

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“USO DE AZOLLA CAROLINIANA WILLD PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUA DE FORMACIÓN”**

TESIS DE GRADO

INGENIERA EN PETRÓLEO

Presentada por:

ESTEFI YADIRA BATALLA RIOFRÍO

DAYANA EMPERATRIZ SERRANO RODRÍGUEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTO

A mi familia, a mis amigos y a mis profesores.

ESTEFI YADIRA

BATALLAS RIOFRÍO

A Dios, a mi hermosa familia, amigos,
docentes y colaboradores.

DAYANA EMPERATRIZ

SERRANO RODRIGUEZ

DEDICATORIA

A la persona que vio el inicio de este sueño y
en el infinito se encuentra apreciando el final.
Gladys Mariana Álvarez Dávila.

ESTEFI YADIRA

BATALLAS RIOFRÍO

A mi madre Rebeca Emperatriz Rodríguez
Reyes y a mi padre Yofer Rodrigo Serrano
Erazo, que continúan brindándome su apoyo
incondicional en cada una de mis metas
propuestas.

DAYANA EMPERATRIZ

SERRANO RODRIGUEZ

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

MSc. Fidel Vladimir Chuchuca
TUTOR DE TESIS

MSc. Kenny Escobar
TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

ESTEFI YADIRA RIOFRÍO BATALLAS

DAYANA EMPERATRIZ SERRANO RODRÍGUEZ

RESUMEN

El aumento de la producción de petróleo y depletación natural de campos maduros, trae consigo la producción de agua de formación conjunto a cada barril de petróleo extraído.

Los altos valores de salinidad con los cuales cuenta el agua de formación generan problemas operacionales en la industria como es la corrosión de facilidades de superficies y precipitación de sales en los tanques y piscinas de almacenamiento. Para controlar dichos índices se utilizan anticorrosivos que mitiguen el impacto de las sales.

El presente proyecto muestra una alternativa al tratamiento de agua de formación, con USO DE AZOLLA CAROLINIANA WILLD PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DE FORMACIÓN, el mismo que tuvo como resultado disminuir la salinidad del agua de formación hasta un 66,19% y un análisis del comportamiento del metal pesado Cromo Total en la misma.

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ABREVIATURAS	IX
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE MAPAS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVI

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES	1
1.1 Descripción del Problema.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Hipótesis	3
1.4 Variables	4
1.5 Marco Teórico	6

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA.....	19
2.1 Muestreo	19
2.2 Análisis Realizados	23

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
3.1 Temperatura.....	28
3.2 Potencial de Hidrógeno	29
3.3 Concentración de Dióxido de Carbono (CO ₂)	33
3.4 Conductividad	37
3.5 Salinidad	41
3.6 Concentración de Cromo.....	45
3.7 Estadística Inferencial	47
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES.....	57
ANEXO A	59
ANEXO B	60
ANEXO C	61
ANEXO D	63
BIBLIOGRAFÍA.....	64

ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de Varianza
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cr	Cromo
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
H ₀	Hipótesis Nula
H ₁	Hipótesis Alternativa
gr.	Gramos
pH	Potencial de Hidrógeno
ppm	Partes por millón
ppb	Partes por billón
μS/ t	cm Micro Siemens por centímetro Tiempo

SIMBOLOGÍA

°F	Grados Fahrenheit
%	Porcentaje

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Configuración de un electrodo de Combinación para la medición de pH.....	10
Figura 2.1. Decantación de Agua de Formación	20
Figura 2.2. Invernadero de Azolla Caroliniana Willd.....	20
Figura 2.3. Pesaje de Azolla Caroliniana Willd.....	21
Figura 2.4. Distribución de Muestras en Contenedores	22
Figura 2.5. Peachímetro OAKLON.....	24
Figura 2.6. Medición de Salinidad.....	26
Figura 3.1. Potencial de Hidrógeno vs Tiempo	30
Figura 3.2. Potencial de Hidrógeno vs Concentración de Azolla Caroliniana Willd.....	32
Figura 3.3. Concentración de Dióxido de Carbono vs Tiempo	34
Figura 3.4. Concentración de CO ₂ vs Concentración de Azolla Caroliniana Willd.....	36
Figura 3.5. Conductividad vs Concentración de Azolla Caroliniana Willd.....	38
Figura 3.6. Porcentaje de Reducción de Conductividad.....	40
Figura 3.7. Salinidad vs Concentración de Azolla Caroliniana	42
Figura 3.8. Porcentaje de Reducción de Salinidad	42
Figura 3.9. Concentración de Cromo vs Concentración de Azolla Caroliniana Willd.....	46
Figura 3.10. Probabilidad de Salinidad	47
Figura 3.11. Regresión Lineal entre Salinidad y Concentración de Azolla Caroliniana Willd.....	49

Figura 3.12. Probabilidad de Concentración de Cromo Total.....	50
Figura 3.13 Regresión Lineal de Cromo Total.....	52
Figura 3.14 Regresión Cuadrática de Cromo Total.....	52
Figura 3.15. Regresión Cúbica de Cromo Total.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Datos de Muestra de Agua de Formación	7
Tabla II. Variación de pH del Agua Pura con respecto a la Temperatura	9
Tabla III. Información Taxonómica de Azolla Caroliniana Willd.	13
Tabla IV. Valores Permisibles de Descarga	18
Tabla V. Descripción de Muestras Experimentales	22
Tabla VI. Variación de Temperatura	28
Tabla VII. Variación de Potencial de Hidrógeno	29
Tabla VIII. Variación de Concentración de Dióxido de Carbono	33
Tabla IX. Conductividad	37
Tabla X. Porcentaje de Reducción de Conductividad	39
Tabla XI. Valores de Salinidad	41
Tabla XII. Porcentaje de Remoción de Salinidad	43
Tabla XIII. Concentración de Cromo	45
Tabla XIV. Resultados de Anova	48
Tabla XV. Resultados de Anova	51
Tabla XVI. Muestras a Condiciones Iniciales	61
Tabla XVII. Muestras a t = 1 día	61
Tabla XVIII. Muestras a Condiciones Finales	62
Tabla XIX. Caracterización de Mineral Halita en MUESTRA E	63

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA I. Mapa de Bloque Petroleros	59
---	----

INTRODUCCIÓN

El presente estudio consiste en hacer uso de la especie *Azolla Caroliniana Willd* para evaluar los cambios en la concentración de cromo total, salinidad, potencial de hidrógeno (pH), concentración de dióxido de carbono (CO₂) y conductividad eléctrica en un volumen determinado de agua de formación proveniente del pozo PAC-026 ubicado en el campo Pacoa, provincia de Santa Elena.

La hipótesis planteada sostiene que a mayor concentración de *Azolla Caroliniana Willd* en el espejo de agua, disminuirá la salinidad y aumentará el proceso de reducción de concentración de cromo en el agua de formación.

La metodología consiste en seleccionar cuatro muestras experimentales y una muestra control con cuatro litros de agua de formación; manteniendo constante el volumen de agua y variando la concentración en gramos de *Azolla Caroliniana Willd* (0g, 400 g, 600g, 800g, 1000g).

El muestreo de las variables pH y CO₂ se realizará para t=0 (condiciones iniciales), t=1, t=5, t=6 (condiciones finales) mientras que para la concentración de cromo, conductividad eléctrica y salinidad se realizará para las condiciones iniciales y finales.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 Descripción del Problema

El aumento de la producción de agua de formación (salmuera) conjuntamente con la producción de hidrocarburos ha impulsado nuevas técnicas de reinyección en formaciones con potencial de almacenamiento.

Los altos índices de salinidad provocan precipitación de minerales en los puntos de almacenamiento y además problemas de corrosión en líneas, facilidades de superficies y equipos se atenúen durante las operaciones de reinyección de agua de formación en la industria del petróleo y gas.

En actividades off-shore y en locaciones donde la capacidad de tratamiento y almacenamiento de agua de formación en superficie es inferior a la producida; esta es vertida al medio ambiente, en muchas ocasiones sin control previo de los metales pesados que se encuentran en su composición, provocando grandes impactos ambientales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

- Reducir la salinidad en el agua de formación asociada al petróleo mediante el uso de *Azolla Caroliniana Wild*.
- Evaluar el comportamiento del metal pesado Cromo total (Cr) frente al uso de *Azolla Caroliniana Willd* en agua de formación asociada al petróleo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar la salinidad del agua de formación a condiciones iniciales y finales, mediante el uso del multiparámetro HACH HQ40d.
- Analizar la concentración de Cromo total (Cr) a condiciones iniciales y finales.
- Interpretar los parámetros de pH, conductividad, temperatura y concentración de CO₂ en el agua de formación durante el proceso de tratamiento.
- Realizar regresión lineal entre la salinidad de agua de formación y la concentración de Azolla Caroliniana Willd.
- Realizar regresión lineal entre la concentración de cromo total y la concentración de Azolla Caroliniana Willd.

1.3 Hipótesis

- Mayor concentración de Azolla Caroliniana Willd en el espejo de agua, disminuirá la salinidad del agua de formación.
- Mayor saturación de Azolla Caroliniana Willd en el espejo de agua, aumentará el proceso de reducción de concentración de cromo en el agua de formación.

- Debido a las altas concentraciones de cloruros (salinidad) la Azolla Caroliniana tendrán un acelerado proceso de degeneración.

1.4 Variables

1.4.1 Dependientes

- Salinidad del Agua de Formación en partes por millón de cloruro de sodio.
- Conductividad Eléctrica del Agua de Formación.
- Potencial de Hidrógeno en el Agua de Formación.
- Dióxido de Carbono en el Agua de Formación.
- Concentración final de Cromo Total en el Agua de Formación.

1.4.2 Controladas

- Presión
- Temperatura

1.4.3 Independientes

- Distribución de la Azolla Caroliniana Willd en el agua de formación (Superficie de Contacto).
- Volumen de Agua de Formación por muestra.
- Concentración de Azolla Caroliniana Willd por muestra.

1.5 Marco Teórico

1.1.1. Información del Campo Pacoa (Bloque 1)

1.5.1.1 Ubicación Geográfica

El campo Pacoa se encuentra ubicado en la parte sur meridional del Bloque 1, situado entre las comunas de San Pablo, Cerro Alto, Santa Rosa y Morrillo de la provincia de Santa Elena; posee una extensión de 3000 km² costa fuera y de 1000km² en tierra. ¹

La ubicación del Bloque 1 en el mapa de bloques petroleros se presenta en el ANEXO A.

1.5.1.2 Antecedentes

1988 – 1999: Se perforaron los primeros pozos del bloque sin resultados favorables por parte de la compañía Inglesa Ecuadorian Oil Fields.²

¹ (Zumba Piña, 2005)

² (Zumba Piña, 2005)

- Carrizal (1994)
- Aragón-2(1950)
- America (1958)
- Aragón-1(1950)
- Centinela (1953)
- Aragón-3(1964)

1988-1989: La compañía Belco perforó cuatro pozos, tres de estos pozos costa fuera, los cuales no presentaron rastro alguno de hidrocarburo.

- Dorado XI
- Montaña x1
- Salinas

El pozo San Pablo ubicado en tierra evidenció potencial para la explotación petrolera. Dicho pozo llegaba hasta la formación socorro.³

1989: Tripetrol inicia la perforación de cinco pozos, gracias a estos pozos exploratorios se define la estructura del denominado Campo Pacoa.

³ (Poveda, 2014)

1995: El campo Pacoa se desarrolló con 45 pozos, las profundidades promedio oscilaban entre los 2500 pies.

1998: La empresa Canadá Grande Limited junto con Tripetrol suscribieron un contrato de transferencia de derechos y obligaciones Hidrocarburíferas, de esta forma Canada Grande Limited adquirió el 50% de participación para comenzar a operar el campo.⁴

27 de marzo del 2011: La empresa Canada Grande Limited transfiere todas las operaciones e instalaciones del Campo Pacoa al Estado Ecuatoriano.

2016: El bloque 1 es operado por EP Petroamazonas en la actualidad.

1.5.1.3 Geología

La formación productora del campo Pacoa es la formación Socorro, la cual pertenece a los periodos de Eoceno Medio y Superior. Está integrada por

⁴ (Castellanos Guerra, y otros, 2004)

dos miembros: un miembro inferior y más antiguo denominado Clay Peble Beds y un miembro superior denominado Socorro.

Los pozos perforados producen de las arenas del miembro superior de la formación Socorro.

Miembro Socorro: Se define como la unidad superior de la formación Socorro. La influencia tectónica característica de esta zona ha formado deslizamientos, levantamientos y otras deformaciones en los sedimentos.

Geológicamente el Campo Pacoa delimita con el norte del Levantamiento Santa Elena y con el sur oeste de la falla Chongón Colonche.⁵

1.5.1.4 Estratigrafía

Miembro Socorro: Estratigráficamente es un flysh compuesto de capas delgadas de arenisca fina con secuencias alternadas de lutitas color gris verde. El espesor promedio es de entre 450 – 1480 pies.

⁵ (Poveda, 2014)

Se compone de 4 niveles B, C, D y E; el nivel D tiene una salinidad de aproximadamente 22 000 ppm de Cl, la porosidad se encuentra en el orden de un 20% y un espesor de 40 pies.

- El nivel C es una arenisca considerada como el yacimiento principal debido al gran volumen de hidrocarburo que posee. La porosidad de este yacimiento es secundaria debido al tectonismo de este nivel.
- El nivel B tiene una porosidad aproximada del 25% y sus espesores netos de entre 20-25 pies.
- El nivel E está constituido por una facie detrítica con fragmentos de feldespatos por lo que tiene poca porosidad.

1.1.2. Agua de Formación

El agua de formación se define como el agua que se encuentra conjuntamente con el petróleo y el gas en los yacimientos de hidrocarburos. Puede tener diferentes concentraciones de sales minerales.⁶

⁶ (2001)

El campo Pacoa posee tres estaciones de producción, cada una de estas estaciones dispone el agua de formación de los pozos de acuerdo a las facilidades de superficie y distribución de los pozos.

- Estación Norte: recibe la producción de los pozos PAC-014, PAC-015, PAC-016, PAC-17, PAC-18, PAC-21, PAC-25, PAC-26, PAC-30, PAC-31, PAC-33, PAC-34, PAC-37⁷.
- Estación Sur: recibe la producción de trece pozos: PAC-001, PAC-002, PAC-005, PAC-008, PAC-009, PAC-010, PAC-011, PAC-022, PAC-040, PAC-041, PAC-042, PAC-043 y PAC-044.⁸
- Estación Central: recibe la producción de 6 pozos: PAC-004, PAC-012, PAC-032, PAC-036, PAC-038, PAC-039.⁹

Las muestras de agua de formación para la experimentación fueron obtenidas del poz al PAC-026 del Campo Pacoa, Bloque 1.

⁷ (ARCH, 2011)

⁸ (ARCH, 2011)

⁹ (ARCH, 2011)

La Tabla I., presenta las generalidades del agua de formación de la Estación Norte; de donde se dispone el agua de formación del pozo PAC-026.

DATOS DE LA MUESTRA DE AGUA		
<i>Nombre</i>	Estación Pacoa Norte	
<i>Fecha del Muestreo</i>	08/08/2011	
<i>Parámetro</i>	Unidades	Valor
<i>Salinidad como ion cloro, cloruros</i>	ppm Cl	22450
<i>Alcalinidad Total como carbonatos</i>	ppm Ca ₂ CO ₃	200
<i>Alcalinidad como Bicarbonatos</i>	ppm Ca ₂ CO ₃	244
<i>Dureza Total como Carbonato de Calcio</i>	ppm Ca ₂ CO ₃	4500
<i>Dureza de calcio como Carbonato de Calcio</i>	ppm Ca ₂ CO ₃	3500
<i>pH del agua de formación</i>	pH	7,4
<i>Tendencia del agua de formación</i>	Stiff Davis	Incrustante
<i>Bacterias Sulfato reductoras</i>	col/ ml	10000
OBSERVACIÓN: El agua tiene tendencia incrustante y se encuentra con un alto contenido de bacterias sulfato reductoras		

Tabla I. Datos de Muestra de Agua de Formación
Fuente: Reporte de Inspección, control químico y análisis fisicoquímico de los fluidos producidos en el Campo Pacoa.

1.5.1.5 Temperatura

La temperatura se define como una magnitud intensiva, es decir que no depende de la cantidad de sustancia que posea un cuerpo. En unidades de campo la temperatura se mide en la escala de Fahrenheit (°F), esta escala registra el punto de congelación del agua con el valor de 32°F y el punto de ebullición como 212°F a una atmósfera de presión.¹⁰

1.5.1.6 Potencial de Hidrógeno

El potencial de hidrogeno permite conocer la cantidad del ión hidronio en una solución.¹¹

Su acrónimo se reconoce mediante las siglas pH y nos permite conocer la intensidad de un ácido dependiendo de su concentración o capacidad de disociación.

Uno de los factores que afecta los valores del pH es la temperatura; razón por la cual algún cambio en la temperatura mostrará cambios en las

¹⁰ (Brown, y otros, 2012)

¹¹ (Massol, 2002)

concentraciones relativas de los iones de hidronio e hidroxilo como se muestra en la Tabla II.

Temperatura [°F]	$K_w \times 10^{14}$	pH
32	0,115	7,47
41	0,185	7,37
50	0,292	7,27
59	0,450	7,17
68	0,681	7,08
75,2	1,000	7,00
77	1,008	6,99
86	1,469	6,92
95	2,089	6,84
104	2,919	6,77

Tabla II. Variación de pH del Agua Pura con respecto a la Temperatura
Fuente: Cole (1983)

Para medir el pH se pueden utilizar papel de pH, comparadores de bolsillo o peachímetro electrónico.

Los dos primeros métodos muestran un alcance limitado y una precisión pobre cuando se compara con un peachímetro electrónico. Este última emplea un método electroquímico para medir la concentración de hidronio en una solución.

El peachímetro electrónico consiste en dos electrodos, un amplificador y un metro de lectura como se muestra en la Figura 1.1.; cuando los dos electrodos

se colocan en una solución, se forma una celda electroquímica y se genera un voltaje; dicho voltaje varía en proporción a la concentración de ión hidronio.¹²

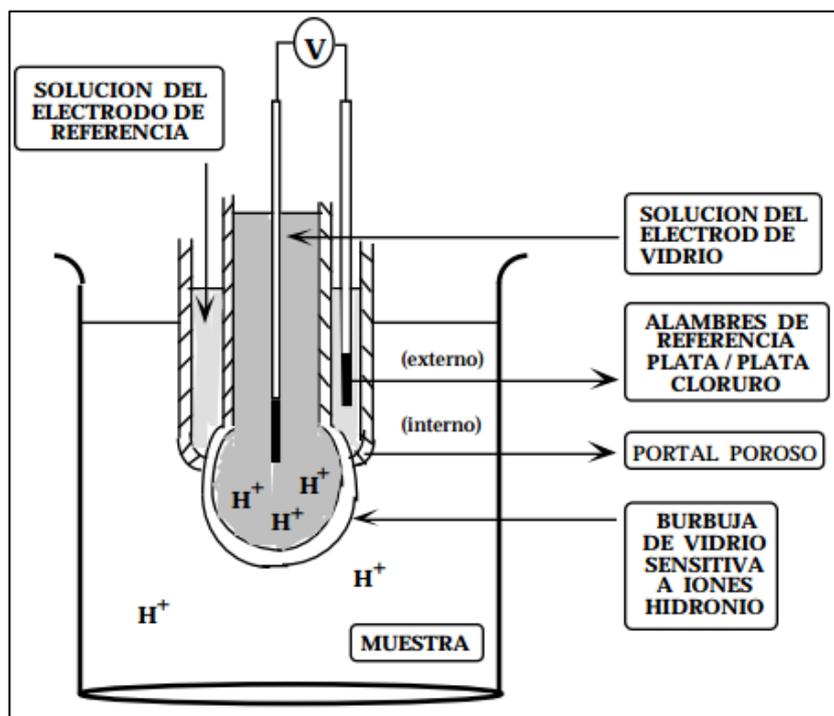


Figura 1.1. Configuración de un electrodo de Combinación para la medición de pH.
Fuente: Frant 1995

¹² (Massol, 2002)

1.5.1.7 Dióxido de Carbono (CO₂)

El CO₂ es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Se encuentra en la capa atmosférica más próxima a la tierra y su ciclo en la naturaleza está relacionado con el del oxígeno.¹³

1.5.1.8 Conductividad

Se define la conductividad eléctrica como la capacidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica, y por tanto representa el inverso de la resistencia eléctrica.

La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm) y en millonésimas (10⁻⁶) de unidades, es decir micro Siemens/cm (μS/cm).

Dicha capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración, movilidad, valencia y temperatura ambiental.

¹³ (Brown, y otros, 2012)

1.5.1.9 Salinidad

La salinidad define como cantidad total de sales disueltas en un volumen de agua. Un incremento de sales disueltas involucra cambios en procesos físicos en el agua al momento de determinar la salinidad se lo realiza a través de los cloruros disueltos en la muestra.¹⁴

1.5.1.10 Cromo (Cr)

El cromo (Cr) es un elemento natural que se encuentra en rocas, plantas, suelos, animales, humo y gases volcánicos. Se presenta en la naturaleza con distintas valencias, el cromo trivalente y hexavalente son las formas más comunes.

El cromo trivalente es un nutriente esencial que promueve la acción de la insulina mientras que el cromo hexavalente y otros derivados de este son de origen antropogénico. Las concentraciones de cromo total en el agua de consumo humano son inferiores a 2µg/L (2ppb).¹⁵

¹⁴ (Brown, y otros, 2012)

¹⁵ (Albert, 2004)

1.1.3. Azolla Caroliniana Willd

Helecho acuático flotante muy ramificado, de color verde – oscuro o rojizo, con ovales de 7 mm de longitud por 30 mm de ancho; la información taxonómica se encuentra detallada en la Tabla III.

REINO	Plantae
PHYLUM	Pteridophyta
CLASE	Polypodiopsida
ORDEN	Salviniales
FAMILIA	Azollaceae
GÉNERO	Azolla
EPÍTETO ESPECÍFICO	Caroliniana
NOMBRE CIENTÍFICO	Azolla Caroliniana Willd.

Tabla III. Información Taxonómica de Azolla Caroliniana Willd.

Fuente: Frant 1995

Se eligió el helecho Azolla Caroliniana Willd, dado que la planta se encarga de absorber los iones presentes a medida que transcurre el tiempo, además la respiración celular de la planta provoca que la concentración de CO₂ incremente y por lo tanto el pH se reduzca.

De acuerdo a las recomendaciones de Science School, la proporción recomendada de Azolla Caroliniana Willd es de 50g en 250 ml de agua.

1.1.4. Corrosión

La corrosión es definida como la destrucción lente y progresiva de un material, producida por un agente externo. Los efectos de la corrosión provocan un cambio en las propiedades de los materiales, como la resistencia; y en otras ocasiones involucra un cambio físico. Puede ser producida por:

- Acción electroquímica
- Acción Química
- Acción Bioquímica

1.5.1.11 Tipos de Corrosión

1.5.1.12 Uniforme

Es producida por la pérdida del metal superficial, provocando un adelgazamiento uniforme. La corrosión uniforme se puede subdividir en:

- *Atmosférica*

Es producida por la interacción entre los elementos presentes en la atmósfera con los metales; los elementos presentes en la atmósfera que reaccionan con el metal son: el agua, el oxígeno, elementos contaminantes atmosféricos y las sales.

De acuerdo al tipo de ambiente, la corrosión atmosférica puede darse en un ambiente industrial, marino o rural.

- *Galvánica*

Sucede cuando en presencia de una solución conductora (electrolito) se une eléctricamente dos metales distintos. El metal con un mayor potencial electroquímico actúa como cátodo y el metal con menor potencial electroquímico como ánodo.

Durante este tipo de proceso el ánodo se oxida, provocando que la pérdida de electrones produzca iones positivos que se separan del metal, lo que involucra una pérdida de masas.

- *Por Metales Líquidos*

En presencia de metales líquidos como el zinc, cadmio y el mercurio; ocurre una degradación de los metales.

- *Por Altas Temperaturas*

Ocurre cuando en algunos metales reaccionan directamente con gases oxidantes, al ser expuestos en condiciones de muy altas temperaturas.

1.5.1.13 Generalizada

Ocurre cuando la pérdida del material es en áreas localizadas o discretas. La corrosión generalizada se puede producirse por las siguientes situaciones:

- *Por fisuras*

La corrosión se produce en pequeñas cavidades debido al contacto entre piezas de metal, ya sean iguales o diferentes entre sí, o por contacto con elementos no metálicos.

- *Por Picadura*

Este tipo de corrosión es producida en zonas de baja corrosión, siendo altamente localizada; donde la reacción de ánodo produce pequeñas

picaduras. Es altamente localizada, se produce en zonas de baja corrosión generalizada donde la reacción anódica produce unas pequeñas “picaduras” en el cuerpo.

- *Microbiológica*

Se produce cuando los organismos biológicos actúan como aceleradores del proceso de corrosión, o son la única causa de la misma.

Este tipo de corrosión es producido en ciertos en medios acuosos en donde los metales están sumergidos o flotantes; de esta manera los organismos biológicos presentes en el agua actúan en la superficie del metal, acelerando el transporte del oxígeno a la superficie del metal. ¹⁶

1.1.5. Marco Legal

Con respecto a las descargas líquidas, emisiones a la atmósfera y disposición de los desechos sólidos al ambiente se deben cumplir con los límites permisibles establecidos en el capítulo XII del Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas.

¹⁶ (Rodríguez, 2000)

En las descargas de agua de formación se debe realizar el análisis mínimo una vez al mes tanto en el punto de descarga como en el punto de control del cuerpo receptor. En las Tabla IV., se aprecian las descargas para ambos puntos.

Parámetro	Unidad	Efluente(punto de descarga)		Inmisión (Punto de control en el cuerpo receptor)		Destino de descarga
		Valor Permissible	Promedio Anual	Valor Permissible	Promedio Anual	
Potencial hidrogeno	pH	5.0<pH<9.0	5.0<pH<9.0	6.0<pH<8.0	6.0<pH<8.0	Continente y Mar Abierto
Conductividad Eléctrica	µS/cm	<2500	<2000	<170	<120	Continente
Cromo (totales)	mg/l	<0.5	<0.4	-	-	-

Tabla IV. Valores Permisibles de Descarga

Fuente: Ministerio del Ambiente, Decreto Oficial 1215.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Muestreo

2.1.1 Preparación del Agua de Formación

Antes de iniciar la etapa de experimentación se procedió a decantar y filtrar el agua de formación proveniente del pozo PAC-026 del Campo Pacoa, debido a la presencia de sólidos en suspensión y emulsiones de petróleo; como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Decantación de Agua de Formación
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

2.1.2 Selección de Azolla Caroliniana Willd

La selección de Azolla Caroliniana Willd se la realizó del invernadero de la Unidad Educativa Enrique Noboa Arizaga, ubicada en La Troncal, Cañar, Ecuador.



Figura 2.2. Invernadero de Azolla Caroliniana Willd
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

Posterior a la recolección, se procedió a pesar en una balanza digital la Azolla Caroliniana Willd para distribuirla de acuerdo a su peso en las unidades experimentales; como se muestra en la Figura 2.3.



Figura 2.3. Pesaje de Azolla Caroliniana Willd
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

2.1.3 Distribución de Muestras

Se utilizaron cuatro muestras experimentales y una muestra control con cuatro litros de agua de formación; manteniendo constante el volumen de agua y variando la concentración en gramos de Azolla Caroliniana Willd.

En la Tabla V., se presenta en detalle la descripción de las unidades experimentales.

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Muestra A	Agua de Formación + 400gr de azolla
Muestra B	Agua de Formación + 600gr de azolla
Muestra C	Agua de Formación + 800gr de azolla
Muestra D	Agua de Formación + 1000gr de azolla
Muestra E	MUESTRA CONTROL Agua de Formación

Tabla V. Descripción de Muestras Experimentales
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

Las muestras fueron depositadas y monitoreadas en contenedores de polipropileno dimensión 30 cm × 40 cm × 8 cm; ubicadas en el Laboratorio de Petrofísica, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Tal como se muestra en la Figura 2.4.



Figura 2.4. Distribución de Muestras en Contenedores
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

2.2 Análisis Realizados

El tiempo de experimentación fue de seis días, en los cuales se midió y calculó la variación de temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, salinidad y concentración de dióxido de carbono (CO₂); durante:

- t = 0 día (condiciones iniciales),
- t = 1 día,
- t = 5 días,
- t = 6 días (condiciones finales).

2.2.1 Temperatura

Con la ayuda de un termómetro, se midió la temperatura de cada una de las muestras en grados Fahrenheit, para posteriormente ser comparada con la temperatura ambiente del laboratorio.

2.2.2 Potencial de Hidrógeno

Se utilizó el peachímetro OAKLON luego de ser debidamente calibrado, para medir el potencial de hidrógeno de las muestras experimentales. Los valores registrados se encuentran corregidos a 26°C, por el equipo utilizado.



Figura 2.5. Peachímetro OAKLON
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

2.2.3 Concentración de Dióxido de Carbono (CO₂)

Se midió la concentración de CO₂ en las muestras, mediante el proceso de valoración con Hidróxido de Sodio a 0.02 de Normalidad (NaOH a 0.02N) e indicador de fenolftaleína.

La expresión matemática que relaciona el volumen de muestra con el volumen de titulación se detalla en la Ecuación (1).

$$\frac{mg}{lt} \text{ de } CO_2 = \frac{V_1 \times N \times 44000}{V_2} ; \text{ Ecuación (1).}$$

Donde:

- $\frac{mg}{lt}$ de CO_2 ; equivale a ppm de CO_2 .
- V_1 ; Volumen de Hidróxido de Sodio consumido [ml].
- N ; Normalidad de Hidróxido de Sodio.
- V_2 ; Volumen de Muestra de Agua [ml].

2.2.4 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica fue medida a condiciones iniciales y finales, con el equipo multiparámetro HACH HQ40d en unidades de $\left[\frac{mS}{cm}\right]$.

2.2.5 Salinidad

La salinidad de las muestras, fue medida a condiciones iniciales y finales; con el equipo multiparámetro HACH HQ40d en partes por mil [‰]. La salinidad representa la concentración de cloruro de sodio (NaCl).



Figura 2.6. Medición de Salinidad
Elaborador por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

2.2.6 Concentración de Cromo Total

Las muestras de agua fueron enviadas al Laboratorio de Estequiometría del Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Los cuales para determinar la concentración de Cromo Total (Cr) de la muestra inicial y final utilizaron el Espectrofotómetro de Absorción Atómica marca Thermo Fisher Scientific modelo iCE3500.

El método de análisis fue de Absorción Atómica con horno grafito, correspondiente al método 3113B del Standard Methods AWWA Ed. 22.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Temperatura

TEMPERATURA [°F]						
TIEMPO	AMBIENTE	MUESTRA E	MUESTRA A	MUESTRA B	MUESTRA C	MUESTRA D
DÍAS	-	0 gramos de Azolla Caroliniana	400 gramos de Azolla Caroliniana	600 gramos de Azolla Caroliniana	800 gramos de Azolla Caroliniana	1000 gramos de Azolla Caroliniana
0	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00
1	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00
5	79,00	78,00	79,00	78,00	78,00	78,00
6	76,00	76,00	76,00	76,00	76,00	76,00

Tabla VI. Variación de Temperatura
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

La Tabla VI., indica la variación de temperatura en cada una de las muestras experimentales con respecto a la muestra control.

No se registró un cambio de temperatura notable entre las mismas, manteniéndose cercana a la temperatura ambiente.

3.2 Potencial de Hidrógeno

pH					
TIEMPO	MUESTRA E	MUESTRA A	MUESTRA B	MUESTRA C	MUESTRA D
DÍAS	0 gramos de Azolla Caroliniana	400 gramos de Azolla Caroliniana	600 gramde Azolla Caroliniana	800 gramos de Azolla Caroliniana	1000 gramos de Azolla Caroliniana
0	7,04	7,04	7,04	7,04	7,04
1	7,60	6,57	6,33	6,33	6,45
5	7,26	7,02	6,84	6,80	6,74
6	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00

Tabla VII. Variación de Potencial de Hidrógeno
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

Las muestras que contenían Azolla Caroliniana Willd, presentaron un comportamiento de pH diferente al de la muestra control.

La Figura 3.1., representa el comportamiento del pH con respecto al tiempo, la muestra control (MUESTRA E) presenta una tendencia ascendente para $t=1$ día; mientras que el intervalo de $[t = 5 \text{ días a } t = 6 \text{ días}]$ se presentó una tendencia descendente hasta llegar a un pH neutro.

La tendencia del pH para $t = 1$ de la MUESTRA A, MUESTRA B, MUESTRA C y MUESTRA D es descendente; a diferencia del pH de la muestra control.

Esto se debe a que el incremento del CO_2 producto de la respiración celular de la Azolla Caroliniana Willd provoca un descenso de pH en las muestras que la contienen.

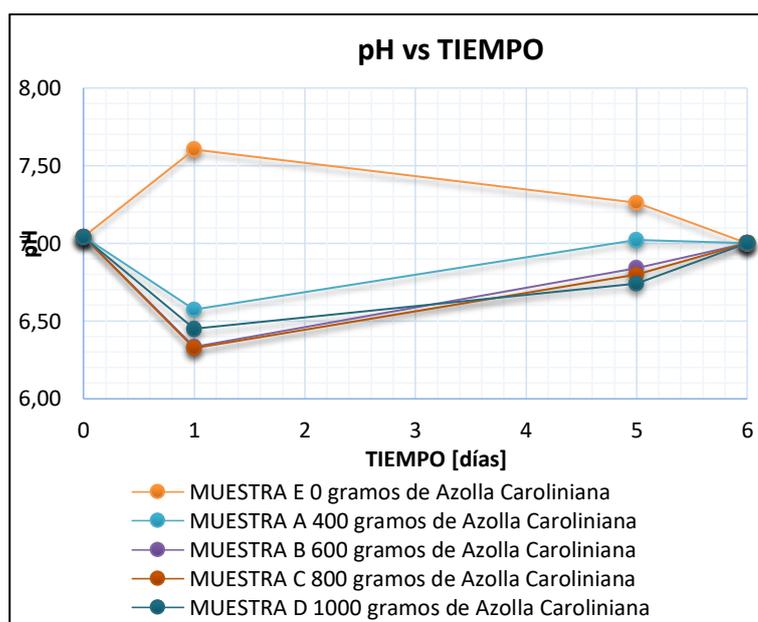


Figura 3.1. Potencial de Hidrógeno vs Tiempo
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

La Figura 3.2. representa la variación de pH con respecto a la concentración en gramos de la Azolla Caroliniana Willd, donde cada serie muestra el desarrollo para los días de experimentación. Los resultados obtenidos permiten observar tres tipos de comportamientos:

- *[0 – 1] día: Etapa Inicial*

Las muestras que contienen Azolla Caroliniana Willd, presentan un cambio de pH neutro a ácido, mientras que la muestra control cambia de neutro a básico.

- *(2 – 5) día: Etapa de Desarrollo*

El potencial de hidrógeno de las muestras con Azolla Caroliniana Willd cambia de ácido a neutro, mientras que la muestra control pasa de básico a neutro.

En $t = 5$ días, el pH se torna más ácido a medida que aumenta la concentración de Azolla.

- *[5 - 6] día: Etapa Final*

Las 4 muestras experimentales y la muestra control, presentan un pH neutro.

De esta manera los resultados de pH varían de 6 a 8; siendo un rango permitido dentro de las normas ambientales y operacionales.

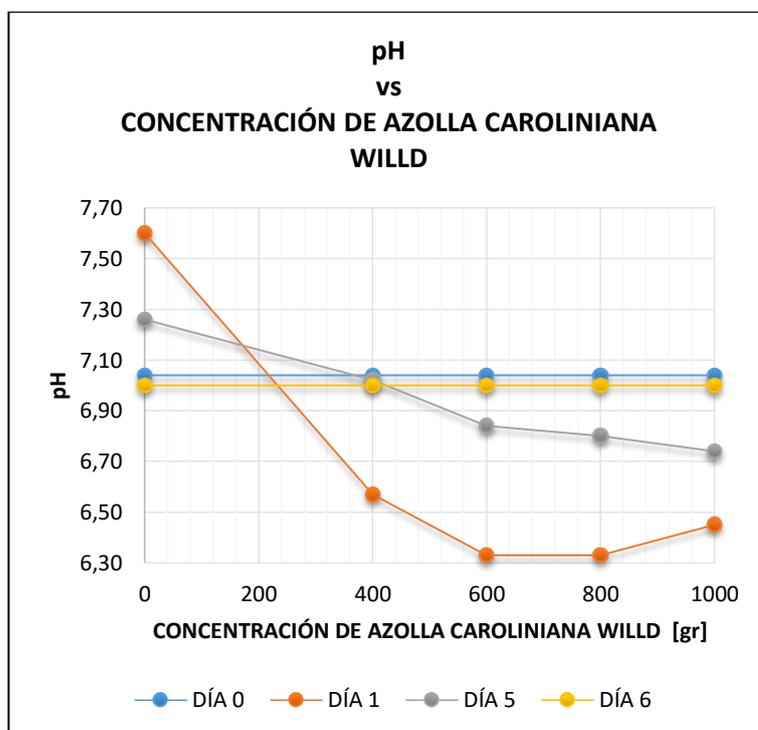


Figura 3.2. Potencial de Hidrógeno vs Concentración de Azolla Caroliniana Willd.
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

3.3 Concentración de Dióxido de Carbono (CO₂)

La Tabla VIII., indica los valores de concentración de CO₂ obtenidos durante la experimentación.

CO ₂ [ppm]					
TIEMPO	MUESTRA E	MUESTRA A	MUESTRA B	MUESTRA C	MUESTRA D
DÍAS	0 gramos de Azolla Caroliniana	400 gramos de Azolla Caroliniana	600 gramos de Azolla Caroliniana	800 gramos de Azolla Caroliniana	1000 gramos de Azolla Caroliniana
0	70,40	70,40	70,40	70,40	70,40
1	70,40	79,20	105,60	114,40	105,60
5	35,20	79,20	70,40	70,40	114,40
6	35,20	52,80	61,60	79,20	70,40

Tabla VIII. Variación de Concentración de Dióxido de Carbono
Elaborado por: Estefi Yadira, Dayana Serrano

La Figura 3.3., evidencia la tendencia de la concentración de CO₂ en partes por millón [ppm].

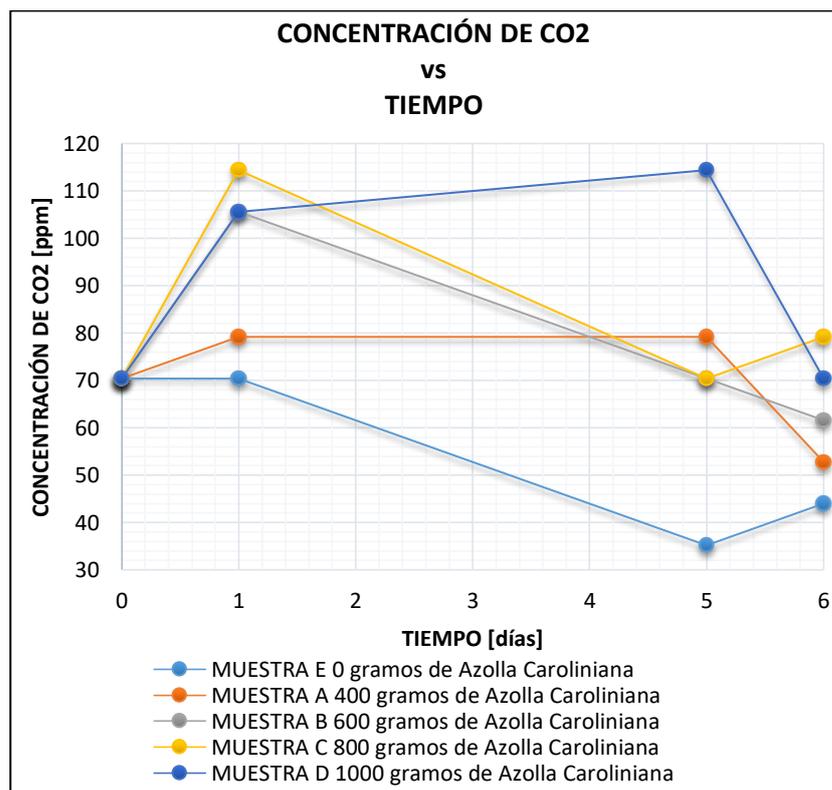


Figura 3.3. Concentración de Dióxido de Carbono vs Tiempo
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

- [0 – 1] día: Etapa Inicial

La concentración de dióxido de carbono en el agua aumenta para cada una de las muestras experimentales, y para la muestra control se mantiene constante. Esto se debe a la respiración celular de la Azolla Caroliniana Willd realiza, como se muestra en la Fig 3.3; a mayor cantidad de Azolla Caroliniana Willd, mayor es la concentración de CO₂ para un volumen constante de agua.

- (2 – 5) día: Etapa de Desarrollo

La concentración de CO₂ disminuye para la muestra control, muestra B y muestra C; teniendo su punto más bajo en la muestra control (E) dado que no hay presencia de Azolla Caroliniana Willd.

Para las muestras A y D la concentración de CO₂ aumenta, se da en mayor proporción en la muestra D dado que contiene más cantidad de Azolla.

- [5 - 6] día: Etapa Final

En las muestras experimentales con Azolla Caroliniana se presentó una disminución de la concentración de CO₂ debido a que los procesos de respiración celular empezaron a disminuir a medida que el helecho moría.

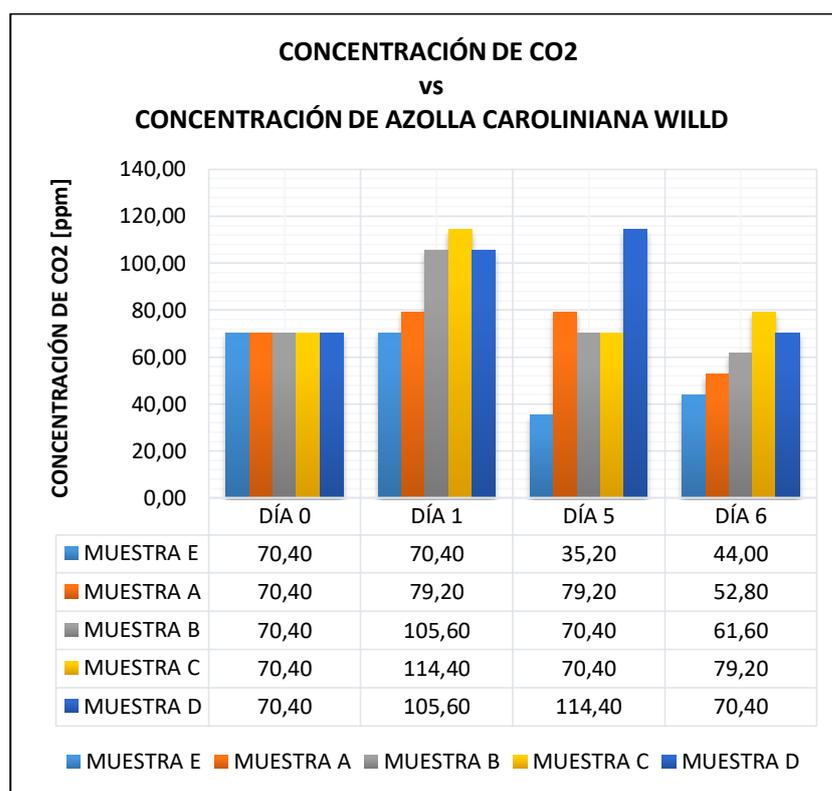


Figura 3.4. Concentración de CO2 vs Concentración de Azolla Caroliniana Willd
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

De acuerdo a la Figura 3.4. la muestra A es aquella que presenta menor variación en su concentración de CO2 desde t=1 día hasta t=5 días.

La concentración de CO2, tiene relación directa con el pH de la muestra; es por ello que presentan un comportamiento similar.

3.4 Conductividad

La conductividad eléctrica expresada en [$\mu\text{S}/\text{cm}$] disminuyó proporcionalmente a la concentración de Azolla Caroliniana Willd expresada en gramos, en la Tabla IX., se observa la conductividad entre las condiciones iniciales y finales para cada una de las muestras.

CONDUCTIVIDAD [$\mu\text{S}/\text{cm}$]					
TIEMPO	MUESTRA E	MUESTRA A	MUESTRA B	MUESTRA C	MUESTRA D
DÍAS	0 gramos de Azolla Caroliniana	400 gramos de Azolla Caroliniana	600 gramos de Azolla Caroliniana	800 gramos de Azolla Caroliniana	1000 gramos de Azolla Caroliniana
0	45770,18	45770,18	45770,18	45770,18	45770,18
6	20120,18	18532,68	17407,68	16607,68	16082,68

Tabla IX. Conductividad
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

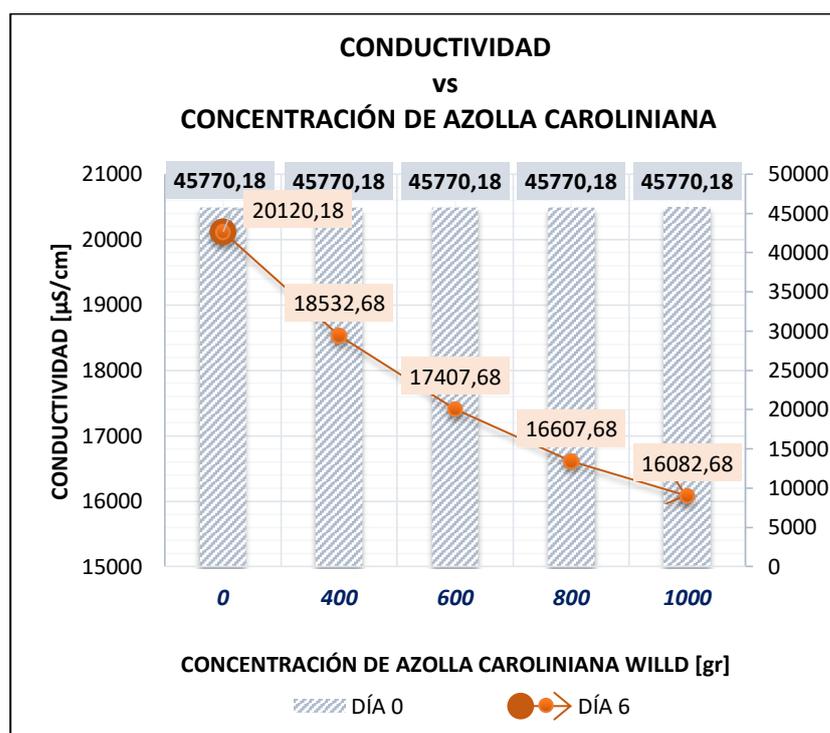


Figura 3.5. Conductividad vs Concentración de Azolla Caroliniana Willd
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

En la Figura 3.6. se observa que a mayor cantidad de Azolla Caroliniana Willd en el mismo volumen de agua, la reducción de la conductividad es mayor.

Las figuras antes mencionadas muestran que la reducción también ocurrió en la muestra control, es por ello que es importante analizar los cambios físicos que ocurrieron durante el proceso de experimentación. Dichos cambios se detallan en la Tabla X.

IDENTIFICACIÓN	CONCENTRACIÓN DE AZOLLA CAROLINIANA [gramos]	PORCENTAJE DE REMOCIÓN [%]	ASPECTOS FÍSICOS	
			PRECIPITACION DE HALITA	FORMACION DE CONCHA

MUESTRA E	0	56,04	X	
MUESTRA A	400	59,51		X
MUESTRA B	600	61,97		X
MUESTRA C	800	63,72		
MUESTRA D	1000	64,86		

Tabla X. Porcentaje de Reducción de Conductividad
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

Mediante el uso de lápices de dureza, se comprobó que los cristales precipitados corresponden al mineral Halita, como se muestra en el Anexo D; por dicha razón se da la reducción de conductividad en la muestra control (Muestra E).

La precipitación de Halita también se evidencia en las piscinas donde se almacena el agua de formación del campo Pacoa, para su posterior reinyección.

Mientras mayor sea la cantidad de Azolla Caroliniana Willd en la muestra, será mayor el porcentaje de disminución de conductividad.

La muestra D presenta la mayor disminución de conductividad, con un porcentaje de 64.88%; como lo muestra la Figura 3.6.

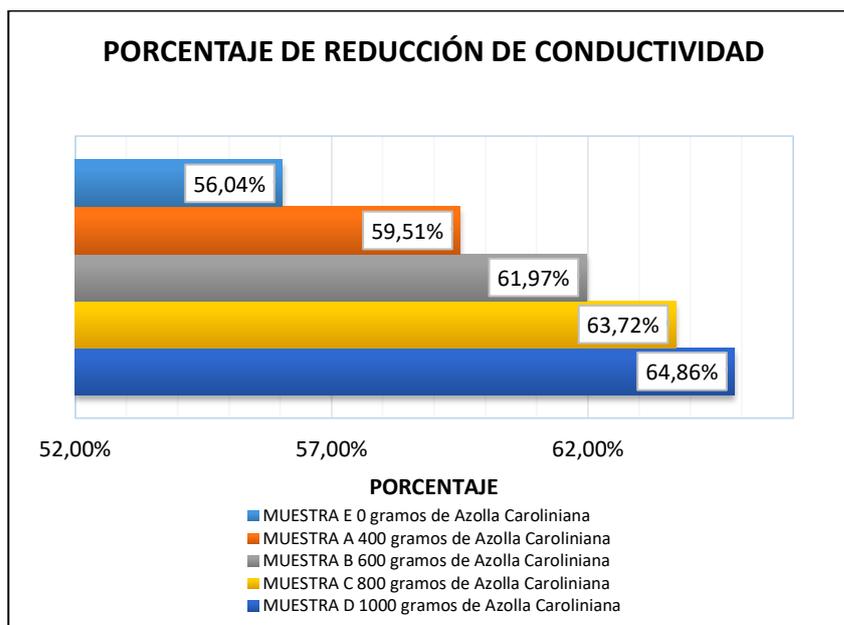


Figura 3.6. Porcentaje de Reducción de Conductividad
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

La presencia de Conchas o caparazones en las muestras A y B se debe a las condiciones de oxigenación óptimas para el desarrollo de microorganismo, que se transforma en un factor negativo en ámbitos operacionales de la industria.

Tomando en cuenta estos parámetros las muestras que presentan un mejor desarrollo durante la reducción de la conductividad son C y D.

3.5 Salinidad

SALINIDAD [ppm NaCl]					
TIEMPO	MUESTRA E	MUESTRA A	MUESTRA B	MUESTRA C	MUESTRA D
DÍAS	0 gramos de Azolla Caroliniana	400 gramos de Azolla Caroliniana	600 gramos de Azolla Caroliniana	800 gramos de Azolla Caroliniana	1000 gramos de Azolla Caroliniana
0	22450,00	22450,00	22450,00	22450,00	22450,00
6	9670,00	8780,00	8200,00	7840,00	7590,00

Tabla XI. Valores de Salinidad
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

En la Tabla XI., se muestra la comparación de salinidad entre las condiciones iniciales y finales expresada en [ppm de NaCl]; la misma que disminuya a razón que aumenta la concentración de Azolla Caroliniana expresada en gramos.

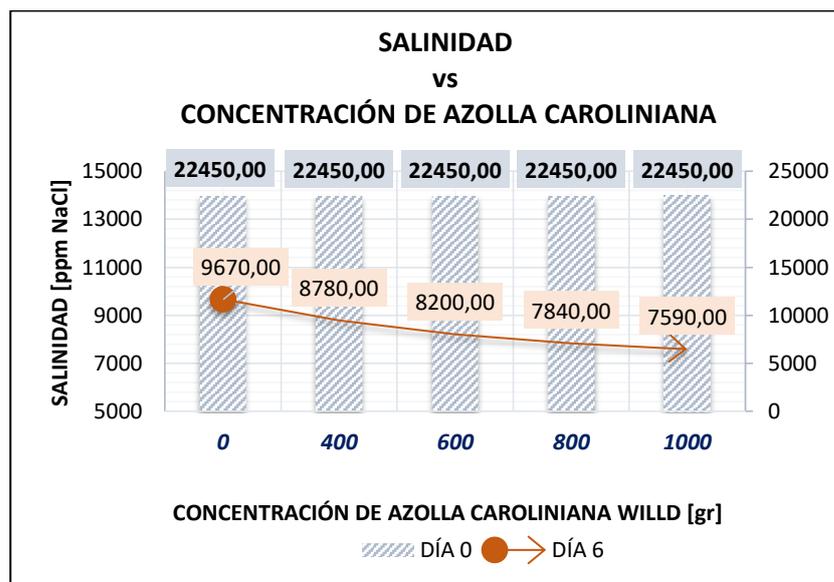


Figura 3.7. Salinidad vs Concentración de Azolla Caroliniana
 Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

En la Figura 3.7., se observa que a mayor cantidad de Azolla Caroliniana en el mismo volumen de agua, la reducción de la salinidad es mayor.

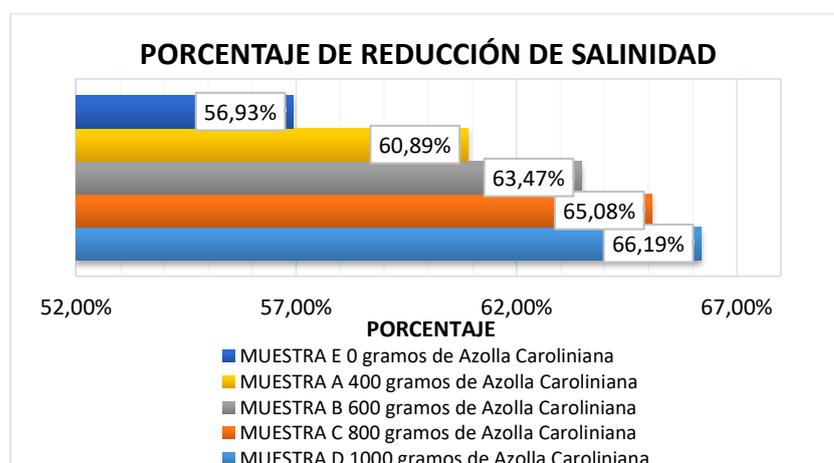


Figura 3.8. Porcentaje de Reducción de Salinidad
 Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

La muestra D presenta la mayor disminución de salinidad, con un porcentaje de 66.19%; como lo muestra la Figura 3.8.

Las figuras antes mencionadas muestran que la reducción también ocurrió en la muestra control, es por ello que es importante analizar los cambios físicos que ocurrieron durante el proceso de experimentación. Dichos cambios se detallan en la Tabla XII.

IDENTIFICACIÓN	CONCENTRACIÓN DE AZOLLA CAROLINIANA [gramos]	PORCENTAJE DE REMOCIÓN [%]	ASPECTOS FÍSICOS	
			PRECIPITACIÓN DE HALITA	FORMACIÓN DE CONCHA
MUESTRA E	0	56,93	X	
MUESTRA A	400	60,89		X
MUESTRA B	600	63,47		X
MUESTRA C	800	65,08		
MUESTRA D	1000	66,19		

Tabla XII. Porcentaje de Remoción de Salinidad
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

Mediante el uso de lápices de dureza, se comprobó que los cristales precipitados corresponden al mineral Halita, como se muestra en el Anexo D; por dicha razón se da la reducción de salinidad en la muestra control (Muestra E).

La precipitación de Halita también se evidencia en las piscinas donde se almacena el agua de formación del campo Pacoa, para su posterior reinyección.

La presencia de Conchas o caparzones en las muestras A y B se debe a las condiciones de oxigenación óptimas para el desarrollo de microorganismo, que se transforma en un factor negativo en ámbitos operacionales de la industria. Tomando en cuenta estos parámetros las muestras que presentan un mejor desarrollo durante la reducción de la salinidad son C y D.

Los resultados de reducción de salinidad y conductividad son similares debido a que la salinidad es una medida indirecta de la conductividad.

3.6 Concentración de Cromo

CONCENTRACIÓN DE CROMO [ppb]					
TIEMPO	MUESTRA E	MUESTRA A	MUESTRA B	MUESTRA C	MUESTRA D
DÍAS	0 gramos de Azolla Caroliniana	400 gramos de Azolla Caroliniana	600 gramos de Azolla Caroliniana	800 gramos de Azolla Caroliniana	1000 gramos de Azolla Caroliniana
0	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67
6	8,75	10,86	9,38	10,36	8,67

Tabla XIII. Concentración de Cromo
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano

La concentración de Cromo Total en las muestras de agua de formación, tanto de control como con presencia de Azolla Caroliniana, aumentó en el orden del 1%. Esto se debe a la posible presencia de cromo en el ambiente del laboratorio, dado por los reactivos o sustancias utilizadas en los alrededores de los lugares de experimentación; ya que la presencia de cromo total está en el orden de ppb (partes por billón).

Aun así, como se muestra en la Figura 3.9., los resultados muestran la disminución de cromo total al comparar la concentración en partes por billón en la muestra control (Muestra E) y la muestra con 1000 gramos de Azolla Caroliniana (Muestra D) en el orden del 1%.

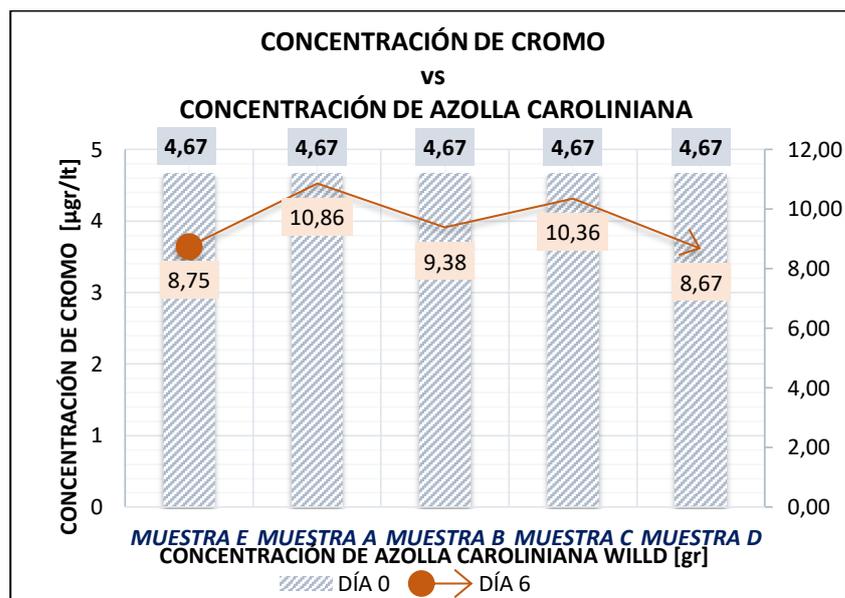


Figura 3.9. Concentración de Cromo vs Concentración de Azolla Caroliniana Willd
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

Los resultados realizados por el Laboratorio de Espectrometría se encuentran en el ANEXO B.

3.7 Estadística Inferencial

3.7.1 Regresión Simple

3.7.1.1 Salinidad y Concentración de Azolla Caroliniana Willd

- H_0 : no existe relación lineal entre la salinidad del agua de formación y la concentración de Azolla Caroliniana Willd.
- H_1 : existe relación lineal entre la salinidad del agua de formación y la concentración de Azolla Caroliniana Willd.

Donde H_0 representa la hipótesis nula y H_1 la hipótesis alternativa.

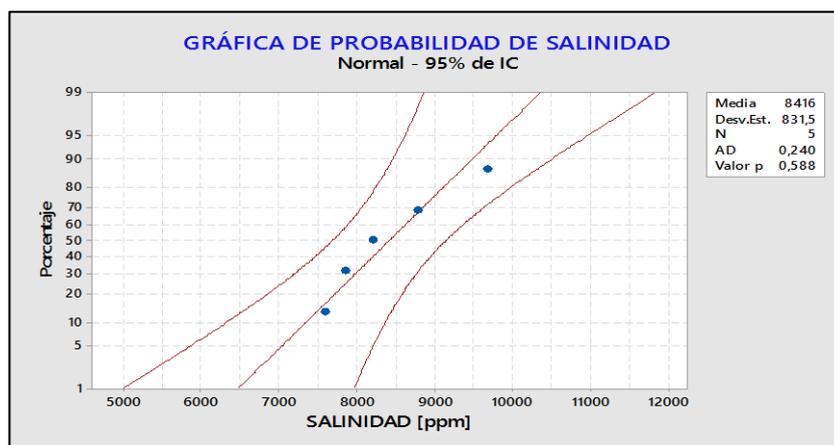


Figura 3.10. Probabilidad de Salinidad
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

Al utilizar la Gráfica de Probabilidad de Salinidad que se presenta en la Figura 3.10., se verifica que los resultados obtenidos de salinidad presentan una distribución normal con grado de confianza del 95%; dado que el estadístico de Anderson-Darling es bajo y el valor p está por encima de 0.05.

Conociendo que la hipótesis nula representa que no existe relación lineal entre la salinidad y la concentración de *Azolla Caroliniana* Willd.; la Tabla XIV. muestra el análisis de varianza de la Tabla Anova.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	2727927	2727927	216,54	0,001
Error	3	37793	12598		
Total	4	2765720			

Tabla XIV. Resultados de Anova
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

Los resultados de Anova establecen un valor $p < 0,05$ por lo que se rechaza la hipótesis nula; y de esta manera si existe relación lineal entre la salinidad y la concentración de *Azolla Caroliniana* Willd.

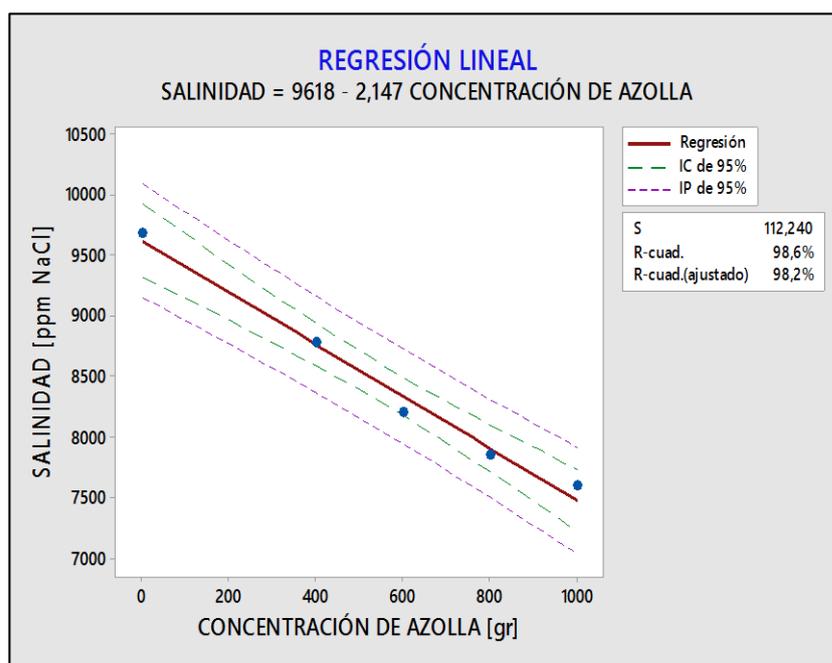


Figura 3.11. Regresión Lineal entre Salinidad y Concentración de Azolla Caroliniana Willd
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

La Figura 3.11, representa la Regresión Lineal entre la salinidad del agua de formación y la concentración de Azolla Caroliniana Willd; al ser $R^2 = 98.6\%$ involucra que la línea de regresión ajusta a la mayor cantidad de datos, de esta manera la expresión que representa esta relación para un volumen de agua constante es la Ecuación 2.

$$Y = 9618 - 2.147X; \quad \text{Ecuación 2.}$$

Y = Salinidad del Agua de Formación en [ppm NaCl]

X = Concentración de Azolla Caroliniana Willd [gr]

La salinidad del agua de formación es inversamente proporcional a la concentración de Azolla Caroliniana Willd en el agua.

3.7.1.2 Concentración de Cromo Total y Concentración de Azolla Caroliniana Willd

- H_0 : no existe relación lineal entre la concentración de Cromo Total y la concentración de Azolla Caroliniana Willd.
- H_1 : existe relación lineal entre la salinidad del Cromo Total y la concentración de Azolla Caroliniana Willd.

Donde H_0 representa la hipótesis nula y H_1 la hipótesis alternativa.

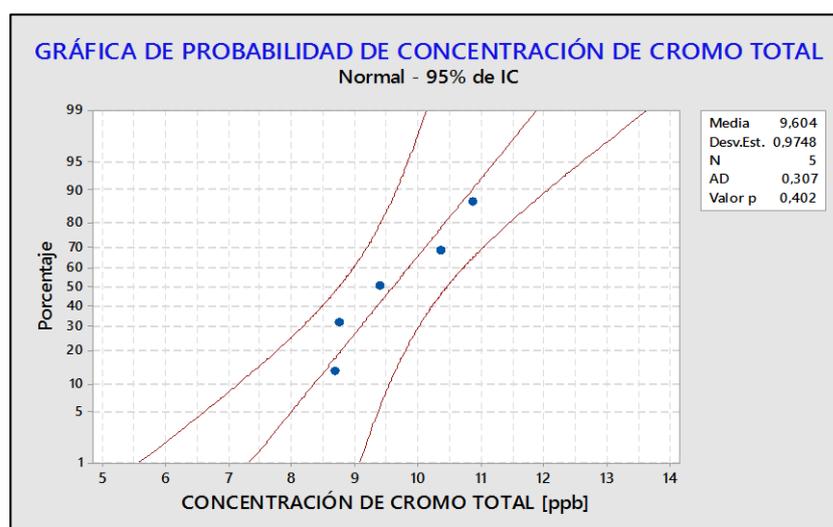


Figura 3.12. Probabilidad de Concentración de Cromo Total
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

Al utilizar la Gráfica de Probabilidad de Cromo Total que se presenta en la Figura 3.12., se verifica que los resultados obtenidos de salinidad presentan una distribución normal con grado de confianza del 95%; dado que el estadístico de Anderson-Darling es bajo y el valor p está por encima de 0.05.

La Tabla XV. muestra el análisis de varianza comparando el tipo de regresión

ANÁLISIS DE VARIANZA SECUENCIAL				
Fuente	GL	SC	F	P
Lineal	1	0,00254	0,00	0,967
Cuadrático	1	2,30623	3,09	0,221
Cúbico	1	0,02716	0,02	0,914

Tabla XV. Resultados de Anova
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

Los resultados del análisis de varianza secuencial establecen un valor $P > 0,05$ por lo que no se rechaza la hipótesis nula; y de esta manera no existe relación lineal, ni cuadrática, ni cónica entre la concentración de cromo total y la concentración de Azolla Caroliniana Willd.

La Figura 3.13., Figura 3.14., y Figura 3.15. muestran valores de R^2 bajos, es decir que las regresiones no se ajustan a la mayor cantidad de datos, la regresión cúbica es la que más se ajusta a los datos obtenidos; teniendo un R^2 de 61,5%, pero aun así la hipótesis nula es aceptada debido a su valor p de 0,914.

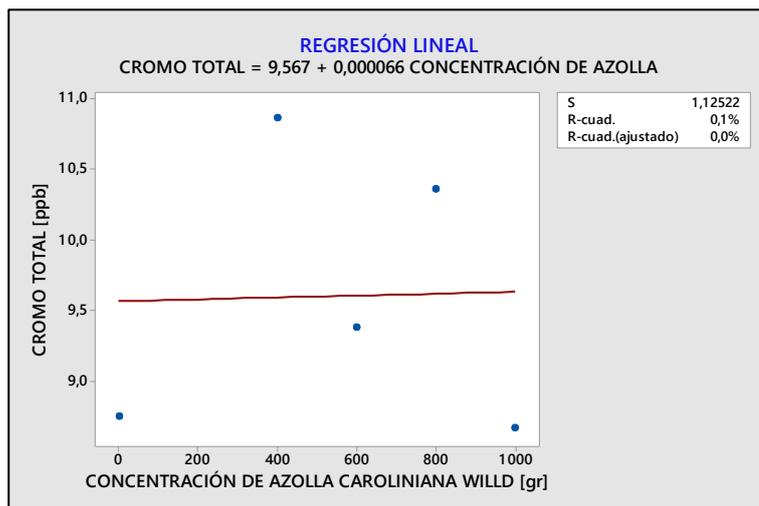


Figura 3.13 Regresión Lineal de Cromo Total
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

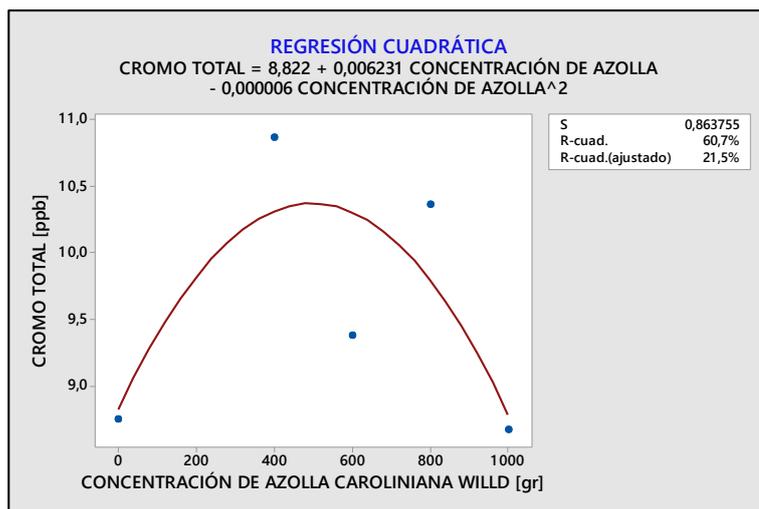


Figura 3.14 Regresión Cuadrática de Cromo Total
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

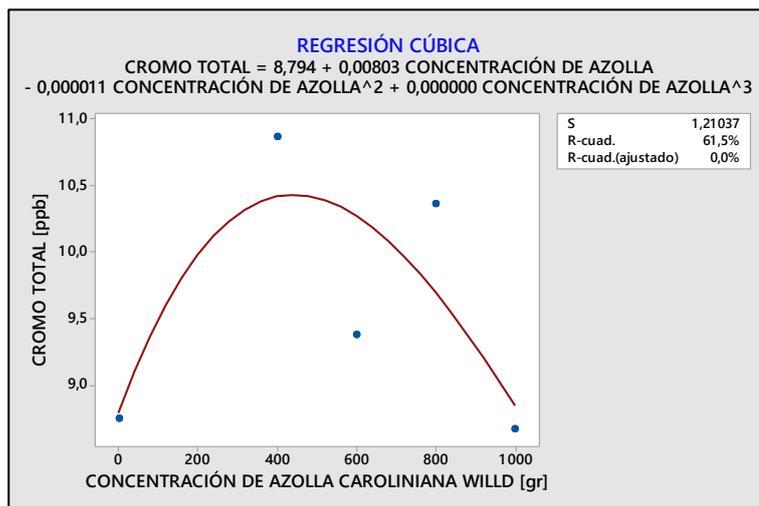


Figura 3.15. Regresión Cúbica de Cromo Total
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La relación entre la salinidad y la concentración de Azolla Caroliniana Willd es inversamente Proporcional; la muestra D mostró una mayor reducción de salinidad (66,19%) con respecto a las otras muestras experimentales que contenían Azolla.
2. La muestra control también presentó una disminución en la salinidad del 55,93%; se explica que esto sucedió producto a la precipitación de halita en la muestra control en donde se formaron los cristales de dicho mineral a diferencia de las otras muestras experimentales que contenían Azolla

Caroliniana Willd en donde no se evidenció la precipitación de halita, pero si la formación de conchas en la Muestra A y Muestra B.

3. La concentración de Cromo Total en todas las muestras aumentó en el orden del 1%. Esto se debe a la posible presencia de cromo en el ambiente del laboratorio; ya que el valor de cromo total está en el orden de ppb (partes por billón).
4. Los resultados muestran la disminución de cromo total al comparar la concentración en partes por billón en la muestra control (Muestra E) y la muestra con 1000 gramos de Azolla Caroliniana Willd (Muestra D) en el orden del 1%.
5. La respiración celular de la Azolla Caroliniana Willd, genera un aumento en la producción de CO₂ de las muestras experimentales a diferencia de la muestra control que no contenía el helecho. Por lo que se demuestra que un aumento en la concentración de CO₂, reduce el nivel de pH hasta el punto en el que la Azolla comienza a morir y deja de realizar el proceso de respiración, volviendo de esta forma a reestablecerse el pH en las muestras estudiadas.

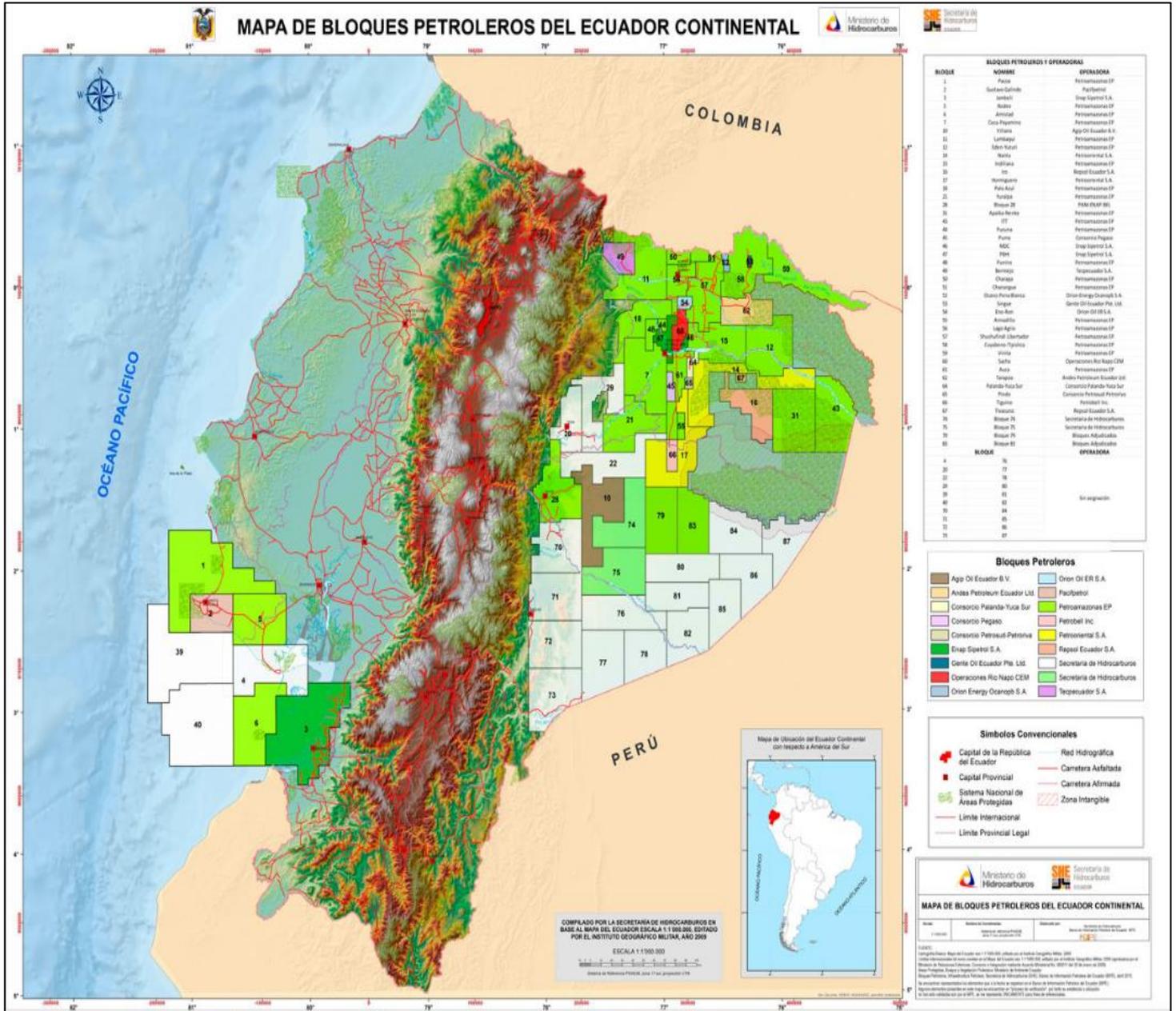
6. Los datos de salinidad presentaron una distribución normal que permitió elaborar el análisis de regresión lineal para la variable resultado salinidad y la variable independiente (concentración de Azolla Caroliniana Willd)
7. De acuerdo a los resultados, se obtuvo un valor $p = 0,001$ por lo tanto se rechazó H_0 a favor de la H_1 que sostiene que existe una relación lineal entre la salinidad de agua de formación y la concentración de Azolla Caroliniana Willd.
8. La expresión matemática que representa esta relación lineal es la ecuación, $Y = 9618 - 2.147X$, para un volumen de agua constante. El valor R_2 fue del 98.6%, el mismo que nos indica la proporción de datos que se ajustan a la ecuación antes mencionada.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda para futuras experimentaciones, realizar las evaluaciones a condiciones de campo ya que los factores físicos como temperatura, presión y humedad varían en relación a las condiciones de laboratorio.
2. Realizar un análisis y control del DBO para poder monitorear los posibles ambientes en donde proliferen bacterias que desencadenan la presencia de H₂S.
3. Medir los niveles de cromo total en la atmósfera dado que la Azolla Caroliniana Willd tiene la propiedad de captar los iones de cromo que se encuentran presentes en el ambiente.
4. Se recomienda para futuros experimentos variar el volumen de agua con la finalidad de encontrar la relación entre volumen de agua y Azolla Caroliniana Willd.

ANEXOS

ANEXO A



MAPA I. Mapa de Bloque Petroleros
Fuente: Secretaría de Hidrocarburos Ecuador (SHE,2016)

ANEXO B

	Escuela Superior Politécnica del Litoral
	Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
	Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales

(R.G. 5-10)

CERTIFICADO DE RESULTADOS

Solicitante: **Dayana Serrano – Estefi Batallas**
Certificado de Análisis N°: **097-2016**
Fecha de recepción de muestra(s): **19-08-2016**
Fecha de entrega de resultados: **26-08-2016**

Muestras	Resultado (µg/l)
	Cromo
1.- "A"	10.86
2.- "B"	9.38
3.- "C"	10.36
4.- "D"	8.67
5.- "E"	8.75
6.- "F"	4.72

Observaciones:
Método de Análisis = Absorción Atómica con horno de grafito. Método 3113B del Standard Methods AWWA Ed. 22
Equipo utilizado = Espectrofotómetro de Absorción Atómica marca Thermo Fisher Scientific modelo iCE3500


Dra. Paola Almeida Guerra
Directora del Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales

LCC/.

Notas: El certificado original es válido solo con el sello seco de seguridad de alto relieve ubicado en la parte inferior derecha de la hoja y no debe ser reproducido de forma parcial o total, excepto por su emisor como copia autorizada.
Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.
Las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como decimales.
Las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como enteros.

Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal 090903 Teléfonos: 2269559 – 2269563
--

ANEXO 0-A. Certificado de Resultados Laboratorio, Cromo Total
Fuente: Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales

ANEXO C

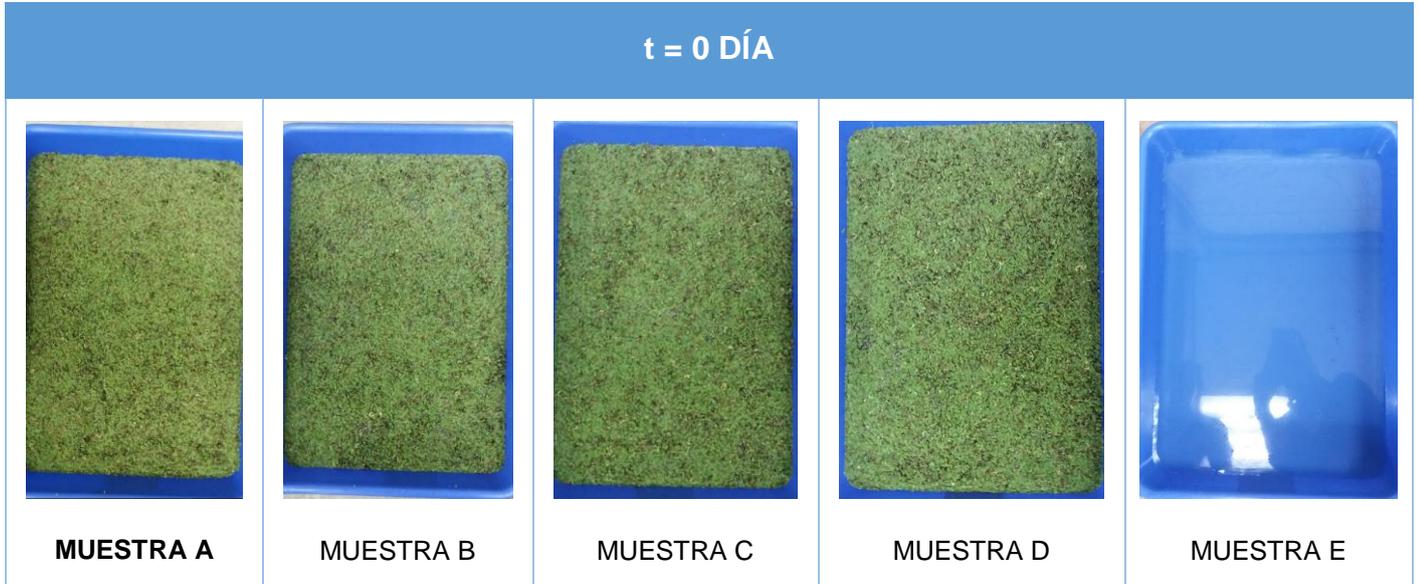


Tabla XVI. Muestras a Condiciones Iniciales
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

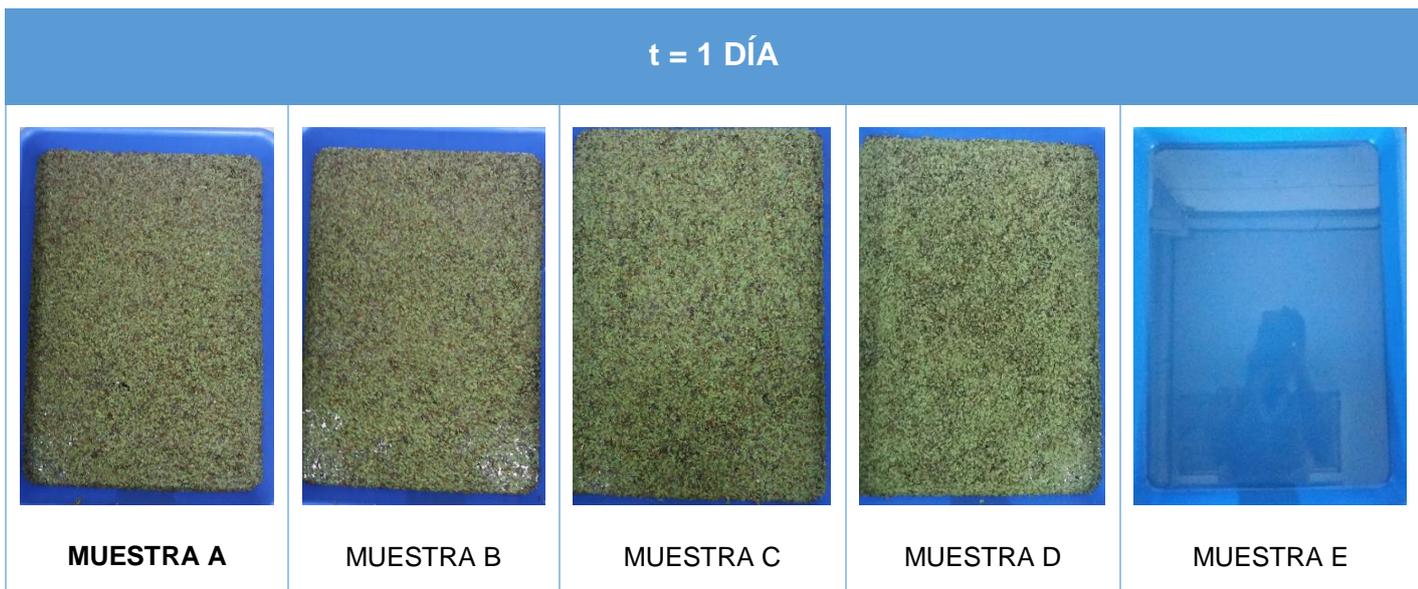


Tabla XVII. Muestras a t = 1 día
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

t = 6 DÍAS



MUESTRA A



MUESTRA B



MUESTRA C



MUESTRA D



MUESTRA E

Tabla XVIII. Muestras a Condiciones Finales
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

ANEXO D

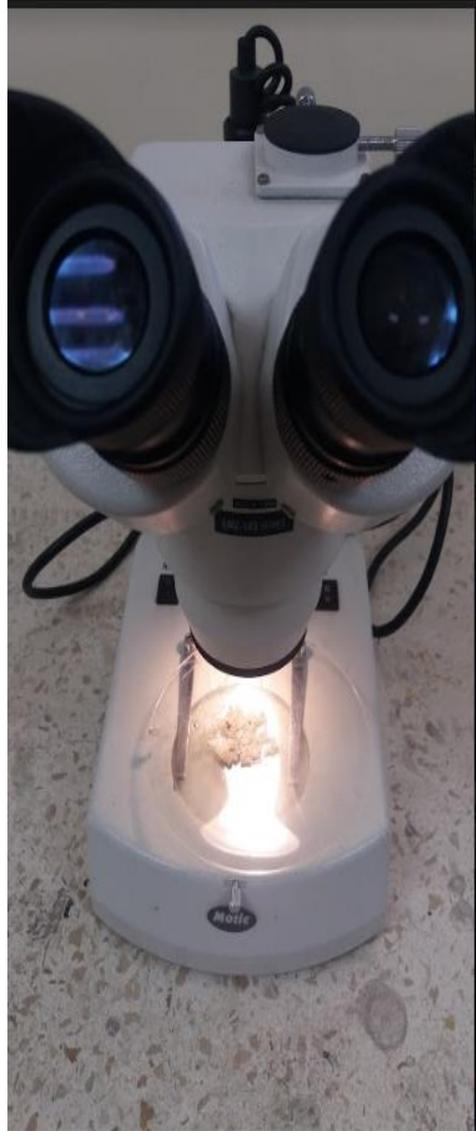


Tabla XIX. Caracterización de Mineral Halita en MUESTRA E
Elaborado por: Estefi Batallas, Dayana Serrano.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Albert, Lilia A. 2004.** *Toxicología Ambiental*. Juarez : Universidad Autonoma de Ciudad Juarez, 2004.
2. **ARCH. 2011.** *Plan de desarrollo, 2011 del campo Pacoa*. 2011.
3. **Brown, Theodore, y otros. 2012.** *Química, la ciencia central*. Mexico : Pearson Education , Inc, 2012.
4. **California Enviromental Protection Agency.** *Folleto Informativo, Conductividad Eléctrica / Salinidad*. s.l. : Foletto Informativo 3.1.3.0.
5. **Castellanos Guerra, Johnny y Eugenio González, Segundo. 2004.** *Aprovechamiento del Gas de la Zona Sur del Campo Pacoa como Combustible de in Grupo Electrógeno*. Guayaquil : s.n., 2004.
6. **Massol, Arturo. 2002.** *Manual de Laboratorios (Ecología de Microorganismos)*. s.l. : Universidad de Puerto Rico, 2002.
7. **Pandey, Vimal Chandra. 2016.** *Phytoremediation of heavy metals from fly ash pond by Azolla caroliniana*. 2016.

8. **Poveda, Hernán. 2014.** *El campo Pacoa es susceptible de incrementar su producción y volver rentable su operación.* Quito : s.n., 2014. págs. 48-51.
9. **R. K. Godfrey, Grady W. Reinert and Richard D. Houk. 1961.** Observations on Microsporocarpic Material of *Azolla Caroliniana*. s.l. : American Fern Journal, 1961, Vol. 51.
10. **Rai, P.K., 2008.** Phytoremediation of Hg and Cd from industrial effluents using an aquatic free floating macrophyte *Azolla pinnata*. Int. J. Phytorem. 10, 430–439.
11. **2001.** Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas. *Decreto Ejecutivo 1215, Registro Oficial 265.* 13 de Febrero de 2001.
12. **Renlund, Julius Cohn and Robert N. 1953.** Notes on *Azolla caroliniana*. [aut. libro] American Fern Society. s.l. : Vol. 43, No. 1 , 1953, págs. 7 - 11.
13. **Rodríguez, Ing. José Alberto. 2000.** *Corrosión.* s.l. : MAX - TEC , 2000. Material de Apoyo para cursos universitarios.
14. **Secretaría de Hidrocarburos Ecuador. 2016.** *Mapa de Bloques Petroleros del Ecuador.* 2016.

15. **Streit, B., Stumm, W., 1993.** Chemical properties of metals and the process of bioaccumulation in terrestrial plants. In: Markert, B. (Ed.), *Plants as Biomoni-tors*. VCH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge, pp. 31–62.

16. **Tecnología de Procesos Industriales. 2015.** Universidad Tecnológica de Pereira. *Tipos de Corrosión*. [En línea] 2015. <http://www.utp.edu.co/~dhmesa/pdfs/tiposdecorrosion>.

17. **Universidad de Puerto Rico. 2016.** Recinto Universitario de Mayaguez. [En línea] Julio de 2016. <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-salinidad.pdf>.

18. **Zumba Piña, Nacy Victoria. 2005.** *Interpretación Geológica - Sísmica 2D en el área de San Vicente-Morillo del Bloque ESPOL*. Guayaquil : s.n., 2005.