

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE REMEDIACIÓN DE LA PLANTA VETIVER (*CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES*) EN SUELOS CONTAMINADOS

Data de submissão: 28/01/2025

Data de aceite: 03/02/2025

Analjorie Lugo Armas

Ing., MSc. Universidad Metropolitana.
Caracas. Venezuela
ORCID: 0009-0007-2517-6300

Verónica Luna Silva

Ing. Universidad Metropolitana.
Caracas. Venezuela

Valeria Amaranta Pacheco Herrera

Ing. Universidad Metropolitana.
Caracas. Venezuela

RESUMEN: El suelo es un recurso natural indispensable para distintas actividades humanas, pues brinda funciones y servicios con beneficios económicos y ambientales fundamentales para el desarrollo de la vida cotidiana. La contaminación es un problema que yace de la disposición incorrecta de desechos orgánicos e inorgánicos, lo que causa un impacto en sus propiedades biológicas y fisicoquímicas. Existen múltiples tecnologías para tratar suelos afectados, y, de acuerdo con Infante (s.f.), en Venezuela uno de los métodos más utilizados es la fitorremediación. Por tal motivo; este estudio examina la capacidad de remediación de la planta Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en

suelos contaminados con agua residual y aceite mineral usado a través de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos específicos como: pH, conductividad eléctrica (CE), demanda biológica de oxígeno (DBO), coliformes totales y fecales, y aceites y grasas, con el objetivo de lograr que sea apto para el cultivo. Se recolectaron valores a condiciones iniciales y finales de los parámetros en tres grupos muestras con variación de número de bulbos plantados y concentración de contaminantes: el grupo A sin contaminantes, y B y C contaminados. Tras 5 meses de tratamiento, los resultados indicaron una disminución de aproximadamente 81,1% en la conductividad eléctrica, 76,4% de la DBO, 92% de coliformes fecales, 9% del pH y del 98,1% de aceites y grasas, demostrando que la planta Vetiver ejerce un efecto fitorremediador en los suelos contaminados.

PALABRAS CLAVE: Vetiver, fitorremediación, suelo contaminado, pH, conductividad eléctrica, DBO, coliformes, aceites, grasas.

EVALUATION OF VETIVER GRASS (*CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES*) REMEDICATION CAPACITY IN CONTAMINATED SOILS

ABSTRACT: Soil is an indispensable natural resource for various human activities, providing functions and services with fundamental economic and environmental benefits for the development of daily life. Contamination is a problem arising from the improper disposal of organic and inorganic waste, which impacts its biological and physicochemical properties. Multiple technologies exist to treat contaminated soils, and according to Infante (n.d.), phytoremediation is one of the most used methods in Venezuela. Therefore, this study examines the remediation capacity of the Vetiver plant (*Chrysopogon zizanioides*) in soils contaminated with wastewater and used mineral oil through specific physicochemical and bacteriological parameters such as: pH, electrical conductivity (EC), biological oxygen demand (BOD), total and fecal coliforms, and oils and greases, with the objective of making it suitable for cultivation. Initial and final values of the parameters were collected in three sample groups with varying numbers of planted bulbs and contaminant concentrations: group A without contaminants, and B and C contaminated. After 5 months of treatment, the results indicated a decrease of approximately 81.1% in electrical conductivity, 76.4% of BOD, 92% of fecal coliforms, 9% of pH, and 98.1% of oils and greases, demonstrating that the Vetiver plant exerts a phytoremediation effect on contaminated soils.

KEYWORDS: Vetiver, phytoremediation, contaminated soil, pH, electrical conductivity, BOD, coliforms, oils, greases.

INTRODUCCIÓN

La continua incidencia de prácticas agrícolas, residenciales e industriales irresponsables tienen consecuencias que implican un grave detrimento ambiental, por ello, la contaminación de suelos ocupa el tercer lugar de amenazas ambientales para Europa y Eurasia; mientras que para Latinoamérica ocupa el octavo lugar (FAO, 2019). Por esta razón, las propiedades del suelo pueden cambiar su naturaleza, siendo más sensibles a la absorción de productos químicos tóxicos, metales pesados y residuos orgánicos que amenazan su calidad y fertilidad. Además, pueden conllevar a graves repercusiones en la productividad agrícola, la salud humana y la calidad del agua subterránea, poniendo en riesgo comunidades, (López, 2002).

Existen numerosas alternativas ambientales disponibles para restaurar suelos, basadas principalmente en su función, su composición o extensión y tipo de contaminante, pero usualmente son costosas, siendo necesarias alternativas sustentables y amigables con el ambiente. La fitorremediación entra en este grupo, siendo un método económico y efectivo. El Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es una planta que tiene capacidades fitocorrectivas, siendo designada por la Red Mundial del Vetiver en el Banco Mundial como la planta ideal para la estabilización y rehabilitación de suelos, control de la erosión y eliminación de contaminantes presentes en suelos y aguas residuales (Tamayo, 2020).

Investigaciones, han demostrado la efectividad del Vetiver en la restauración de

suelos contaminados por derrames de petróleo a través de la manipulación y regulación de determinadas propiedades físicas y químicas necesarias para promover la remediación a través de procesos naturales (Infante, s.f.). Adicionalmente, las condiciones climáticas y factores edáficos del país que facilitan la diversificación, la riqueza de la flora y de microorganismos en el suelo, características de la fitorremediación, son también beneficiosos para el desarrollo y mantenimiento del Vetiver (Infante, s.f.).

La relevancia del éxito de este tipo de sistema vegetal, promovió que el objeto de estudio de este trabajo de investigación fuese evaluar la eficacia y el comportamiento de la planta Vetiver para remediar suelos contaminados, basados en parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos seleccionados mediante un levantamiento bibliográfico.

Para ello, se plantearon las causas que impulsaron la investigación y la experimentación, así como se describieron los objetivos y la delimitación del mismo.

Posteriormente, se establecieron las bases conceptuales necesarias para analizar de forma crítica el comportamiento del Vetiver en función a los resultados obtenidos, tales como la definición de fitorremediación, características relevantes de la planta Vetiver, condiciones de los suelos de cultivo y la descripción de cada parámetro seleccionado.

Luego, se desarrolló una metodología aplicada para la determinación de los parámetros en la fase inicial y final de la experimentación.

Finalmente se exponen los resultados obtenidos en cuanto a tolerancia de contaminantes, absorción y estabilización a través de la comparación de los valores de cada uno de los parámetros.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Revisión bibliográfica y selección de parámetros de estudio

Se investigaron distintos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que la planta Vetiver es capaz de modificar, considerando las características de un suelo destinado al cultivo.

En la tabla 1, se desglosan las metodologías para determinación de los parámetros seleccionados.

	Parámetro	Metodología
Bacteriológicos	DBO	5 días de incubación
	Coliformes totales y fecales	Número más probable (NMP)
Fisicoquímicos	pH	Electrodo
	Fósforo total	Olsen (1954) con Murphy y Riley (1962)
	Aceites y grasas	Gravimétrico
	Conductividad eléctrica	Electrodo

Tabla 1. Metodologías para la determinación de los parámetros seleccionados

Elaboración de muestras patrón de suelos

Se diseñó un sustrato artificial para simular las condiciones ideales para el crecimiento del vetiver, combinando un 53,71% de suelo limoso comercial y un 46,79% de suelo arcilloso proveniente del Ávila. Este último, con una composición rica en minerales debido a su origen metasedimentario, aporta características particulares al sustrato. Ambos suelos fueron tamizados a través de mallas de 6,35 mm y 4,75 mm para garantizar una homogeneidad adecuada antes de ser mezclados.

Basándose en investigaciones previas, se establecieron las condiciones óptimas para el desarrollo del sistema Vetiver, como un volumen mínimo de 2,65 dm³ de suelo por planta y una separación entre bulbos de 10 a 15 cm. Para el experimento, se seleccionaron macetas de 16,5 cm de diámetro y se establecieron tres tratamientos, cada uno con 12 macetas, para evaluar el efecto del vetiver en suelos con diferentes niveles de contaminación. Las condiciones iniciales de cada tratamiento fueron cuidadosamente registradas (Ver tabla 2).

Montaje del Sistema Vetiver (SV)					
Identificación alfabética	Identificación numérica	Nro. bulbos de Vetiver	Contaminantes	Determinación de parámetros	Identificación en el SV
A	1	un (1) bulbo	NO	Condición final	A1
	2	un (1) bulbo	NO	Condición final	A2
	3	dos (2) bulbos	NO	Condición final	A3
	4	dos (2) bulbos	NO	Condición final	A4
	5	<i>cero (0) bulbos</i>	<i>NO</i>	<i>Condición inicial</i>	<i>A5</i>
B	1	un (1) bulbo	SÍ	Condición final	B1
	2	un (1) bulbo	SÍ	Condición final	B2
	3	dos (2) bulbos	SÍ	Condición final	B3
	4	dos (2) bulbos	SÍ	Condición final	B4
	5	<i>cero (0) bulbos</i>	<i>SÍ</i>	<i>Condición inicial</i>	<i>B5</i>
C	1	un (1) bulbo	SÍ	Condición final	C1
	2	un (1) bulbo	SÍ	Condición final	C2
	3	dos (2) bulbos	SÍ	Condición final	C3
	4	dos (2) bulbos	SÍ	Condición final	C4
	5	<i>cero (0) bulbos</i>	<i>SÍ</i>	<i>Condición inicial</i>	<i>C5</i>

Tabla 2. Composición detallada del Montaje del Sistema Vetiver (SV)

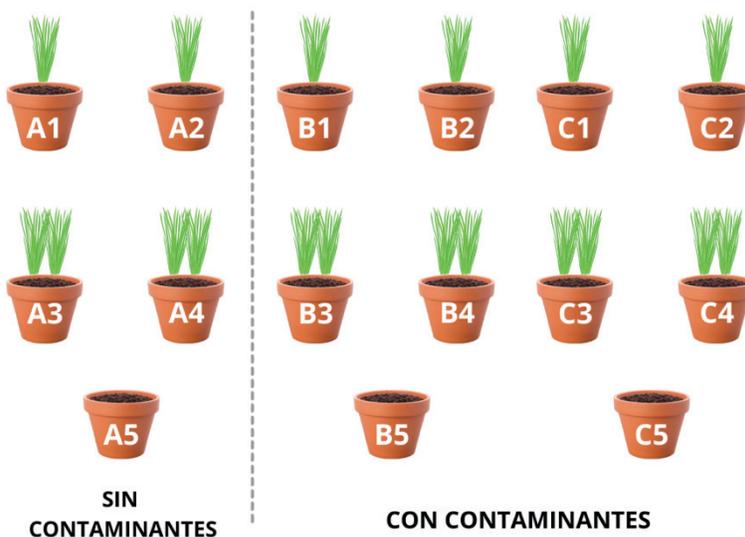


Figura 1. Esquema gráfico del Montaje del Sistema Vetiver (SV)

Adicionalmente cada grupo, clasificado alfabéticamente como se observa en la Figura 1, tuvo dos propósitos a demostrar:

1. Tolerancia a distinta concentración de contaminantes.
2. Efectividad según la cantidad de bulbos de Vetiver.

El primer paso para elaborar las muestras fue depositar porciones másicas (véase Tabla 2) semejantes de suelo en las 15 macetas identificadas alfabéticamente.

Maceta	Masa $\pm 0,1$ g	Promedio másico $\pm g$	Ajuste (*)	Promedio másico del Ajuste (*)
A1	1090,3			
A2	1170,7			
A3	1029,1	1117,2	-	-
A4	1178,5			
A5	1135,9			
B1	1209,4		119,1	
B2	1268,6		97,9	
B3	1227,9	1244,0	198,8	137,4
B4	1270,2		91,7	
B5	1315,5		179,6	

C1	1474,3		264,9	
C2	1480,9		212,3	
C3	1475,6	1476,4	247,7	215,7
C4	1474,7		204,5	
C5	1464,8		149,3	

Tabla 2. Masa, promedio y ajuste de suelo apto para cultivo añadida por muestra

Luego, se escogieron sustancias contaminantes que respondieran a los parámetros de estudio, concretamente las observadas en la tabla 3, dividiéndose en: material orgánico, con el fin de alterar la composición bacteriológica, y material inorgánico, para alterar condiciones fisicoquímicas.

Parámetro	Sustancia	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Observaciones
Aceites y grasas pH Conductividad eléctrica	Lubricante automotriz multipropósito usado 85W-140	-	5,0 ± 0,2 ml	10,0 ± 0,2 ml	Se calentó a baño termostático hasta 60,0 ± 0,5°C para disminuir su viscosidad cinemática
Coliformes totales y fecales DBO	Agua residual de red cloacal de la Universidad Metropolitana	-	250 ± 5 ml	500 ± 5 ml	Se utilizó un cilindro graduado de 1000 ± 5 ml
Fósforo total	Humus líquido 1,99% P	-	5,00 ± 0,03 ml	10,00 ± 0,02 ml	Se diluyó en un matraz aforado de 100,00 ± 0,08 ml

Tabla 3. Sustancias contaminantes añadidas a las muestras de suelo apto para cultivo

Posteriormente, se procedió a sembrar los bulbos de Vetiver en cada maceta, dando inicio al sistema de fitorremediación. Considerando la sensibilidad inicial de las plantas a la deshidratación, se estableció un protocolo de riego: el grupo A (sin contaminantes) recibió 100 ± 0,08 ml de agua destilada para mantener el suelo húmedo. Los grupos B y C, que ya contenían agua residual como contaminante, no requirieron riego adicional durante esta etapa.

Determinación de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en muestras patrones

Luego de una semana de incubación, las macetas A5, B5 y C5 fueron trasladadas al laboratorio para realizar un nuevo análisis y establecer las condiciones iniciales del experimento. La maceta A5, que contenía el suelo sin contaminantes, sirvió como grupo control para comparar los resultados.

Se empleó una relación suelo-agua de 1:2,5 en todos los análisis, siguiendo los protocolos establecidos en el Manual de prácticas del Laboratorio de Calidad Ambiental de

Lavado del suelo bajo la norma UNE 77303 de calidad del suelo de la norma española

Para preparar las muestras de suelo para su análisis, se pesó el contenido de cada maceta, excluyendo las partes de la planta, y se colocó en un recipiente. Luego, se agregó agua destilada en una proporción de 1 parte de suelo por 2,5 partes de agua. Esta mezcla se agitó enérgicamente durante 30 minutos para asegurar una buena homogenización. Posteriormente, la suspensión se filtró para eliminar cualquier partícula sólida mayor, como hojas o pequeñas piedras, y se almacenó en recipientes limpios y cerrados a una temperatura de 4°C para preservar la muestra y evitar alteraciones en su composición.

Determinación de potencial de hidrógeno (pH), método del electrodo

Se determinó el pH del suelo siguiendo las recomendaciones de la RILSAV, utilizando una proporción de 1 parte de suelo por 2,5 partes de agua destilada. Después de dejar reposar la suspensión durante 2 horas, se midió el pH con un electrodo previamente calibrado con soluciones buffer. Para asegurar la precisión de las mediciones, se utilizó un cilindro graduado de 1 litro y se realizaron tres mediciones por muestra, utilizando vasos de precipitados de 200 ml. Los resultados obtenidos se registraron en tablas.

Determinación de la conductividad eléctrica, método del electrodo

Para garantizar la precisión de las mediciones de conductividad eléctrica, se inició el proceso verificando el funcionamiento del conductivímetro ST20C-B sumergiéndolo en agua destilada. A continuación, se procedió a medir la conductividad eléctrica de cada muestra en triplicado, utilizando vasos de precipitados de 200 ml y un cilindro graduado para medir los volúmenes. Entre cada medición, el equipo se lavó con agua destilada para evitar contaminaciones cruzadas. Los resultados obtenidos se registraron de forma detallada en tablas.

Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), método 5 días de incubación

Para determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se empleó un método directo. Inicialmente, se midió la concentración de oxígeno disuelto en cada muestra utilizando un oxímetro. Luego, las muestras se almacenaron en botellas Winkler en oscuridad a 20°C durante 5 días. Al finalizar este periodo, se midió nuevamente el oxígeno disuelto en cada muestra. La diferencia entre la concentración inicial y final de oxígeno representó

la DBO, es decir, la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica presente en el agua, aplicando la siguiente fórmula:

$$DBO_5 = ODI - ODF \quad (1)$$

Donde:

ODI = Oxígeno disuelto inicial (mg/l)

ODF = Oxígeno disuelto luego de 5 días (mg/l)

Determinación Coliformes Totales y Fecales, método NMP

Siguiendo el protocolo del Manual de Procesos del Laboratorio de Calidad Ambiental, se prepararon soluciones y caldos de cultivo (Lauril Triptosa, Bilis Verde Brillante y EC) para realizar análisis microbiológicos. Se elaboró agua de dilución estéril, ajustando su pH y esterilizándola en autoclave. Los caldos de cultivo se prepararon en las cantidades necesarias, siguiendo las indicaciones de la Tabla 4, y se almacenaron a 4°C para mantener su calidad. Para cada muestra, se utilizaron 15 tubos con los diferentes caldos, realizando diluciones seriadas hasta 10⁻² y se incubaron a 37°C. Este procedimiento permitió evaluar la presencia y cantidad de diferentes grupos microbianos en las muestras de agua.

Reactivo	Cantidad	Error ± g	Solvente	Dilución (ml)	Error ± ml	Observación
Caldo Lauril Triptosa	17,8	0,1	Agua destilada	1000,0	0,3	Coloración amarillenta
Caldo Bilis Verde Brillante	20,0	0,1	Agua destilada	1000,0	0,3	Coloración verdosa oscura
Caldo EC	18,5	0,1	Agua destilada	1000,0	0,3	Coloración amarillenta

Tabla 4. Detalles de la preparación de caldos de cultivo para la determinación de coliformes totales y fecales

Se prepararon 15 tubos por muestra para cada uno de los caldos de cultivo (Lauril Triptosa, BVB y EC), los cuales fueron esterilizados en autoclave. Tras verificar la esterilidad de los caldos, se procedió a inocularlos con las muestras. Para ello, se realizaron diluciones seriadas (10⁻¹ y 10⁻²) de cada muestra y se sembraron en los tubos correspondientes. Los tubos inoculados se incubaron a 35°C durante 48 horas para promover el crecimiento de microorganismos. Se tomaron todas las precauciones necesarias para evitar la contaminación durante el proceso, como la desinfección de las superficies de trabajo y la utilización de material estéril (véase figura 2).

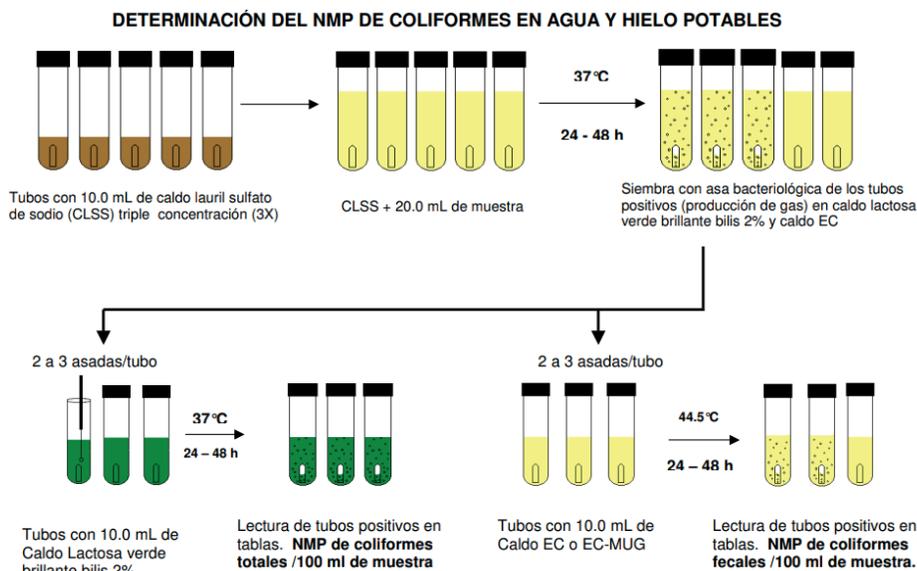


Figura 2. Esquema referencial del proceso de incubación y contaminación de cada caldo de cultivo para la determinación de coliformes totales y fecales

Pasadas 48 horas de incubación, se verificó si había crecimiento bacteriano en los tubos con caldo Lauril Triptosa, identificando aquellos que mostraban turbidez o producción de gas. El contenido de estos tubos positivos se transfirió a los caldos BVB y EC para realizar pruebas confirmatorias. Los tubos se incubaron a diferentes temperaturas por tiempos específicos. Luego de la incubación, se contabilizaron los tubos positivos en cada dilución y se utilizó una tabla de número más probable (NMP) para estimar la cantidad de coliformes totales y fecales presentes en la muestra original (Ver Apéndice 1).

Determinación de Fósforo Total, método Olsen (1954) por el método colorimétrico de Murphy y Riley (1962)

Para determinar el fósforo total en las muestras, se seleccionó el método de Olsen et al. (1954) combinado con el método colorimétrico de Murphy y Riley (1962), adaptado al protocolo del Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Metropolitana. Esta elección se basó en los resultados iniciales del pH de las muestras. Antes de iniciar las pruebas, se prepararon todas las soluciones necesarias, considerando su estabilidad y siguiendo las indicaciones de la Tabla 5.

Reactivo	Cantidad (g)	Error \pm g	Solvente	Dilución (ml)	Error \pm ml
Fenoltaleína 0,0157 M	0,5012	0,0001	Alcohol etílico (50 ml) y Agua destilada (50 ml)	100,00	0,08
Hidróxido de sodio 1 N	20,0	0,1	Agua destilada	500,00	0,20
Ácido ascórbico 0,100 M (*)	0,176	0,0001	Agua destilada	10,00	0,02
Tartrato de antimonio y potasio 0,0082 M	1,3717	0,0001	Agua destilada	500,00	0,20
Molibdato de amonio 0,0032 M	20,0	0,1	Agua destilada	500,00	0,20
Bicarbonato de sodio 0,5 M	21,0000	0,0001	Agua destilada	500,00	0,20

Nota (*): Se preparó por cada experiencia 10,00 \pm 0,02 ml.

Tabla 5. Preparación de soluciones necesarias para la determinación de fósforo total

Para la determinación del fósforo total se utilizaron soluciones de ácido sulfúrico de concentraciones específicas, las cuales ya estaban preparadas. Debido a la probable turbidez de las muestras de suelo, se decidió incluir un blanco de reactivo para cada muestra, con el fin de corregir cualquier interferencia en las lecturas. El procedimiento experimental se realizó por duplicado, utilizando dos fiolas por muestra: una para la muestra en sí y otra para el blanco de reactivo.

Asimismo, se decidió dividir la determinación de fósforo en tres fases fundamentales:

1. Extracción con bicarbonato:

Se extrajo el fósforo soluble en bicarbonato del suelo utilizando una solución de bicarbonato de sodio 0.5 M. La mezcla de suelo y solución se agitó y centrifugó para separar la fase líquida, que contenía el fósforo extraído.

2. Digestión con persulfato de amonio:

La fase líquida obtenida en la extracción se sometió a una digestión ácida con ácido sulfúrico y persulfato de amonio (ver tabla 6) para convertir todo el fósforo presente en ortofosfato. La mezcla se calentó hasta ebullición y luego se neutralizó con hidróxido de sodio.

Solución	Solución	Volumen añadido	Error \pm ml
<i>Reactivo Combinado</i> <i>(se debe agregar cada solución en estricto orden, para la comprobación de su correcta preparación debe presentar una coloración amarillenta)</i>	Ácido sulfúrico 5N	10,0	0,1
	Tartrato de antimonio y potasio 0,0082 M	1,00	0,01
	Molibdato de amonio 0,0032 M	3,00	0,01
	Ácido ascórbico 0,100 M	6,00	0,01
Blanco Reactivo (no debe presentar coloración)	Ácido sulfúrico 5N	20,0	0,1
	Molibdato de amonio 0,0032 M	6,00	0,01

Tabla 6. Volumen de preparación de reactivo combinado y blanco reactivo para cada experiencia

3. Colorimetría:

Se añadió un reactivo colorimétrico a las muestras digeridas, formando un complejo coloreado que absorbe luz a una longitud de onda específica. La absorbancia de este complejo se midió utilizando un espectrofotómetro, y su valor se relacionó con la concentración de fósforo en la muestra original. Se utilizó un blanco de reactivo para corregir cualquier interferencia en las lecturas.

Determinación de Aceites y Grasas, método Gravimétrico

Se preparó un solvente de extracción específico y se acondicionaron los balones de destilación para asegurar la pureza de las muestras. A una muestra de agua se le adicionó el solvente de extracción y se agitó vigorosamente. Luego de dejar reposar para la separación de fases, la capa orgánica (que contiene los aceites y grasas) se recolectó y concentró en un rotavapor. Finalmente, el balón con el residuo de aceite y grasa se secó en un horno y se pesó. La diferencia entre el peso inicial y final del balón permitió calcular la concentración de aceites y grasas en la muestra original.

Tratamiento de fitorremediación con la muestra de suelo a través de la planta Vetiver

Una vez realizado el montaje y registradas las condiciones iniciales para cada parámetro, se dejó actuar al sistema Vetiver durante 24 semanas. A lo largo de este período de tiempo, se realizaron chequeos semanales con respecto a humedad en las macetas, longitud del tallo y cambios cualitativos de las plantas (hojas secas, marchitas o con cambios evidentes

Análisis y discusión de resultados

Evaluación fisicoquímica y bacteriológica de los parámetros seleccionados de muestras tratadas con la planta Vetiver

Potencial de Hidrógeno (pH)

Condición inicial del pH del suelo

Maceta	pH	Media pH	Varianza	Desviación estándar	Categoría según Osorio (2012)
	7,398				
A5	7,455	7,424	0,001	0,02	Alcalino
	7,427				

	7,751					
B5	7,747	7,757	0,000	0,005		Alcalino
	7,758					
	7,945					
C5	7,943	7,942	0,000	0,002		Alcalino
	7,939					

Tabla 7 Condición inicial de muestras con respecto al pH

Condición final del pH del suelo

Condición inicial pH	Muestra	Condición final pH	Media de condición final	Tasa de Remoción (%)	Varianza	Desviación estándar
		7,293				
	A1	7,278	7,292	1,778	0,000	0,01
		7,305				
		6,977				
	A2	6,924	6,940	6,524	0,001	0,03
7,424		6,918				
		6,878				
	A3	6,910	6,901	7,040	0,000	0,02
		6,916				
		6,936				
	A4	6,914	6,913	6,879	0,000	0,02
		6,890				
		7,066				
	B1	7,074	7,065	8,920	0,000	0,008
		7,055				
		7,148				
	B2	7,113	7,133	8,040	0,000	0,02
		7,139				
7,757		6,706				
	B3	6,765	6,784	12,550	0,005	0,07
		6,880				
		6,674				
	B4	6,682	6,683	13,850	0,000	0,008
		6,693				

		7,039				
7,942	C1	7,054	7,044	11,300	0,000	0,007
		7,040				
		7,241				
	C2	7,252	7,259	8,600	0,000	0,02
		7,284				
		7,100				
7,942	C3	7,133	7,114	10,430	0,000	0,01
		7,108				
		7,023				
	C4	7,018	7,020	11,600	0,000	0,002
		7,020				

Tabla 8. Condición final de muestras con respecto al pH

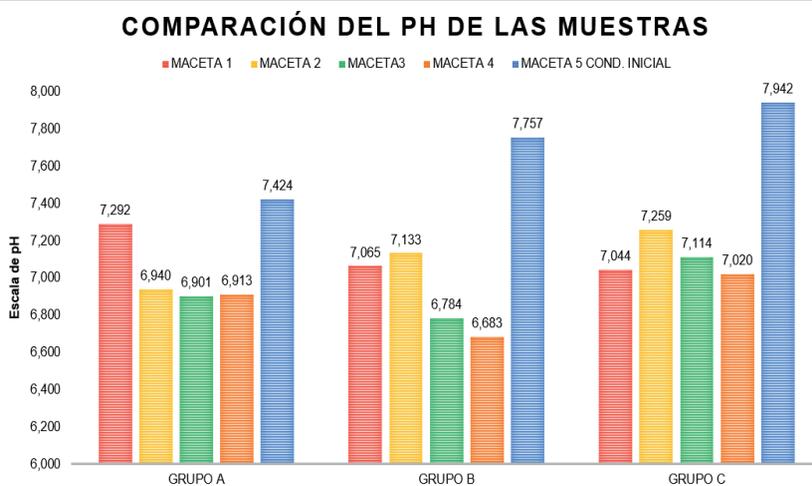


Figura 3. Gráfico comparativo de los valores de pH obtenidos en las muestras



Figura 4 .Diferencia absoluta porcentual respecto a la condición inicial de pH en las muestras

Análisis de resultados

La disminución del pH en el suelo se produce principalmente por tres mecanismos: la producción de dióxido de carbono (CO₂) por la actividad microbiana y la respiración de las raíces, la mineralización de materia orgánica y la formación de ácido carbónico a partir del CO₂ atmosférico y el agua. El Vetiver, al promover la aireación y el drenaje del suelo, favorece estos procesos, aumentando la producción de CO₂ y, por ende, la acidificación.

Sin embargo, el Vetiver también posee mecanismos para alcalinizar el suelo. Estudios han demostrado que esta planta puede producir compuestos alcalinos como los sesquiterpenos, que ayudan a neutralizar la acidez. Además, el Vetiver puede ajustar el pH del suelo según las condiciones ambientales y las necesidades de la planta.

Los resultados del estudio mostraron una disminución del pH en el suelo, lo que indica que el Vetiver tuvo un efecto acidificante, pero dentro del rango esperado. Esto sugiere que el Vetiver puede ser utilizado para mejorar la calidad de suelos ácidos, pero también puede adaptarse a diferentes condiciones de pH.

Conductividad eléctrica

Condición inicial de la conductividad eléctrica del suelo

Maceta	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Media Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Varianza	Desviación estándar	Categoría según Sela (2019)
A5	1647	1649	5	2	Moderadamente salino
	1652				
	1648				
B5	1282	1285*	6	2	Ligeramente salino
	1288				
	1286				
C5	986	985*	18	4	Ligeramente salino
	979				
	989				

Nota (*): No representan valores congruentes, su concentración de sales es potencialmente mayor.

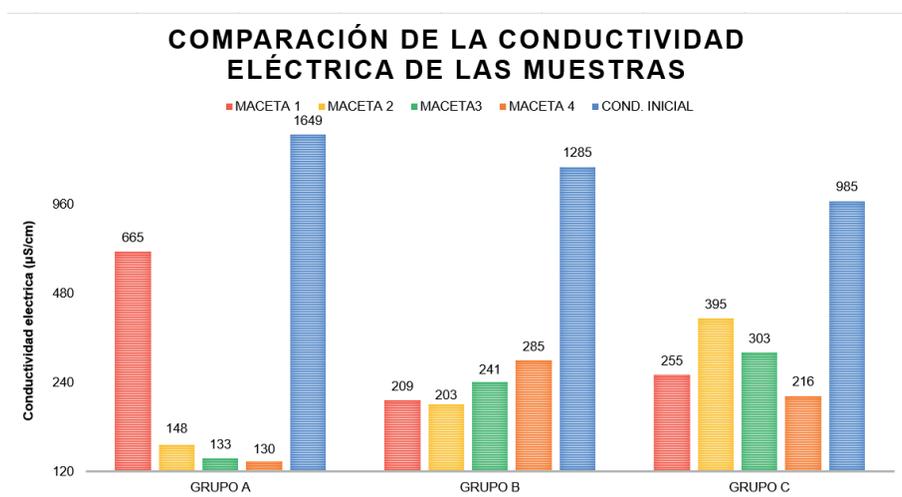
Tabla 9. Condición inicial de muestras con respecto a la conductividad eléctrica

Condición final de la conductividad eléctrica del suelo

Condición inicial ($\mu\text{S/cm}$)	Muestra	Condición final ($\mu\text{S/cm}$)	Media de condición final	Tasa de disminución (%)	Varianza	Desviación estándar	Categoría según Sela (2019)	
1649	A1	665	665	59,7	0	0	No salino	
		665						
		666						
	A2	147	148	91,0	2	1	No salino	
		148						
		150						
	A3	132	133	91,9	2	1	No salino	
		133						
		135						
	A4	131	129	130	92,1	1	1	No salino
		129						
		129						
1285	B1	208	209	83,7	1	1	No salino	
		210						
		209						
	B2	204	203	84,2	0	0	No salino	
		203						
		203						
	B3	241	241	81,3	0	0	No salino	
		240						
		241						
	B4	285	285	77,8	0	0	No salino	
		285						
		286						

	257						
C1	255	255	74,1	2	1	No salino	
	254						
	395						
C2	394	395	59,9	2	1	No salino	
	397						
985	303						
C3	302	303	69,3	0	0	No salino	
	303						
	217						
C4		216	78,0	1	1	No salino	

Tabla 10. Condición final de muestras con respecto a la conductividad eléctrica



Nota: Gráfica a escala logarítmica.

Figura 5. Gráfico comparativo de los valores de conductividad eléctrica obtenidos en las muestras

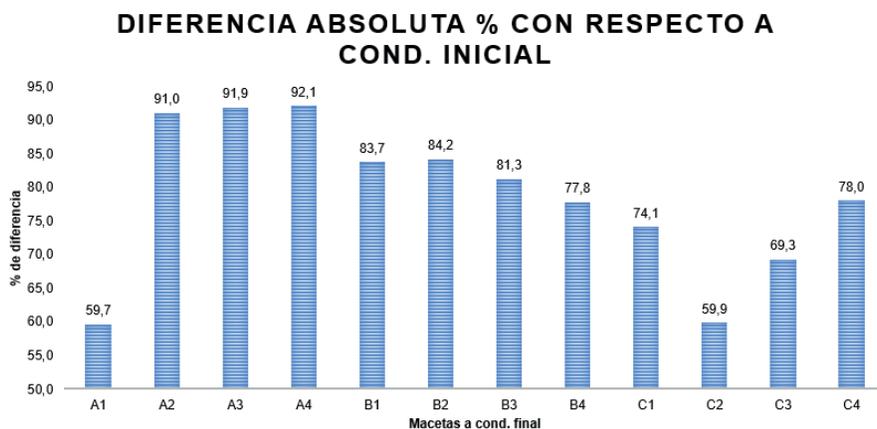


Figura 6. Tasa de remoción respecto a la condición inicial de conductividad eléctrica en las muestras

Análisis de resultados

El estudio sugiere que el Vetiver puede mitigar los efectos negativos de la salinidad en el suelo a través de diversos mecanismos. La planta, al desarrollar un extenso sistema radicular, mejora la estructura del suelo, facilita la filtración del agua y promueve el intercambio iónico. Además, el Vetiver puede absorber y acumular sales en sus tejidos, transformándolas en formas menos tóxicas o facilitando su extracción del suelo.

Los resultados obtenidos muestran que el Vetiver fue efectivo en reducir la conductividad eléctrica del suelo, lo que indica una disminución en la concentración de sales. Sin embargo, la tasa de disminución no mostró una relación directa con la cantidad de bulbos plantados, sugiriendo que otros factores, como la presencia de contaminantes como el aceite mineral, podrían haber influido en los resultados.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Condición inicial del DBO del suelo

Maceta	Mediciones Oxígeno Inicial (mg/L)	Promedio (mg/l)	Mediciones Oxígeno final (mg/L)	Promedio (mg/l)	Resultado
A5	11,60	11,62	4,89	4,93	6,69
	11,61		4,94		
	11,66		4,97		
B5	11,72	11,77	4,99	4,99	6,78
	11,81		4,97		
	11,77		5,01		
C5	11,89	12,01	5,03	5,07	6,94
	11,97		5,07		
	12,16		5,10		

Tabla 11. Resultados de DBO en las muestras iniciales

Condição final del DBO del suelo

Maceta	Mediciones Oxígeno Inicial (mg/l)	Promedio (mg/l)	Mediciones Oxígeno Final (mg/l)	Promedio (mg/l)	Resultado	Tasa de Remoción (%)
A1	8,33	8,41	5,54	5,50	2,91	56,5
	8,44		5,48			
	8,47		5,48			
A2	8,37	8,38	5,94	6,04	2,35	64,9
	8,38		6,07			
	8,40		6,10			
A3	8,36	8,38	6,14	6,12	2,26	66,3
	8,42		6,08			
	8,35		6,14			
A4	8,39	8,37	6,23	6,21	2,16	67,8
	8,38		6,20			
	8,33		6,20			
B1	7,45	7,60	5,88	6,00	1,60	76,1
	7,62		6,04			
	7,72		6,07			
B2	7,83	7,93	6,07	6,07	1,85	72,3
	7,96		6,03			
	7,99		6,12			
B3	7,83	7,84	7,21	7,22	0,62	90,8
	7,84		7,23			
	7,84		7,22			
B4	8,02	8,07	7,13	7,15	0,92	86,2
	8,06		7,16			
	8,13		7,15			
C1	8,18	8,24	6,89	7,01	1,22	81,7
	8,23		7,06			
	8,30		7,09			
C2	8,21	8,23	7,19	7,12	1,11	83,4
	8,24		7,09			
	8,25		7,08			
C3	8,28	8,33	7,28	7,24	1,09	83,8
	8,33		7,21			
	8,38		7,24			
C4	8,21	8,22	7,34	7,33	0,89	86,7
	8,29		7,31			
	8,16		7,35			

Tabla 12. Resultados de DBO en las muestras finales

Fuente: Elaboración propia.

COMPARACIÓN DEL DBO EN LAS MUESTRAS

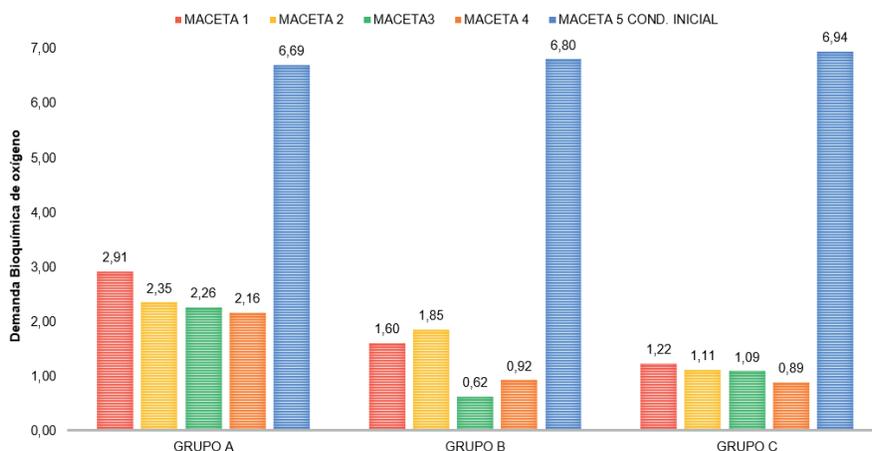


Figura 7. Comparación entre los valores de DBO obtenidos en las muestras

TASA DE REMOCIÓN % CON RESPECTO A COND. INICIAL

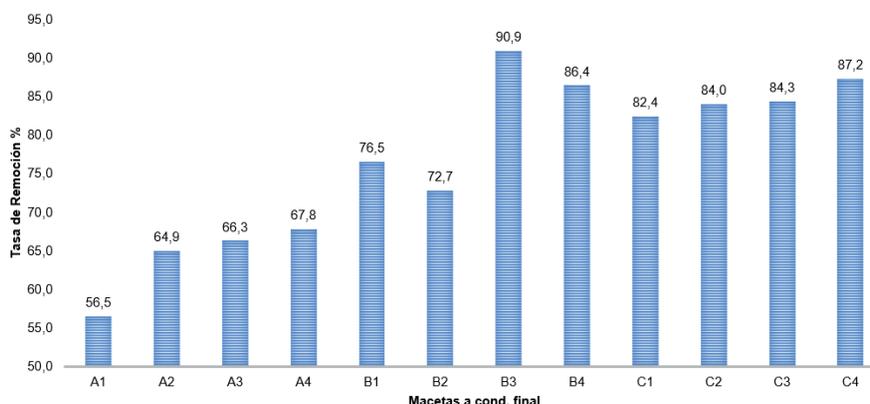


Figura 8. Tasa de remoción respecto a la condición inicial de DBO en las muestras

Análisis de resultados

La disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en el experimento se debe principalmente a la acción del Vetiver. Esta planta, al introducir materia orgánica al suelo, estimula el crecimiento de microorganismos que degradan los contaminantes orgánicos. Además, el Vetiver libera oxígeno a través de sus raíces, creando un ambiente aeróbico que favorece la actividad microbiana y acelera la degradación de la materia orgánica.

La presencia del Vetiver reduce significativamente la DBO: Al comparar las muestras iniciales y finales, se observa una clara disminución en la demanda de oxígeno, lo que

indica una reducción de la carga orgánica.

La densidad de plantación influye en la eficiencia de la fitorremediación: Las macetas con mayor cantidad de bulbos de Vetiver mostraron una mayor reducción de la DBO, debido a un mayor desarrollo radicular y una mayor biomasa vegetal.

La materia orgánica asociada al Vetiver influye en la DBO inicial: Las muestras que contenían plantas presentaron una DBO inicial ligeramente superior debido a la presencia de microorganismos asociados a las raíces del Vetiver.

Coliformes Totales y Fecales

Coliformes Totales y Fecales en condiciones iniciales

Maceta	Combinación de Positivos en Caldo Lauril	Combinación de Positivos en Caldo BVB	Índice de NMP/100 ml	Combinación de Positivos en Caldo EC	Índice de NMP/100 ml
A5	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	5-5-5	≥ 1600
B5	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	5-5-4	1600
C5	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	5-5-5	≥ 1600

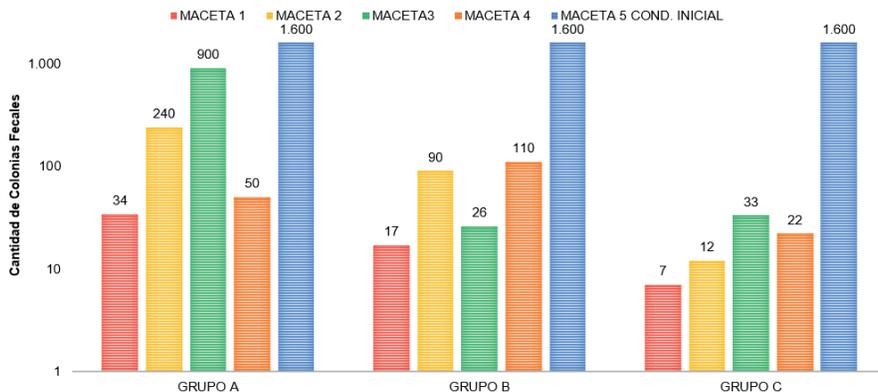
Tabla 13. Estimación de la presencia de coliformes en diferentes medios en las muestras iniciales

Coliformes Totales y Fecales en condiciones finales

Maceta	Combinación de Positivos en Caldo Lauril	Combinación de Positivos en Caldo BVB	Índice de NMP/100 ml	Combinación de Positivos en Caldo EC	Índice de NMP/100 ml
A1	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	4-4-0	34
A2	5-5-5	5-5-4	1600	5-5-0	240
A3	5-5-4	5-5-4	1600	5-5-3	900
A4	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	5-2-0	50
B1	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	3-2-1	17
B2	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	5-2-2	90
B3	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	4-1-2	26
B4	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	5-3-1	110
C1	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	2-0-1	7
C2	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	2-3-0	12
C3	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	4-3-1	33
C4	5-5-5	5-5-5	≥ 1600	4-2-0	22

Tabla 14. Estimación de la presencia de coliformes en diferentes medios en las muestras finales

COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE COLONIAS FECALES EN LAS MUESTRAS



Nota: Gráfica a escala logarítmica.

Figura 9. Comparación de la cantidad de colonias fecales presentes en las muestras

COLONIAS FECALES CON RESPECTO A COND. INICIAL

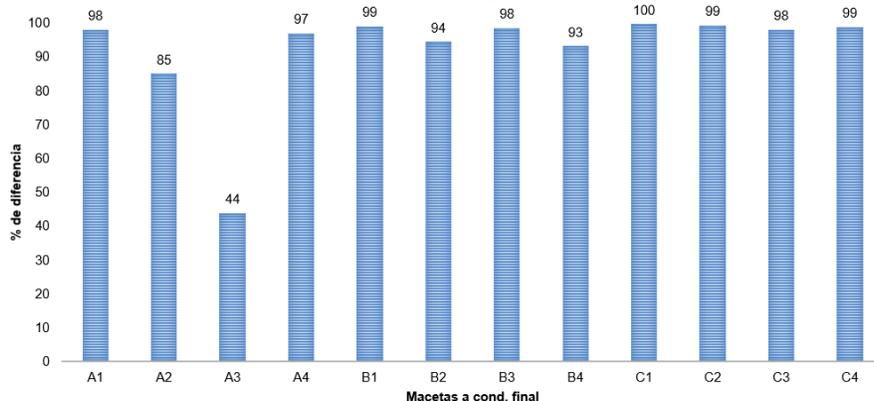


Figura 10. Tasa de remoción (%) de Coliformes Fecales respecto a la condición inicial en las muestras

Análisis de resultados

Se observó una disminución significativa en la cantidad de coliformes fecales en las muestras tratadas con Vetiver, especialmente en aquellas con mayor contaminación inicial. Esto sugiere que el Vetiver promueve la degradación de estos microorganismos a través de diversos mecanismos, como la estimulación de la actividad microbiana y la absorción de nutrientes por parte de la planta.

Sin embargo, no se observó una disminución significativa en la cantidad de coliformes totales. Esto podría deberse a que los coliformes totales incluyen una variedad más amplia de bacterias, algunas de las cuales pueden ser menos sensibles a la acción del Vetiver o

estar presentes en el suelo de forma natural.

Fósforo Total

Condición inicial de Fósforo Total en suelo

Maceta	Absorbancia a 45 min	Media de absorbancia	Varianza	Desviación estándar
A5	0,277	0,284	0,00	0
	0,290			
	0,283			
	0,286			
B5	0,469	0,471	0,00	0
	0,481			
	0,453			
	0,479			
C5	0,751	0,748	0,00	0
	0,739			
	0,743			
	0,758			

Tabla 15. Condición inicial de muestras con respecto a la concentración de fósforo total

Condición final de Fósforo Total en suelo

Maceta	Absorbancia a 45 min	Media de absorbancia	Diferencia	Porcentaje de proporción %	Varianza	Desviación estándar
A1	0,257	0,257	0,0272	9,60	0,000	0,0127
	0,243					
	0,277					
	0,250					
A2	0,184	0,181	0,103	36,3	0,000	0,00886
	0,185					
	0,166					
	0,189					

	0,129					
A3	0,135	0,133	0,151	53,3	0,000	0,00286
	0,136					
	0,131					
	0,147					
A4	0,152	0,151	0,134	47,0	0,000	0,00320
	0,148					
	0,155					
<hr/>						
	0,265					
B1	0,271	0,265	0,206	43,7	0,000	0,00502
	0,257					
	0,266					
	0,304					
B2	0,297	0,281	0,190	40,4	0,000	0,0207
	0,254					
	0,267					
	0,215					
B3	0,215	0,214	0,257	54,5	0,000	0,00300
	0,209					
	0,217					
	0,333					
B4	0,334	0,331	0,140	29,6	0,000	0,00587
	0,336					
	0,321					
<hr/>						
	0,177					
C1	0,212	0,175	0,573	76,6	0,001	0,0233
	0,160					
	0,151					
	0,244					
C2	0,247	0,250	0,498	66,6	0,000	0,0185
	0,228					
	0,279					
	0,223					
C3	0,204	0,212	0,536	71,7	0,000	0,0148
	0,228					
	0,191					

	0,272				
	0,269				
C4	0,317	0,281	0,467	62,4	0,000
	0,267				0,0207

Tabla 16. Condición final de muestras con respecto a la concentración de fósforo total

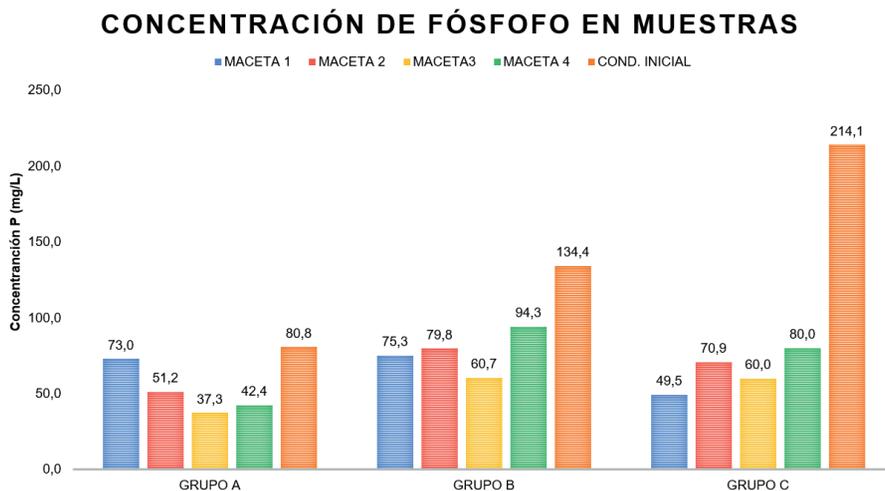


Figura 11. Gráfico comparativo de la concentración de fósforo total obtenida en las muestras



Figura 12. Tasa de remoción respecto a la condición inicial del fósforo total en las muestras

Análisis de resultados

El Vetiver puede influir en la disponibilidad del fósforo en el suelo: al modificar las condiciones del suelo (pH, contenido de materia orgánica), el Vetiver puede hacer que el

fósforo sea menos disponible para las plantas.

La presencia de otros nutrientes puede afectar la absorción de fósforo por el Vetiver: En suelos con altas concentraciones de calcio, como en el caso de las muestras C, la absorción de fósforo por el Vetiver puede verse favorecida.

El Vetiver puede reducir el riesgo de eutrofización: Al disminuir la concentración de fósforo en el suelo, se reduce el riesgo de que este nutriente sea lixiviado hacia cuerpos de agua y cause problemas de eutrofización.

Sin embargo, se requieren estudios adicionales para confirmar estos hallazgos y comprender mejor los mecanismos involucrados en la interacción entre el Vetiver y el fósforo.

Aceites y Grasas

Condición inicial de Aceite y Grasas en suelo

Maceta	Masa inicial \pm 0,1 g	Masa final \pm 0,1 g	Masa de aceites y grasas \pm 0,01 g	Concentración de aceites y grasas (mg/L)
A5	152,00	152,00	0,00	0
B5	152,00	152,30	0,30	300
C5	204,80	205,20	0,40	400

Tabla 17. Concentración de aceites y grasas en las pruebas iniciales

Condición final de Aceite y Grasas en suelo

Maceta	Masa inicial \pm 0,1 g	Masa final \pm 0,1 g	Masa de aceites y grasas \pm 0,01 g	Concentración de aceites y grasas (mg/L)	Tasa de Remoción (%)
A1	152,13	152,13	0,00	0	-
A2	152,13	152,13	0,00	0	-
A3	152,13	152,13	0,00	0	-
A4	152,13	152,13	0,00	0	-
B1	152,15	152,16	0,01	10	96,7
B2	152,15	152,16	0,01	10	96,7
B3	149,90	149,90	0,00	0	100
B4	152,13	152,14	0,01	10	96,7
C1	149,91	149,92	0,01	10	97,5
C2	152,13	152,13	0,00	0	100
C3	152,13	152,14	0,01	10	97,5
C4	149,90	149,90	0,00	0	100

Tabla 18. Concentración de aceites y grasas en las pruebas finales

COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ACEITES Y GRASAS DE LAS MUESTRAS

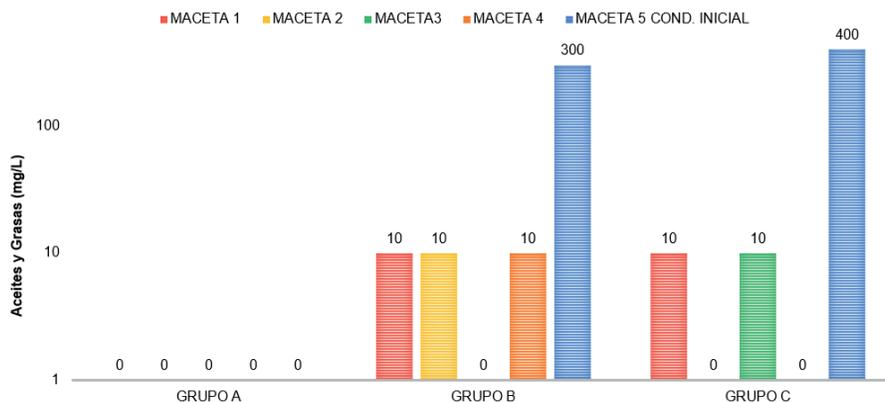


Figura 13. Comparación entre los valores de la concentración de aceites y grasas obtenidos en las muestras

TASA DE REMOCIÓN % CON RESPECTO A COND. INICIAL

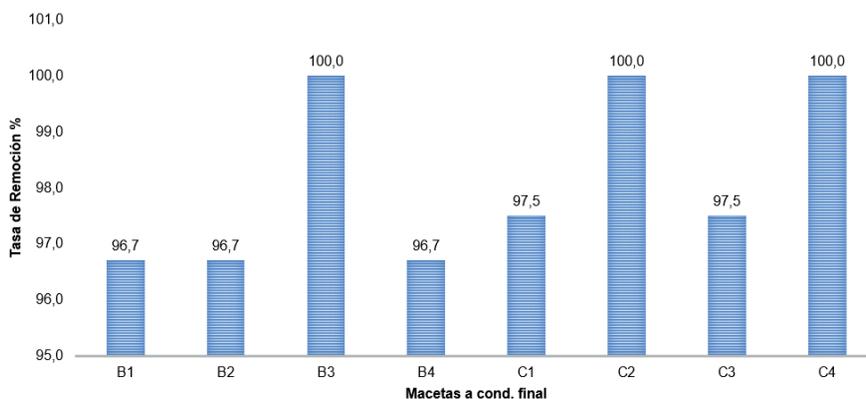


Figura 14. Tasa de remoción respecto a la condición inicial de la concentración de aceites y grasas en las muestras

Análisis de resultados

El Vetiver, a través de su extenso sistema radicular y su capacidad para estimular el crecimiento de microorganismos beneficiosos en la rizosfera, promueve la degradación de los contaminantes orgánicos. Los mecanismos involucrados en este proceso incluyen la fitodegradación, donde los hidrocarburos son descompuestos por enzimas producidas por las plantas y los microorganismos asociados; la fitovolatilización, que implica la absorción de los contaminantes por las raíces y su liberación a la atmósfera a través de las hojas; y la fitoestabilización, que consiste en la retención de los contaminantes en los tejidos vegetales.

La presencia de materia orgánica en el suelo, como el humus, estimula aún más la actividad microbiana y favorece la degradación de los hidrocarburos. Además, la densidad de plantación del Vetiver también influye en la eficiencia de la fitorremediación, ya que un mayor número de plantas implica un mayor desarrollo radicular y una mayor superficie de contacto con el suelo contaminado.

Los resultados del estudio mostraron una reducción significativa en la concentración de aceites y grasas en las muestras de suelo tratadas con Vetiver, lo que indica la efectividad de esta técnica. Sin embargo, es importante destacar que la eficiencia de la fitorremediación puede variar dependiendo de factores como el tipo de hidrocarburo, las condiciones del suelo y la densidad de plantación del Vetiver.

CONCLUSIONES

- Llevando a cabo las muestras en macetas con diferentes concentraciones de cada contaminante, se logran variaciones en los diferentes parámetros evaluados en el suelo, que permiten un análisis más exhaustivo y específico respecto a la capacidad de fitorremediación del pasto Vetiver.
- Se determinó el rendimiento satisfactorio del tratamiento de fitorremediación para cada parámetro evaluado, presentándose una disminución de aproximadamente 81,1% en la conductividad eléctrica, 76,4% de la DBO, 92% de coliformes fecales, 98,1% de aceites y grasas, y una disminución del 9% del pH en las muestras de suelo contaminado.
- Se observó una mayor tasa de disminución de cada parámetro en aquellas muestras que presentaban una mayor contaminación, es decir, mayor concentración de cada contaminante estudiado en su composición. Se puede establecer que la utilización del Vetiver es capaz de reducir los valores de los parámetros estudiados, por lo que el pasto puede ser aplicado con eficiencia para la limpieza de sustratos afectados por la contaminación.
- No se obtuvieron resultados concluyentes con respecto a la cantidad de bulbos presentes en las macetas tras la fitorremediación en la mayoría de los experimentos. Sin embargo, se notó que el efecto fitocorrectivo del vetiver reside en el desarrollo de sus raíces.

RECOMENDACIONES

- Plantear una contaminación salina sin presencia de aceites y grasas que puedan sesgar los resultados en cuanto a la conductividad eléctrica.
- Estudiar la interacción del Vetiver con metales pesados como aluminio, boro, flúor, cadmio, y compuestos orgánicos como 2,4,6-trinitrotolueno (TNT), atrazina, benzo[a]pireno y tetraciclina; al igual que retomar la contaminación por fenol

de forma aislada.

- En cuanto la determinación de coliformes totales y fecales, es recomendable aplicar una metodología que aporte un rango de detección de colonias más amplio si se desea contaminar con agentes orgánicos, de forma que la escala aporte un resultado apreciable acerca de este tipo de bacterias.
- Realizar un estudio en condiciones iniciales y finales del sistema radicular de cada planta individualmente para analizar los resultados en base al crecimiento de las raíces de cada bulbo, relacionándolos con la cantidad y tipo de contaminantes presentes en cada muestra.
- Estudiar de forma individual cada contaminante para así poder concluir con seguridad acerca del impacto que tienen en las muestras, de forma que no interfieran otros como consecuencia de una contaminación cruzada o efecto inhibitor.
- Incursionar en otras aplicaciones del Vetiver como fitorremediador como su uso en sistemas hidropónicos y acuapónicos en medios con contaminación industrial y doméstico.

REFERENCIAS

Adugna, G. (2016). A review on impact of compost on soil properties, water use and crop productivity. *Academic Research Journal of Agricultural Science and Research*, 4(3), Research Gate. https://www.researchgate.net/profile/Getinet-Adugna/publication/329655248_A_review_on_impact_of_compost_on_soil_properties_water_use_and_crop_productivity/links/5c13adf2a6fdcc494ff3cbc1/A-review-on-impact-of-compost-on-soil-properties-water-use-and-crop-productivity.pdf

Agamuthu, P., Abioye, O. P., y Aziz, A. R. A. (2010). Phytoremediation of soil contaminated with used lubricating oil using *Jatropha curcas*. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1-3), 891-894. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389410003948>

Aigner, M; JC Fardeau & F Zapata (2002). Does the Pi strip method allow assessment of the available soil P?: Comparison against the reference isotope method. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672008000100002&script=sci_arttext &lng=pt

Alegre, J. (2007). *Manual sobre el uso y manejo del pasto Vetiver (Chrysopogon zizanioides)*. Organización Panamericana de la Salud. https://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf

Alvarado, M., Bayona, V., y Huayhua, I. (2022). *Evaluación de los componentes de operación del humedal artificial subsuperficial para el tratamiento del agua residual del Distrito de Independencia, Lima 2022*. Universidad Nacional del Callao. <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7234/Tesis%20-%20Alvarado%20-%20Bayona%20-%20Huayhua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Álvaro, G. (2019). El fósforo y su importancia en el crecimiento vegetal. *Fertibox*. <https://www.fertibox.net/single-post/fosforo-agricultura>

American Public Health Association (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Method 5520 B. 21st. ed.

Andrade, M. (s.f.) Conductividad eléctrica en suelos de cultivo. Hanna Instruments. <https://www.hannabolivia.com/blog/post/437/conductividad-electrica-en-suelos-cultivo>

Araújo, MSB; CEGR Schaefer & EVSB Sampaio. 2004. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo 28(2): 259-268. <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/pmhFcfCTC6pKNnVqKB4qjCz/abstract/?lang=en>

Azcaráte, P., y Kloster, N. (2017). *Métodos de análisis e implementación de Calidad en el Laboratorio de Suelos*. CONICET. https://www.google.com/url?q=https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/68416/CONICET_Digital_Nro.dce6dd46-c299-430c-b97b-7b2efba859d4_A.pdf?sequence%3D2%26isAllowed%3Dy&sa=D&source=docs&ust=1685335761344211&usg=AOvVaw2CU1Hhpu16kzVaMI-Of9CP

Bedewi, A. (2010). The potentials of Vetiver grass for wastewater treatment. MSc thesis, School of Natural Resources and Environmental engineering (Institute of Technology). Haramaya University, Ethiopia. https://www.vetiver.org/ETH_wastewater_thesis.pdf

Benavente, G. (1999) Aceite lubricante usado. Bravo energy chile s.a. boletín n° 2. <https://1library.co/article/impacto-ambiental-del-aceite-lubricante-usado.yr3lj9oy>

Bernal, A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(2), Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5590911.pdf>

Brady, N. C., y Weil, R. R. (2010). The nature and properties of soils (14th ed.). Prentice Hall. <https://vdoc.pub/download/the-nature-and-properties-of-soils-global-edition-83jeh08iab80>

Bray, R. y Kurtz, L. (1945) Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59

Brito, R. y Rada, O. (2017) Estandarización de los métodos Colorimétrico para la determinación de fósforo, cloro, aceites, grasas e hidrocarburos en aguas residuales. Universidad Metropolitana de Caracas.

Cabrera, L., y Unibio, M. (2019). *Evaluación de la remoción de grasas y aceites en suelo contaminado con diesel b10 y biodiesel aplicando la tecnología ose ii implementada por eom consulting s.a.s*. Fundación Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/77711/1/6142384-2019-2-IQ.pdf>

Calderón, F. (1997). *Demanda Bioquímica de Oxígeno*. http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DBO5.htm

Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B., y Velázquez, O. (2009). *Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y Escherichia coli por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP)*. Universidad Nacional Autónoma de México. http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/acym/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf

Carpeta, R., y Pilar, M. (2006). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, 16(2). <https://digital.csic.es/bitstream/10261/16683/1/eco.pdf>

Castaño, E., y Bernal, S. (2015). *Validación del método de ensayo de Coliformes totales y fecales por la técnica de Número más probable (NMP) en la calidad del queso fresco producido a pequeña escala*. Universidad Libre Seccional Pereira. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16168/VALIDAC%C3%93N%20DEL%20M%C3%89TODO%20DE%20ENSAYO.pdf?sequence=1>

Castellanos, J. (s. f.). Guía de interpretación de análisis de suelos y aguas. *Intagri*. https://www.academia.edu/10896916/Guia_de_interpretacoín_de_análisis_de_suelos_y_aguas_Final

Chen, Y., Shen, Z. y Li, X. (2004). The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *Applied Geochemistry*, 19: 1553-1565. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2004.02.003>

Chomchalow, N. (2006). Review and Update of the Vetiver System R&D in Thailand. Proc. Regional Vetiver Conference, Cantho, Vietnam.

Cochran, A. (2012). The Best Ways to Amend Silt Loam Soil. *Weekend*. https://homeguides-sfgate-com.translate.goog/ways-amend-silt-loam-soil-46600.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=rq&_x_tr_hist=true

Danh L.T., Truong P., Mammucari R., Foster N. (2012). Phytoremediation of soils contaminated with salinity, heavy metals, metalloids, and radioactive materials. *Phytotechnologies: Remediation of Environmental Contaminants*

Darajeh, N., Idris, A., Truong, P., Aziz, A. A., Bakar, R. A., y Man, H. C. (2014). Phytoremediation Potential of Vetiver System Technology for Improving the Quality of Palm Oil Mill Effluent. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-10. <https://www.hindawi.com/journals/amse/2014/683579/>

Darajeh, N., Truong, P., Rezania, S., Leung, D., y Alizadeh, H. (2019). Effectiveness of Vetiver Grass versus other Plants for Phytoremediation of Contaminated Water. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 7(3), 485-500. https://www.researchgate.net/publication/335420795_Effectiveness_of_Vetiver_Grass_versus_other_Plants_for_Phytoremediation_of_Contaminated_Water

Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597-612. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>

Departamento de Salud del Estado de Nueva York. (2017). *Coliform Bacteria in Drinking Water Supplies*. New York State Department of Health. https://www.health.ny.gov/environmental/water/drinking/coliform_bacteria.htm

Deva, M.A.; Manderia, S.; Singh, S.; Sheikh, M.Y. (2019) Phytoremedial treatment of domestic wastewater at GWALIOR (MP) by chrysopogon zizanioides (Vetiver grass). *Adv. Innov. Res.* 2019.

Dragan, R. (2019). *Consideraciones del suelo para la administración del agua*. Rivulis. <https://es.rivulis.com/consideraciones-del-suelo-para-la-administracion-del-agua/#::~:~:text=Los%20suelos%20limosos%20tienen%20la,de%20micro%20y%20macro%20elementos.>

Environmental Protection Agency (EPA, 2021). Soil pollution. <https://www.epa.gov/soil-pollution/soil-pollution-basics>

Fernández, M. (2011). Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas. Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola. https://www.researchgate.net/profile/Lugo-Ibader/publication/338544738_Lopez_Mosquera_ME_Sainz_Oses_MJ_Coords_2011_Guia_de_residuos_organicos_de_uso_agricola_Santiago_de_Compostela_Servizo_de_Publicacions_Universidade_de_Santiago_de_Compostela/links/5e1b81ae4585159aa4cb51ec/Lopez-Mosquera-ME-Sainz-Oses-MJ-Coords-2011-Guia-de-residuos-organicos-de-uso-agricola-Santiago-de-Compostela-Servizo-de-Publicacions-Universidade-de-Santiago-de-Compostela.pdf#page=27

- Fernández, M. T., (2007). Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XLI(2), 51-57. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>
- Figuerola, A. A. B. (2014). *Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5590911>
- Foth, H. (1991) Fundamentals of soils science. 8th ed. <https://ds.amu.edu.et/xmlui/bitstream/handle/123456789/3158/Fundamentals%20of%20Soil%20Science%20-%20FOTH%20%5B1990%5D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Galindo, E., Ocaña, R., Chávez, B., Naranjo, F., Martínez, M., Campos, J., & García, F. (2017). Evaluación de la fitotoxicidad de aceite automotriz usado con Vicia Faba y Phaseolus Coccineus. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(3). <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v33n3/0188-4999-rica-33-03-421.pdf>
- Garbisu C., Epelde L. y Becerril J. (2008). Fitorremediación. *Ecologistas en Acción*.
- García, V. (2020). *Manual de prácticas Microbiología*. <https://uaemex-cuameca.mx/images/doc/2P/MBMP2.pdf>
- García-Serrano, P., Lucena, J., Ruano, S. y Nogales, M. (2009) Guía Práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España. [https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/publicaciones/01_FERTILIZACI%C3%93N\(BAJA\)_tcm30-57890.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/publicaciones/01_FERTILIZACI%C3%93N(BAJA)_tcm30-57890.pdf)
- Gobierno de Canarias. (2022). Principales contaminantes del suelo. Gobierno de Canarias - Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial. https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/materias/calidad-del-suelo/suelos-contaminados/principales_contaminantes/
- Gobierno de España (2005) Real Decreto 9/2005. Ministerio de la Presidencia. «BOE» núm. 15.
- González, D. (2015). *Estudio de las propiedades químicas en mezclas de lodos rojos con suelos ácidos de sabana, y su efecto sobre el crecimiento de la especie Chrysopogon Zizanioides (vetiver)*. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/13495/1/Tesis%20completa%20CD.pdf>
- Goykovic, V., Ugalde, S., y Pacheco, P. (2021). Eficiencia fitorremediadora de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) en agua contaminada con arsénico y plomo. 39(4). https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292021000400139&script=sci_arttext&tlng=es
- Greenway, H. y Munns, R. (1980) Mecanism of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol* 31:14-190 https://www.researchgate.net/publication/225040552_Mechanisms_of_Salt_Tolerance_in_Nonhalophytes#fullTextFileContent
- Grupo Herres (28 de febrero de 2019) Impacto Ambiental del aceite lubricante usado. <http://www.grupoherres.com.mx/aceite-mineral/>
- Hanna Instruments (26 de noviembre de 2019) ¿Cómo medir el pH de la tierra y la conductividad del suelo? <https://www.hannainst.es/blog/1512/como-medir-pH-tierra-y-conductividad-suelo>

- Hanping, X., Honghua Ke, Zhaoping Deng y Peng Tan. (2003). Ecological effectiveness of vetiver constructed wetlands in treating oil refined wastewater. Proc. Third International Vetiver Conference, Guangzhou, China.
- Hart B., Cody R., Truong P. (2003). Efficacy of Vetiver grass in the hydroponic treatment of post septic tank effluent. The Third International Conference on Vetiver, Guangzhou, China.
- Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers H, Schjoerring J, Skrumdsager I, White P (1995) Functions of macronutrients. Mineral nutrition of higher plants. Third Edition.
- Hernández, I., Navas, G., & Infante, C. (2017). Fitorremediación de un suelo contaminado con petróleo extra pesado con *Megathyrus Maximus*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(3). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992017000300495
- Hu, M (2020) Environmental Behavior of Petroleum in Soil and its Harmfulness Analysis. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 450 012100. Doi:10.1088/1755-1315/450/1/012100
- Ibarra, D., Ruiz, J., González, D., Flores, J. y Díaz, G. (2007) Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agric. Téc. Méx* vol.35 no.3 México. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000300003#:~:text=En%20general%2C%20el%20pH%20%20C3%B3ptimo,Prasad%20and%20Power%2C%201997
- lida, y Shock, C. (2009). El dilema del fósforo. *Técnicas para la agricultura sostenible*. <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/7d278t47g#:~:text=Un%20exceso%20de%20f%20%20C3%B3sforo%20no,escorrent%20%20C3%ADa%20que%20el%20f%20%20C3%B3sforo%20incorporado>.
- Infante, C. (2003). *Contaminación de suelos y biorremediación en Venezuela*. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/962
- Infante, C. (2005). Contaminación de suelos y recuperación ecológica en Venezuela. *Acta Biológica Venezolana*.
- Infante, C. (s.f.). Contaminación de suelos y biorremediación en Venezuela. *Venesuelos*.
- IUPAC. (2014). *pH*. IUPAC Gold Book. https://www.google.com/url?q=https://goldbook.iupac.org/terms/view/P04524&sa=D&source=docs&ust=1685335481061498&usg=AOvVaw0QX_Ek3yn0EmensFdHg0e2
- Jayashree, S.; Rathinamala, J.; Lakshmanaperumalsamy, P. (2011) Determination of heavy metal removal efficiency of *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver) using textile wastewater contaminated soil. *J. Environ. Sci. Technol*
- Jiménez, C., & Castillo, V. (2019). *Evaluación de un sistema de fitoacumulación en raíces por medio de un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal para remediar aguas hidrocarbonadas con gasolina con gasolina provenientes del vertimiento de la EDS texana en Cumaral Meta*. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2108&context=ing_ambiental_sanitaria
- Jiménez, E., y Vargas, S. (2015). *Evaluación de la eficiencia del pasto vetiver para la fitorremediación de las aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias departamento del Meta*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/3730/1123085238.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Kalstein (12 de octubre de 2012). Beneficios de los destiladores de agua en el laboratorio. Kalstein. <https://www.kalstein.cl/beneficios-de-los-destiladores-de-agua-en-el-laboratorio/>
- Karimi-Lotford, S., M. Pickard y M. Gray. (1996). Reactions of polynuclear aromatic hydrocarbons in soil. *Environmental Science Technology* 30: 1145-1151.
- Kloster, N; Azcarate, M; Babinec, F & Bono, A. (2008). Comparación de técnicas de medición del pH del suelo: pH en pasta de saturación y en relación suelo:agua 1:2,5. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Laboratorio de Calidad Ambiental (2008) Manual De Procesos, Laboratorio de Calidad Ambiental. Universidad Metropolitana. Edición 1. Instrucción de trabajo AM-I-007;AM-I-002.
- Lakshmanaperumalsamy, P., Jayashree, S., y Rathinamala, J. (s. f.). Application of Vetiver for water and soil restoration. *Department of Environmental Sciences, Bharathiar University*. https://www.vetiver.org/TVN_INDIA_1stWORKSHOP_PROCEEDINGS/Chapter%202-3.pdf
- Larrieu, L., Clausi, M., Bongiorno, F., Merani, V., Nughes, L., Juan, L., Mainero, M., Benardi, F y Millán, G. (2016). Conductividad eléctrica en pasta y en extracto modificando tiempos de reposo en suelos de regiones húmedas. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. UniRio.
- Li Li, Yang Yang, Nora F.Y. Tam, Lei Yang, Xiu-Qin Mei, Feng-Juan Yang (2013) Growth characteristics of six wetland plants and their influences on domestic wastewater treatment efficiency. *Ecological Engineering*, Volume 60. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.044>
- López, A. (2018). *Aislamiento de microorganismos degradadores de clorpirifos, fenantreno y pireno para su uso en la biorrecuperación de aguas y suelos contaminados*. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiológicas de Sevilla. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/81945/TFG%20ANGELA.pdf?sequence=1>
- López, D. (2018). *Evaluación de un humedal artificial aireado con Chrysopogon Zizanioides y un consorcio microbiano en residual líquido de una industria atunera*. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/810/1/TTMA7.pdf>
- Lovegrove, G. (1952) Estudio de la composición del aceite esencial de vetiver, (Vetiveria zizanioides), de cultivo en la gobernación de Misiones. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n0722_Lovegrove.pdf
- Mendarte, C., Alarcón, A., & Ferrera, R. (2021). Fitorremediación: alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 24(326). <https://www.redalyc.org/journal/432/43271644020/html/#B55>
- Mendoza, R. y Barrow, N. (1987). Ability of three soil extractants to reflect the factors that determine the availability of soil phosphate. *Soil Sci* 144(5): 319-329. https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/1987/11000/ABILITY_OF_THREE_SOIL_EXTRACTANTS_TO_REFLECT_THE.2.aspx
- Montoya, S. (2021). *Humus de lombriz, beneficios para el suelo*. Tecnicrop Ibérica S.L. <https://tecnicrop.com/blog/humus-de-lombriz-beneficios-para-el-suelo#:~:text=Facilita%20la%20absorci%C3%B3n%20de%20potasio, enraizamiento%20y%20evita%20la%20deshidrataci%C3%B3n>

Munive, R., Loli, O., Azabache, A. L. A., y Gamarra, G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 9(4). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172018000400011&script=sci_arttext&tIng=pt

Murphy, J. y Riley, J. (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27

Njau, K., y Mlay, H. (s. f.). Wastewater Treatment and Other Research Initiatives with Vetiver Grass. *University of Dar es Salaam*. https://www.vetiver.org/ICV3-Proceedings/TAN%20_wastewater.pdf

Núñez, et al. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia AMC*. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

Ñuñoa, S. (s. f.). Caldo EC. *InsumoLab*. https://www.insumolab.cl/descargas/educacion/tubos/16x160/ficha_tecnica/04.pdf

Obregón, C. (2016). Protocolo para la determinación de grasas y aceites. Recuperado de: <http://studylib.es/doc/6116352/gl-pl-13.-protocolos-aceites-y-grasas>

Obreza, T (2001). Managing Phosphorus Fertilization of Citrus using Soil Testing. University of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu>.

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanable, F. S. y Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Dep. of Agric. Circ. 939

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1996) *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. <https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm#:~:text=Un%20suelo%20es%20f%C3%A9rtil%20cuando,el%20hidr%C3%B3geno%20y%20el%20ox%C3%ADgeno>

Orihuela, J.A., (2007) Manual sobre el uso y manejo del pasto Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*). Organización Panamericana de la Salud. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Ormeño, M., y Ovalle, A. (2005). Preparación y aplicación de abonos orgánicos. *Ciencia y producción vegetal*. https://www.researchgate.net/profile/Maria-Ormeno-2/publication/273321490_Preparacion_y_aplicacion_de_abonos_organicos/links/54fe8aee0cf2eaf210b32c72/Preparacion-y-aplicacion-de-abonos-organicos.pdf

Osman, K. (2013). Soils, Principles, Properties and Management. Springer Science, Netherlands. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/16743/1/Proyecto%20Geoquimico%202%20Br%20Luanda%20Concha%20%28version%20final%29.pdf>

Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(2). <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>

Phy2SUDOE. (s. f.). ¿Qué es la fitorremediación? Interreg Sudoe. <https://www.phytosudoe.eu/el-proyecto/que-es-la-fitorremediacion/>

Picone, L y Zamuner, E. (2002). Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. Facultad Ciencias Agrarias (UNMP)-EEA INTA 276 <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2002/12/nota3.pdf>

- Pignatello, J. y Xing, B. (1996) Mechanisms of show sorption of organic chemicals to natural particles. *Environmental Science Technology* 30: 1-11.
- Powelson, D. (2019). *What are soil aggregates?* Soils Matter. <https://soilsmatter.wordpress.com/2019/07/15/what-are-soil-aggregates/>
- Powelson, D. (2019). What are soil aggregates? Soils Matter. <https://soilsmatter.wordpress.com/2019/07/15/what-are-soil-aggregates/>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma, FAO. <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
- Rojas, C. (1998) DISPONIBILIDAD, DEL FOSFORO Y SU CORRECCIÓN. INIA <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8761/NR28126.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- Rompré, A., Servais, P., Baudart, J., De-Roubin, M. R., y Laurent, P. (2002). Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. *Journal of Microbiological Methods*, 49(1), 31-54. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167701201003517>
- Rosales, A., Naranjo, N., Herrera, J., Almaraz, N., & Uribe, N. (s. f.). *Micorremoción de zinc en suelos contaminados con aceite usado automotriz, en la ciudad de Durango, México*. Instituto Politécnico Nacional. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8501/2/VS-4-2009-Rosales.pdf>
- Rosas, J. y Toro, M. (2010) Micorrizas arbusculares y Vetiver en la recuperación de suelos marginales. Universidad Central de Venezuela.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce De León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Facultad De Agronomía - Universidad De La República, BiblioFagro. <http://bibliofagro.pbworks.com/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., y Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. <http://bibliofagro.pbworks.com/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf>
- Ruiz, C (2007) Efecto del vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.) en la reducción del flúor y otros compuestos contaminantes en aguas de consumo humano. Universidad Central de Venezuela. http://190.169.28.21/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=6180&query_d_esc=su%3A%22VETIVER%22 y https://www.vetiver.org/LAICV2F/2%20Environmental%20Protection/E6Yasmin_PpS.pdf
- Sadzawka, R. y Campillo, R. (1999). Acidificación de los suelos y los procesos involucrados. Programa de recuperación de suelos degradados. Serie Reme. Instituto de investigaciones Agropecuarias CR de IR
- Salas, S., y Martínez, G. (s. f.). *Determinación de coliformes totales y fecales por la técnica del número más probable (NMP)*. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloIII/3Practicadeanalisisdelaboratoriomirobiologicos2.pdf>
- Salinas R, Sánchez E, Ruíz JM, Lao MT, Romero L (2013) Phosphorus levels influence plasma membrane H⁺-ATPase activity and K⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺ assimilation in green bean. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2013.744127>

Sanabria, D. (2004). Fósforo total en agua por digestión ácida, método del ácido ascórbico. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/F%C3%B3sforo+Total+en+Agua+M%C3%A9todo+del+Acido+Asc%C3%B3rbico.pdf/bf2f449b-4b9b-4270-b77e-159258d653e2>

Sánchez E., Ávila-Quezada, G., Gardea, A., Muñoz E., Ruiz, J. y Romero, L. (2009) Nitrogen metabolism in roots and leaves of green bean plants exposed to different phosphorus doses. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*. <http://www.scielo.org.ar/img/revistas/phyton/v78n1/html/v78n1a03.htm>

Sandoval, F., Cortéz, Y., Reyes, L., y Hernández, I. (2017). Evaluación de la remediación del suelo contaminado con aceite crudo utilizando microorganismos de montaña. *Revista de Sistemas Experimentales*, 4(13), 25-32. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_Experimentales/vol4num13/Revista_de_Sistemas_Experimentales_V4_N13_4.pdf

Santibáñez, C. (s. f.). *Determinación del pH y conductividad eléctrica del suelo*. Universidad de Chile. http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.pdf

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s. f.). *Calidad del agua*. SEMARNAT. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.html

Sela, G. (3 de abril de 2019) La conductividad eléctrica del agua y suelo. <https://cropaia.com/es/blog/conductividad-electrica-del-agua-y-suelo/>

Seroja, R., Effendi, H., y Hariyadi, S. (2018). Tofu wastewater treatment using vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) and zeliac. *Applied Water Science*, 8(2). <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-018-0640-y>

Sigler, A., y Bauder, J. (s. f.). Coliforme Total y la Bacteria *E. coli*. *Well Educated*. http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Coliform_Ecoli_Bacteria%202012-11-15-SP.pdf

Stivers, L. (2023). *Introducción a los Suelos: La Calidad de los Suelos*. PennState Extension. <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos#:~:text=La%20mayor%C3%ADade%20los%20cultivos%20crecen,de%20los%20nutrientes%20del%20suelo>

Suarez M (2006) Establecimiento del cultivo de vetiver con fines de biorremediación de suelos en las inmediaciones del lago de valencia. INCE Aragua Gerencia Regional. 4 p. <https://www.vetiver.org/ICV4pdfs/BA27es.pdf>

Swistock, B. (2020). *Bacterias Coliformes*. PennState Extension. <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>

Tamayo, E. (2020). *Aprovechamiento de la especie Vetiver (Chrysopogon Zizanioides) para la remoción de contaminantes de una industria camaronera, provincia de El Oro*. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/TAMAYO%20CHILAN%20ELIANA%20DEL%20PILAR_compressed.pdf

Téllez, J. (2005). *Absorción de petróleo crudo, diesel y aceite automotriz gastado por residuos lignocelulósicos y su aplicación como sistema de disposición de hidrocarburos*. <https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/628475/CEM296131.pdf?sequence=1>

- Tenazoa, G y Mallqui, J. (2017) Caracterización de productos (diésel, turbo) derivados del tratamiento térmico (destilación) de aceites lubricantes usados, en Iquitos. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5011/Geiner_Tesis_Titulo_2_017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Thai, L., Phong, L., Dung, L. y Truong, P. (2006) Wastewater treatment at a seafood processing factory in the Mekong Delta, Vietnam. https://www.academia.edu/79268973/Wastewater_Treatment_at_a_Seafood_Processing_Factory_In_The_Mekong_Delta_Vietnam
- Thai, L., Truong, P., Mammucari, R., Tran, T. y Foster, N. (2009) Vetiver grass, *Vetiveria Zizanioides*: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. *International journal of phytoremediation*, 11:8, 664-691, DOI: 10.1080/15226510902787302
- Traxco (2014) *Suelos de Cultivo* <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/suelos-de-cultivo>
- Truong P., y Truong, N. (2011). Recent Advancements in Research, Development and Application of Vetiver System Technology in Environmental Protection. Fifth Intern. Conf. on Vetiver, Lucknow, India.
- Truong, P. (2004). *Vetiver Grass Technology for mine tailings rehabilitation. Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilisation.* Science Publishers Inc. NH, USA.
- Truong, P. (2005). *El sistema vetiver para prevención y tratamiento de aguas y tierras contaminadas.* Brisbane 4069, Australia.
- Truong, P. (s. f.). *El Sistema Vetiver para prevención y tratamiento de aguas y tierras contaminadas. TVNI.* https://www.vetiver.org/LAICV2F/0%20Plenary/P3Truong_TS.pdf
- Truong, P. N., Tan Van, T., & Pinners, E. (2008). *The Vetiver system for improving water quality.* 1st ed. The Vetiver Network International. <http://www.aees.org/e3competition-winners-2012gp-smallprojects.php>
- Truong, P. y Smeal (2003). *Research, Development and Implementation of Vetiver System for Wastewater Treatment: GELITA Australia.* Technical Bulletin No. 2003/3. Pacific Rim Vetiver Network. Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok, Thailand.
- Truong, P., & Cruz, Y. (2010). *Sistema Vetiver: Una solución natural y de bajo costo para la prevención y tratamiento de aguas contaminadas.* https://www.vetiver.org/COR-s_Art.%20Completo_SV_II.Agua.df
- Truong, P., Thai, L., Pu, Y., y Mammucari, R. (2012). *Phytoremediation of Soils Contaminated by Heavy Metals, Metalloids and Radioactive Materials Using Vetiver Grass, Chrysopogon zizanioides.* https://www.researchgate.net/publication/285320488_Phytoremediation_of_Soils_Contaminated_by_Heavy_Metals_Metalloids_and_Radioactive_Materials_Using_Vetiver_Grass_Chrysopogon_zizanioides
- Truong, P., y Thai, L. (2015). *El Sistema Vetiver para mejorar la calidad del agua. La Margarita.* <https://www.vetiver.org/Water%20quality%20Spanish%20web%202.pdf>
- Truong, P.N. and Hart, B. (2001). *Vetiver system for wastewater treatment.* Technical Bulletin No. 2001/2. Pacific Rim Vetiver Network. Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok, Thailand.

Urbani, F. (2002) Geología del área de la Autopista y Carretera Vieja Caracas - La Guaira, Distrito Capital y estado Vargas. Guía de excursión. Universidad Central de Venezuela. <https://docplayer.es/28058633-Geologia-del-area-de-la-autopista-y-carretera-vieja-caracas-la-guaira-distrito-capital-y-estado-vargas-guia-de-excursion.html>

APÉNDICES

I. Tablas de Índice de NMP y 95% de Límites de Confidencia para varias Combinaciones de Resultados Positivos y Negativos cuando se utilizan 5 tubos por dilución (10 m, 1,0 ml, 0,1 ml)

Tabla No. 3
Índice de NMP y 95% de Límites de Confidencia para varias Combinaciones de Resultados Positivos y Negativos cuando se utilizan 5 tubos por dilución (10 mL, 1.0 mL, 0.1 mL)

Combinación de Positivos	Índice de NMP/100 mL	95% de Límites de Confidencia		Combinación de Positivos	Índice de NMP/100 mL	95% de Límites de Confidencia	
		Menor	Mayor			Menor	Mayor
0-0-0	< 2	—	—	4-2-0	22	9.0	56
0-0-1	2	1.0	10	4-2-1	26	12	65
0-1-0	2	1.0	10	4-3-0	27	12	67
0-2-0	4	1.0	13	4-3-1	33	15	77
				4-4-0	34	16	80
				5-0-0	23	9.0	86
1-0-0	2	1.0	11	5-0-1	30	10	110
1-0-1	4	1.0	15	5-0-2	40	20	140
1-1-0	4	1.0	15	5-1-0	30	10	120
1-1-1	6	2.0	18	5-1-1	50	20	150
1-2-0	6	2.0	18	5-1-2	60	30	180
				5-2-0	50	20	170
2-0-0	4	1.0	17	5-2-1	70	30	210
2-0-1	7	2.0	20	5-2-2	90	40	250
2-1-0	7	2.0	21	5-3-0	80	30	250
2-1-1	9	3.0	24	5-3-1	110	40	300
2-2-0	9	3.0	25	5-3-2	140	60	360
2-3-0	12	5.0	29	5-3-3	170	80	410
				5-4-0	130	50	390
3-0-0	8	3.0	24	5-4-1	170	70	480
3-0-1	11	4.0	29	5-4-2	220	100	580
3-1-0	11	4.0	29	5-4-3	280	120	690
3-1-1	14	6.0	35	5-4-4	350	160	820
3-2-0	14	6.0	35	5-5-0	240	100	940
3-2-1	17	7.0	40	5-5-1	300	100	1300
				5-5-2	500	200	2000
4-0-0	13	5.0	38	5-5-3	900	300	2900
4-0-1	17	7.0	45	5-5-4	1600	600	5300
4-1-0	17	7.0	46	5-5-5	≥ 1600	—	—
4-1-1	21	9.0	55				
4-1-2	26	12	63				