eficiencia del empleo de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles presentes en muestras	- Ir al laboratorio para determinar concentración de fenol en aguas - Transcribir los	- Lápiz - Cuaderno - Computadora - Instrumentos de laboratorio

de efluentes de la Estación de Flujo SINCO D del Distrito Barinas de PDVSA.	resultados obtenidos en laboratorio	-Cuadros o matrices de registro - instrumento Espectrofotométrico DR5000
---	-------------------------------------	---

Fuente: Gil Y. (2018)

Normativa y Aspectos Legales.

La ley es una norma jurídica dictada por el legislador. En la **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela**, en sus artículos 12, 98, 302 cita:

Artículo 12 “El Estado, conjuntamente con la sociedad, deberá orientar sus acciones para lograr una adecuada calidad ambiental que permita alcanzar condiciones que aseguren el desarrollo y el máximo bienestar de los seres humanos, así como el mejoramiento de los ecosistemas, promoviendo la conservación de los recursos naturales, los procesos ecológicos y demás elementos del ambiente, en los términos establecidos en esta Ley”.

Este artículo sirve de base legal para sustentar el desarrollo de la investigación porque establece orientar acciones que contribuyan a una adecuada calidad ambiental para asegurar el bienestar de los seres humanos y el entorno. Tanto el estado como la sociedad deben orientarse y tomar conciencia para ayudar a lograr una adecuada calidad ambiental y alcanzar condiciones para asegurar el desarrollo y bienestar de los seres humanos. Por este motivo cada persona o ente público debe generar propuestas que den resultados satisfactorios y económicos para contribuir al medio ambiente.

Artículo 98. “La creación cultural es libre. Esta libertad comprende el derecho a la inversión, producción y divulgación de la obra creativa, científica, tecnológica y humanística, incluyendo la protección legal de los derechos del autor o de la autora sobre sus obras. El Estado reconocerá y

protegerá la propiedad intelectual sobre las obras científicas, literarias y artísticas, invenciones, innovaciones, denominaciones, patentes, marcas y lemas de acuerdo con las condiciones y excepciones que establezcan la ley y los tratados internacionales suscritos y ratificados por la República en esta materia”.

En este artículo se muestra el derecho que tiene cada persona para innovar, producir, invertir en el desarrollo de una obra o proyecto, dice que el estado reconocerá y protegerá esa propiedad intelectual. Así que el estado debe respaldar las investigaciones que contribuyan al bienestar social y ambiental, así como proteger los derechos del autor.

Ley de aguas. (Gaceta oficial de la república bolivariana de Venezuela), número 35.595

Artículo 10. “Conservación y aprovechamiento sustentable. La conservación y aprovechamiento sustentable de las aguas tiene por objeto garantizar su protección, uso y recuperación, respetando el ciclo hidrológico, de conformidad con lo establecido en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, en esta Ley y en las demás normas que las desarrollen.”

El presente artículo tiene como fin dar solución a la conservación y sustento de las aguas y medio ambiente, va dirigido a proteger y recuperar áreas que se han degradado o contaminado. Por lo que fundamenta la presente investigación destinada a darle solución a las aguas que están contaminadas por las actividades industriales y petroleras en la región de Barinas.

Decreto 883 (Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos).

Artículo 2. “Las acciones de conservación y mejoramiento estarán dirigidas principalmente a la reducción o prevención de la generación de efluentes, mejoramiento de la calidad del efluente, uso de tecnologías de producción más limpia, el establecimiento de límites máximos de elementos contaminantes en los vertidos, así como prácticas de reciclaje y reusó.”

El artículo 2 del decreto 883, busca orientar hacia la toma de conciencia, además es en este decreto donde se establecen límites máximos de elementos de contaminantes en los vertidos para mejorar la calidad del efluente. Este artículo sirve de soporte y respaldan los objetivos que se pretenden alcanzar con el desarrollo de la investigación.

El Artículo 10. A los efectos de éste decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses. El cual defina que el límite máximo de calidad permisible para la disposición de fenoles en cuerpos de aguas es de 0,5 mg/l.

Gaceta oficial de la Republica de Venezuela N° 4103, (Normas sanitarias para el proyecto, construcción, ampliación, reforma y manteniendo de las instalaciones sanitarias para desarrollo urbanísticos).

Artículo 109.

Las aguas residuales de origen doméstico o industrial deberán ser sometidas a un adecuado tratamiento antes de su descarga a un cuerpo de agua o al subsuelo, en un todo de acuerdo con el reglamento establecido para la zona de descarga.

Capítulo XI. Del tratamiento requerido y del sistema para el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico e industrial

Artículo 157.

En general las aguas residuales de origen industrial (según el tipo de industria) de los desarrollos urbanísticos deberán ser sometidas a tratamiento, antes de su disposición final al grado o intensidad y demás características del tratamiento en los que establezca el ministerio de sanidad y asistencia social y el ministerio del ambiente.

Estos artículos mencionados en la gaceta oficial 4103 reafirman lo establecido en el artículo 2 del decreto 883 de las normas para el control de los cuerpos de aguas y efluentes, en el cumplimiento de la preservación y mejoramiento de la calidad de efluentes, donde el ministerio de sanidad también tiene un papel importante además del ministerio del ambiente para imponer normas que deben ser cumplidas por todas las industrias en el debido sometimiento del agua residual a tratamientos que ayuden en beneficio del ambiente.

Ley del Plan de la Patria, Gran objetivo histórico nº 5-

El objetivo V de la ley de la patria establece que se debe “contribuir con la preservación de la vida en el planeta y la salvación de la especie humana”. Y para cumplirlo se proponen otros objetivos estratégicos que ayuden a la ejecución y consolidación de este; algunos de ellos se mencionan a continuación:

“Desarrollar una política integral de conservación, aprovechamiento sustentable, protección y divulgación científica de la diversidad biológica y de los reservorios de agua del país.

Promover la investigación, la innovación y la producción de insumos tecnológicos de bajo impacto ambiental, así como el rescate de tecnologías ancestrales para la producción y procesamiento agrícola y pecuario, entre otros, aumentando los índices de eficacia y productividad.

Promover la generación y apropiación social del conocimiento, tecnología e innovación que permitan la conservación y el aprovechamiento sustentable, justo y equitativo de la diversidad biológica, garantizando la soberanía del Estado sobre sus recursos naturales.

Crear sistemas urbanos ecológicos, con diseños arquitectónicos equilibrados con los ecosistemas naturales que reduzcan los niveles de contaminación ambiental.

Promover prácticas de conservación del ambiente en la actividad socio-productiva, superando el criterio de “eficiencia económica” por ser una práctica desvinculada de la racionalidad en el uso de los recursos naturales.

Promover el uso sustentable y sostenible de los recursos naturales en los procesos de producción, circulación y consumo de los bienes, productos y servicios, así como la disminución de desechos, fomentando campañas permanentes de concienciación.

Promover acciones en el ámbito nacional e internacional para la protección, conservación y gestión sustentable de áreas estratégicas, tales como fuentes y reservorios de agua dulce (superficial y subterránea), cuencas hidrográficas, diversidad biológica, mares, océanos y bosques”, p.136-141.

En esta contextualización de esta ley se establece una serie de objetivos que tienen como visión y misión reducir el impacto ambiental y afianzar nuevos modelos de estrategias que ayuden y contribuyan a obtener

una buena relación entre el hombre y la naturaleza donde se pueda promover la generación y apropiación social del conocimiento, tecnología e innovación que permitan la conservación y el aprovechamiento sustentable, justo y equitativo de la diversidad biológica, garantizando la soberanía del estado sobre sus recursos naturales.

Así como impulsar la protección del ambiente, la eficiencia en la utilización de recursos y el logro de un desarrollo sostenible.

El objetivo de la ley de la patria N° 5 avala y sirve de fundamento el desarrollo de la investigación.

CAPITULO III

Marco Metodológico

Toda investigación debe estar fundamentada en un proceso metodológico o científico siguiendo un lineamiento donde se permita sistematizar los métodos y técnicas necesarios para llevar a cabo la investigación de los objetivos planteados y de esta manera determinar cómo se desarrollara la solución al problema, facilitando el descubrimiento de conocimientos seguros y confiables que ayudaran a obtener resultados favorables en cuanto a los objetivos descritos. Además de ser un proceso que, mediante el método científico, procura obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento, se considera entonces, que dicho conocimiento se adquiere para relacionarlo con las hipótesis presentadas ante los problemas planteados. Para llevar a cabo la investigación se debe seguir entonces; un lineamiento metodológico como el que se presenta a continuación:

Tipo de Investigación.

El tipo de investigación viene dado por la clase de estudio que se pretende realizar sobre la finalidad de la investigación además de recoger la información o datos necesarios.

La investigación está enmarcada en un modelo del paradigma cuantitativo, por tanto se examina los datos de forma numérica, así mismo está orientada hacia una investigación descriptiva y de campo.

Parella y Martins, (2004:38), señalan que “La investigación cuantitativa requiere el uso de instrumentos de medición y comparación que proporcionarán datos cuyo estudio necesita la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos”.

Esta investigación es cuantitativa por el uso de métodos y modelos matemáticos para dar una solución al problema y así determinar la remoción de fenoles.

Nivel de la investigación.

Hernández (2012); señala que el nivel de la investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno o un evento de estudio. Es por esta razón que se considera como una investigación exploratoria.

El autor Arias (2012), define: La investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos, p.23.

“La investigación exploratoria se efectúa normalmente cuando el objetivo a examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes.” (Hernández, et al (2003), p. 115.

Se considera exploratoria porque no ha sido estudiada como alternativa de uso en la estación de flujo Sinco D, para complementar el tratamiento de sus efluentes, además de ser un tema que no se ha estudiado en cuanto a aplicarlo en un proceso fitorremediador para la remoción de fenoles. Aunque esta planta actualmente está siendo estudiada en algunos países, para lograr remediar los ambientes afectados por ella, y convertirla en productos sustentables para el buen desarrollo de la población, ha sido objeto de estudio para remediar suelos contaminados con arsénico, también para producir biogás, abono orgánico y hasta combustible, claro que pasando por un debido procedimiento. Es así como los investigadores buscan

desarrollar estrategias para lirio acuático como producto sustentable, pero no han aplicado la Eichhornia Crassipes para remover fenoles.

Diseño de la investigación

Hernández (2012); considera que el diseño de la investigación hace explícitos los aspectos operativos de la misma, es decir, el como, se abordará metodológicamente la investigación. El diseño alude al proceso de recolección de datos que permita al investigador lograr la validez interna de la investigación, es decir, generar un alto grado de confianza en las conclusiones generadas, conclusiones que van en consonancia con los objetivos establecidos. En ese sentido, el diseño constituye el área, el contexto, el entorno, la dimensión, el espacio-temporal que se convierte en fuente de información para el investigador.

Atendiendo a estas consideraciones el diseño de la investigación de la efectividad de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles viene dado por una investigación de campo y experimental.

Según Arias (2012), expresa: La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variables alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes, de allí su carácter de investigación no experimental. La investigación de campo, al igual que la documental, se puede realizar a nivel exploratorio, descriptivo y explicativo.

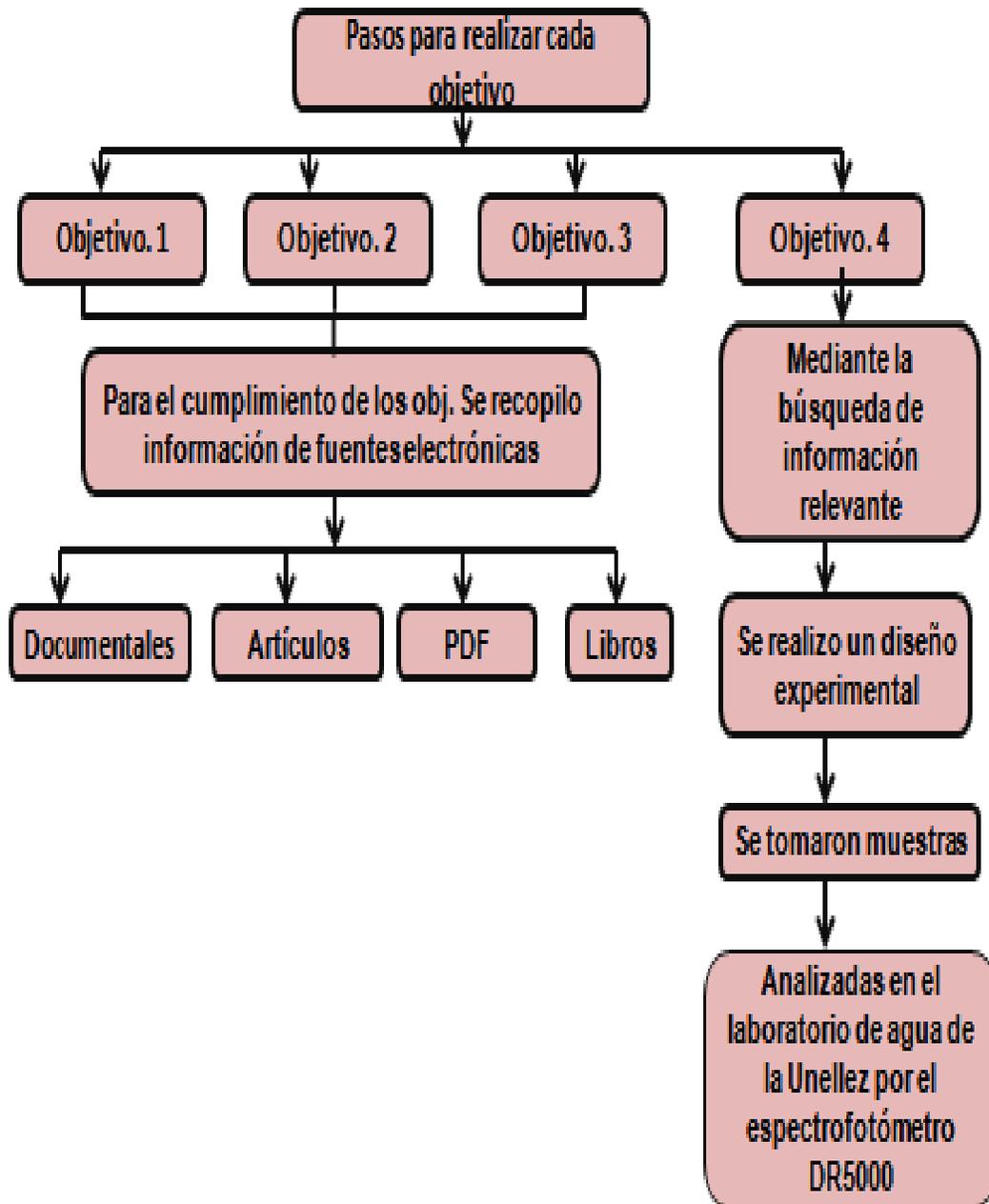
Se puede decir entonces, que es una investigación de campo ya que en todo este estudio se buscó recolectar datos directamente desde los lugares afectados y de donde ocurren los hechos. En este caso, personal de la estación de flujo Sinco D, proporcionaron información de las características físicas químicas de las aguas de producción tratadas; para así lograr tener un

ideal en cuanto a lo que contienen esas aguas, y hacer una comparación con la potencialidad de la planta, para dar respuesta al objetivo 3 de esta investigación.

Según Arias (2012), define: La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente).

En tal sentido para el diseño de la investigación se recopilara la información Teórica a través de fuentes documentales, artículos y fuentes electrónicas para el cumplimiento de los objetivos 1,2 y 3 de este trabajo Especial de Grado en donde se deben conocer primeramente cual es la biotecnología llamada fitorremediación y seguidamente indicar las propiedades fitorremediadoras de Bora así como la adaptabilidad de ella en condiciones extremas de contaminación para finalmente darle cumplimiento al objetivo 4 y de esta manera calcular la eficiencia del empleo de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles presentes en muestras de efluentes de la Estación de Flujo SINCO D del Distrito Barinas de PDVSA atendiendo a este objetivo se hizo un montaje experimental que ayude a calcular su eficacia.

Figura 9. Esquema de procedimiento en la realización de cada objetivo



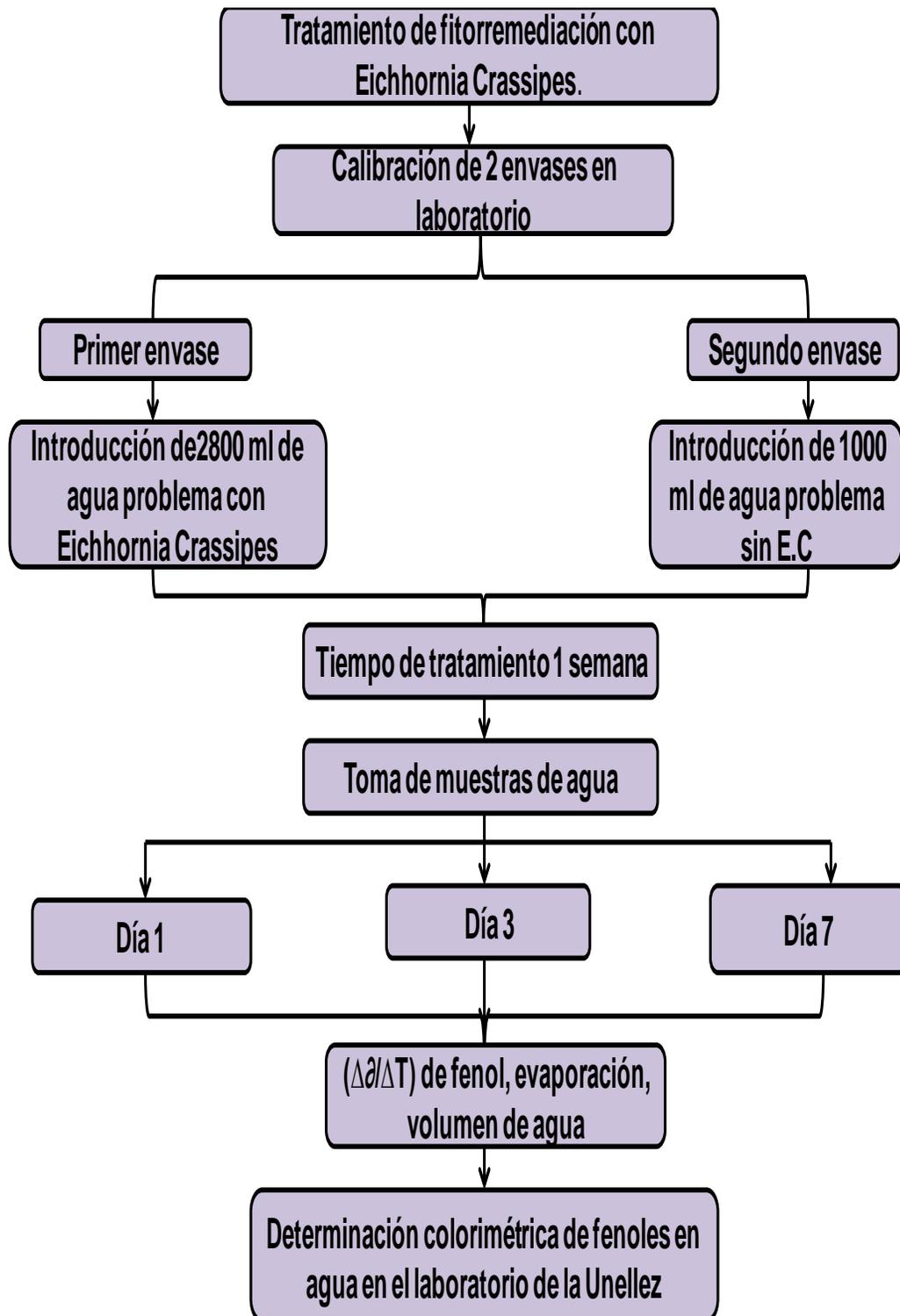
Fuente: Gil Y. (2018)

Diseño Experimental.

Vinculando el concepto de Arias (2012) donde describe la investigación experimental como un proceso donde se somete a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento, la presente investigación se considera como una investigación experimental donde se busca es finalizar el objetivo de esta investigación para calcular la eficacia o efectividad de Eichhornia Crassipes en la remoción fenoles para el tratamiento de efluentes, es así como esta se sometió a dos procesos, donde se calibraron 2 envases en ml para saber el volumen del agua problema que se colocó como también calcular cuánto volumen de agua logro consumir la Eichhornia Crassipes (Bora) en todo el proceso y observar si había disminución por evaporación .

En el primer proceso se introdujo 2800 ml de agua problema (agua de la estación) en el envase y se colocó la Bora, para someter al agua a un proceso fitorremediador por un tiempo de una semana, se tomaron 3 muestras en el tiempo establecido; es decir en el primero, tercero y el séptimo día. En el segundo proceso se colocaron 1000 ml de agua problema (agua de la estación) en el envase calibrado, pero sin la Bora ya que solo se quería observar que variación en cuanto a los fenoles y la evaporación podía encontrarse durante ese tiempo, y también se procedió a tomar muestras durante el primero, tercero y séptimo día para llevarlas al laboratorio y determinar por medio del método colorimétrico cuanta variación de fenol se evaporaba al ambiente.

Figura 10. Diseño experimental



Fuente: Gil Y. (2018)

Tabla 10. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES PLANIFICADAS PARA EJECUCIÓN																									
		SEMANAS																							
N°	ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Recopilación de información sobre la fitorremediación, plantas que realizan este proceso, problemática ambiental en las estaciones de flujo, PDVSA y su actuación ambiental	■	■	■	■	■																			
2	Elección de la Eichhornia Crassipes						■																		
3	Adquisición de la Bora.						■	■	■																
4	Obtención de información sobre la caracterización de las aguas estación									■	■	■	■												
5	Buscar agua de la estación Sinco D, para implementarla con el tratamiento fitorremediador de la Eichhornia Crassipes													■	■										
6	Montaje experimental															■									
7	Calculo de la concentración de fenol en el agua después del tratamiento fitorremediador por una espectrofotometría del método colorimétrico Directo Normas Covenín(2917-92)																■	■	■	■					
8	Elaboración de Informe Final de TEG	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
9	Presentación de resultados de la efectividad de la Eichhornia Crassipes																								■

Fuente: Gil Y. (2018)

Metodología.

Para la elaboración de este Trabajo Especial de Grado se siguieron las siguientes etapas para el cumplimiento de cada uno de los objetivos:

Etapas I.

Etapas de documentación para el cumplimiento de los objetivos 1, 2,3.

La primera fase se inició con la búsqueda de información referente a la descripción de los procesos fitorremediadores y sus usos potenciales en tratamientos de aguas efluentes y toda la información relacionada con el tema en estudio, esto se hizo por medio de fuentes documentales (libros, artículos científicos, revistas, referencias electrónicas), donde se debía especificar primeramente la problemática en cuanto a la contaminación de aguas residuales producidas por las diferentes actividades tanto industriales, agrícolas, domesticas como mineras entre otras, lo que lleva a buscar alternativas que puedan ayudar a realizar un trabajo menos costoso y más ecológico para remediar los ambientes deteriorados por sustancias toxicas, en este caso se pretende describir y conocer aquellos procesos fitorremediadores y todo lo relacionado a esta terminología que abarca muchos mecanismos que sirven para remover diversas sustancias contaminantes del medio ambiente, asimismo se conoció la planta Eichhornia Crassipes, los lugares donde se da comúnmente, temperaturas a las que puede soportar, climas en los que se desarrolla, como se reproduce, que necesita para sobrevivir, es decir las características de ella, sus ventajas y desventajas, procesos o mecanismos involucrados en la fitorremediación, plantas que realizan el proceso de fitorremediación, tratamiento de aguas residuales utilizando plantas fitorremedadoras, así como conocer la planta Eichhornia Crassipes (Bora o Jacinto de agua).

Asimismo por medio de las fuentes documentales se indicaron aquellas propiedades fitorremediadoras de la Bora (*Eichhornia Crassipes*) que son útiles para la remoción de fenoles presentes en efluentes de la estación Sinco D y así darle cumplimiento al objetivo número 2, conociendo aquellas propiedades que ayudan a la Bora a realizar un proceso fitorremediador luego de haber estudiado que es la fitorremediación, para que sirva y que plantas ayudan o realizan ese proceso, se verifico que la *Eichhornia Crassipes* es candidata para ayudar a remediar entornos contaminados y que podía realizar mecanismos fitorremediadores como la rizofiltración, la fitoestimulación, la fitovolatilización, la Fitoestabilización.

Figura 11. *Eichhornia Crassipes*



Fuente: Gil, Y. (2018).

En secuencia con lo antes mencionado y en relación con el objetivo 2, se determina teóricamente todo lo relativo al crecimiento y adaptación de la *Eichhornia Crassipes* para lograr sobrevivir en cuanto a temperaturas, climas, intensidad de la energía solar, contaminantes a los que puede resistir y compararlas con las condiciones físicas naturales de la estación de flujo Sinco D, pues el objetivo es establecer si la planta podría dar resultados y adaptarse con facilidad a una estación de flujo para remediar aguas industriales en las condiciones físico- químico en que se encuentran el agua

al salir a los canales de descarga en la estación, por lo que se hace necesario mencionarlo en la figura 12,13,14 y 15; presentadas a continuación

En las siguientes tablas se muestran los valores de las variables de temperaturas, pH, conductividad eléctrica del agua a la salida de la biolagunas y en los canales de descarga.

Figura 12. Parámetros físicos - químicos del agua de biolagunas, estación Sinco D.

Hora	Alicuota	Temperatura (°C)	pH (U.pH)	Conductividad eléctrica (uS/cm)	Cloro Residual. (mg/L)
1:50 pm	1/1	32,9	8,28	1047	<0,1

Fecha Impresión : 23/02/2012 Informe Oxi-Lab 0023-12 Pág 10 de 34
 LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME ESTA PROHIBIDA, SIN LA AUTORIZACION DE OXIALQUILADOS VENEZOLANOS C.A.
 Zona industrial Los Mirones, 3ra Etapa, Al lado de Súper 'S', Barcelona, Edo Anzoátegui- Venezuela Telf: 0281-2773333/ 2773444 Fax: 0281-2773277

Fuente: PDVSA (2012).

Figura 13. Parámetros físicos- químicos del agua del canal de descarga Sinco D

Hora	Alicuota	Temperatura (°C)	pH (U.pH)	Conductividad eléctrica (uS/cm)	Cloro Residual. (mg/L)
2:35 pm	1/4	32,4	8,05	1068	<0,1
2:45 pm	2/4	31,9	8,06	1061	<0,1
2:55 pm	3/4	31,8	8,09	1060	<0,1
3:05 pm	4/4	32,2	8,09	1055	<0,1
	Promedio	32,07	8,07	1061	<0,1

Fuente: PDVSA (2012).

También en fuentes de información proporcionadas por trabajadores de la estación Sinco D, se pudo verificar aquellos parámetros físico -químicos y bacteriológicos que se analizan en la estación. En la siguiente tabla se puede observar los distintos contaminantes que presentan las aguas de la estación como cloruros, metales pesados, arsénico, boro, fenoles, aceites minerales e hidrocarburos entre otros, como también se muestra los límites máximos establecidos por el decreto 883 en el artículo 10 en que se deben encontrar cada uno de ellos y los muestreos analizados a la salida de las biolagunas de la estación Sinco D.

Figura 14. Parámetros físicos- químicos y bacteriológicos (estación Sinco D).

Variables	Unidad	Límites Dec. 883 Artic. 10	Resultados		
			1er muestreo Agosto011	2do muestreo Octubre 2012	3er muestreo Enero 2012
Aceites y grasas animales y vegetales	mg/L	20	1,02	4,53	4,23
Aceites minerales e hidrocarburos	mg/L	20	<0,1	3,33	1,33
Aluminio total	mg/L	5,0	0,2	0,3	0,1
Arsénico total	mg/L	0,5	<0,001	<0,001	<0,001
Akii mercurio	N.A.	ND	<0,02	<0,02	<0,02
Aldehidos	mg/L	2,0	<0,005	<0,005	<0,005
Bario total	mg/L	5,0	0,66	0,94	0,11
Biocidas organoclorados	mg/L	0,05	<0,005	<0,005	<0,005
Biocidas organofosforados	mg/L	0,25	<0,002	<0,002	0,001
Boro	mg/L	5,0	0,68	0,34	0,30
Cadmio total	mg/L	0,2	<0,002	<0,002	<0,002
Cianuro	mg/L	0,2	<0,001	0,001	<0,001
Cloruros	mg/L	1000	224,2	309,81	169,4
Cobalto total	mg/L	0,5	<0,01	0,01	<0,01
Cobre total	mg/L	1,0	0,12	0,14	0,02
Coliformes totales	NMP/100 ml	1000	280	10	170
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000	280	10	<2
Color real	U.-Pt-Co	500	33	24	38
Cromo total	mg/L	2,0	<0,02	<0,02	0,02
Demanda bioq. de oxígeno (DBO _{5,20})	mg/L	60	16	18	38
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	350	66,7	96,8	204,28
Detergentes y Dispersantes	mg/L	2,0	0,35	<0,025	0,24
Estaño	mg/L	5,0	<0,1	<0,1	<0,1
Fenoles	mg/L	0,5	0,52	2,51	3,23
Fluoruros	mg/L	5,0	0,28	1,13	0,99
Fósforo total	mg/L	10	0,80	0,30	0,33
Hierro	mg/L	10	0,55	0,51	0,08
Manganeso	mg/L	2,0	<0,01	0,11	0,06
Mercurio total	mg/L	0,01	<0,001	<0,001	<0,001
Nitratos + Nitritos	mg/L	10	0,5	0,63	0,90
Nitrógeno total	mg/L	40	1,55	1,17	<0,5
pH	U/pH	6-9	7,48	8,04	8,28
Plata total	mg/L	0,1	<0,01	<0,01	<0,01
Plomo total	mg/L	0,5	<0,05	<0,05	<0,05
Selenio	mg/L	0,05	<0,001	<0,001	<0,001
Sólidos flotantes	NA	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Presentes
Sólidos sedimentables	ml/L	1,0	<0,1	<0,1	<0,1
Sólidos suspendidos	mg/L	80	16	40	108
Sulfatos	mg/L	1000	20	11	6,6
Sulfitos	mg/L	2,0	<0,1	<0,1	<0,1
Sulfuros	mg/L	0,5	<0,001	0,008	<0,01
Zinc total	mg/L	5,0	0,011	<0,005	<0,00
Conductividad eléctrica	(uS/cm)	NE	785	936	1047

Fuente: PDVSA (2012)

Figura 15. Parámetros físicos- químicos y bacteriológicos presentes en el canal de descarga.

Variables	Unidad	Límites Dec. 883 Artic. 10	Resultados		
			1er muestreo Agosto011	2do muestreo Octubre 2012	3er muestreo Enero 2012
Aceites y grasas animales y vegetales	mg/L	20	6,33	2,79	3,90
Aceites minerales e hidrocarburos	mg/L	20	<0,1	4,42	5,97
Aluminio total	mg/L	5,0	0,5	0,9	0,1
Arsénico total	mg/L	0,5	<0,001	<0,001	<0,001
Alkil mercurio	N.A.	ND	<0,02	<0,02	<0,02
Aldehidos	mg/L	2,0	<0,005	<0,005	<0,005
Bario total	mg/L	5,0	0,45	0,05	0,11
Biocidas organoclorados	mg/L	0,05	<0,005	<0,005	<0,005
Biocidas organofosforados	mg/L	0,25	<0,002	<0,002	<0,002
Boro	mg/L	5,0	0,80	0,13	0,30
Cadmio total	mg/L	0,2	<0,002	<0,002	<0,002
Cianuro	mg/L	0,2	<0,001	<0,001	<0,001
Cloruros	mg/L	1000	146,3	12,95	170,3
Cobalto total	mg/L	0,5	<0,01	0,01	<0,01
Cobre total	mg/L	1,0	0,15	0,13	0,02
Coliformes totales	NMP/100 ml	1000	320	8	170
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000	320	8	<2
Color real	U.-Pt-Co	500	50	68	47
Cromo total	mg/L	2,0	<0,02	<0,02	0,02
Demanda bioq. de oxígeno (DBO _{5,20})	mg/L	60	22	9	13
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	350	84,1	58,3	64,87
Detergentes y Dispersantes	mg/L	2,0	0,39	0,07	0,37
Estaño	mg/L	5,0	<0,1	<0,1	<0,1
Fenoles	mg/L	0,5	0,21	0,01	2,04
Fluoruros	mg/L	5,0	0,87	1,20	1,13
Fósforo total	mg/L	10	0,56	<0,2	0,19
Hierro	mg/L	10	1,89	1,29	0,14
Manganeso	mg/L	2,0	0,09	0,09	0,06
Mercurio total	mg/L	0,01	<0,001	<0,001	<0,001
Nitratos + Nitritos	mg/L	10	1,62	1,26	1,10
Nitrógeno total	mg/L	40	2,51	0,95	1,34
pH	U/pH	6-9	6,42	7,36	8,07
Plata total	mg/L	0,1	<0,01	<0,01	<0,01
Plomo total	mg/L	0,5	<0,05	<0,05	<0,05
Selenio	mg/L	0,05	<0,001	<0,001	<0,001
Sólidos flotantes	NA	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Sólidos sedimentables	ml/L	1,0	<0,1	<0,1	0,1
Sólidos suspendidos	mg/L	80	32	32	8
Sulfatos	mg/L	1000	15	8	8,3
Sulfitos	mg/L	2,0	<0,1	<0,1	<0,1
Sulfuros	mg/L	0,5	<0,001	<0,01	<0,01
Zinc total	mg/L	5,0	0,023	<0,005	<0,005
Conductividad eléctrica	(uS/cm)	NE	505	57,2	1061

Fuente: PDVSA (2012)

Al tener un conocimiento más consolidado en cuanto a las propiedades fitorremediadoras de la Bora y su adaptabilidad para habitar en condiciones con impurezas, se puede decir que esta planta podría dar resultados en dichos ambientes al aplicarla como una alternativa o complementada con otras tecnologías en un último proceso en la estación, que puedan ayudar a mejorar el agua que pasa por los canales de descarga y es enviada al caño morrocoy. Donde toda la información es proporcionada por parte de fuentes documentales y referencias electrónicas además de información que se obtuvo por el personal que labora en dicha estación para dar cumplimiento al objetivo 3 en cuanto a establecer teóricamente la adaptabilidad de la planta bajo las condiciones físicas naturales de la Estación de Flujo Sinco D.

Enfatizando un punto muy importante y es que actualmente en dicha estación la cantidad de contaminantes vertidos al ambiente han ido disminuyendo debido a que no hay mucha producción, y algunos pozos están inactivos, es decir que el agua que se está vertiendo al ambiente es poca y por ende la cantidad de contaminantes vertidos también.

Etapas II.

Experimentación con la Eichhornia Crassipes.

Según las informaciones encontradas la Eichhornia Crassipes es capaz de crecer en lugares como ríos, lagunas y caños, además de que tiene un rápido crecimiento, propagándose de una manera descontrolada, cuando no se tiene un control de ella; a pesar de esto, dicha planta puede crecer y adaptarse sin ningún inconveniente a diversos tipos de ambientes, al conocer en que ambientes regularmente esta planta puede crecer sin problema alguno, y conociendo entonces sus propiedades y la capacidad que tiene para remediar, se precedió a emplear la planta para realizar una experimentación. En este caso se recolectaron algunas plantas de esta

especie de lagunas y se llevó a un huerto donde estuvo por 6 meses viviendo en agua estancada, solo llevando agua de lluvia y sol.

Figura 16. De la *Eichhornia Crassipes*



Fuente: Gil Y. (2018)

Se debía realizar un montaje experimental donde se determinaron 2 muestras, En la primera de ellas la *Eichhornia Crassipes* se colocó en un envase calibrado y con agua procedente de la estación Sinco D. Donde dichos envases fueron calibrados para saber el volumen de agua problema que se colocaría, asimismo para observar si había una disminución del agua por evaporación durante los días de tratamiento. Al envase M1 con planta, se le colocó una tapa con un agujero pequeño por donde solo iba a salir la planta, para evitar que el fenol en el agua pudiera evaporarse al ambiente y evitar que influyera la volatilización del fenol en el proceso, constituida como la variable interviniente, explicada en el sistema de variable.

Figura 17. Envases calibrados en el laboratorio.



Fuente: Gil Y. (2018)

Figura 18. Envase calibrado con un agujero en la tapa para evitar que el fenol fuera volatilizado



Fuente: Gil Y. (2019)

En la segunda muestra solo se agregó agua procedente de la estación de flujo Sinco D, para observar si existía evaporación del agua, o había una disminución de su volumen, también para verificar si la cantidad de fenoles presentes en el agua había tenido alguna variación.

En la primera muestra (M1), se agregó 2800 ml de agua problema, es decir agua de la estación Sinco D, y se introdujo la *Eichhornia Crassipes* por un periodo de una semana. Donde se recolectarían 30 ml de agua el tercer y séptimo día para luego llevarla al laboratorio y por medio de una espectrofotometría realizar un método llamado determinación colorimétrico directo para la determinación de fenoles en agua residuales, estipuladas en las normas Covenín 2917-92 por medio de 4- aminoantipirina, donde dicho principio estipula que los compuestos fenólicos reaccionan con la 4- aminoantipirina a pH básico y en presencia de ferrocianuro potásico, para formar un compuesto coloreado de antipirina, susceptible de una determinación espectrofotométrica a 460 nm.

Figura 19. *Eichhornia Crassipes* con agua de la estación Sinco D.



Fuente: Gil Y. (2018)

Figura 20. Eichhornia Crassipes con agua de la estación Sinco D.



Fuente: Gil Y. (2018)

En la segunda muestra (M2), se agregaron 1000 ml de agua problema de la estación en un envase calibrado por un tiempo de una semana, y se tomaron 30ml de agua el primer día para tener conocimiento de cuanta cantidad de fenoles presentaba, luego al tercer y séptimo día se tomaron 30 ml de agua problema para observar como ya se ha dicho anteriormente, si era considerable la evaporación o cuanto era la disminución del agua y comparar ese volumen con el del envase que contenía la Eichhornia, de esta manera saber si la planta es la que consume mucha agua o podía existir evaporación, aparte de evaluar su nivel de disminución de agua también se quería observar si en el proceso sucedió algún cambio en cuanto a la variación de fenoles que pudieran estar presente, es así como todas las muestras fueron llevadas al laboratorio para determinar y calcular por medio del método anteriormente descrito la presencia de fenoles.

Figura 21. Envase calibrado solo con agua de la estación Sinco D.



Fuente: Gil Y. (2018)

Figura 22. Muestras en su primer día



Fuente: Gil Y. (2018)

Figura 23. Muestras en su primer día



Fuente: Gil Y. (2018)

Figura 24. Muestras colocadas en el huerto



Fuente: Gil Y. (2018)

Se necesitaba colocarle una cubierta ya que muchas veces las condiciones climáticas no eran las mismas y se debía evitar que las muestras

tuvieran agua de lluvia para no tener variaciones o alteraciones en sus resultados, como se presenta en la **figura 25**.

Figura 25. Colocación de la cubierta.



Fuente: Gil Y. (2018)

Luego se le dio continuidad al objetivo N°4, en el cual se calcula la eficiencia del empleo de la *Eichhornia Crassipes* en la remoción de fenoles presentes en muestras de efluentes de la Estación de Flujo SINCO D, del Distrito Barinas de PDVSA.

Para demostrar, cuanto puede remover la planta utilizada para realizar el proceso de depuración de los contaminantes en el agua. Atendiendo a estas consideraciones se desarrollaron los cálculos necesarios para desarrollarlo vinculado al objetivo general de esta investigación que lleva por nombre la determinación de la efectividad de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles para el tratamiento de efluentes. A partir de allí, se identificó la forma por el cual se iba a calcular la eficiencia para la determinación de fenoles en agua. Pues como ya se ha dicho antes se puede realizar por un método colorimétrico directo, para determinar fenoles en agua empleando el método de las 4-aminoantipirina utilizando el espectrofotómetro UV. Vis Hach DR5000. Indicando también que la importancia de elegir este contaminante para removerlo mediante la fitorremediación de la Eichhornia C. se debe a que toxicológicamente, niveles de 1 mg/ L de fenoles en aguas naturales, resultan tóxicos para los peces, mientras que concentraciones menores afectan a otros organismos acuáticos como moluscos, algas, protozoos, bacterias, con lo que el poder auto-depurador del cauce de agua disminuirá de una forma muy sensible. En general, los compuestos fenólicos pese a su poder bactericida y bacteriostático pueden degradarse por diversos microorganismos presentes en aguas naturales, especialmente del grupo de los Pseudomonas, finalmente dada la escasa presencia de estos compuestos en aguas de bebida, su incidencia respecto el ser humano suele ser mínima.

Para el cumplimiento de la Etapa II, se muestra el procedimiento a realizar para determinar fenoles en agua, donde la determinación se debe a la preparación de algunas disoluciones.

Para la determinación de fenol se procedió de la siguiente manera:

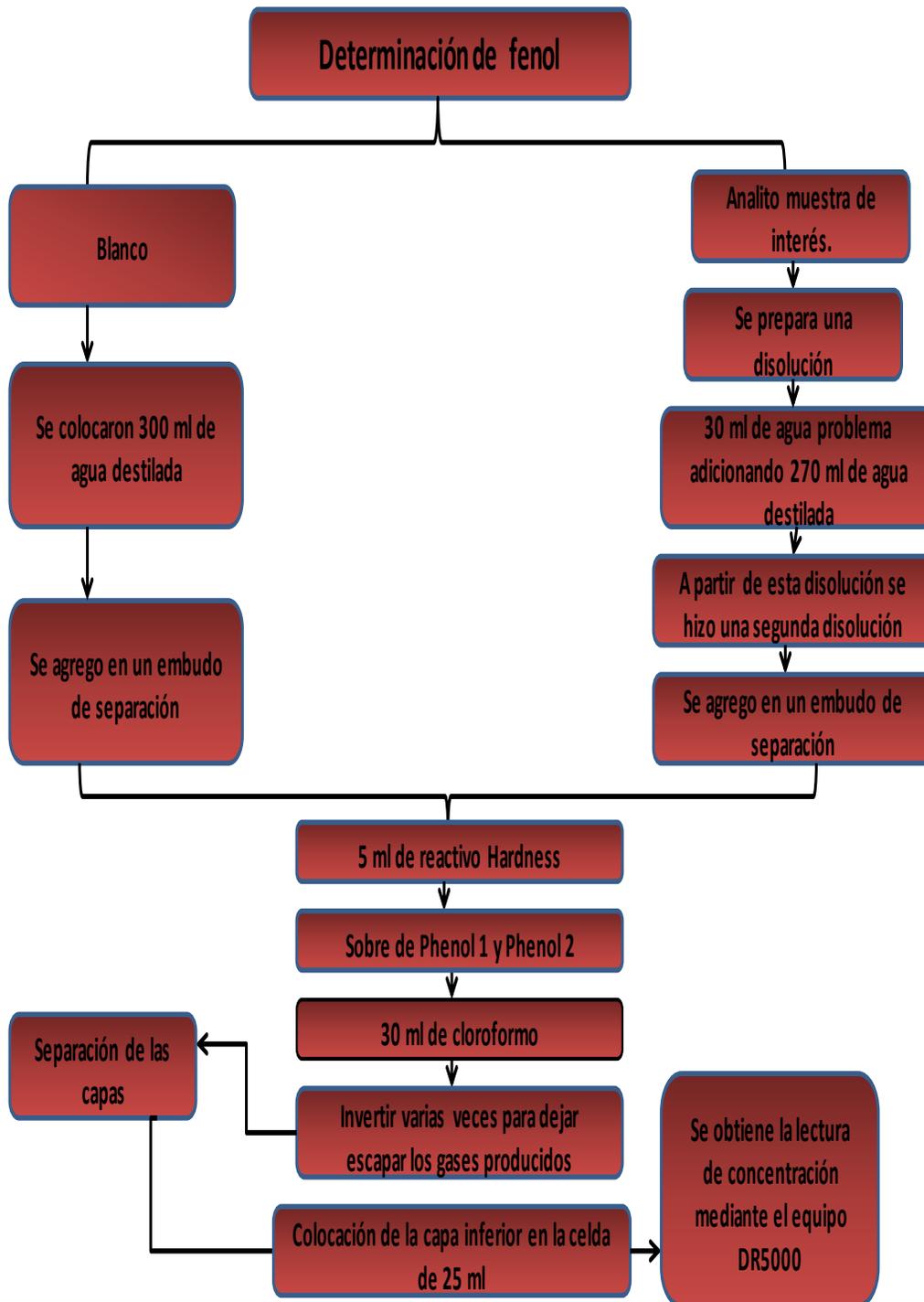
Partiendo de una disolución concentrada se hicieron disoluciones diluidas, el análisis de las muestras, procediendo de la siguiente manera:

Se midieron 300 ml de agua destilada en un cilindro graduado, donde dicha agua se colocó en un embudo de separación de 500 ml; el cual fue el blanco. En un embudo de separación se colocó 300 ml de la dilución (30 ml de agua problema de la estación tratada con la Eichhornia y 270 ml de agua destilada), en dicho proceso se hicieron dos disoluciones seguidas, ambos embudos se etiquetaron tanto el blanco como la muestra y se añadieron 5 ml de reactivo Hardness y 1 de Buffer para luego agitar.

Seguidamente se agregó el contenido del sobre reactivo Phenol 1 y Phenol 2, a cada embudo y en la campana de extracción se agregó 30 ml de cloroformo, los embudos fueron invertidos varias veces y destapados eventualmente para que escaparan los gases producidos, luego se dejó reposar para que ocurriera la separación de los componentes en dos capas, seguidamente se colocó un algodón en el tubo de desagüe de los embudos y la capa inferior de la separación se drenó en las celdas de 25 ml del equipo RD 5000, se ingresó al programa 470 Enter y se giró el dial a una longitud de onda de 460 nm.

Finalmente se colocó la celda con el blanco en el equipo DR5000 y marcar Zero, se reemplazó el blanco por la muestra para obtener la lectura de la disolución diluida de la misma manera se hizo para las 5 muestras analizar.

Figura 26. Esquema de determinación de fenol



Fuente: Gil Y. (2018)

Figura 27. Vertidos de los reactivos de los sobres de Penol 1 y Penol 2 con contenido de 4-aminoantipirina



Fuente: Gil Y. (2018)

Figura 28. Separación de los componentes en dos capas de las muestras diluidas



Fuente: Gil Y. (2018)

Figura 29. Proceso inicial de separación al a agitar las muestras y destapar para dejar escapar los gases se dejaba reposar hasta que ocurriera la separación de las capas



Fuente: Gil Y. (2018)

Figura 30. Celdas de 25 ml del equipo RD 500, con el contenido de la capa inferior obtenida del embudo de separación (Blanco y algunas muestras)



Fuente: Gil Y. (2018)

Reactivos empleados para la determinación de fenol.

Preparación de disolución de buffer de fosfato. Se diluyen 104,5g de K_2HPO_4 y 72,3 g de KH_2PO_4 en agua y se diluye a 1 litro. el ph de ser 6.8.

Hardness: El cual es un medidor de dureza del agua

Phenol 1, (sobre que contiene las 4-aminoantipirina).

Phenol 2, (sobre que contiene las 4-aminoantipirina).

Cloroformo

Agua destilada (2000 ml).

Se determinaron 2 muestras sin tratamiento con la planta y 2 muestras con el tratamiento de la *Eichhornia Crassipes*, que se llevaran al laboratorio para tomar 30 ml de agua sin tratamiento, para evaluar cuanta concentración de fenol tenia inicialmente y se realizó por una espectrofotometría para obtener la concentración; de la misma manera se hizo para las demás muestras con tratamiento y sin tratamiento en el tercer y séptimo día. En la **tabla 9 y 10** se muestra la cantidad de agua requerida para analizar de los diferentes días en que se agarraron las muestras.

Tabla 11. Presentación de la cantidad de agua problema sin tratamiento para llevar al laboratorio

Día en que se tomo las muestras para analizar	Agua problema Sin tratamiento (ml)
1	30
3	30
7	30

Fuente: Gil Y. (2018)

Tabla 12. Cantidad de agua problema tratada con la Eichhornia para llevar al laboratorio.

Días en que se tomó las muestras para analizar	Agua problema con tratamiento de planta (ml)
3	30
7	30

Fuente: Gil Y. (2018)

En la **tabla 11**, se presenta la cantidad de reactivos y agua problema tratada, necesitada para el análisis de cada una de las muestras con tratamiento y sin tratamiento.

Tabla 13. Reactivos requeridos para la determinación de la espectrofotometría.

Reactivos necesitados	Muestra sin Bora	Muestra sin Bora	Muestra sin Bora	Muestra con Bora	Muestra con Bora
	Cantidad (ml)				
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 3	Día 7
Hardness 1Buffer	5 gotas				
Cloroformo	30	30	30	30	30
Phenol 1	Sobre 1	Sobre 1	Sobre 1	Sobre 1	Sobre 1
Phenol 2	Sobre 2	Sobre 2	Sobre 2	Sobre 2	Sobre 2
Agua destilada	550	550	550	550	550

Fuente: Gil Y. (2018)

Población y Muestra.

Según Tamaño (2001, p. 30), una población está definida por sus características determinantes, por tanto el conjunto de elementos que posea esta característica se denomina población o universo.

La población es el agua recolectada en la Biolaguna P2, es decir los 4500 ml, tomados por el personal de la División Boyacá, trabajando con una muestra intencional ya que según los autores es aquella en la que el investigador selecciona la muestra atendiendo a criterios propios y no se basa en herramientas estadísticas para ello.

Según Arias, F. (1997), establece que “las muestras se tienen con la intención de inferir propiedades de la totalidad de la población, para lo cual debe ser representativas”. En este caso la muestra son las porciones de agua sometidas al estudio. Es decir; 3 porciones de 30 ml para el agua tratada con *Eichhornia Crassipes* y 3 para el agua sin tratamiento, lo que da un total de 6 muestras en estudio.

Técnicas, Instrumentos y Materiales Aplicados en la Recolección de Datos.

7.1 Técnicas de investigación.

Las técnicas de recolección de datos, son definidas por Tamayo (1999), como la expresión operativa del diseño de investigación y que específica concretamente como se hizo la investigación (p. 126). Así mismo Bisquerra, R. (1989), define las técnicas como aquellos medios técnicos que se utiliza para registrar observaciones y facilitar el tratamiento de las mismas” p. 28.

Para la recolección de información en la presente investigación, se optó por aquellas técnicas que ayudaron al logro de los objetivos y a obtener

la información necesaria de manera organizada y precisa. Las técnicas empleadas son las enunciadas y desarrollada a continuación:

7.1.2La Observación.

En opinión de Sabino (1992), la observación puede definirse, como el uso sistemático de nuestros sentidos en la búsqueda de los datos que necesitamos para resolver un problema de investigación. En tal sentido esta, permite conocer la realidad mediante la percepción directa de los objetos y fenómenos. En este trabajo especial de grado, se realizó una observación no participante o simple; como suele llamarse, el cual es aquella donde el observador no pertenece al grupo observado y sólo se hace presente con el propósito de obtener la información, tal y como menciona Sabino. Entonces es considerada como una técnica de recolección de datos ya que al momento de tener la Eichhornia Crassipes en los envases calibrados con el agua contaminada se observó lo que sucedía con la planta durante esos días de tratamiento.

7.1.3 Revisión documental.

Para Hurtado (2008, p. 427)” es una técnica en la cual se recurre a la información escrita, ya sea bajo la forma de datos que pueden haber sido productos de mediciones hechas por otros, o como textos que en sí mismos constituyen los eventos de estudio”. En este caso se utilizó la revisión bibliográfica definida por González B. González J. y Arroyo A. (2011), como aquella que constituye una etapa fundamental de todo proyecto de investigación y debe garantizar la obtención de la información más relevante en el campo de estudio, de un universo de documentos que puede ser muy extenso”.

- Trabajos especiales de grado

- Información relacionada con el tema proveniente de archivos electrónicos.
- Diapositivas de la web

7.1.4 Determinación colorimétrica directa de fenoles empleando el método Hach.

También se considera como técnica de recolección de datos al método empleado para remover los fenoles en agua, donde las normas convenidas 2917-92, puntualizan “que para la determinación de fenoles en aguas se aplican dos métodos, el primero; se basa en técnicas colorimétricas utilizando 4-aminoantipirina bajo condiciones controladas de PH, para determinar fenoles orto y meta sustituidos y aquellos para-sustituidos donde la sustitución es como un grupo carboxílico, halógeno, metoxi o ácido sulfónico”, p.8.

Para la realización de este trabajo Especial de Grado se empleara un método colorimétrico directo nombrado en dicha norma, solo que es un método sencillo, establecido por la empresa Hachs, la cual define que: los compuestos fenólicos, reaccionan con las 4- aminoantipirina bajo condiciones controladas de PH y en presencia de ferrocianuro potasio para formar un complejo coloreado con la antipirina.

El color es persistente en soluciones acuosas y su absorbancias se mide a una longitud de onda de 460 nm. Debido a que en este método no se requiere sensibilidad extrema, se puede utilizar un volumen de destilado pequeño en la determinación. La concentración de compuestos fenólicos en la muestra se expresa en términos de fenol (C_6H_5OH)”, p.8.

7.2 Técnicas según el enfoque de investigación.

Como se señaló anteriormente esta investigación es de tipo cuantitativa por tanto las técnicas que se emplearon fueron: los análisis de contenido, observación y experimentos.

Un aspecto muy importante en el proceso de una investigación, es el que tiene relación con la obtención de la información, pues de ello depende la confiabilidad y valides del estudio. Esta etapa de recolección de información, se conoce también como trabajo de campo, la información que se recolecta, son el medio a través del cual, se prueban las hipótesis y se logran los objetivos de estudio, por lo tanto deben ser confiables, pertinentes y suficientes.

Las fuentes de recolección de información pueden ser primarias o secundarias según Cerda, en esta investigación se considera una fuente primaria ya que son todas aquellas de la cuales se obtiene información directa, es decir de donde se origina la información, estas fuentes pueden ser las personas, las organizaciones los acontecimientos o hasta el ambiente natural, en este caso es considerada como fuente primaria porque se buscó la información sobre la caracterización de las aguas de la estación Sinco D, así como las muestras, se le hicieron preguntas al ingeniero Henry Briceño sobre los contaminantes presentes en las aguas y todo lo relacionado con la caracterización, era necesario tener esta información ya que el ideal fue someter la *Eichhornia Crassipes* a un tratamiento con el agua de la estación y ver si ella podía, no solo resistir a esa condiciones sino también remover gran parte del fenol que estaba presente en el agua.

Asimismo también es una fuente de recolección secundaria ya que es toda aquella que ofrece información sobre el tema por investigar, pero que no

son las fuentes originales de los hechos o las situaciones, sino solo los referentes como documentos.

8. 1 Instrumentos de investigación.

Ahora bien, Rodríguez Peñuelas, (2008:10), expresa que “las técnicas son entonces; recursos o procedimientos de los que se vale el investigador para acercarse a los hechos y acceder a su conocimiento y se apoyan en instrumentos para guardar la información tales como: el cuaderno de notas para el registro de observación y hechos, el diario de campo, los mapas, la cámara fotográfica, la grabadora, la filmadora, el software de apoyo; elementos estrictamente indispensables para registrar lo observado durante el proceso de investigación”

Asimismo los instrumentos, definidos por Hurtado (2008, p. 153), como la “herramienta con la cual se va a recoger, filtrar y codificar la información, es decir el con qué. Los instrumentos pueden estar ya elaborados e incluso normalizados”. Ante lo dicho por Hurtado y considerando que se recopiló información de la variable cuantitativa, en el cual se necesitaba calcular la eficiencia en la remoción de fenoles; el instrumento mecánico utilizado para medir y obtener la concentración fue:

8.1.2 El espectrofotómetro UV/Vis. DR5000

8.2 Instrumentos de registro de datos

Para registrar la información se utilizaron instrumentos documentales como:

8.2.1 Registros físicos

8.2.1.1 Tabla de Datos (Cuaderno)

8.2.1.2 Tabla de registro

8.2.2 Registros electrónicos

8.2.2.1 Microsoft Word (tablas con el procesador de texto)

8.2.2.2 Microsoft Excel (Hoja de cálculo)

Luego para el cumplimiento de todos los objetivos específicos propuestos, se emplearon los materiales que se muestran a continuación:

9.1 Materiales

a) Material Biológico:

- ▲ La Eichhornia Crassipes

b) Material para registrar información

- ▲ El cuaderno de notas para registrar la información de los hechos.
- ▲ El lápiz
- ▲ La cámara fotográfica o teléfono
- ▲ Pendrive

c) Materiales de Laboratorio:

- ▲ Matraces aforados
- ▲ Matraz Erlenmeyer
- ▲ Pipetas
- ▲ Tubos de ensayos
- ▲ Vasos de precipitados
- ▲ Frasco lavador (1)
- ▲ Pizeta (1)
- ▲ Varilla (1)
- ▲ Cepillo para tubos de ensayo (1)
- ▲ Termómetro (1)
- ▲ Balanza (1)
- ▲ Aparato para filtrado al vacío (1)

Embudos y otro material general de laboratorio.

Figura 31. Instrumentos utilizados en el laboratorio



Fuente: Gil Y. (2018)

El material de vidrio a utilizar deberá estar completamente limpio, debiendo enjuagarse previamente al utilizarlo, con agua desmineralizada, con la propia muestra o con el reactivo a utilizar según sea el caso.

d) Reactivos e Insumos

- ▲ Agua desmineralizada de calidad ISO tipo 1 (Milli Q o equivalente)
- ▲ Fenol (que contiene las 4-aminoantipirina)
- ▲ Cloroformo
- ▲ Hardness
- ▲ Buffer

Todos los reactivos a utilizar deberán ser de calidad y ser chequeados mediante la realización de un análisis en blanco para comprobar que no contienen compuestos que puedan dar lugar a interferencias.

Glosario de Términos

A continuación se presentan algunos términos necesarios para comprender un poco más acerca de esta investigación en donde se definen algunas palabras que son mencionadas en este estudio.

Analito: componente (elemento, compuesto o ión) de interés analítico de una muestra. Son especies químicas cuya presencia o concentración se desea conocer, es decir, se puede determinar su cantidad y concentración.

Biomasa: materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica

Compuestos orgánicos: Los compuestos orgánicos son todas las especies químicas que en su composición contienen el elemento carbono.

Compuestos fenólicos: Según Fondo norma (1992), en las Normas Covenín 2917-92, “son derivados hidroxilados del benceno y sus condensados, están presentes en aguas residuales de origen doméstico e industrial, aguas naturales y fuentes de abastecimientos de agua potable. Su presencia puede causar sabores y olores agradables al producirse los clorofenoles cuando se aplican procesos de coloración a estas aguas. Además son compuestos tóxicos que pueden causar daños a la salud y al ambiente”

Dilución: es el proceso de preparación de una solución de menor concentración a partir de otra de mayor concentración agregando una mayor cantidad de solvente

Efluentes: define a un efluente como un fluido procedente de una instalación

industrial o residual. El término proviene del verbo efluir, que alude al escape al exterior de un gas o de un líquido.

Rizoma: En biología, un rizoma es un tallo subterráneo con varias yemas que crecen de forma horizontal emitiendo raíces y brotes herbáceos de sus nudos. Los rizomas crecen indefinidamente. En el curso de los años mueren las partes más viejas pero cada año producen nuevos brotes, de ese modo pueden cubrir grandes áreas de terreno. Sus ramas engrosadas suelen presentar entrenudos cortos, tienen catafilos incoloros y membranáceos, raíces adventicias y yemas.

Solución: Una Solución es una mezcla homogénea de dos o más sustancias. La sustancia disuelta se denomina soluto y la sustancia donde se disuelve se denomina disolvente

Análisis y Discusión de los Resultados de la Investigación.

Este capítulo se relaciona con la discusión y análisis de los resultados obtenidos, que corresponden a la Efectividad de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles para el tratamiento de efluentes, donde fueron planteados objetivos específicos que ayudaron al cumplimiento del Trabajo Especial de Grado.

Resultado del primer Objetivo Específico.

Describir el proceso de fitorremediación empleado en tratamientos de efluentes industriales.

Los resultados para el presente objetivo están descritos en el marco teórico del capítulo II, donde se muestra específicamente todo lo relacionado a la fitorremediación, plantas que cumplen con las características fitorremediadoras, lugares donde esta se está estudiando para aplicarla y también donde ya se ha puesto a prueba por diversos países que buscan una solución más ecológica a los problemas presentados de contaminación del suelo/agua, estableciéndola como una biotecnología alternativa que también podría complementarse con otras.

En la presente tabla se muestran algunos de los aspectos más relevantes acerca del tema de fitorremediación, donde se mencionan especies de plantas que se constituyen como bioacumuladoras y remediadoras, resaltando que no solo estas están implementadas para tratar suelo/agua sino que existen muchas, las cuales no se mencionan en este segmento. Por lo tanto se da un aporte para generar posibles estudios en un futuro para consolidar este tema que es recreado por la misma naturaleza.

Tabla 14. Mecanismo de fitorremediación y contaminantes que remueven algunas plantas.

Fitorremediación			
Mecanismos de la fitorremediación			
Proceso	Descripción	Proceso	Proceso
Fitoextracción o fitoacumulación	Toma el contaminante por parte de la planta específicamente por sus raíces, debido a la capacidad que algunas especies tienen para acumular compuestos (Carpena y Bernal, 2007)	Inorgánicos, arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc.	Thlaspi caerulescens Pistia stratiote, Vertiveria zizanioides
fitoestimulación	Toma el contaminante dentro de la zona de raíces de las plantas, debido a la actividad microbiana asociada a la rizósfera. Esta actividad se ve favorecida debido a las proteínas y enzimas que producen los exudados de carbono, energía, nutrientes, azúcares, amino ácidos y otros, compuestos que garantizan las condiciones apropiadas para el crecimiento microbiano (Van Deeps, 2006)	Orgánicos e inorgánicos	Eichhornia C.
Fitoestabilización	Reduce la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, inmovilizándolos en el suelo y agua a través de las raíces. Este mecanismo es principalmente aplicable a contaminantes metálicos	Orgánicos e inorgánicos zinc, cadmio, plomo, cobre, manganeso, hierro y plomo, arsénico	Eichhornia C. Anthyllis vulneraria, Lupinus albus, Brassica júncea

Fuente: Gil Y. (2018)

Tabla 11. Continuación de los procesos de la fitorremediación y contaminantes que remueven algunas plantas.

Fitorremediación			
Mecanismos de la fitorremediación			
Proceso	Descripción	Contaminantes	Algunas Plantas que realizan el proceso
Fitodegradación o fitotransformación	Con estos mecanismos los compuestos contaminantes son transformados a moléculas más simples, para después ser incorporados a los tejidos y ayudar al crecimiento de la planta.	Orgánicos	Arboles freatófitos (álamo, sauce, álamo americano) Pasturas (centeno, sorgo, festuca) entre otras
Fitovolatilización	Necesitan de compuestos orgánicos y agua, por lo tanto estas toman el contaminante, lo llevan a los tallos y hojas, lo evaporan y volatilizan mediante las estomas abiertas de las hojas. (USEPA, 1998)	Orgánicos e inorgánicos	Eichhornia C. Salicornia bigelovii, Brassica júncea, Astragalus bisulcatus y Chara canescens
Rizofiltración	Se utiliza para la eliminación de contaminantes del medio hídrico a través de las raíces de las plantas.	Metales pesados, hidrocarburos, compuestos Orgánicos e inorgánicos	Eichhornia C., Scirpus lacustris, Lemna gibba, Azolla caroliniana

Fuente: Gil Y. (2018)

Otro de los aspectos destacados y considerados en esta investigación, es el estudio que se esta generando en cuanto a la versatilidad de la Eichhornia Crassipes en la búsqueda de generar respuesta y soluciones mas accesibles para la industria y el ecosistema como un sistema purificador de diversos contaminantes presentes en efluentes.

En la **tabla 13** se muestran en trabajos realizados anteriormente, los porcentajes de remoción; de algunos contaminantes, que se han puesto a prueba con esta planta.

Tabla 15. Remoción de algunos contaminantes en % según algunos estudios realizados con Eichhornia Crassipes.

Contaminante	Remoción %	Días de tratamiento	Documento consultado
Cromo	71	24	Diseño, desarrollo y evaluación de una tecnología de fitorremediación a escala de laboratorio utilizando la Eichhornia Crassipes para el tratamiento aguas contaminadas con cromo.
Cadmio	80,03	19	Determinación del tiempo máximo de absorción de cadmio por macrófitas acuáticas en condiciones de laboratorio.
Arsénico	41		Estudio del Buchón de agua (Eichhornia Crassipes) para el tratamiento de aguas residuales
Mercurio	15,6	7	Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua)
Aluminio	63	28	Estudio del buchón de agua (Eichhornia Crassipes) para el tratamiento de aguas residuales
Nitrógeno y Fosforo	100	63	Estudio del buchón de agua (Eichhornia Crassipes) para el tratamiento de aguas residuales
Boro	36		Estudio del buchón de agua (Eichhornia Crassipes) para el tratamiento de aguas residuales

Plomo	99		Estudio del buchón de agua (<i>Eichhornia Crassipes</i>) para el tratamiento de aguas residuales
Hierro	98,04	30	Absorción de hierro total en plantas acuáticas como fitorremediadora en aguas residuales industriales
Níquel	95	30	Capacidad de las Macrófitas <i>Lemna</i> minor y <i>Eichhornia Crassipes</i> para eliminar el níquel
Amonio	99,9	7	Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia)
Ortofosfato	93,1	7	Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia)

Fuente: Gil Y. (2018)

Resultado del segundo Objetivo Específico.

Indicar las propiedades fitorremediadoras de la Bora (*Eichhornia Crassipes*) útiles para la remoción de fenoles presentes en efluentes de la estación Sinco D.

Según el estudio teórico esta planta puede actuar naturalmente ejecutando estos mecanismos que anteriormente se han descrito, realizando una actividad microbiana, donde los microorganismos entran en acción para alimentarse de esas sustancias y convertirlas en otras menos contaminantes.

Los criterios de selección por el cual se empleo la *Eichhornia Crassipes* como fitorremediadora de fenoles radica, en que esta puede ser tolerante a altas concentraciones de metales y otros contaminantes, tener una rápida tasa de crecimiento, alta productividad, ser una especie local representativa de la comunidad natural y ser fácilmente cosechables.

Además de los mecanismos que teóricamente se han establecido, también están los nutrientes que pudieran estar presentes en el agua, los

microorganismos, el pH es otro indicador para el proceso depurador realizado por las plantas el cual se debe tomar en cuenta en las investigaciones venideras para que las plantas realicen un mejor proceso de fitorremediación y complementar esta alternativa ecológica. En esta investigación no pudo ser tomado en cuenta debido a que no se tenía conocimiento al principio en el que este pudiera influir o ser un factor considerado en la remoción de las sustancias tóxicas para ayudar a la planta a realizar un mayor proceso de remoción y al metabolismo de esta; surgiendo durante la discusión de los análisis de resultados; también otro aspecto a reconocer, es el alto sistema radicular de la planta, los cuales podrían ayudar en la función de limpiar o reducir in situ suelos/*aguas*, que están contaminados con sustancias orgánicas, inorgánicas además de volátiles, por lo tanto se considera que estos criterios deberían ser considerados para la remoción de fenoles o cualquier otro contaminante que se desee eliminar aplicando fitorremediación en efluentes de la estación de flujo Sinco D.

Resultados del tercer objetivo específico.

Establecer teóricamente la adaptabilidad de la planta bajo las condiciones físicas naturales de la Estación de Flujo Sinco D.

El estudio sobre esta planta nos muestra la versatilidad y capacidad que tiene para realizar diversas funciones, pudiendo realizar su proceso de fitorremediación con diversos elementos, señalando que se debe orientar, a hacer más investigaciones que contribuyan a complementar la fitorremediación, para aplicarla en un último proceso; luego que el agua de la estación es enviada a los canales de descarga para ir al caño morrocuy, bien sea aplicándola en conjunto con otras alternativas.

De la indagación que se recopiló a través de documentos y de la información suministrada por el ingeniero Henry Briseño de la estación Sinco

D, se obtuvo la información que se contrastó, determinando de esta manera si la planta podía emplearse o no en un estudio de este tipo.

Como resultado de lo investigado en la **tabla 14**, se muestra la descripción de algunas condiciones que se presentan en la estación de Flujo y se compara con las condiciones que la Eichhornia tiene. Destacando que según los datos obtenidos por fuentes documentales para las condiciones de adaptabilidad de la Eichhornia, como la información conseguida de la estación Sinco D, dan una respuesta favorable en cuanto a ser empleada en la estación de flujo como un ultimo proceso de tratamiento para las aguas que allí se tratan; pues en el cuadro se observa que las condiciones de adaptabilidad de la planta son superiores a las condiciones de la estación en la ultima Biolaguna o canal de descarga.

Tabla 16. Relación entre las condiciones de adaptación de la Eichhornia Crassipes (Bora), y las condiciones de la estación de flujo Sinco D.

	Condiciones de la estación de Flujo Sinco D	Condiciones de adaptabilidad de la Eichhornia C.
Temperaturas	31 °C a 32 °C en la salida de descarga	De 31 °C a 35 °C
Contaminantes	La estación contiene cromo, cadmio, hierro, plomo, cobre, arsénico, hidrocarburos, fosforo, detergentes y dispersantes, plata, selenio, fenoles entre otros.	La Eichhornia en trabajos anteriores la han utilizado para remover metales pesados como el cromo, cadmio, hierro, plomo, cobre, arsénico, detergentes y dispersantes, plata, selenio, nique, hierro.

Agua	El agua puede estar en flujo laminar o transitorio en las biolagunas y canales de descarga	Puede estar en aguas estancadas y con poca corriente.
-------------	--	---

Fuente: Gil Y. (2018)

Resultados del cuarto objetivo específico.

Calcular la eficiencia del empleo de la Eichhornia Crassipes en la remoción de fenoles presentes en muestras de efluentes de la Estación de Flujo SINCO D del Distrito Barinas de PDVSA.

Siguiendo el procedimiento descrito en la metodología del diseño experimental; los envases con 2800 ml y 1000 ml de agua fueron colocados a las 8:30 am del 6 de noviembre de 2018 al aire libre.

El primer día no se evaluaron ninguno de los parámetros, pero al tercer día (9/11/2018) y séptimo día (13/11/2018), se notaron disminuciones en la cantidad de agua suministrada tanto para el envase con Eichhornia como para el que no contenía esta planta, resaltando que hubo mas disminución de agua en el tratamiento con Bora debido a que necesita de esta para su crecimiento metabólico en comparación con el envase que no estaba sometido a tratamiento, el cual presento una disminución de 240 ml en una semana y la planta consumió una cantidad de 950 ml para el ultimo día de estudio.

En la **tabla 15 y 16**, se puede observar la disminución en los diferentes días, tanto de la evaporación como del consumo de la planta

Tabla 17. Muestra 1, Eichhornia Crassipes con agua de la estación

Muestra 1. Eichhornia Crassipes con agua de la estación		
Días	Volumen de agua (ml)	Consumo de agua por la planta (ml)
1	2800	-
3	2570	230
7	1850	720

Fuente: Gil, Y. (2018)

Tabla 18. Muestra 2, envase con agua de la estación

Muestra 2. (sin planta)		
Día	Volumen de agua (ml)	Evaporación (ml)
1	1000	-
3	990	10
7	870	120

Fuente: Gil, Y. (2018)

Durante los 7 días que tomó el experimento, se observó la evaporación del agua contenida en el recipiente de la muestra M2 (sin tratamiento). Se puede decir que hubo más disminución de agua en los últimos 4 días para ambos procesos, debido a que esos días fueron más soleados.

En esta etapa se noto que la Eichhornia Crassipes consumió agua 5 veces más, que la cantidad que se evaporo por el sol en el envase que no contenía planta de tratamiento fitorremediador, ya que es una planta acuática que necesita del consumo de agua para tener un buen crecimiento.

Por lo que se hace necesario buscar una alternativa de cómo implementarla en una laguna e introducir una cierta cantidad de esta para

evitar el descenso del agua, pero no cubrir la laguna con ella ya que podría causar disminución considerable de agua en la laguna y esto afectaría la vida del ecosistema, amenos que se generen sistemas de control para esta planta; algunos investigadores, como el doctor Ernesto Favela Torres; indican que la contaminación de los cuerpos de agua ayuda a controlar el crecimiento de la Bora, por tanto resulta factible poder aplicarla en una estación de flujo.

Tabla 19. Diferencia de Evaporación

Consumo de agua por la Eichhornia Crassipes (ml)	Evaporación sin la Eichhornia Crassipes (ml)
230	10
720	120

Fuente: Gil Y. (2018)

Durante la semana de exposición con el fenol, el desarrollo de la planta se vio afectado un poco debido a que estaba en ciertas condiciones que limitaron su crecimiento en comparación a cuando estaba solo con agua natural, ya que las diversas concentraciones de contaminantes a los que estaba expuesta afectaba su crecimiento como lo indica Ernesto Favela Torres, sin embargo ella pudo tener tolerancia a todo lo expuesto, además de florecer y crecer dentro de ese recipiente.

A continuación en la tabla 18 se muestran las concentraciones obtenidas de las disoluciones diluidas hechas para cada muestra tanto de tratamiento fitorremediador como sin tratamiento por medio del espectrofotómetro DR5000.

Tabla 20. Lecturas obtenidas con el espectrofotómetro HASH DR5000

	Concentración de las disoluciones para las muestras con tratamiento de Bora	Concentración de las disoluciones para las muestras sin tratamiento
Muestra de agua (día 1)	0,136	0,136
Muestra de agua (día 3)	0,087	Muestra emulsionada
Muestra de agua (día 7)	0,081	0,092

Fuente: Gil Y. (2018).

Muestra de cálculo

Como los resultados obtenidos fueron de una segunda disolución, se debían hacer cálculos matemáticos para saber la concentración inicial y verdadera de la muestra, por lo cual se procedió de la siguiente manera:

$$\text{Masa soluto inicial} = \text{masa soluto (disolución 1)} = \text{masa soluto (d2)}. \quad (1)$$

$$\text{Masa soluto inicial} = \text{Concentración} * \text{volumen} \quad (2)$$

$$\text{Masa soluto (d1)} = \text{Conc. (d1)} * \text{Vol. (d1)} \quad (3)$$

$$\text{Masa soluto (d2)} = \text{Conc. (d2)} * \text{Vol. (d2)} \quad (4)$$

Donde:

Conc._{d2}: Concentración de la disolución 2

Vol._{d2}: Volumen de la segunda disolución 2

Conc._{d1}: Concentración de la disolución 1

$Vol_{.d1}$: Volumen de l disolución 1

$Conc_0$: Concentración inicial de la muestra

vol_0 : Volumen inicial de la muestras

Conociendo los valores de la segunda disolución realizada en el laboratorio por medio del espectrofotómetro UV. Vis Hach DR5000, que en este caso son $Conc. (d2)=0,136$ mg/L y el $Vol. (d2)= 300$ ml, se calcula disolución ($d1$) y a su vez se obtiene la concentración inicial de la muestra 1.

$$Conc_{.d1} * Vol_{.d1} = Conc_{.d2} * Vol_{.d2} \quad (5)$$

$$Conc_{d1} = \frac{Conc_{d2} \times Vol_{d2}}{Vol_{d1}} \quad (6)$$

Donde:

$$Conc_{d2} = 0,136 \text{ mg/L}$$

$$Conc_{d1} = \frac{0,136 \frac{mg}{L} * 300 \text{ ml}}{30 \text{ ml}} = 1,36 \frac{mg}{L}$$

$$Conc_0 = \frac{Conc_{d1} \times Vol_{d1}}{Vol_0} = \frac{1,36 \frac{mg}{L} * 300 \text{ ml}}{30 \text{ ml}} = 13,6 \frac{mg}{L}$$

La primera muestra del agua de la estación Sinco D, en su primer día tuvo una concentración inicial de 13,6 mg/L; como en las demás muestras se conocían las concentraciones de la segunda disolución se procedió a calcular las concentraciones iniciales, obteniéndose los siguientes resultados al aplicar la formula anteriormente escrita.

Tabla de resultados de los cálculos obtenidos para las concentraciones iniciales de cada muestra.

Tabla 21. Concentraciones calculadas

	Concentración de las disoluciones para las muestras con tratamiento de Bora mg/L	Concentración de las disoluciones para las muestras sin tratamiento mg/L
Muestra de agua (día 1)	13,6	13,6
Muestra de agua (día 3)	8,7	Muestra emulsionada
Muestra de agua (día 7)	8,1	9,2

Fuente: Gil Y. (2018).

Calculo de la efectividad expresada en % de remoción de fenol.

Muestra de cálculo

Ejemplo del procedimiento para calcular la remoción del tercer día:

$$\mathbf{Cantidad = Conc.* Vol.} \quad (7)$$

Donde:

Conc.: concentración en mg/L

Vol.: volumen en ml

- $Cantidad = 8,7 \frac{mg}{L} * 2570ml * \frac{1L}{1000ml} = 22,36mg$

$$\mathbf{Diferencia = Cantidad_{inicial} - Cantidad_{muestra}} \quad (8)$$

- Diferencia = 38,08 mg – 22,359mg = 15,721mg

$$\%Remoción = \frac{\text{Diferencia}}{\text{Cantidad}_{\text{inicial}}} * 100 \quad (9)$$

- $\%Remoción = \frac{15,721mg}{38,08mg} * 100 = 41,28\%$

Tabla de resultados para cada una de las muestras.

Tabla 22. Valores de concentración, volumen cantidad, y remoción en %

Tratamiento Fitorremediador con la Eichhornia Crassipes						Remoción % en los últimos 4 días
Día	Concentración (mg/L)	Volumen (ml)	Cantidad (mg)	Diferencia	% de remoción	
1	13,6	2800	38,08	0	0	
3	8,7	2570	22,36	15,72	41,28	
7	8,1	1850	14,98	23,10	60,65	19,36
Agua sin tratamiento						
Día	Concentración (mg/L)	Volumen (ml)	Cantidad (mg)	Diferencia	% de remoción	
1	13,6	1000	13,6	0	0	
7	9,2	870	8,0	5,59	41,15	

Fuente: Gil Y. (2018)

Análisis del agua con Eichhornia Crassipes.

Una vez realizados los cálculos correspondientes a los datos obtenidos, se pudo apreciar la variación en el contenido de fenol en ambos componentes.

El agua del primer día presento una alta concentración en mg/L de fenol, algo que influye en el estudio porque no se pensaba encontrar rangos tan altos de este contaminante. A pesar de esto, la Bora logro tolerarlo y realizo su proceso de remediación presentándose una disminución en concentraciones de 13,6 a 8,7 mg/l, luego de 8,7 a 8,1 en los últimos 4 días restantes; en el cual la remoción fue mas lenta, en este sentido removió mas durante los tres primeros días en exposición con el contaminante; lo que lleva a predecir o suponer que esta puede alcanzar su máximo en saturación, resultando ser, una posibilidad que habría que estudiar más adelante, es decir comprobar la velocidad de remoción de esta planta; estableciendo el menor tiempo en el que ella alcanza su máximo en remoción.

Porcentajes de remoción con la Eichhornia Crassipes.

En los cálculos realizados de los análisis de agua en una semana, se presento un total de 60,6% en remoción, fortaleciendo la teoría en cuanto a la resistencia de esta planta, capacidad, y diversidad de funciones que puede tener para darle un mayor aprovechamiento sustentable, abriendo aun más el abanico de la utilidad de esta.

Se puede decir que fue en los 3 primeros días donde logro una mayor remoción de 41,28% en comparación con los últimos 4 días, donde la remoción fue de 19,36%.

La Eichhornia Crassipes; si realizo un proceso fitorremediador a pesar del corto periodo de tiempo en el que se empleo. El cual fue establecido por una semana, en función del desconocimiento del tiempo de residencia de la Biolaguna. Los estudios consultados no eran consistentes con el tiempo de tratamiento, es decir, no había una fuente donde estableciera que el estudio podía hacerse con un límite de tiempo, y debido a la naturaleza volátil del compuesto estudiado se busco saber el comportamiento de la variación de la

concentración con respecto a la planta en un período de tiempo corto, otra de las cosas por la que se realizó en una semana fue por la incertidumbre de la adaptabilidad de la planta en períodos de exposición más prolongados.

Son muchos los factores que pueden influir para indicar cuánto será el tiempo de tratamiento, por ejemplo; la saturación del contaminante en la planta, el tiempo de residencia que tienen las aguas en las estaciones de flujo al pasar por el último proceso de tratamiento (biolagunas), también el PH ha de considerarse en el proceso, ya que el valor del pH es muy importante según Ibáñez Juan (2007), porque afecta directamente al proceso de remoción de las plantas y la solubilidad de los nutrientes y otros compuestos orgánicos e inorgánicos; las plantas absorberán los distintos nutrientes y oligoelementos de modo correcto, solo entre ciertos valores de pH. La acidez tiene además una influencia considerable en la estructura y descomposición de sustancias orgánicas, así como en la microvida del suelo. El pH también repercute en el modo en que los elementos nutritivos o metales pesados y demás sustancias sean eliminados del suelo/agua. Un valor de pH muy bajo o muy alto puede ser perjudicial para una planta, es por esto que se debe conseguir o alcanzar el valor adecuado. Por lo tanto estos son conceptos que se deben considerar a la hora de realizar un proceso de remoción con plantas que son fitorremediadoras y que no se lograron tomar en cuenta debido a las limitantes presentadas además que muchos de estos, se dieron durante el proceso de generar resultados.

Análisis del agua no tratada

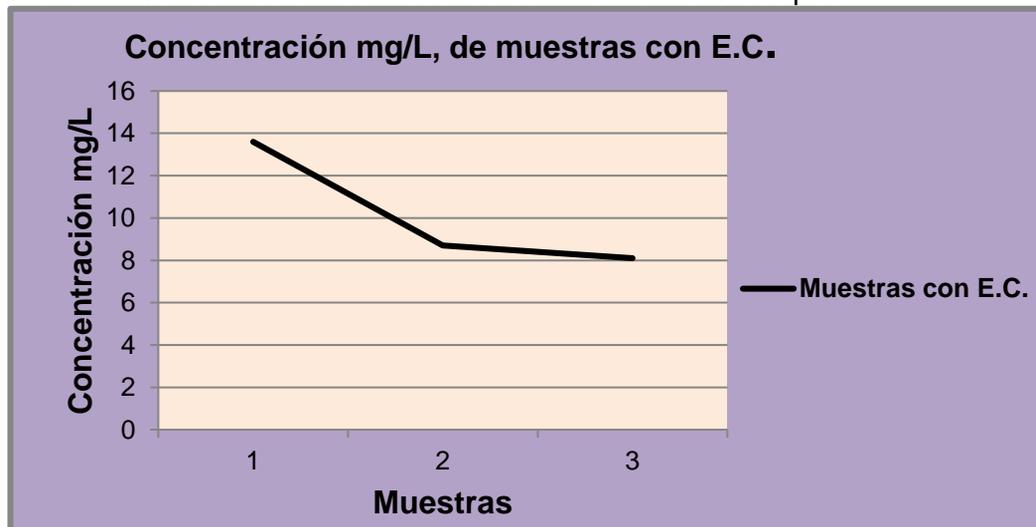
Durante los análisis del agua no tratada; la muestra del día 3 sin tratamiento, no se pudo analizar porque se emulsionó durante el proceso, por lo que solo se evaluaron las muestras del día 1 y 7 del agua que realizaba el proceso natural.

De la misma forma que se procedió para hacer los cálculos de remoción con tratamiento fitorremediador de Bora se hicieron los cálculos para la obtención del % de remoción por el proceso natural durante los días de muestreo, dando un resultado de 41% durante una semana, lo que establece que el agua por el proceso natural (expuesta al ambiente), pudo volatilizar cierta cantidad de concentración de fenol, pero sí se compara con los resultados obtenidos por el tratamiento fitorremediador empleando Bora, donde se obtuvo una remoción de 60,6%, se nota que la planta puede ayudar aun mas a tratar el agua. En tal sentido se puede sugerir la implementación de la fitorremediación, por medio de la Eichhornia Crassipes, ya que esta tiene la resistencia y la capacidad de remover.

▲ **Presentación de los Gráficos para el tratamiento con Bora.**

En el **gráficos 1**, que se presenta a continuación se observa la disminución de la concentración con el transcurrir de la semana que llevo el experimento.

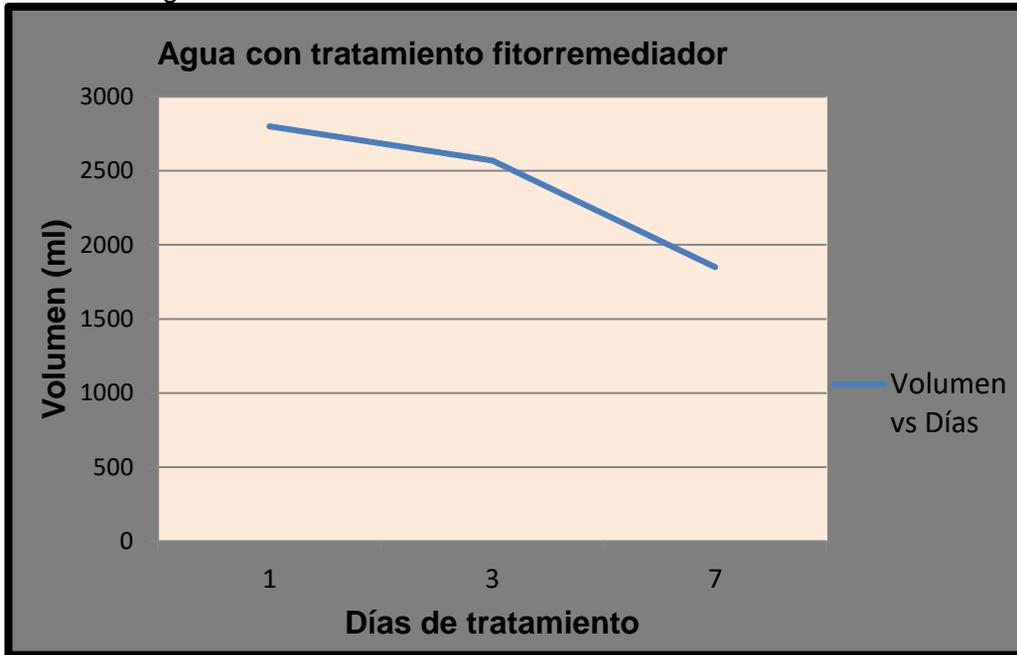
Gráfico 1.Concentración de muestras con Eichhornia Crassipes.



Fuente: Gil Y. (2018)

A continuación se muestran los gráficos de volumen, cantidad, remoción vs Días de tratamiento.

Gráfico 2. Agua con tratamiento fitorremediador volumen vs días



Fuente: Gil Y. (2018)

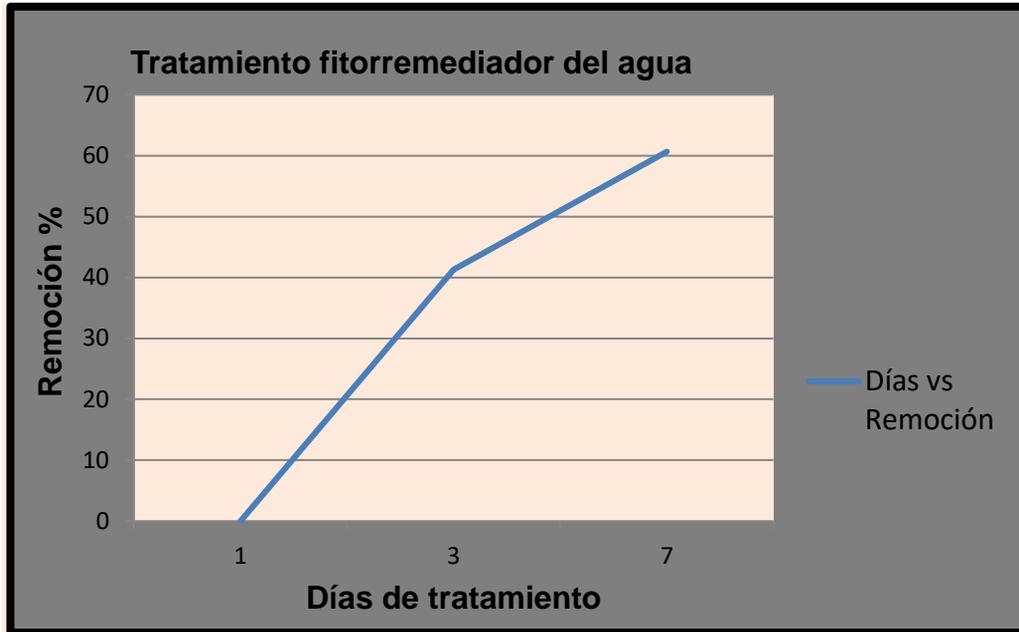
Gráfico 3. Tratamiento fitorremediador del agua cantidad vs días



Fuente: Gil Y. (2018)

Luego en el **gráfico 4**, se muestra el aumento del porcentaje de remoción durante los días de tratamiento con la Bora.

Gráfico 4. Presentación de la remoción % vs días

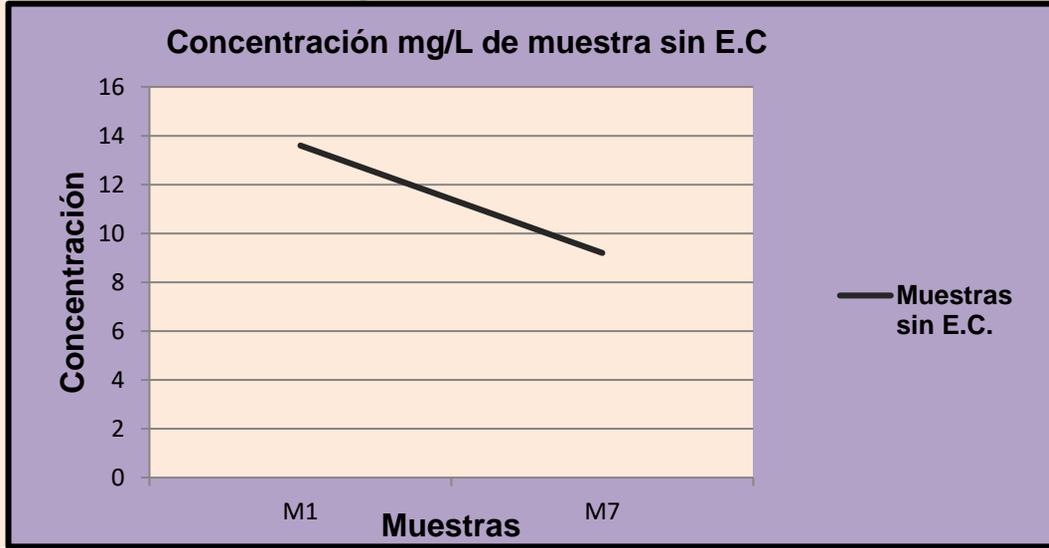


Fuente: Gil Y. (2018)

▲ **Gráfico del agua sin tratamiento.**

En el **gráfico 5**, se muestra la disminución de la concentración obtenida para el agua que no fue sometida a remediación con la Bora

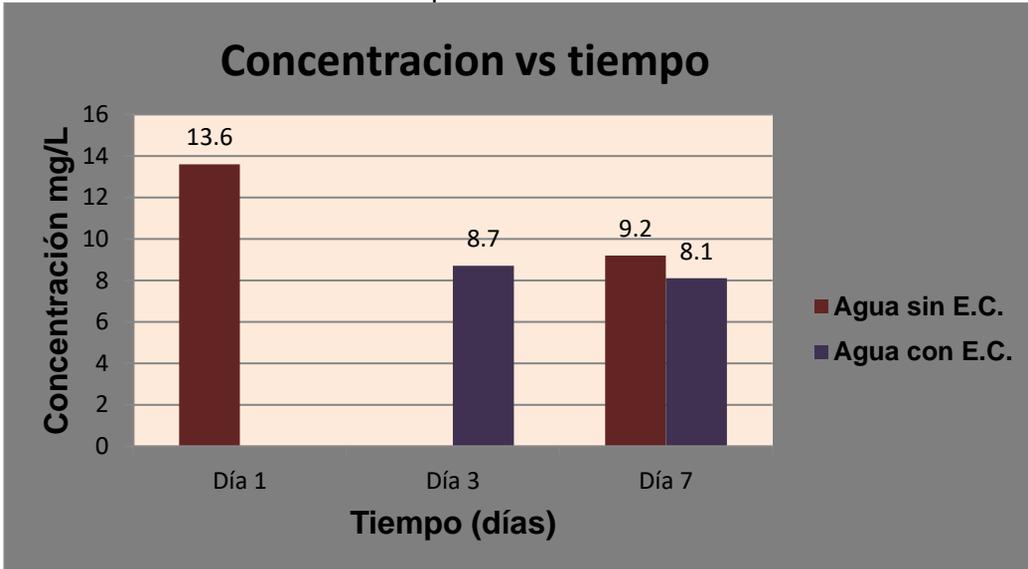
Gráfico 5. Concentración mg/L de muestra sin E.C.



Fuente: Gil Y. (2018)

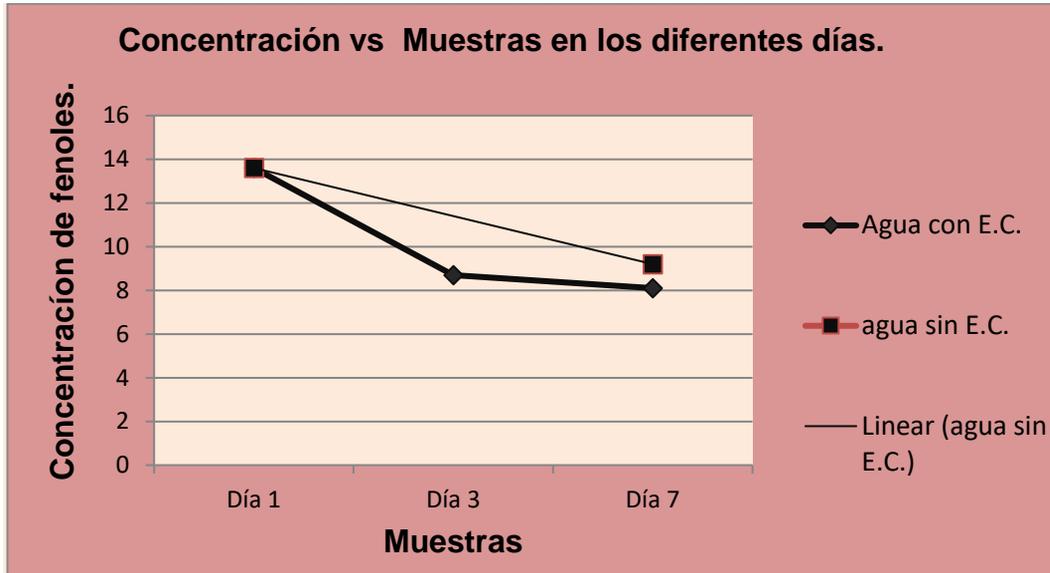
- ▲ Gráficos que muestran los dos procedimientos y su variación para cada tratamiento en estudio.

Gráfico 6. Concentración vs tiempo



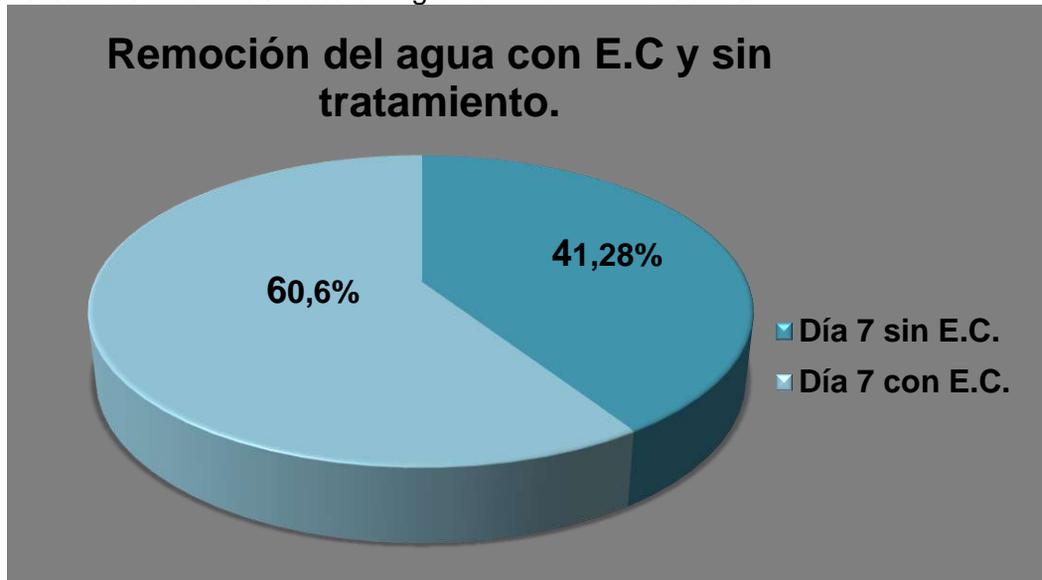
Fuente: Gil Y. (2018).

Gráfico 7. Concentración vs Muestras en los diferentes días



Fuente: Gil Y. (2018)

Gráfico 8. % de remoción del agua de la estación Sinco D



Fuente: Gil Y, (2018)

CAPITULO V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones.

Se corrobora la información citando que el tratamiento fitorremediador puede ser aplicable como biotecnología sustentable y ecológica, ayudando a promover acciones en el ámbito nacional que contribuyan a la protección, conservación y aprovechamiento de agua dulce del país.

Se obtuvo conocimiento de aquellos indicadores que deben considerarse en el momento de seleccionar una planta como fitorremediadora dando aportes que se deben tomar en cuenta para próximas investigaciones.

Se logró establecer que bajo condiciones similares a las encontradas en la Biolaguna, la planta se adapta y puede realizar el proceso de fitorremediación, esto es importante ya que da una oportunidad para el desarrollo de una nueva tecnología que permita coadyuvar en el tratamiento de aguas con materiales endógenos.

Se concluye que el tratamiento fitorremediador empleando la *Eichhornia Crassipes* para el tratamiento de efluentes; puede realizarse en beneficio del medio ambiente en una estación de flujo, ya que los resultados obtenidos en esta investigación, muestran una eficiencia fitorremediadora de 60,6% en un periodo de tiempo de una semana y la especie vegetal presenta tolerancia a diversos contaminantes que se encuentran en las aguas de la estación Sinco D.

El tratamiento fitorremediador es más eficiente que solo dejar que el agua quede expuesta al ambiente sin tratamiento previo, esto se pudo comprobar con el diseño experimental que se realizó y las remociones que se obtuvieron de 41% para el agua sin tratamiento y 60,6% con la *Eichhornia*.

Recomendaciones.

- Prolongar el tiempo de exposición al contaminante ya que la *Eichhornia Crassipes* tiene una gran capacidad de resistir la concentración de fenol, y así poner a prueba los límites de esta.
- Aplicar otros factores importantes, como la agregación de nutrientes para favorecer la remoción de los contaminantes, mejorando el sistema de tratamiento y considerando el pH constituido como un factor importante para que el sistema radicular de las plantas pueda hacer su función de manera más eficiente en la remoción de fenoles.
- Elaborar diseños experimentales que permitan estandarizar la capacidad de remoción empleando una cantidad suficiente de plantas.
- Buscar alternativa para el manejo de la especie vegetal contaminada una vez se finalice el proceso de fitorremediación.
- Realizar análisis más exhaustivos a la especie vegetal para determinar su capacidad real de remoción. Aportando mayores estudios con el fin de llevar su utilización a gran escala en procesos de Biorremediación, de una manera responsable y causando la menor alteración posible en los ecosistemas.
- Las industrias que produzcan agua con fenol pueden implementar la fitorremediación mediante el uso de la *Eichhornia Crassipes* en complementación con otras tecnologías, para reducir el impacto ambiental por contaminantes a los cuerpos de agua.
- Verificar la disponibilidad de los instrumentos, materiales, reactivos y técnicos de laboratorio para efectuar los análisis respectivos en la experimentación.

- Examinar los riesgos de factores que puedan causar interferencias al momento de analizar las muestras.
- Hacer repeticiones de análisis de cada muestra, para la comprobación de resultados

Referencias Bibliográficas.

- 1) *Mejora de la calidad de aguas grises con plantas superiores acuáticas*. S.f. Fecha de consulta: 6 de septiembre del 2018, Disponible en: https://feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria430_01_mejora_de_la_calidad_de_aguas_grises_con_plantas_s.pdf
- 2) Arteaga Nancy (2014). *Fitorremediación del suelo de la mina La Blanca, Hidalgo, con plantas de la especie Cosmos bipinnatus y el género Dahlia*. Fecha de consulta 20 de septiembre del 2018. Disponible en: https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_nungaray_arteaga.pdf
- 3) Lara P. Sergio (2017). *Sistema Vetiver para Descontaminación de Agua y Mayor Disponibilidad para Riego*. Fecha de consulta 10 de septiembre del 2018, Disponible en: https://www.opia.cl/static/website/601/articles-87024_archivo_01.pdf
- 4) López A, Ramírez C, García F, Ibarra J, Sandoval O. (2011). *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. Fecha de consulta: 6 de mayo del 2018, del sitio web del departamento de Tropical and Subtropical Agroecosystems de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- 1) Villagrana R. Diciembre de (2006). *Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial*. Fecha de consulta: 6 de Mayo del 2018, del sitio web de la División de Ingeniería

Departamento de Ciencias del Suelo de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf/fitorremediacion/fitorremediacion2.shtml>.

- 2) Morales K. Maracaibo, Junio de (2012). *Biorremediación de sedimentos de una fosa contaminados con hidrocarburos utilizando bacterias autóctonas*. Recuperado el 10 de Mayo del 2018, del sitio Web de la Universidad del Zulia Facultad de Ingeniería División de Postgrado, Programa de Postgrado en ciencias del ambiente. Disponible en: http://tesis.luz.edu.ve/tde_arquivos/80/TDE-2014-06-18T08:33:25Z-4992/Publico/zambrano_morales_karla_alejandra.pdf
- 3) Duarte C, Quintero Ch. Julio de (2012). *Implementación de un Sistema de Tratamiento Biológico para la Remoción de Fósforo de los Efluentes Provenientes de la p.t.a.r. de Corporación Inlaca, c.a*. Fecha de consulta: 23 de Mayo del 2018, del sitio web de la Universidad de Carabobo Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química del Departamento de Ingeniería Química Cátedra de Trabajo especial de grado II. Disponible en: <http://riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/5702/1/caduchqu.pdf>.
- 4) Lemna (S.f.). Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2018, Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Lemna>.
- 5) España Obando J. Abril 19 de (2006). *Estanques de Jacinto de agua (Eichhornia Crassipes) para tratamiento de residuos industriales*. Fecha de consulta: 3 de Junio del 2018, del sitio Web de la Universidad del Valle Facultad de Ingenierías Escuela de Ingeniería Química Santiago de Cali. Disponible en:

<https://www.monografias.com/trabajos37/estanques-de-jacinto/estanques-de-jacinto2.shtml>

- 6) *La fitorremediación: plantas para tratar la contaminación ambiental.* (S.f.). Fecha de consulta: 3 de Junio del 2018, disponible en: https://agroalimentando.com/nota.php?id_nota=1492
- 7) Muñoz V. Marzo del (2013). *Mecanismos de Fitorremediación.* Fecha de consulta: 7 de junio del 2018, disponible en: <http://colaboraconambien.blogspot.com/2013/03/mecanismos-de-fitorremediacion.html>
- 8) *Ley de Aguas Título I: Disposiciones Generales.* (Enero de 2007). Fecha de consulta: 20 de junio del 2018, disponible en: http://www.uc.edu.ve/mega_uc/archivos/leyes/d Ley de Aguas.pdf.
- 9) Gaceta Oficial Extraordinaria: 5.021 del 18/12/95, Decreto N° 883. 11 de Octubre de 1995. *Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.* Fecha de consulta: 20 de junio del 2018, disponible en: <http://www.adan.org.ve/documentos/decreto-883.pdf>
- 10) Núñez R, Meas Vong Y., Ortega R y Olguín E. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones.* Fecha de consulta: 24 de octubre del 2018. Disponible en: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
- 11) León Jimmy (2017). *Una Mirada a la Fitorremediación en Latinoamérica.* Fecha de consulta 3 de noviembre del 2018 del sitio web de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia-Unad, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del medio Ambiente Ecapma.

Disponible en:
<https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13866/1/80541209.pdf>

- 12)** Maduro N, Rodríguez D. Diciembre (2013). *Plan de la Patria, Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2013-2019*. Fecha de consulta: 22 de junio del 2018 disponible en: http://www.opsu.gob.ve/portal/vistas/descargas/banners/arc_Plan_de_la_Patria_Programa_de.pdf
- 13)** Duran, B. (2017). *Lirio Acuático, de plaga a producto sustentable*. [Periódico en línea]. Disponible: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2017/05/1/lirio-acuatico-de-plaga-producto-sustentable>. [Consulta: 19 septiembre del 2018].
- 14)** Zambrano Morales K. (2012). *Biorremediación de sedimentos de una fosa contaminados con hidrocarburos utilizando bacterias autóctonas*. Fecha de consulta: 19 de septiembre del 2018 disponible en: http://tesis.luz.edu.ve/tde_arquivos/80/TDE-2014-06-18T08:33:25Z-4992/Publico/zambrano_morales_karla_alejandra.pdf
- 15)** Maldonado Morales N. C. (2010). *Metodología para la aplicación de las normas Iso 14001:2004. En una Estación de Flujo*. Fecha de consulta: 2 de octubre del 2018 del sitio web del Programa de Postgrado en Ingeniería ambiental, Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, División de Postgrado. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://tesis.luz.edu.ve/tde_arquivos/80/TDE-2013-11-20T09:43:45Z-4289/Publico/maldonado_morales_nidia_coromoto.pdf

- 16)** Juárez Luna. G.N. (2011). *Cambios en la composición del lirio acuático (Eichhornia Crassipes) debidos a su grado de madurez y a su transformación biotecnológica*. Fecha de consulta: 2 de octubre del 2018 del sitio web del Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Disponible en: https://www.imbe.fr/IMG/pdf/re-33_2011-12-04_tesis_juarez_luna_gregorio.pdf?934/9d5626268ded3409c045036c01dc8edf9a4faf38
- 17)** Cortés Suarez Pedro, Flórez Téllez J. D. (2017). *Evaluación In Vitro de la Taruya (Eichhornia Crassipes) como agente Biorremediador en aguas contaminadas con cromo*. Fecha de consulta: 6 de octubre del 2018 del sitio web del departamento de Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño, Programa de Ingeniería Química Cartagena de Indias D. T. y C. Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena. Disponible en: https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4530/1/Evaluaci%C3%B3n%20in%20vitro%20de%20la%20taruya_Pedro%20Cort%C3%A9s%20S_2017.pdf
- 18)** Montenegro Puga J. P. (2010). *Evaluación de la Disminución de Concentración de Fenol en Agua Sintética por medio de dos Consorcios Bacterianos Nativos, Aerobio y Anaerobio Facultativo, a nivel de Laboratorio, para su Aplicación Futura en la Biorremediación de Efluentes Textiles*. Fecha de consulta: 15 de octubre del 2018 del sitio web del Departamento de Ciencias de la Vida Ingeniería en Biotecnología, Escuela Politécnica del Ejército. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2629/1/T-ESPE-030040.pdf>

- 19)** Maldonado M. Nidia C. (2010). *Metodología para la aplicación de las normas ISO 14001:2004. En una Estación de flujo*. Fecha de consulta: 20 de octubre del 2018 del sitio web de la Facultad de Ingeniería División de Postgrado Programa de Postgrado en Ingeniería Ambiental de la Universidad del Zulia. Disponible en: http://tesis.luz.edu.ve/tde_arquivos/80/TDE-2013-11-20T09:43:45Z-4289/Publico/maldonado_morales_nidia_coromoto.pdf
- 20)** Moreno G. Eliseo (2013). *Limitaciones del problema de investigación*. Fecha de consulta: 27 de noviembre del 2018. Disponible en: <http://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2013/08/limitaciones-del-problema-de.html>
- 21)** Allende María (2010). *Remoción de as en solución empleando biomazas no vivas de maleza acuática*. Fecha de consulta: 24 de octubre del 2018 del sitio de la Universidad Autónoma del estado de México, Facultad de química. Disponible en: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/42/061/42061159.pdf>
- 22)** LLantoy Victor (2014). *Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (11) y mercurio (11) con la especie Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua)*. Fecha de consulta: 24 de octubre del 2018 del sitio web de la Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ciencias Escuela Profesional de Química. Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3800/1/poma_lv.pdf
- 23)** Pardo Cindy, (2017). *Estudio del Buchón de agua (Eichhornia Crassipes) para el tratamiento de aguas residuales*. Fecha de consulta: 24 de octubre del 2018 del sitio web de la Universidad Abierta y a Distancia UNAD Bucaramanga. Disponible en:

<https://stadium.unad.edu.co/preview/unad.php?url=/bitstream/10596/17528/1/1098682038.pdf>

- 24)** Matute, Saida, Capote, Tarcisio, Montilla, María Norelys, Padrón, Dulcinea e Iglesias y Patricia, (2014). *Absorción de hierro total en plantas acuáticas como fitorremediadora en aguas residuales industriales*. Fecha de consulta: 4 de noviembre del 2018 del sitio web de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado-Decanato de Agronomía. Departamento de Química y Suelos. Disponible en: http://bibvirtual.ucla.edu.ve/db/psm_ucla/edocs/asa/vol1nro2/articulo3.pdf
- 25)** Bres P.; Crespo, D.; Rizzo, P.; La Rossa, R. (2011). Capacidad de las macrófitas Lemna minor y Eichhornia Crassipes para eliminar el níquel. Fecha de consulta: 4 de noviembre. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142012000200009
- 26)** *La importancia de la acidez del pH para tus plantas*. (S.f). Fecha de consulta 29 de noviembre del 2018. Disponible en: http://www.canna.es/importancia_acidez_del_ph_para_tus_plantas
- 27)** Ibáñez Juan (2007). *pH del suelo y nutrición vegeta*. Fecha de consulta 29 de noviembre del 2018. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/10/63196>
- 28)** Mendoza G. Isabel (2016). Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia). Fecha de consulta 29 de noviembre de 2018. Disponible en:

http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200004

Anexos.

-Introducción de la Bora en el envase.



-Primer día de la Eichhornia C. con tratamiento fitorremediador y realizando el proceso natural



-Colocación de una cubierta para evitar alteraciones en las muestras en caso de lluvia





-Toma de muestras





-Muestras recolectadas para analizar



-Colocación de los reactivos



-Se debía invertir el embudo de separación para dejar escapar los gases producidos



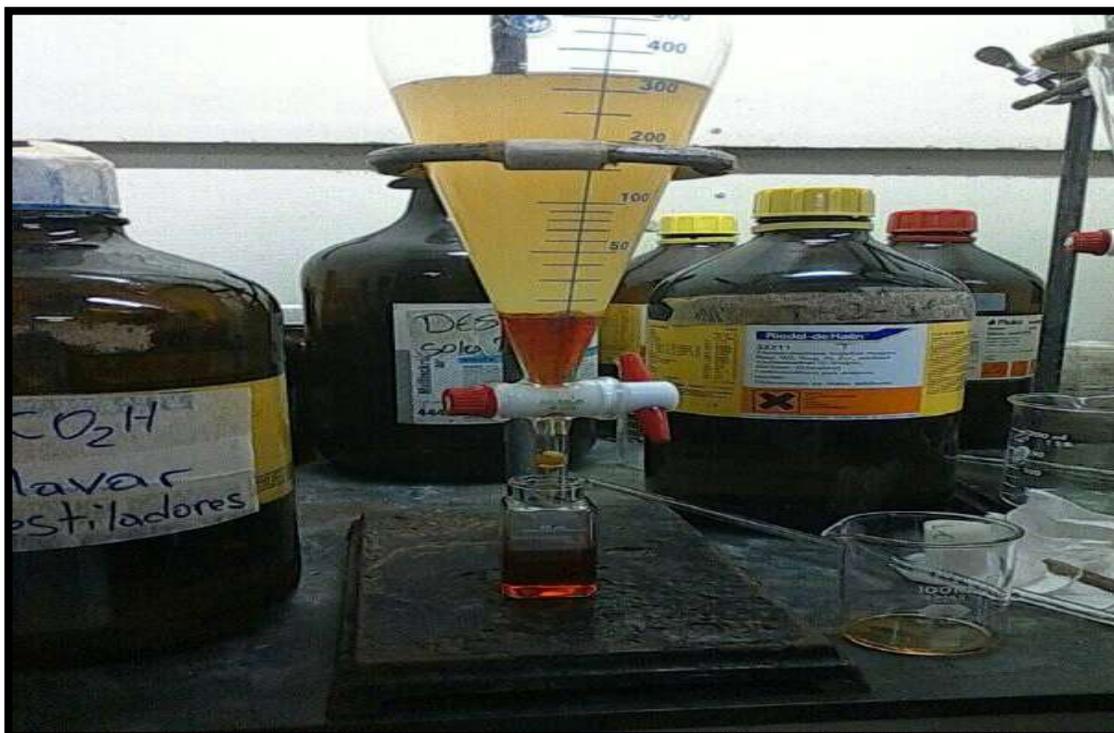
-Luego se debía dejar reposar para que ocurriera la separación de componentes en 2 capas



-Introducción de la capa inferior a la celda de 25 ml



-Blanco





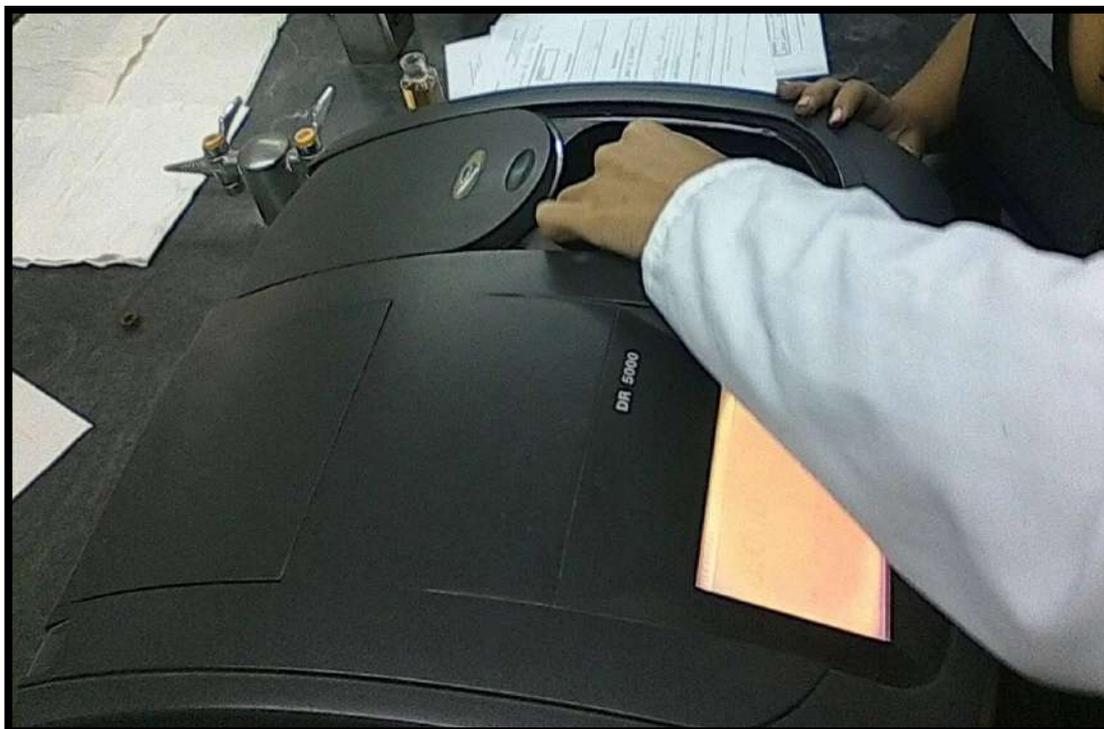
Celdas de 25 ml del equipo RD 5000, con el contenido de la capa inferior obtenida del embudo de separación



-Equipo espectrofotómetro UV. Vis, DR5000, para determinar concentraciones de contaminantes presentes en agua



-Equipo espectrofotómetro DR500



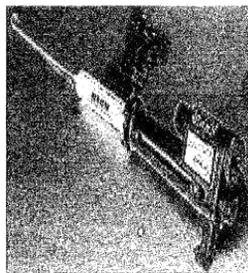
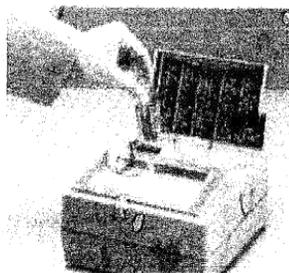
-Guía para la calidad del agua, manual para el análisis físico- químico del agua con el Espectrofotómetro RD5000 y DR-2010

**Universidad Nacional Experimental
De los Llanos Occidentales
Ezequiel Zamora
Barinas**

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA

INSTRUMENTOS

**MANUAL DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA
CON EL ESPECTROFOTÓMETRO DR-2010 y DR 5000**



Elaborado por: Prof. Plácido A. Freites C.

Barinas, Junio de 2004

Aluminio.

- ❖ Ingresar el programa **10 Enter**
- ❖ Girar el dial a **522 nm**
- ❖ Llenar un cilindro graduado de 50 ml con la misma cantidad hasta la marca superior.
- ❖ Añadir el contenido del sobre amortiguador **Ascorbic Acid** y luego invertir varias veces el cilindro para mezclar.
- ❖ Añadir el contenido de un sobre de **AhVer 3**, e invertir varias veces hasta disolver el reactivo.
- ❖ Coloque 25 ml de la mezcla preparada en una celda de 25 ml; esta va a ser **la muestra** a medir.
- ❖ Agregar al resto del contenido del cilindro un sobre de **Bleaching 3 Reagent**, disolver y colocarlo en la otra celda de 25 ml; **esta será el Blanco**.
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER**. Habrá un período de espera de 15 minutos.
- ❖ Luego, esperar 5 minutos después de la señal del **Timer** y colocar el Blanco en el compartimiento respectivo para luego oprimir **Zero**.
- ❖ Inmediatamente colocar la muestra en el compartimiento y oprimir **READ**.

ALCALINIDAD TOTAL

- ❖ Tomar 100 ML de la muestra en un Erlenmayer de 250 ml.
- ❖ Agregar un sobre de Fenolftaleina si es Básico.
- ❖ Si no es Básico se le agrega un sobre de **Verde Bromo Cresol**.
- ❖ Titular con **H 2SO₄ (1.600)**

BARIO

- ❖ Ingresar programa **20 Enter**.
- ❖ Girar el dial a **450 nm**.
- ❖ Llenar la celda de 25 ml con la muestra
- ❖ Añadir el contenido de un sobre de **Barium Reagent Powder Pillow**
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER** habrá un período de reacción de 5 minutos
- ❖ Llenar la otra celda de 25 ml con la muestra para utilizarla como Blanco.
- ❖ Colocar el Blanco en el equipo y Zerear
- ❖ Luego coloque la muestra tratada y leer.

DR 5000

- ❖ Encender el reactor para incubar por 2 horas de 103°C a 105°C
- ❖ Colocar 10 ml de la muestra en un erlenmeyer de 50 ml.
- ❖ Añadir 0.4 ml de solución Buffer pH 2.0.
- ❖ Mantener agitando con barra magnética durante 10 minutos a velocidad moderada.
- ❖ Tomar 2 viales de ácido para la muestra y el blanco y agregarles un sobre de " TOC Persulfate" a cada uno.
- ❖ Añadirles 1.0 ml de agua libre de materia orgánica (agua destilada) al vial BLANCO *preparado* y 1.0 ml de la muestra al vial MUESTRA. *preparada*
- ❖ Tomar 2 ampollas indicadoras y lavarlas con agua desionizada para luego secarlas con un paño libre de pelusas. **Nota:** no tocar las ampollas y sujetarlas por la parte superior.
- ❖ Colocar cada ampolla en su respectivo vial y romper la parte superior de la misma para luego cerrar cada vial con su tapa.
- ❖ Ubicar los viales en el reactor previamente calentado.
- ❖ Transcurido el tiempo sacar los viales y dejarlos enfriar por una hora.
- ❖ Seleccione el programa respectivo de acuerdo al rango:
- ❖ HR: 426
- ❖ MR: 425
- ❖ LR: 427
- ❖ Colocar el blanco en el equipo y zerear
- ❖ Introducir la muestra y leer.

CIANURO

- ❖ Ingresar programa 160 **Enter**.
- ❖ Girar el dial a **612 nm**.
- ❖ Colocar el adaptador para la celda de 10 ml en el DR-2010
- ❖ En la celda de 10 ml colocar 10 ml de la muestra
- ❖ Agregar el sobre de **CyaniVer 3**
- ❖ Agitar la muestra por 30 segundos
- ❖ Dejar la muestra en reposo por otros 30 segundos
- ❖ Añadir el contenido del sobre **CyaniVer 4**
- ❖ Agitar por 10 segundos y proceda inmediatamente al siguiente paso
- ❖ Añadir un sobre del reactivo **CyaniVer 5**

- Nota:** Si hay cianuro el color rosa debe puede cambiar a azul en pocos minutos.
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER** Habrá un período de reacción de 30 minutos.
 - ❖ Al finalizar el tiempo de reacción coloque el blanco con la muestra sin reactivo
 - ❖ Ubicar el blanco en el DR-2010 y oprimir **Zero**
 - ❖ Colocar la muestra en el equipo y leer.

COLORO LIBRE Pág. 153

- ❖ Ingresar el programa **85 Enter**
 - ❖ Girar el dial a **530 nm**
 - ❖ Llenar la celda para el blanco con la muestra
 - ❖ Sumergir la ampolla para cloro en la muestra
- Nota:** Este análisis debe realizarse inmediatamente después de la colección de la muestra
- ❖ Invertir varias veces la ampolla para la disolución del reactivo
 - ❖ Colocar el blanco y oprimir **Zero**
 - ❖ Introducir la ampolla en el equipo esperando un minuto para leer

COLORO TOTAL Pág. 189

- ❖ Ingresar el programa **85 Enter**
 - ❖ Girar el dial a **530 nm**
 - ❖ Llenar la celda para el blanco con la muestra
 - ❖ Sumergir la ampolla para cloro en la muestra
- Nota:** Este análisis debe realizarse inmediatamente después de la colección de la muestra
- ❖ Invertir varias veces la ampolla para la disolución del reactivo
 - ❖ Colocar el blanco y oprimir **Zero**
 - ❖ Introducir la ampolla en el equipo esperando un minuto para leer

Cloruro

- ❖ Ingresar el programa **70 Enter**
- ❖ Girar el dial a **455 nm**
- ❖ Llenar la celda de 25 ml con la muestra. (Filtrar las muestras turbias)
- ❖ Llenar la otra celda de 25 con agua desionizada para el blanco.
- ❖ Agregar a ~~la~~ ^{Cada} celda ~~con la muestra~~ **2.0 ml de Tiocianato de mercurio** y agitarla para mezclar.
- ❖ Luego añadir **1.0 ml de solución de Ión Férrico** y agitar para mezclar. (Una coloración naranja puede aparecer si hay presencia de cloruros).
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER**. Abrá un período de reacción de 2 minutos.
- ❖ Ubicar el blanco en el DR-2010 y oprimir **Zero**
- ❖ Colocar la muestra en el equipo y leer.

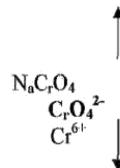
COBALTO Pág. 225

- ❖ Ingresar el programa **110 Enter**
- ❖ **Nota 1:** Ajustar el pH si son muestras preservadas antes el análisis.
- ❖ Girar el dial a **620 nm**
- ❖ Llenar la celda de 10 ml con la muestra.
- ❖ Llenar la otra celda de 10 ml con agua desionizada para el blanco.
- ❖ Agregar **a la celda con la muestra y al blanco** el contenido de un sobre de **PHTHALATE PHOSPHATE REAGENT**, tapar y agitar para disolver.
- ❖ Luego añadir **0.5 ml** de solución indicadora **PAN 0.3 %** **a la muestra y al blanco** e invertir varias veces para disolver.
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER**. Abrá un período de reacción de 3 minutos.
- ❖ **Nota:** Durante este tiempo la muestra puede variar desde color verde a rojo oscuro dependiendo de su composición, y el blanco se podrá tomar amarillo.
- ❖ Luego de transcurrido el tiempo añadir un sobre con **EDTA REAGENT** a cada celda y agitar.
- ❖ Colocar el blanco en el DR-2010 y oprimir **ZERO**
- ❖ Luego colocar la celda con la muestra y leer.

Cromo

Ingresar el programa **95 Enter**

- ❖ Girar el dial a **540 nm**
- ❖ Colocar el adaptador para la celda de 10 ml en el DR-2010
- ❖ En la celda de 10 ml colocar 10 ml de la muestra
- ❖ Llenar la ampolla para Cromo e invertirla varias veces
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER** y esperar 5 minutos de reacción
- ❖ Colocar el blanco en el equipo y oprimir **Zero**
- ❖ Colocar la ampolla en el equipo y leer



COLOR VERDADERO Y APARENTE

Color verdadero:

- ❖ Filtrar agua desionizada (50 ml aprox.) para curar el envase quitasato y luego desecharla.
- ❖ Filtrar otros 50 ml y colocar 25ml en el envase de la misma medida que va a funcionar como blanco en el espectrofotómetro.
- ❖ Introducir el programa **120 enter**
- ❖ Girar el dial a **455 nm**, la pantalla mostrará **Units Pt Co Apha**
- ❖ Filtrar la muestra (50 ml aprox.) y colocar 25 ml en el envase de la misma medida del espectrofotómetro. (Aviso N° 5)
- ❖ Introducir el Blanco. Presionar **Zero**
- ❖ Colocar la celda , oprimir **READ** y leer.

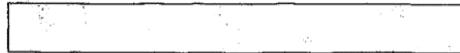
Color aparente:

- ❖ Efectuar el mismo procedimiento con la diferencia de no filtrar el agua ni la muestra.

COBRE

- ❖ Sumergir la ampolla para Cobre en la muestra
- ❖ Ingresar el programa para Cobre **140 Enter**
- ❖ Girar el dial a **560 nm**
- ❖ Invertir varias veces la ampolla y pulsar **SHIFT TIMER** (2 min. de espera)
- ❖ Introducir el Blanco. Presionar **CERO**.

- ❖ Introducir el Blanco. Presionar **CERO**.
- ❖ Colocar la ampolla, oprimir **READ** y leer.



- ❖ Agitar bien el envase con la muestra
- ❖ Homogenizar 100 ml de la muestra durante 30 segundos en la licuadora
- ❖ Colocar la muestra homogenizada en un beaker de 250 ml
- ❖ Luego agite suavemente en un plato agitador.
Nota: Para muestras que contengan gran cantidad de sólidos, incrementar el tiempo de homogenización.
- ❖ Encender el Reactor a 150°C
- ❖ Destapar un vial de Reactivo para digestión D Q O del rango correspondiente a la muestra
- ❖ Inclinar el vial en un ángulo de 45° y agregar 2 ml de la muestra
Nota 1: Para el Ultra Bajo Rango (0 a 15000) se usan 0.2 ml de muestra con la micro pipeta para máxima exactitud.
- ❖ **Nota 2:** No derramar el reactivo pues es muy peligroso para la piel. Utilizar todas las medidas de seguridad posible (Guantes, lentes, protector facial, mascarilla etc.)
- ❖ Tapar el vial, limpiarlo con agua desionizada y secarlo con papel.
- ❖ Tomar el vial e invertirlo varias veces para mezclar el contenido y colocarlo en el Reactor previamente calentado
- ❖ Preparar el Blanco con los mismos pasos 6 al 9 pero con agua desionizada en vez de la muestra
- ❖ Calentar los viales por dos horas
Nota: Algunas muestras son digeridas completamente en menos de dos horas, si lo desea mida la concentración en intervalos de 15 minutos
- ❖ Apagar el Reactor y esperar 20 minutos para que se enfríen los viales a unos 120° C o menos
- ❖ Invertir varias veces los viales y colocarlos en reposo a temperatura ambiente
Nota: Si la muestra se torna verde puro mida el D Q O y si es necesario repita la prueba diluyendo la muestra
- ❖ Realice la lectura en el DR2010 con el programa para el rango respectivo.

A.- Rango de 0 a 150 m/l D Q O

- ❖ Ingresar programa **430 Enter**
- ❖ Girar el dial a **420 nm**
- ❖ Colocar el adaptador para el vial de D Q O
- ❖ Colocar el Blanco y oprimir **Zero**

- ❖ Limpiar el vial con la muestra y colocarlo en el equipo y oprimir Leer

B.- Rango de 0 a 1500 y 15000 mg/l de D O O

- ❖ Ingresar programa 435 Enter
- ❖ Girar el dial a 620 nm
- ❖ Aplicar los pasos 3 al 5 anteriores

Nota 1: Cuando se utiliza el Ultra Bajo Rango Plus (de 0 a 15000 m/l) se multiplica la lectura X 10

Nota 2: Para resultados mas exactos en los rangos de 0 a 1500 y el de 0 a 15000 repita el análisis con muestras diluidas.

DETERGENTES

Surfactantes TENSIOACTIVOS

- ❖ Ingresar programa 710 Enter
- ❖ Girar el dial a 605 nm
- ❖ Medir 300 ml de muestra en un cilindro graduado y transferirlo a un embudo de separación de 500 ml.
- ❖ Añadir 10 ml **Sulfate Buffer Solution**, tapar y agitar por 5 segundos.
- ❖ Añadir el contenido de un sobre de **Detergents Reagent** al embudo tapar y agitar para disolver.
- ❖ Verter en el embudo 30 ml de Benceno y agitar suavemente durante 1 minuto.
- ❖ Colocar el embudo de separación en un soporte.
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER**, esperar un periodo de reacción de 30 minutos. *Drenar la capa Superior y descartar*
- ❖ Drenar ~~sin filtrar con algodón~~ la capa ~~inferior~~ ^{Superior} en una celda de 25 ml. Este será la muestra a leer.
- ❖ Llenar otra celda de 25 ml con benceno puro. Este será el blanco.
- ❖ Colocar el blanco en el DR-2010 y Zerear.
- ❖ Colocar la muestra y leer.
- ❖ **Nota:** Se puede usar Acetona para limpiar la vidriería de los restos de benceno.

Dureza

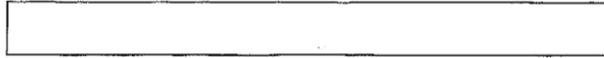
- ❖ Tomar 100ml de la muestra en un beaker
- ❖ Añadir 1 ml de Solución Amortiguadora para dureza **HARDNESS 1**
- ❖ Añadir un sobre de **MANVER 2**
- ❖ Titular con **EDTA 0,800 (Etilen diaminotetraacético)**
- ❖ El resultado será la Dureza Total.
- ❖ Multiplicar resultado x 0.4= mg/l Ca (DUREZA CALCICA) } no
- ❖ Multiplicar resultado x 0.6= mg/l Mg. (DUREZA MAGNESICA) }

FENOL.ES

- ❖ Medir 300 ml de agua desionizada en un cilindro graduado
- ❖ Colocar esta agua en un embudo de separación de 500 ml que será el blanco
- ❖ Colocar 300 ml de la muestra en otro embudo de separación de 300 ml
- ❖ Etiquetar ambos embudos (blanco y muestra)
- ❖ Añadir a los dos embudos 5 ml del reactivo **Hardness 1 Buffer** y agitar
- ❖ Agregar el contenido del sobre reactivo **Phenol 1** a cada embudo
- ❖ Luego agregar el contenido del sobre **Phenol 2** a cada embudo
- ❖ Agregar 30 ml de Cloroformo a cada embudo(hacerlo en la campana de extracción)
- ❖ Invertir varias veces los embudos y destapar eventualmente para que escapen los gases producidos
- ❖ Dejar reposar para que ocurra la separación de los componentes en dos capas
- ❖ Colocar un algodón en el tubo de desagüe de los embudos
- ❖ Drenar la capa inferior de la separación en las celdas de 25 ml del equipo DR2010
- ❖ Ingresar el programa **470 Enter**
- ❖ Girar el dial a **460 nm**
- ❖ Colocar la celda con el blanco y marcar **Zero**
- ❖ Reemplazar el blanco por la muestra y leer.

FLUORUROS Pág. 271

- ❖ Llenar una ampolla de fluoruro con agua desionizada para utilizarla como Blanco.
- ❖ Llenar otra ampolla con la muestra.
- ❖ Ingresar el programa **195 Enter**.
- ❖ Girar el dial a **580 nm**
- ❖ Oprimir **SHIFT TIME** (habrá un minuto de espera).
- ❖ Colocar el Blanco y oprimir **Zero**
- ❖ Colocar la ampolla , oprimir **READ** y leer.



- ❖ Sumergir la ampolla para Fosfato en la muestra.
- ❖ Marcar el programa **492 Enter**
- ❖ Girar el dial a **890 nm**.
- ❖ Invertir varias veces la ampolla durante 30 segundos.
- ❖ Pulsar **SHIFT TIMER** (2 min. de espera)
- ❖ Introducir el Blanco. Presionar **Zero** (muestra s / reactivo)
- ❖ Colocar la ampolla y leer:
- ❖ Primer resultado: ($\text{PO}_4\text{-3}$) = Fosfato
- ❖ Mover las flechas de resultados para obtener:
- ❖ Segundo resultado: (**P**) = Fósforo \rightarrow (este resultado)
- ❖ Tercer resultado: (P_2O_5) = Fósforo Pentóxido

↑
P
PO₄-3
P₂O₅
↓

HIERRO Pag 322

- ❖ Sumergir la ampolla para Hierro en la muestra.
- ❖ Marcar el programa **267 Enter**
- ❖ Girar el dial a **510 nm**
- ❖ Invertir varias veces la ampolla y esperar 3 minutos de reacción.
- ❖ Introducir el Blanco. Presionar **Zero**
- ❖ Colocar la ampolla, oprimir **READ** y leer.

MANGANESO Pag 377

- ❖ Ingresar programa **295 Enter**.
- ❖ Girar el dial a **525 nm**
- ❖ Introducir el soporte para los frascos de 10 ml en el aparato.
- ❖ Colocar la muestra en el frasco correspondiente (10 ml)
- ❖ Agregar:
 - 1) Un sobre de amortiguador tipo Citrato para MANGANESO y disolver.
 - 2) Un sobre de Periodato de SODIO y disolver.
- ❖ Oprimir **SHIFT TIMER** (Tiempo de espera , dos minutos).
- ❖ Colocar el Blanco con 10 ml de la muestra. Presionar **Zero**
- ❖ Esperar 8 minutos para colocar la celda con la muestra en el equipo
- ❖ Luego introducir la celda , oprimir **READ** y leer

↑
KMnO₄
Mn
↓
MnO₄

Handwritten notes and symbols, including a vertical line with 'X' marks and some illegible scribbles.



- ❖ Sumergir la ampolla para Nitrato en la muestra.
- ❖ Marcar el programa **361 Enter**.
- ❖ Girar el dial a **500 nm**
- ❖ Invertir varias veces la ampolla y pulsar **SHIFT TIMER**(1 min. de espera)
- ❖ Pulsar nuevamente **SHIFT TIMER**. (5 min. de espera).
- ❖ Introducir el Blanco. Presionar **Zero**
- ❖ Colocar la ampolla , oprimir **READ** y leer:
- ❖ Primer resultado: ($\text{NO}_3\text{-N}$) = **Nitrógeno Nitrato** \times
- ❖ Mover las flechas de resultados para obtener:
- ❖ Segundo resultado: (NO_3) = **Nitrato**.

↑ $\text{NO}_3\text{-N}$
↓ NO_3

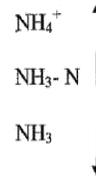
NITRITOS , NITRÓGENO NITROSO Y NITRATO DE SODIO Pág. 447

- ❖ Sumergir la ampolla para Nitrito en la muestra.
- ❖ Marcar el programa **375 Enter**.
- ❖ Girar el dial a **507 nm**
- ❖ Invertir varias veces la ampolla y pulsar **SHIFT TIMER**(15 min. de espera).
- ❖ Introducir el Blanco. Presionar **Zero**
- ❖ Colocar la ampolla , oprimir **READ** y leer:
- ❖ Colocar la ampolla y leer:
- ❖ Primer resultado: ($\text{NO}_2\text{-N}$) = **Nitrógeno Nitroso** \times
- ❖ Mover las flechas de resultados para obtener:
- ❖ Segundo resultado: (NO_2) = **Nitrito**. ✓
- ❖ Tercer resultado: (NaNO_3) = **Nitrato de Sodio**

↑ NaNO_2
↓ $\text{NO}_2\text{-N}$
↓ NO_2



- ❖ Ingresar el número de programa **386 Enter**.
- ❖ Girar el dial a **655 nm**
- ❖ Etiquetar dos bekers de 50 ml con: "Amoníaco libre" y "Monocloroamina"
- ❖ En el beker de "Amoníaco libre" colocar 5 gotas de solución de Hipoclorito.
- ❖ Añadir 40 o 50 ml de la muestra en cada beker y agitar.
- ❖ Enseguida sumergir una ampolla para nitrógeno en cada beker y agitarlas para disolver el reactivo.
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER** (15 min. de espera).
- ❖ Llenar el envase para el Blanco con la muestra.
- ❖ Introducir el Blanco. Presionar **Zero**.
- ❖ Luego colocar la ampolla del beaker " Monocloroamina", oprimir **READ** y leer.
- ❖ Ahora *sin sacar la ampolla*, marcar el número de programa **387 Enter**.
- ❖ Presionar Zero
- ❖ Ahora cambiar la ampolla por la de " Amoníaco libre" y leer.
- ❖ **Nota:** Si los resultados de amoníaco y monocloroamina están por encima de 50 mg/l se realiza una dilución para mejores resultados.



NITRÓGENO TOTAL Pág. 495

- ❖ Encender el reactor *entr*
- ❖ Calentar *entr* entre 103-106 ° C (Temperatura ideal ⁽¹⁰⁵⁾ 105 ° C)
- ❖ Usando un embudo, añadir el Reactivo Persulfato para Nitrógeno Total a dos viales con **Hidróxido**.
- ❖ Añadir 2 ml de muestra en un vial y 2 ml de agua desionizada en el otro vial (Blanco). Tapar ambos viales y agitar vigorosamente por 30 segundos.
NOTA: *Si son varias muestras se usa un solo Blanco.*
- ❖ Colocar los viales en el reactor durante 30 minutos.
- ❖ Transcurrido el tiempo sacar los viales y dejarlos enfriar a temperatura ambiente.
- ❖ Luego marcar el número de programa **350 Enter** y girar el dial a **410 nm**

- ❖ Ahora quitar las tapas de los viales ya digeridos, añadiendo 1 sobre de **Reactivo A** para cada uno de los tubos.
- ❖ Colocar las tapas y agitar por 15 segundos, para luego marcar **Shift timer** y habrá un período de 3 minutos.
- ❖ En seguida quitar las tapas y añadir el **Reactivo B** a cada tubo, se tapan y se agitan por 15 segundos para oprimir **Shift Timer** y habrá un período de reacción de 2 minutos.
- ❖ Ahora se destapan dos viales del **Reactivo C** que es el **Ácido** y se le añaden 2 ml de la muestra tratada a uno y 2 ml del Blanco tratado al otro. (~~Agitar 15 seg~~)
- ❖ Oprimir Shift Timer y habrá un período de 5 minutos (~~Swertur~~)
- ❖ Colocar el adaptador para los viales
- ❖ Colocar el Blanco
- ❖ Zerear
- ❖ Luego Leer

NIQUEL Pág. 407

- ❖ Tomar 20 ml de la muestra.
- ❖ Agregarle 30 ml de Agua Desionizada.
- ❖ Añadir 5 ml de (NH₄OH)
- ❖ Un (1) sobre de indicador **Murexide**.
- ❖ Titular con **EDTA 0,800 M**
- ❖ Al haber cambio de color de Amarillo a Púrpura, multiplicar el resultado de la Titulación por **0,00294**. El producto se representará en mg/l.

OXIGENO DISUELTO Pág. 525

- ❖ Ingresar el número de programa **445 Enter**
- ❖ Girar el dial a **535 nm**
- ❖ Llenar la celda para el blanco con la muestra
- ❖ Sumergir la ampolla en la muestra
- ❖ Agitar la ampolla de arriba hacia abajo por 30 segundos
- ❖ Presionar Shift timer, habrá un período de reacción de 30 segundos

- ❖ Luego de este período agitar nuevamente por 30 segundos mas
- ❖ Colocar el blanco en el espectrofotómetro y marcar **Zero**
- ❖ Insertar la ampolla y esperar 30 segundos antes de leer para que las burbujas de aire se dispersen

Plata 713

- ❖ Ingresar el número de programa **660 Enter**
- ❖ Girar el dial a **560 nm**
- ❖ Añadir el contenido de un sobre **SILVER 1** en un cilindro limpio de 50 ml .
- ❖ Luego añadir un sobre de **SILVER 2** que es líquido y mezclar para que se humedezca el polvo.
- ❖ Añadir 50 ml de la muestra, tapar e invertir el cilindro varias veces durante 1 minuto.
- ❖ Colocar 25 ml de esta mezcla en la celda de 25 ml (**El blanco**) y añadirle un sobre de **TIOSULFATO** y agitarla en forma de giros por 30 segundos para mezclar.
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER** , habrá un período de reacción de 2 minutos.
- ❖ Colocar la porción remanente en el cilindro en la segunda celda (La muestra preparada)
- ❖ Transcurrido el tiempo colocar el blanco y oprimir **ZERO**.
- ❖ Colocar la celda con la muestra y leer.

PLOMO Pág. 345

- ❖ Ingresar el número de programa **280 Enter**
- ❖ Girar el dial a 515 nm
- ❖ Llenar un cilindro graduado con 250 ml de la muestra y verterla en un embudo de separación de 500 ml.
- ❖ **Nota 1:** Limpie la cristalería con una solución 1:1 de ácido nítrico y enjuague con agua desionizada.
- ❖ **Nota 2:** Las muestras turbias deben ser filtradas antes de analizarlas.
- ❖ Añadir el contenido de un sobre **Citrate type for heavy metals** .
- ❖ Añadir 50 ml de cloroformo en un cilindro graduado y agregarle un sobre de **Dithi Ver Metals Reagent** tapar e invertir varias veces para mezclar.
- ❖ Luego coloque 30 ml de esta solución en otro cilindro graduado de 50 ml.
- ❖ Verter el preparado en el ~~embudo~~ ^{embudo} de 500 ml con la muestra.
- ❖ Añadir 5 ml de solución estandar de Hidróxido de sodio, Tapar e invertir varias veces abriendo eventualmente la llave del embudo.
- ❖ *** Blanco (cloroformo)**

- ❖ Añadir gotas de solución estándar de hidróxido de sodio e ir agitando hasta que el color azul verdoso se torne naranja.
- ❖ Añadir con el dosificador de 1.0 g 2 porciones de cianuro de potasio y agitar hasta que este se disuelva.
- ❖ Esperar 1 minuto a que se formen las capas y drenar la capa inferior a una celda de 25 ml colocando algodón para filtrar.
- ❖ Llenar otra celda con cloroformo para usarla como blanco.
- ❖ Colocar el blanco zerear y leer la muestra.

POTASIO Pág. 669

falta

- ❖ Ingresar programa **953 Enter**
- ❖ Girar el dial a **650 nm**
- ❖ Colocar en un cilindro graduado 25 ml de la muestra (Se debe filtrar la muestra si esta presenta turbiedad)
- ❖ Añadir el contenido del reactivo **Potassium 1**
- ❖ Añadir el contenido del reactivo **Potassium 2** tapar el cilindro e invertir varias veces para mezclar.
- ❖ Añadir el contenido del reactivo **Potassium 3** luego de que se aclare la solución, tapar el cilindro e invertir varias veces por 30 segundos.
- ❖ Presionar **Shift timer** habrá un periodo de reacción de 3 minutos
- ❖ Luego colocar la solución en la celda de 25 ml
- ❖ De igual forma llenar la otra celda de 25 ml para el blanco con la muestra sin reactivos ✓
- ❖ Colocar el blanco y oprimir **Zero**
- ❖ Luego esperar 7 minutos para introducir la muestra preparada y leer.

SELENIO Pág. 679

- ❖ Ingresar programa **640 Enter**
- ❖ Girar el dial a **420 nm**
- ❖ Vertir 100 ml de agua desionizada en un erlenmeyer de 500 ml y etiquetar "BLANCO" ✓
- ❖ Vertir 100 ml de la muestra en un erlenmeyer de 500 ml y etiquetar "MUESTRA"
- ❖ Agregar 0.2 gr del reactivo **Titra Ver Hardnees** a cada erlenmeyer y agitar para diluir.

- ❖ Agregar 0.05 gr del reactivo **diaminobenzidine tatrahydrochloride** a cada erlenmeyer y agitar para diluir.
- ❖ Añadir 5.0 ml de **Buffer Solution sulfate type, pH 2.0** a cada erlenmeyer y gire para mezclar.
- ❖ Presionar SHIFT TIMER
- ❖ Calentar cada erlenmeyer en un plato caliente durante 5 minutos que es el período de reacción del SHIFT TIMER.
- ❖ Transcurrido el tiempo requerido colocar los erlenmeyers en baño de maría para enfriarlos por no más de 1 minuto.
- ❖ Transferir el contenido a 2 embudos de separación de 250 ml y etiquetar con "muestra" "blanco".
- ❖ Añadir 2.0 ml de solución estandar de Hidróxido de Potasio 12 N a cada embudo, tapar y agitar.
- ❖ Añadir 30 ml de Tolueno a cada embudo tapado y agitar durante 30 segundos.
- ❖ Presionar SHIFT TIMER habrá un período de reacción de 4 minutos. *→ y deséchela*
- ❖ Sin dejar transcurrir mas de 5 minutos drenar la capa inferior de cada embudo colocando un algodón en la salida para filtrar. *Dejar la capa superior y colocarla en la celda de 25 ml.*
- ❖ Colocar el blanco en el equipo y Zerear.
- ❖ Luego colocar la muestra y leer.
- ❖ **Nota:** Se puede utilizar Acetona para lavar la vidriería con restos de Tolueno.

SODIO CROMATO Pág. 719

D R 2010

- ❖ 25 ml de la muestra + un (1) sobre del reactivo **Neutralizing** en la Celda de 25 ml.
- ❖ Preparar el Blanco con 25 ml de la muestra.
- ❖ Marcar el programa **670 Enter**.
- ❖ Girar el Dial a **460 nm**.
- ❖ Colocar el blanco en el equipo y Zerear
- ❖ Leer

Tomar una cápsula de Porcelana , lavarla y secarla en estufa a 130 o 150 °C por 1 hora, enfriarla en Desecador, pesarla y mantenerla en el Desecador.

- ❖ Pesar la cápsula con la cantidad de muestra a analizar
- ❖ Evaporar a 130 °C por 60 min.
- ❖ Enfriar en desecador
- ❖ Pesar

$$\text{S.T. mg/L} = \frac{(\text{A}-\text{B}) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

A = Peso de la cápsula + residuo
 B = Peso de la cápsula limpia
 1000 = Constante

2 -SÓLIDOS FIJOS

- ❖ Los residuos remanentes después de la evaporación, se carbonizan a 600 °C por 1 hora

$$\text{S. F.} = \frac{(\text{A} - \text{B}) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

A = Peso de la cápsula + remanentes (después de carbonizar)
 B = Peso de la cápsula limpia
 1000 = Constante

3 -SÓLIDOS VOLÁTILES

- ❖ La diferencia entre Sólidos Totales y Sólidos Fijos



- ❖ Colocar 1 lt. de muestra en el Cono de HINHOFF
- ❖ Dejar en reposo 1 hora.
- ❖ Tomar lectura.

5 -SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS Y SALINIDAD T.O.

- ❖ Se utiliza el equipo de medición.
- < 600 mg/l = sabor agradable del agua
 > 1200 mg/l = deterioro progresivamente del agua
 Concentraciones muy reducidas = agua insípida

6 -SÓLIDOS SUSPENDIDOS

- ❖ Ingresar programa **630 Enter**
- ❖ Girar el dial a **810 nm**
- ❖ Licuar 500 ml de la muestra durante 2 minutos a alta velocidad.
- ❖ Transferir la muestra a un vaso de 600 ml.
- ❖ Colocar 25 ml de la muestra en la celda de 25ml del espectrofotómetro.
- ❖ Colocar el blanco con agua desionizada en el aparato y marcar **Zero**.
- ❖ Luego agitar de forma circular la celda con la muestra para que salgan los gases.
- ❖ Colocar la celda en el aparato, oprimir **READ** y leer.

SULFATOS

- ❖ Sumergir la ampolla para Sulfato en la muestra.
- ❖ Marcar el programa **685 Enter**
- ❖ Girar el dial a **450 nm**.
- ❖ Invertir varias veces la ampolla
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER**. Habrá un período de reacción de ~~5 minutos~~ *25 seg. Suelto.*
- ❖ Introducir el Blanco. Presionar **Zero**

- ❖ Colocar la ampolla con la muestra , oprimir **READ** y leer.

Zinc

(No Hay ciclohexanone !)

- ❖ Ingresar programa **780 Enter**
- ❖ Girar el dial a **620 nm**
- ❖ Colocar en el equipo el adaptador para la celda de 10 ml
- ❖ En un cilindro graduado de 25 o 50 ml colocar 20 ml de la muestra
- ❖ Añadir el sobre **Zincover 5**
- ❖ Colocar 10 ml de esta solución en la celda correspondiente (10 ml) y usarlo como Blanco.
- ❖ Agregar 0.5 ml de Cyclohexanona a la solución en el cilindro (MUESTRA)
- ❖ Invertir varias veces
- ❖ Presionar **SHIFT TIMER**. Habrá un período de reacción de 3 minutos
- ❖ Colocar 10 ml de la solución del cilindro en la celda de 10 ml (MUESTRA)
- ❖ Después del período de reacción introducir el blanco y presionar **Zero**
- ❖ Luego introducir celda con la muestra y leer.

Sólidos Totales^o

Preparación de Capsulas.

- 1- Colocarlas en la Mufla por lo menos 20 min a $550^{\circ}\text{C} \pm 50$
- 2- Pasarlas a una Estufa a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C} \times 20 \text{ min}$
- 3- Secar y Enfriar a temperatura Ambiente dentro de un desecador.
- 4- Pesar las capsulas y anotar los datos
- 5- Repetir el ciclo hasta que no haya una variación en el peso Mayor a 0,5 mg (peso b)
- 6- Sacar los Muestras del Refrigedor, dejarlos a temperatura Ambiente y agitarlos para homogeneizar.
- 7- Tomar 100 ml
- 8- Transferir a la capsula
- 9- Llevar a la sequedad la muestra en la estufa $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$
- 10- Enfriar en Desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante (G1)

Nitrogen, Free Ammonia

Method 10201

Indophenol Method¹

Powder Pillows

(0.01 to 0.50 mg/L NH₃-N)

Scope and Application: For controlling free ammonia levels during the production of chloramines, at booster stations and for monitoring free ammonia levels in potable distribution system waters.

¹ U.S. Patent 6,315,950



Before starting the test:

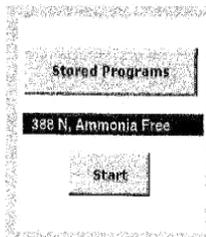
Use Method 10200: Nitrogen, Free Ammonia and Chloramine (Mono) to determine free ammonia and monochloramine simultaneously on the same sample.

For more accurate free ammonia results, determine a reagent blank value for each new lot of reagent, using deionized water in place of the sample. Subtract the reagent blank value from the final results or perform a reagent blank adjust.

Collect the following items:

	Quantity
Free Ammonia Reagent Set	—
Free Ammonia Reagent Solution	1 drop
Monochlor F Reagent Pillows	2
Sample Cell, 1-cm, 10-mL	2

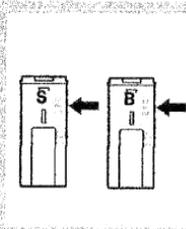
Note: Reorder information for consumables and replacement items is on page 6.



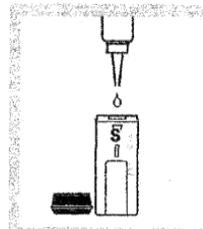
1. Select the Free Ammonia test.



2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch round cell holder facing the user.



3. Fill two 1-cm cell to the 10-mL line with sample. Label one cell 'sample' and one cell 'blank'.

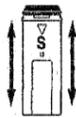


4. Prepared Sample: Add one drop of Free Ammonia Reagent Solution to the sample.

Nitrogen, Free Ammonia (0.01 to 0.50 mg/L NH₃-N)



5. Cap the reagent bottle to maintain reagent performance and stability.

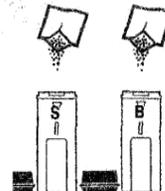


6. Cap and invert the sample to mix.
If the sample becomes cloudy by the end of the reaction period, pretreat the sample and retest. See Interferences on page 3.

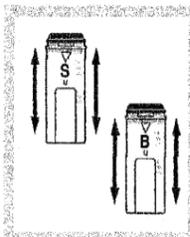


OK
05:00

7. Press **TIMER-OK**.
A 5-minute reaction period will begin.
Color development time depends on sample temperature. For accurate results allow the full reaction period to occur. See Table 2 on page 4.



8. When the timer expires, add the contents of one MonoChlor F powder pillow to each cell.



9. Cap and shake both cells about 20 seconds to dissolve the reagent.
A green color will develop if monochloramine is present.



OK
05:00

10. Press **TIMER-OK**.
A 5-minute reaction period will begin.
Color development time depends on sample temperature. For accurate results allow the full reaction period to occur. See Table 2 on page 4.



11. When the timer expires, insert the vial into the cell holder with the orientation key facing the user.

Zero

12. Press **ZERO**.
The display will show: 0.00 mg/L NH₃-N f
Remove the blank.



13. Insert the sample into the cell holder with the orientation key facing the user.

Read

14. Press **READ**.
Results are in mg/L NH₃-N f.

Nitrogen, Free Ammonia (0.01 to 0.50 mg/L NH₃-N)

Interferences

This method is intended for finished, chloraminated drinking water samples that have a measurable combined (total) chlorine disinfectant residual. Samples where the disinfectant residual has disappeared and samples which exhibit a chlorine demand may produce low ammonia test results. Blanks and ammonia standards analyzed without a disinfectant residual must be prepared using high quality, reagent grade water.

The following do not interfere in free ammonia determination at or below the stated concentration:

Table 1 Non-interfering Substances

Substance	Maximum Level Tested
Aluminum	0.2 mg/L
Chloride	1200 mg/L Cl
Copper	1 mg/L Cu
Iron	0.3 mg/L Fe
Manganese	0.05 mg/L Mn
Nitrate	10 mg/L NO ₃ -N
Nitrite	1 mg/L NO ₂ -N
Phosphate	2 mg/L o-PO ₄
Silica	100 mg/L SiO ₂
Sulfate	1600 ppm as CaCO ₃
Zinc	5 ppm Zn

Samples containing high levels of both Total Hardness and Alkalinity may become cloudy after the addition of the Free Ammonia Reagent Solution. If this occurs by the end of the first reaction period, the sample for Free Ammonia measurement must be pretreated as follows:

Note: The blank does not need pretreatment.

1. Measure 10 mL of sample into the cell for the labeled sample.
2. Add the contents of one Hardness Treatment Reagent Powder Pillow to the sample.
3. Cap the cell and invert until the reagent is dissolved.
4. Remove the cap.
5. Continue with the analysis at step 3 using the pretreated sample as the sample cell.

Color Development Time

Test results are strongly influenced by sample temperature. **Both reaction periods in the procedure are the same and depend on the temperature of the sample.** The reaction periods indicated in the procedure are for a sample temperature of 18–20 °C (64–68 °F). Adjust both reaction periods according to Table 2.

Nitrogen, Free Ammonia (0.01 to 0.50 mg/L NH₃-N)

Table 2 Color Development Based on Sample Temperature

Sample Temperature		Development Time (minutes)
°C	°F	
5	41	10
7	45	9
9	47	8
10	50	8
12	54	7
14	57	7
16	61	6
18	64	5
20	68	5
23	73	2.5
25	77	2
greater than 25	greater than 77	2

Sampling and Storage

Collect samples in clean glass bottles. Most reliable results are obtained when samples are analyzed as soon as possible after collection.

Accuracy Check

Dilution water is required when testing a diluted sample and preparing standard solutions. Dilution water must be free of ammonia, chlorine and chlorine demand. A convenient source is a recirculating, deionizer system with carbon filtration which produces 18 megaohm-cm water.

Standard Additions Method

1. After reading test results, leave the sample cell (unspiked sample) in the instrument. Verify the chemical form.
2. Press **OPTIONS>MORE**. Press **STANDARD ADDITIONS**. A summary of the standard additions procedure will appear.
3. Press **OK** to accept the default values for standard concentrations, sample volume, and spike volumes. Press **EDIT** to change these values. After values are accepted, the unspiked sample reading will appear in the top row. See the user manual for more information.
4. Prepare three spiked samples. Measure 50 mL of sample into three 50-mL mixing cylinders.
5. Use the TenSette® Pipet to add 0.3, 0.6, and 1.0 mL of Ammonium Nitrogen Standard, 10 mg/L as NH₃-N to the three samples. Mix well.
6. Analyze each spiked sample starting with the 0.3 mL sample spike. Accept each standard additions reading by pressing **READ**. Each addition should reflect approximately 100% recovery. Follow all steps in Method 10201.

Nitrogen, Free Ammonia (0.01 to 0.50 mg/L NH₃-N)

7. After completing the sequence, press **GRAPH** to view the best-fit line through the standard additions data points, accounting for matrix interferences. Press **IDEAL LINE** to view the relationship between the sample spikes and the "Ideal Line" of 100% recovery.

Standard Solution Method

1. Prepare a 0.20 mg/L ammonia nitrogen standard by diluting 2.00 mL of the Ammonia Nitrogen Standard Solution, 10 mg/L, to 100 mL with dilution water. Or, using the TenSette Pipet, prepare a 0.20 mg/L ammonia nitrogen standard by diluting 0.4 mL of a Ammonia Nitrogen Voluette Standard Solution, 50 mg/L as NH₃-N, to 100 mL with dilution water. Analyze the Standard Solution, following all steps in Method 10201.
2. To adjust the calibration curve using the reading obtained with the standard solution, press **OPTIONS>MORE** on the current program menu. Press **STANDARD ADJUST**.
3. Press **ON**. Press **ADJUST** to accept the displayed concentration. If an alternate concentration is used, press the number in the box to enter the actual concentration, then press **OK**. Press **ADJUST**.

Method Performance

Precision

Standard: 0.20 mg/L NH₃-N

Program	95% Confidence Limits of Distribution
388	0.19-0.21 mg/L NH ₃ -N

Sensitivity

Program	Portion of Curve	ΔAbs	ΔConcentration
388	Entire range	0.010	0.01 NH ₃ -N

Summary of Method

Monochloramine (NH₂Cl) and free ammonia (NH₃ and NH₄⁺) can exist in the same water sample. Added hypochlorite combines with free ammonia to form more monochloramine. In the presence of a cyanoferrate catalyst, monochloramine in the sample reacts with a substituted phenol to form an intermediate monoimine compound. The intermediate couples with excess substituted phenol to form a green-colored indophenol, which is proportional to the amount of monochloramine present in the sample. Free ammonia is determined by comparing the color intensities, with and without added hypochlorite. Test results are measured at 655 nm.

Nitrogen, Free Ammonia (0.01 to 0.50 mg/L NH₃-N)

Consumables and Replacement Items

Required Reagents

Description	Quantity/Test	Unit	Cat. No.
Free Ammonia Reagent Set (50 tests), includes: (1) 28022-99, (1) 28773-36	—	—	28797-00
Free Ammonia Reagent Solution	1 drop	4 mL SCDB	28773-36
Monochlor F Reagent Pillows	2	100/pkg	28022-99

Required Apparatus

Description	Quantity/Test	Unit	Cat. No.
Sample Cell, 1-cm, 10-mL	1	2/pkg	48643-02

Recommended Standards and Reagents

Description	Unit	Cat. No.
Hardness Treatment Reagent Pillows (1 per test)	50/pkg	28823-46
Nitrogen Ammonia Standard Solution, 10 mg/L as NH ₃ -N	500 mL	153-49
Nitrogen Ammonia Standard Ampule, 50 mg/L as NH ₃ -N, 10 mL	16/pkg	14791-10
Water, organic-free water	500-mL	26415-49

Recommended Apparatus

Description	Unit	Cat. No.
Ampule Breaker Kit	each	21968-00
Flask, volumetric, Class A, 100 mL	each	14574-42
Pipet Filler, Safety Bulb	each	14651-00
Pipet, TenSette®, 0.1 to 1.0 mL	each	19700-01
Pipet Tips, for TenSette Pipet 19700-01	50/pkg	21856-96
Thermometer, -10 to 110 °C	each	1877-01
Wipers, Disposable Kimwipes®, 30 x 30 cm, 280/box	box	20970-00



FOR TECHNICAL ASSISTANCE, PRICE INFORMATION AND ORDERING:
 In the U.S.A. - Call toll-free 800-227-4224
 Outside the U.S.A. - Contact the HACH office or distributor serving you.
 On the Worldwide Web - www.hach.com; E-mail - techhelp@hach.com

HACH COMPANY
 WORLD HEADQUARTERS
 Telephone: (970) 669-3050
 FAX: (970) 669-2932