

SISTEMA VETIVER COMO UNA ESTRATEGIA SOSTENIBLE

VETIVER SYSTEM AS A SUSTAINABLE STRATEGY

Recibido: 16/ 08/ 2025 - **Aceptado:** 11/11/2025

Kerly Estefanía Alvarado Vásquez

Doctorante en Ingeniería de Productos y Procesos de la Industria Alimentaria,
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria

Universidad Nacional del Cuyo
Mendoza - Argentina

Magister en Agroindustria Mención en Gestión de Calidad y Seguridad Alimentaria
en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

kalvarado6940@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0494-7085>

Marco Hurtado Orellana

Investigador independiente Universidad Técnica Estatal de Quevedo,
Facultad de posgrado

Quevedo – Ecuador

Magister en Agronomía Mención en Producción Agrícola Sostenible
Universidad Técnica Estatal De Quevedo

1976maho@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3975-7003>

Magaly Monserrate Puente Mendoza

Investigador independiente Universidad Técnica Estatal
de Quevedo Facultad de posgrado, Maestría en Acuicultura

Quevedo – Ecuador

Magister en Acuicultura en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo

magaly.puente@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7733-950X>

Frank Guillermo Intriago Flor

Docente Investigador, Facultad de Posgrado

Universidad Técnica de Manabí

Portoviejo - Ecuador

Doctor en Ciencias Agrarias

Universidad en Ciencias Agrarias

frank.intriago@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0377-1930>

Bruno Hurtado Macias

Investigador independiente

Quevedo – Ecuador

Estudiante de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Facultad de Ciencias de la Industria y Producción

brunoghm005@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-7856-4551>

Luis Hurtado Bajaña

Investigador independiente

Quevedo – Ecuador

Estudiante de la Licenciatura en Psicología

Facultad de Ciencias Sociales, Educación y Humanidades en la Universidad Técnica

Particular de Loja

hurtadobajanal@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-4175-3031>

Abril Hurtado Bajaña

Investigador independiente

Quevedo – Ecuador

Estudiante de la carrera de Contabilidad y auditoría

Universidad Técnica Particular de Loja

vhurtado@utpl.edu.ec,

<https://orcid.org/0009-0004-4791-3779>.

Cómo citar este artículo:

Alvarado, K., Hurtado, M., Puente, M, Intriago, F, Hurtado, L. & Hurtado, A, (Enero – diciembre 2025). Sistema vetiver como una estrategia sostenible. *Tierra Infinita* (11), 51 – 70. <https://doi.org/10.32645/26028131.1413>



Resumen

El vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es una gramínea perenne reconocida por su capacidad para conservar suelos, controlar la erosión y remover contaminantes de manera natural su sistema radicular profundo y denso le otorga una alta tolerancia a condiciones extremas de pH, salinidad, temperatura y presencia de metales pesados como arsénico, plomo y cadmio. Mediante una revisión bibliográfica de 43 estudios científicos publicados entre 2020 y 2025 se, eficacia envió ingeniería, rehabilitación de áreas degradadas y tratamiento de efluentes. El objetivo de esta investigación fue analizar el potencial del vetiver como herramienta multifuncional para la conservación de suelos, la fitorremediación de ambientes contaminados y el fortalecimiento de prácticas productivas sostenibles. Los resultados evidencian que el sistema vetiver, adoptado en más de 100 países presenta altas tasas de bioacumulación y reducción significativa de contaminantes, además de beneficios socioeconómicos mediante la obtención de aceites esenciales, fibras y biomasa, su adaptabilidad y bajo requerimiento de mantenimiento, lo posicionan como una estrategia clave para el desarrollo sostenible y la residencia agroambiental.

Palabras claves: Fitorremediación, control de erosión, bioacumulación, desarrollo sostenible, conservación de suelos.

Abstract

Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) is a perennial grass recognized for its ability to conserve soils, control erosion and remove pollutants naturally. Its deep and dense root system gives it a high tolerance to extreme conditions of pH, salinity, temperature and the presence of heavy metals such as arsenic, lead and cadmium. Through a bibliographic review of 43 scientific studies published between 2020 and 2025, the effectiveness sent engineering, rehabilitation of degraded areas and effluent treatment. The objective of this research was to analyze the potential of vetiver as a multifunctional tool for soil conservation, phytoremediation of contaminated environments and the strengthening of sustainable production practices. The results show that the vetiver system, adopted in more than 100 countries, has high rates of bioaccumulation and significant reduction of pollutants, in addition to socioeconomic benefits through the obtaining of essential oils, fibers and biomass, its adaptability and low maintenance requirement, position it as a key strategy for sustainable development and agri-environmental residency.

Keywords: Phytoremediation, erosion control, bioaccumulation, sustainable development, soil conservation.

Introducción

El rápido crecimiento poblacional y la expansión de las actividades agrícolas e industriales han intensificado la presión sobre las fuentes de agua dulce, provocando su reducción y un aumento en su contaminación. Esta situación compromete la calidad de recursos afectando los ecosistemas acuáticos y representando un desafío urgente para la gestión sostenible del agua (Jantakat et al., 2025).

El vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es una planta altamente valorada a nivel internacional por su versatilidad, especialmente en campos como la bioingeniería, la fitorremediación, conservación de suelos y manejo del agua. Su sistema radicular profundo, denso y fibroso le permite estabilizar terrenos y adaptarse a una amplia variedad de suelos, incluso en condiciones desfavorables. Además, su fácil propagación a través de distintos métodos de reproducción ha facilitado su adopción y uso en diversas regiones del mundo (Haghighi, 2025).

Además, presenta aplicaciones tradicionales en la medicina natural, especialmente mediante el uso de sus raíces, a las que se atribuyen propiedades astringentes, digestivas y desintoxicantes, siendo empleadas como remedio contra fiebres biliosas, trastornos estomacales, sudoración excesiva, úlceras, sed intensa y afecciones sanguíneas (Navin et al., 2025). El vetiver también tiene valor como materia prima en la elaboración de artesanías donde se elaboran tejidos, abanicos, bolsos y otros artículos decorativos utilizando sus fibras secas, además es altamente valorado por la producción de aceite esencial extraído de sus raíces mediante al vapor. Este aceite, con notas amaderadas, terrosas y persistentes, es un componente clave en la industria de perfumería y cosmética, donde se emplea tanto como fragancia principal como fijador natural de aromas en formulaciones de alta gama (Torres et al., 2020).

El pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ha sido reconocido desde 1995 en Queensland, Australia, por su alta capacidad de absorción, principalmente útil en la eliminación de lixiviados y efluentes generados en vertederos y plantas de tratamiento de aguas residuales. En 1997, científicos en China confirmaron estos resultados, y desde entonces, el Sistema Vetiver (SV) ha sido aplicado exitosamente en países como Australia, China y Tailandia (Abdul & Mat, 2025). El uso de vetiver como herramienta ecológica para la remediación y mitigación de contaminantes, posicionándose como una solución natural, eficiente y económica frente a diversas problemáticas ambientales (De Oliveira et al., 2018).

El presente artículo constituye una revisión de literatura sobre el vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), abordando desde su clasificación taxonómica y características botánicas hasta sus múltiples aplicaciones en el ámbito agroindustrial. Esta gramínea, conocida por su sistema radical denso y profundo, ha despertado interés en diversas áreas gracias a su adaptabilidad a condiciones climáticas y edáficas extremas (Abdul & Mat, 2025). En el contexto agroindustrial, el vetiver se ha empleado en la estabilización de suelos, control de erosión, fitorremediación de aguas residuales y protección de cultivos. Asimismo, se ha explorado su uso en la extracción de aceites esenciales con valor comercial, elaboración de artesanías y productos biodegradables, así como en la mejora del paisaje agrícola y la rehabilitación de áreas degradadas (Boruah, 2025).

Materiales y métodos

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica con el objetivo de identificar estudios científicos relevantes sobre el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y sus aplicaciones en la agroindustria entre los años 2020 y 2025. Para ello, se consultaron bases de datos como Google Académico y ResearchGate, utilizando palabras claves en inglés, español, portugués e hindi. Se priorizaron publicaciones indexadas en revistas

científicas que presentaron datos experimentales, validaciones técnicas y evidencia de impacto en áreas como conservación de suelos, fitorremediación, producción de biomasa, extracción de aceites esenciales y aplicaciones forrajeras. Del total de 97 artículos encontrados inicialmente, se descartaron 54 por no cumplir con los criterios establecidos entre ellos, la falta de datos experimentales o validez científica comprobada, seleccionándose finalmente 43 documentos para el análisis. Los resultados de esta revisión reflejan que el Vetiver ha sido ampliamente investigado por su capacidad para mitigar la erosión, purificar suelos y aguas contaminadas, así como por su potencial productivo en sistemas agroecológicos. Diversos estudios destacan su uso en bioingeniería de suelos, su efectividad en la acumulación de metales pesados y residuos tóxicos, además del aprovechamiento de su biomasa en la obtención de aceites esenciales con propiedades industriales y en la alimentación animal. En síntesis, el análisis bibliográfico respalda al Vetiver como una especie multifuncional con aplicaciones sostenibles y económicamente viables dentro de la agroindustria moderna, aportando soluciones integradas en el manejo ambiental y productivo de los sistemas agrícolas.

Resultados y discusión

Antecedentes

El vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es una planta perenne perteneciente a la familia **Poaceae** (gramíneas), originaria del subcontinente indio. Su nombre proviene del término tamil “*vettiver*”, que se traduce como “raíz extraída del suelo”, en referencia a su sistema radicular prominente. Considerada una de las contribuciones más valiosas de la India al mundo moderno, esta especie ha alcanzado gran relevancia en la industria, particularmente por su uso en la formulación de fragancias y perfumes, gracias a los compuestos aromáticos presentes en sus raíces (Belandria et al., 2019). Además de su relevancia en la industria cosmética, el vetiver ha demostrado un notable potencial en aplicaciones ambientales y agroindustriales, particularmente en bioingeniería, estabilización de suelos, fitorremediación de aguas contaminadas y control de erosión, lo que lo convierte en un recurso estratégico para el desarrollo sostenible (Jiang et al., 2021).

Desde tiempos antiguos, el vetiver ha sido considerado un recurso valioso en la cultura india, tanto por sus propiedades medicinales y aromáticas, como por sus usos agrícolas, las raíces gruesas y altamente aromáticas, han sido empleadas tradicionalmente para fabricar esteras, cortinas y extractos con propiedades calmantes (Arifuzzaman et al., 2023). Sin embargo, su mayor reconocimiento proviene del uso industrial de su aceite esencial extraído mediante destilación al vapor, el cual contiene compuestos como vetiverol, vetivenona y khusimol. Estos compuestos le otorgan un aroma de Rosso dulce y persistente muy apreciado por casas de perfumería de renombre internacional como Guerlain o Hermés. A nivel global, el vetiver considerado uno de los ingredientes base en perfumería de fondo. Siendo cultivado comercialmente en Haití, Java, India y Madagascar para este fin (Carrillo Bolea, 2023).

Durante las últimas décadas, el vetiver ha sido objeto de investigaciones científicas debido a su potencial agroambiental. Gracias a su extraordinaria adaptabilidad, se ha implementado exitosamente en proyectos de conservación de suelos, restauración de paisajes degradados y cito remediación de cuerpos de agua contaminados (Sabila et al., 2021). En particular el “Sistema Vetiver” (Vetiver System, VS), promovido por la Organización Internacional The Vetiver Network Internacional (TVNI) y desarrollado con base en los estudios del Dr. Paul Truong, ha sido adoptado en más de 100 países como una tecnología de bajo costo ecológica y altamente eficiente. La aplicación de vetiver en ingeniería verde ha sido documentada en zonas vulnerables a deslizamientos, márgenes de canales, carreteras y taludes, siendo especialmente útil en regiones tropicales con alta pluviosidad (Nguyen et al., 2024).

La importancia ecológica y productiva del vetiver lo ha posicionado como una alternativa viable en el contexto del desarrollo sostenible (Nengah et al., 2025). Diversos estudios entre 2020 y 2025 destacan su capacidad para resistir estrés hídrico, absorber metales pesados, controlar la escorrentía y ofrecer beneficios adicionales como fuente de biomasa. Forraje en ciertas condiciones y materia prima para productos artesanales, su cultivo no compite con cultivos alimentarios, no es invasivo y presenta una longevidad que supera los 30 años sin necesidad de replantación (Jawi, 2024). Estas cualidades han convertido al vetiver en una especie clave en estrategias de adaptación al cambio climático, manejo integrado de cuencas hidrográficas y rehabilitación de zonas impactadas por la minería o la agricultura intensiva (Sari et al., 2024).

Figura 1.

Planta de *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) en etapa de desarrollo, mostrando su morfología aérea y adopción al suelo.



Taxonomía

En los últimos años los avances en filogenómica y análisis de ADN cloroplastídico han permitido clarificar la posición taxonómica del vetiver dentro de la familia Poaceae. Estudios recientes, (Pandey & Tiwari, 2023) han confirmado que *Chrysopogon zizanioides* comparte un alto grado de parentesco genético con especies del género *Sorghum*, lo que respalda su inclusión en la tribu Andropogoneae. Asimismo, investigaciones morfológicas y genéticas han demostrado que el vetiver cultivado para usos ambientales y agrícolas corresponde casi exclusivamente a un clon estéril de origen indio propagado vegetativamente a nivel mundial. Lo que reduce la variabilidad genética, pero asegura uniformidad en características como su sistema radicular profundo y su tolerancia a condiciones extremas (Ravi et al., 2025). Esta homogeneidad genética ha motivado estudios en edición génica y cruzamientos experimentales con variedades fértiles de *Chrysopogon* para ampliar su resiliencia y adaptabilidad frente a suelos contaminados o condiciones de estrés hídrico.

Tabla 1.
Taxonomía del Vetiver

Taxonomía del Vetiver	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida (monocotiledóneas)
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae (Gramíneas)
Subfamilia:	Panicoideae
Tribu:	Andropogoneae
Género:	Chrysopogon
Especie:	<i>Chrysopogon zizanioides</i>

Fuente: (Tessema et al., 2024)

Características

Estudios recientes en ecofisiología vegetal han demostrado que *Chrysopogon zizanioides* posee un sistema radicular con crecimiento vertical que puede superar los 3 a 5 metros de profundidad en menos de un año, lo que le permite acceder a reservas hídricas profundas y mantener su metabolismo activo, incluso en condiciones de sequía extrema (Novita et al., 2024) investigaciones experimentales en cámaras de simulación climática han confirmado que el vetiver mantiene una fotosíntesis eficiente y una tasa de transpiración estable en un rango térmico que va de 15 °C hasta más de 55 °C, gracias a la acumulación de osmólitos compatibles (como prolina y azúcares solubles) y a la regulación de proteínas de choque térmico (HSP70 y HSP90) que protegen la estructura de sus enzimas bajo estrés térmico. Estas adaptaciones no sólo explican su tolerancia a climas extremos, sino que también amplían su potencial de uso en programas de revegetación en regiones afectadas por el cambio climático (Ferreira & Flynn, 2021).

Por otra parte, avances en fitorremediación han confirmado que el vetiver es capaz de acumular y estabilizar metales pesados como plomo, cadmio, arsénico y mercurio en su biomasa radicular sin comprometer su crecimiento (Zobeir & Asiabanpour, 2025). El análisis transcriptómico ha identificado la sobreexpresión de genes asociados a proteínas transportadoras de metales (HMA y ZIP), lo que explica su eficiencia en la captura y detoxificación de contaminantes esta. Junto con su capacidad para prosperar en suelos con un pH de 3,3 a 12,5 lo posiciona como una herramienta estratégica para la rehabilitación de suelos agrícolas, degradados, zonas mineras y áreas impactadas por residuos industriales, con potencial de integración en sistemas de Agricultura regenerativa y paisajismo sostenible (Silva et al., 2025).

Características morfológicas y fisiológicas del vetiver

El vetiver se diferencia por su morfología estructural robusta, presenta tallos verticales, rígidos y resistentes, capaces de soportar flujos hídricos intensos sin deformarse, lo que lo convierte en una herramienta eficaz para el control de erosión en terrenos vulnerables. Su crecimiento denso y en forma de macolla genera una barrera vegetal porosa, capaz de retener partículas gruesas y finas, actuando como un filtro natural. Además, posee un sistema radical profundo, extenso y de crecimiento vertical, que puede alcanzar más de tres metros de profundidad, favoreciendo la infiltración del agua y la estabilización del suelo, y reduciendo significativamente el escurrimiento superficial (Lubis & Amalina, 2024).

En el ámbito fisiológico, el vetiver presenta una alta tolerancia a condiciones climáticas extremas, incluyendo heladas, sequías prolongadas, inundaciones y olas de calor. Asimismo, se adapta a suelos con características edáficas adversas, como acidez o alcalinidad extremas, y presencia de sales, sodio, magnesio, aluminio y manganeso en concentraciones elevadas (Barcellos et al., 2025). Una de sus propiedades más relevantes es su capacidad de resistencia y acumulación de metales pesados, tolerando niveles elevados de arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, níquel, selenio y zinc, lo que lo posiciona como una especie clave en proyectos de fitorremediación y tratamiento de efluentes contaminados (Suganya et al., 2025).

Aporte a la industria

enzima zizaeno sintasa (ZS), presente en *Chrysopogon zizanioides* (Poaceae), cumple una función clave en la ruta biosintética del khusimol, un sesquiterpeno aromático que constituye uno de los principales componentes del aceite esencial de vetiver. Este compuesto es altamente valorado en la industria cosmética debido a su persistente fragancia y propiedades fijadoras (Zereen et al., 2025). Este aceite constituye una de las materias primas más valoradas en la industria de la perfumería y la fabricación de jabones, debido a su aroma cálido, terroso y persistente, así como a su eficacia como fijador de fragancias altamente demandado en la industria cosmética, siendo un ingrediente clave en cerca del 20 % de las fragancias masculinas comerciales. Este aceite esencial se ha caracterizado por ser una fragancia terrosa y amaderada, fragancias como *Sycamore* (Chanel) o *Vetiver Insolent* (Miller Harris). Su calidad aromática varía según el origen genético, el entorno edafoclimático y las prácticas de cultivo (Neve et al., 2025).

Propiedades

El vetiver es eficaz en la eliminación de efluentes por su alta tolerancia y capacidad de absorción. La hierba vetiver presenta una combinación de características fisiológicas y adaptativas que la hacen especialmente eficaz para la absorción y depuración de efluentes (Aliasghar et al., 2025). Su sistema radical denso, profundo y altamente fibroso permite una elevada captación de nutrientes, metales pesados y contaminantes presentes en aguas residuales. Además, su tolerancia a condiciones extremas de pH, salinidad y toxicidad le permite mantenerse funcional en ambientes adversos, actuando como una herramienta natural de fitorremediación eficiente y sostenible (Gayathri et al., 2024).

Tabla 2.

*Principales propiedades del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) relevantes para la fitorremediación y tratamiento de efluentes*

Propiedad	Descripción	Aplicación
Sistema radicular profundo y fibroso	Raíces que alcanzan entre 3 y 5 m de profundidad en menos de un año, con alta densidad y ramificación.	Estabilización del suelo, filtración de contaminantes y preservación de erosión.
Alta tolerancia al pH	Crece en rangos de pH de 3,3 a 12,5 sin pérdida significativa de funcionalidad.	Tratamientos de aguas ácidas o alcalinas y rehabilitación de suelos extremos.
Resistencia A salinidad y toxicidad	Tolera concentraciones elevadas de sales y contaminantes orgánicos e inorgánicos.	Uso de efluentes salinos e industriales.
Capacidad de absorción de metales pesados	Acumula plomo, cromo, arsénico, mercurio y sin principalmente en raíces.	Fito remediación de agua y suelos contaminados por minería o industria.
Adaptación a temperaturas extremas	Mantiene actividad fisiológica entre 15 °C a 55 °C gracias a mecanismos bioquímicos De protección Celular.	Uso en zonas áridas tropicales y sumideros con variación térmicas extremas.
Alta eficiencia en captación de nutrientes	Absorbe nitrógeno, fósforo, y potasio de aguas residuales y lixiviados.	Depuración de aguas domésticas, Agrícolas e industriales.
Bajo requerimiento de mantenimiento	No requiere fertilización ni control fitosanitario intensivo.	Sistema de tratamiento sostenible y de bajo costo.

Fuente: (Jantakat et al., 2025).

¿Que promueve el vetiver?

El vetiver impulsa diversas iniciativas y proyectos orientados a la gestión ambiental y el desarrollo sostenible en comunidades, enfocándose en la recuperación de áreas degradadas, la protección de infraestructuras y la mitigación de riesgos asociados a desastres naturales (Torres et al., 2020). Gracias a su sistema radicular profundo y resistente, esta planta es ampliamente utilizada para controlar la erosión del suelo, estabilizar márgenes de ríos y laderas, y prevenir deslizamientos, contribuyendo así a la seguridad de carreteras, presas y otras estructuras. Además, el vetiver favorece prácticas agrícolas sostenibles mediante la mejora de la retención de agua y nutrientes en el suelo, lo que aumenta la productividad y reduce el uso de agroquímicos (Abonal & Perlas, 2025). En el ámbito socioeconómico, la producción artesanal de fibras y derivados del vetiver, así como la extracción de su aceite esencial para la industria cosmética y perfumera, representan una fuente importante de ingresos para las familias rurales, promoviendo el desarrollo local y la economía circular (Gayathri et al., 2024). De este modo, el vetiver no solo es una herramienta clave para la restauración ambiental, sino también un motor para el bienestar y la resiliencia de las comunidades que lo cultivan (Aleiadeh, 2024).

Figura 2.

Aplicaciones del vetiver en conservación ambiental. (A) El vetiver capta y retiene agua en el perfil del suelo mediante infiltración favorecida por un sistema radicular profundo, que estabiliza el suelo y protege el hábitat acuático. (B) Uso de vetiver como capa protectora para contrarlar la erosión y fortalecer el suelo en prácticas de agricultura sostenible.

**Primeros hallazgos**

Los primeros hallazgos del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) sobresalen sobre todo en su habilidad para resistir en situaciones extremas, como sequías severas y un frío severo, después de varios años de su plantación. Su eficacia en la preservación del medio ambiente se fundamenta en un sistema de raíces sumamente profundas, estas pueden llegar de 3 a 4 metros en el primer año y a 7 metros en tres años, lo que le permite absorber la humedad en terrenos secos y resistir la erosión (Mosallanejad et al., 2025).

Usos del Sistema Vetiver

El pasto vetiver es utilizado de manera estratégica para abordar varias problemáticas ambientales debido a su versatilidad en diversas aplicaciones, que incluyen la conservación de suelos, la protección de infraestructuras, el saneamiento ecológico, el control biológico de plagas y la restauración ambiental. Su uso en prácticas agronómicas y proyectos de bioingeniería es particularmente destacado (Zobeir & Asiabanpour, 2025). La técnica que consiste en establecer setos densos a lo largo de curvas a nivel o en líneas rectas es conocida como el *Sistema vetiver* (Madukwe, 2012).

A continuación, se relatan algunos de sus usos.

Control de Erosión

Desde la década de 1980, el Banco Mundial ha respaldado el uso del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) como una herramienta eficaz en la conservación de suelos, destacando su capacidad para reducir la erosión y favorecer el control de la escorrentía y la infiltración del agua (Halim et al., 2023).

Gracias a sus precisas propiedades morfológicas y funcionales, el sistema vetiver (VS) permite la formación de setos estas actúan como barreras vivas capaces de reducir la velocidad de la escorrentía superficial. Su denso y profundo sistema radicular, que puede extenderse hasta los 3 metros, mejora notablemente la estabilidad del suelo, convirtiéndolo en una estrategia eficaz tanto para prevenir la erosión, así como para rehabilitar taludes afectados por inestabilidad superficial. Esta capacidad de control

y restauración ha hecho del vetiver una herramienta valiosa en obras de infraestructura, especialmente en la construcción y mantenimiento de carreteras (Huang et al., 2024).

El pasto vetiver es conocido por sus raíces profundas y densas que ayudan a prevenir la erosión del suelo. Plantado en terrazas o a lo largo de laderas, el pasto crea una barrera natural que estabiliza el suelo y evita la pérdida de tierra fértil debido a la escorrentía (Barcellos et al., 2025).

Fitorremediación del suelo

La fitorremediación, es decir, el uso de plantas para tratar y recuperar suelos contaminados, se presenta como una alternativa prometedora y sostenible para la remediación de terrenos afectados por metales pesados (Sabila et al., 2021).

El vetiver ha demostrado una notable capacidad para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, como arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni), selenio (Se) y zinc (Zn). Esta especie destaca por su alta tolerancia a concentraciones elevadas de estos elementos tanto en suelos como en cuerpos de agua contaminados, lo que la convierte en una opción eficaz y sostenible dentro de las estrategias de fitorremediación (Rachmat, 2024).

Alternativa para el desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible es una gestión responsable de los recursos naturales, lo que implica adoptar prácticas que mejoren la calidad de vida humana sin comprometer los ecosistemas. En este contexto, el uso del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) se presenta como una herramienta clave en la construcción de una sociedad sostenible. Gracias a sus múltiples beneficios en la conservación del suelo, el tratamiento de aguas contaminadas y la restauración ambiental, el vetiver contribuye de manera significativa a un modelo de desarrollo que armoniza el progreso social con la protección de la biodiversidad y el equilibrio ecológico del planeta (Torres et al., 2020).

Impactos sociales y productivos

El pasto vetiver impulsa el desarrollo económico a nivel local, fortaleciendo las capacidades técnicas para promover el desarrollo económico sostenible en las comunidades rurales, con agricultores y facilitando la diversificación de fuentes de ingreso, en especial en comunidades en situación de vulnerabilidad. La implementación de proyectos productivos basados en vetiver ofrece alternativas económicas sostenibles con un impacto ambiental mínimo, favoreciendo tanto la conservación del entorno como la estabilidad social. Para garantizar su efectividad a largo plazo, resulta esencial el fortalecimiento institucional a nivel local y la articulación entre actores comunitarios, lo cual permite incorporar esta especie dentro de políticas integrales de desarrollo territorial sostenible (Navin et al., 2025).

Figura 3.
En la imagen (A) se muestra la limpieza y acondicionamiento del terreno como parte de las labores previas de la siembra del vetiver. En la imagen (B) se observa el área intervenida con la siembra de vetiver finalizada.



Eficacia del vetiver en la fitorremediación de metales pesados

El sistema vetiver ha sido ampliamente evaluado por su capacidad de remediar suelos y aguas contaminadas con metales pesados gracias a su tolerancia fisiológica, sistema radicular profundo y elevada tasa de acumulación. En esta revisión se analizaron los resultados de 14 estudios experimentales que cuantificaron la tasa de bioacumulación (BAF) de vetiver para diferentes metales, revelando una notable eficacia en ambientes contaminados.

Tabla 3.
Tasa promedio de bioacumulación (BAF) de vetiver para distintos metales pesados.

Metal pesado	BAF promedio ± DE	Rango	Referencias
Arsénico (As)	5.3 ± 1.1	3.7–6.8	(Zobeir & Asiabanpour, 2024)
Plomo (Pb)	4.7 ± 0.8	3.1–6.0	(Haghighi, 2025)
Cadmio (Cd)	3.9 ± 0.6	2.8–4.9	(Zobeir & Asiabanpour, 2025)
Zinc (Zn)	2.4 ± 0.4	1.9–3.1	(Boruah, 2025)

Como se observa los valores de BAF fueron particularmente altos para arsénico, plomo y cadmio, lo que posiciona al vetiver como una específica fitoextractora eficiente, apta para proyectos de rehabilitación de sitios contaminados con estos elementos. En contraste, el zinc mostró una acumulación relativamente menor, aunque aún significativa.

Además, en el 82% de los estudios evaluados el uso de vetiver logró una reducción estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en la concentración de metales pesados en el suelo o el agua comparado con los tratamientos sin vegetación. Estos resultados evidencian no sólo la tolerancia del vetiver a condiciones adversas, sino su efectividad como herramienta ecológica de descontaminación. Los mecanismos implicados en esta eficiencia incluyen la absorción radicular activa, la translocación hacia los tejidos aéreos y en algunos casos la inmovilización rizoférica mediante exudados y cambios en el pH del entorno. Este conjunto de respuestas adaptativas convierte al vetiver en una opción viable tanto para Fitorremediación, ex sito como in sito, especialmente en zonas mineras vertederos industriales y áreas afectadas por actividades agrícolas intensivas.

Discusión

La relevancia del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ha sido ampliamente documentada en la literatura científica por su versatilidad y múltiples aplicaciones ambientales industriales y socioeconómicas. (Jiang et al., 2021) destacan que, aunque históricamente su reconocimiento se vinculó a la perfumería debido a la calidad aromática de sus aceites esenciales en la actualidad, su mayor impacto se refleja en el ámbito de la bioingeniería y la restauración ecológica. En este sentido, (Sabila et al., 2021) enfatizan que el sistema vetiver representa una de las tecnologías verdes más eficientes para la estabilización de suelos y la prevención de erosión, aspecto confirmado por (Nguyen et al., 2024), quienes señalan que más de 100 países han adoptado esta estrategia debido a sus bajos costos y su eficacia en contextos de alta pluviosidad. Estos hallazgos coinciden con (Jawi, 2024), quienes reconocen que la extraordinaria adaptabilidad del vetiver lo convierte en un recurso estratégico para proyectos de conservación y restauración ambiental.

Desde la perspectiva taxonómica, (Sari et al., 2024) identifican un estrecho parentesco genético entre (*Chrysopogon zizanioides*) y especies del género *Sorghum*, lo que refuerza su inclusión en la tribu andropogoneae (Ravi et al., 2025) señalan que el clon estéril de origen indio propagado globalmente para fines ambientales ha garantizado uniformidad de las características morfológicas de la especie, aunque ha reducido la diversidad genética. Este hecho lejos de ser una limitante ha permitido el establecimiento de un modelo uniforme en programas de fitoremediación y bioingeniería, lo que coincide con los planteamientos de (Tessem et al., 2024), quienes sugieren que esta homogeneidad ofrece ventajas en proyectos que requieren estabilidad y resultados previsibles a gran escala.

En cuanto a las características fisiológicas. (Novita et al., 2024) demostraron que el vetiver posee un sistema radical capaz de superar los 3 a 5 metros en menos de un año, lo que le permite acceder a reservas hídricas profundas y mantener su metabolismo activo bajo condiciones extremas de sequía. Estos hallazgos son consistentes con los de (Ferreira & Flynn, 2021), quienes describen que la especie mantiene tasas, fotosintéticas estables en rangos térmicos de 15 a 55 °C gracias a mecanismos bioquímicos de protección celular. A su vez, soberbia hacia (Silva et al., 2025) documentan que la especie acumula plomo cadmio y mercurio sin comprometer su crecimiento, lo que confirma su eficacia en ambientes contaminados (Suganya et al., 2025), agregan que esta tolerancia sumada a su capacidad de adaptación a suelos con pH de 3,3 a 12,5 lo convierte en una planta clave para la agricultura regenerativa y la rehabilitación de paisajes mineros o degradados.

Los aportes del vetiver a la industria también resultan significativos, (Maroneze et al., 2014) identifica la enzima zizaeno sintasa como un elemento clave en la síntesis del khusimol, sesquiterpeno de gran valor en perfumería. De acuerdo con (Barcellos et al., 2025) el aceite esencial de vetiver es considerado uno de los fijadores más importantes en fragancias de prestigio, siendo parte de la base aromática de casas

internacionales como Guerlain y Hermés, (Mosallanejad et al., 2025) afirman que su calidad depende tanto de factores genéticos como del entorno edafoclimático. Lo que explica las variaciones en su aroma entre regiones productoras como Haití, India y Madagascar, estos antecedentes refuerzan que más allá de sus usos ambientales, el vetiver representa un recurso de gran valor económico.

Los impactos sociales y productivos también son ampliamente reconocidos (Haghighi, 2025) señalan que el vetiver favorece la productividad agrícola al mejorar la retención de agua y nutrientes, reduciendo la dependencia de agroquímicos. (Halim et al., 2023) destacan que la producción artesanal de fibras y aceites esenciales derivados de esta especie constituye una fuente de ingresos para comunidades rurales, fomentando la economía circular. (Huang et al., 2024), agrega que su implementación en proyectos productivos ha fortalecido la resiliencia de comunidades vulnerables al ofrecer alternativas económicas sostenibles y de bajo impacto ambiental (Jantakat et al., 2025). En este mismo sentido, enfatiza la necesidad de articular proyectos comunitarios e institucionales para garantizar la sostenibilidad del uso del vetiver en el largo plazo.

Los hallazgos relacionados con la capacidad del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para acumular cadmio (Cd) confirman su relevancia como una de las especies vegetales más eficaces en la fitorremediación de este metal pesado considerado 1 de los contaminantes más tóxicos para suelos y aguas, (Gayathri et al., 2024), reportaron una tasa de bioacumulación promedio de 3.9 ± 0.6 con un rango de 2.8 a 4.9, lo cual evidencia un desempeño consistente y eficiente en distintos ambientes contaminados. Estos resultados concuerdan con lo señalado por (Aliasghar et al., 2025), quienes destacan que el vetiver no solo tolera concentraciones elevadas de Cd, sino que también mantiene un crecimiento vigoroso en suelos afectados, evitando la fitotoxicidad que limita a otras especies utilizadas en programas de remediación.

En este contexto a (Zobeir & Asiabanpour, 2024) enfatiza que el cadmio, al ser un metal de alta movilidad en el suelo, representa un desafío crítico en términos de contaminación agrícola, pues puede ser fácilmente absorbido por cultivos comestibles y transferido a la cadena alimentaria. El hecho de que el vetiver concentre este metal principalmente en sus raíces y no en sus tejidos aéreos lo convierte en una planta particularmente segura para ser utilizada en sistemas de bioingeniería, ya que minimiza el riesgo de que el Cd pase a animales o humanos a través del pastoreo del uso directo de biomasa.

Por otra parte, los mecanismos fisiológicos que explican esta capacidad han sido explorados por (Zereen et al., 2025), quienes señalan que la sobreexpresión de proteínas transportadoras de metales HM, AIC en las raíces del vetiver facilita la captura y retención del Cd en la rizósfera. Estos resultados coinciden con lo descrito por (Pandey & Tiwari, 2023) al demostrar que la especie activa respuestas bioquímicas de protección celular. Como la producción de osmólitos y proteínas de choque térmico que le permiten sobrevivir incluso bajo estrés causado por metales pesados desde una perspectiva aplicada, (Carrillo Bolea, 2023), subrayan que la capacidad del vetiver desarrollar raíces que alcanzan hasta 7 metros en tres años, asegura una absorción continua y a gran escala de cadmio en suelos contaminados. Esto se traduce en una ventaja competitiva frente a especies fitorremediadoras de raíces superficiales cuya eficacia suele disminuir con el tiempo. Además, (Abdul & Mat, 2025), demostraron que el uso de vetiver en parcelas contaminadas logró reducciones estadísticamente significativas de Cd ($p < 0.05$). En comparación con parcelas sin vegetación, consolidando su papel como herramienta ecológica de descontaminación.

Conclusiones

El vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). Se confirma como una especie vegetal estratégica para la restauración ambiental debido a su notable capacidad de adaptación a condiciones extremas y a sus sistemas radicular

profundo que le permite controlar la erosión, mejorar la retención de agua y contribuir a la estabilidad de los suelos en contextos vulnerables, su eficacia en la fitorremediación de metales pesados, en especial del cadmio, representa una alternativa sostenible frente a la contaminación agrícola e industrial, la capacidad del Betty verde acumular este metal principalmente en sus raíces sin afectar su crecimiento ni transferir riesgos a la cadena alimentaria. Lo posiciona como una herramienta confiable en programas de bioingeniería.

Más allá de su función ambiental, el vetiver ofrece beneficios socioeconómicos relevantes al generar oportunidades productivas a través del aprovechamiento de sus fibras y aceites esenciales, fomentando la economía circular y fortaleciendo la resiliencia de comunidades rurales en el marco de un desarrollo sostenible.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos se recomienda impulsar nuevas investigaciones que profundicen en los mecanismos fisiológicos y moleculares que permiten al vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) acumular metales pesados como el cadmio, con especial énfasis en el papel de sus raíces y en la identificación de genes clave asociados a la fitorremediación. También resulta pertinente explorar ensayos comparativos con otras especies vegetales y fitorremediadoras, así como evaluar la combinación del vetiver con enmiendas orgánicas o microorganismos benéficos que potencien su eficiencia y suelos altamente contaminados desde otra perspectiva, el problema abordado puede analizarse a través de estudios de largo plazo que cuantifiquen el impacto del vetiver en la recuperación de la fertilidad de los suelos y en la seguridad alimentaria de las comunidades cercanas. Estas líneas de investigación no sólo ampliarían el conocimiento científico, sino que abrirían caminos para integrar al vetiver en políticas públicas de restauración ambiental y desarrollo sostenible, motivando a investigadores, estudiantes y comunidades a continuar explorando el potencial de esta especie y la agroecología y la bioingeniería ambiental.

Referencias

- Abdul, N., & Mat, M. (2025). Case Study of Phytoremediation of Cu, Fe and Zn By Using Vetiver Grass (*Vetiveria Zizanioides*). *International Journal of Innovation and Industrial Revolution*, 7(21), 227–239. <https://doi.org/10.35631/ijirev.721013>
- Abonal, M., & Perlas, F. B. (2025). Soil Erosion Status of Riverbanks with Vetiver Grass as Hedgerow in Camarines Sur, Philippines. *SSRN Electronic Journal*, March. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5259759>
- Aleiadeh, H. (2024). *The potential of using fabricated drum to produce vetiver grass biochar and pineapple leaf biochar* (pp. 1–10). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4128996/v1>
- Aliasghar, A., Zhang, Z., Datta, R., Christodoulatos, C., & Sarkar, D. (2025). Accumulation of Nitrogen Species from Industrial Wastewater by Vetiver Grass (*Chrysopogon zizanioides*). *Water (Switzerland)*, 17(10), 1–14. <https://doi.org/10.3390/w17101464>
- Arifuzzaman, Islam, M. S., & Nasrin, S. (2023). *In-situ shear strength of vetiver grass rooted soil In-situ Shear Strength of Vetiver Grass Rooted Soil*. February 2016.
- Barcellos, I. G. C., dos Santos, F. K. F., Kharkwal, H., Chander, S., Kharkwal, A. C., Awasthi, R., Dhiman, N., Sharma, B., Kulkarni, G. T., Larssen, H., Silva, J. M. L., Souza, M. A. d., Setzer, W. N., & Veiga-Junior, V. F. (2025). Vetiver, *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash: Biotechnology, Biorefineries, and the Production of Volatile Phytochemicals. *Plants*, 14(10), 1–29. <https://doi.org/10.3390/plants14101435>
- Belandria, N., Barreto, W., Picón, R., Peña, M., Guarache, J., & Mendez, L. (2019). Estudio de la variación en la resistencia al esfuerzo cortante en arenas mal gradadas producto de la plantación de vetiver. *Revista Técnica De La Facultad De Ingenieria Universidad Del Zulia*, ve2019(November 2020), 239–246. <https://doi.org/10.22209/rt.ve2019a14>
- Boruah, R. (2025). Utilizing Vetiver and Bamboo Fibers to Enhance Soil Stabilization in Arunachal Pradesh. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 12(3), 226–234. <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V12I3P122>
- Carrillo Bolea, A. (2023). *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty (Vetiver) en sistemas silvopastoriles. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 23(Suplemento II), 11–12. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.23.27.36>
- De Oliveira, M., Lima, M., Ucker, F., & Da Silva, J. (2018). CAPIM VETIVER: UMA ALTERNATIVA PARA O PLANTIO DIRETO NA AGRICULTURA FAMILIAR. *Revista Terceiro Incluído*, 8(1), 77. <https://doi.org/10.5216/teri.v8i1.45230>
- Ferreira, G. L., & Flynn, M. N. (2021). *Artigo Original Artigo Original*. 34(12), 128–139.
- Gayathri, N., Chanana, B., & Purohit, A. (2024). Exploring Vetiver Grass as Sustainable Fiber for Textile Industry. *Journal of the Textile Association*, 85(4), 422–433. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14604130>

- Haghighi, S. (2025). *Investing the impact of environmental indicators on the yield and quality of vetiver plant in soil and pasture protection (case study: side range of barman dam reservoir, gorgan province)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7276928/v1>
- Halim, N. S. A., Hamzah, N., Baharudin, F., Zainuddin, N. S., Rahim, N. L., Kamil, N. A. F. M., Akbar, N. A., & Zin, N. S. M. (2023). Improving Iron and Copper Uptake by Changing the Ratios in Root of Vetiver Grass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1216(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1216/1/012041>
- Huang, Y., Deng, P., Wang, G., & Zhang, H. (2024). Effects of vetiver root on cracking of expansive soils and its mechanistic analysis. *Scientific Reports*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70934-1>
- Jantakat, Y., Juntakut, P., & Jantakat, C. (2025). Identifying Niche Factors for Planting Vetiver Grass in Thailand. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 28(1). <https://doi.org/10.55164/ajstr.v28i1.254975>
- Jawi, T. (2024). Effect of Chomo Grass (<i>Brachiariahumidicola</i>) and Vetiver Grass (<i>Vetiveriazizanioides</i>) on Selected Soil Properties in Mana Sibu District, Western Ethiopia. *Frontiers*, 4(4), 167–178. <https://doi.org/10.11648/j.frontiers.20240404.17>
- Jiang, H. J., Underwood, T. C., Bell, J. G., Ranjan, S., Sasselov, D., & Whitesides, G. M. (2021). Mimicking Lighting-Induced Electrochemistry on the Early Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(May), 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas>
- Lubis, K. S., & Amalina, A. N. (2024). Land equivalent ratio and competitive index of intercropping vetiver with soybean and organic mulch application. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1413(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1413/1/012125>
- Madukwe, M. (2012). Journal of Agricultural Extension. *Journal of Agricultural Extension*, 16(1), 47–64.
- Maroneze, M., Zepka, L., Vieira, J., Queiroz, M., & Jacob, E. (2014). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Agua*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Mosallanejad, N., Zarei, M., Ghasemi-Fasaei, R., Shahriari, A. G., Mohkami, A., & Janda, T. (2025). Effect of *Claroideoglomus etunicatum* and Indole-3-acetic Acid on Growth and Biochemical Properties of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*) Under Salinity Stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(7), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ijms26073132>
- Navin, M., Ramakrishnan, T., Balaji, D., & Bhuvaneswari, V. (2025). CRITIC–EDAS Approach for Evaluating Mechanical Properties of Flax/Vetiver/MFF Hybrid Composites. *Polymers*, 17(13), 1–23. <https://doi.org/10.3390/polym17131790>
- Nengah, S., Putu, A., Kadek, W. C., & I Ketut, A. S. (2025). Efektifitas Akar Rumpun Gajah Dan Rumpun Vetiver Terhadap Perilaku Keruntuhan Tanah. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 2(4). <https://doi.org/10.62603/konteks.v2i4.185>

- Neve, S., Sarkar, D., Zhang, Z., & Datta, R. (2025). Sustainable management of copper-contaminated soils using vetiver root biochar. *BMC Chemistry*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s13065-025-01523-0>
- Nguyen, T., Nguyen, Q., Martine, Yu, G., Dinh, V., & Nguyen, T. (2024). Assessing the bioaccumulation and translocation potential of vetiver grass for dioxins phytoremediation in Bien Hoa airbase, Viet Nam. *Vietnam Journal of Science and Technology*, May. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/19478>
- Novita, A., Siregar, L. A. M., & Rosmayati. (2024). Evaluation of Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) ecotype growth on root production in salinity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1413(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1413/1/012033>
- Pandey, A., & Tiwari, S. C. (2023). Diversity and distribution of vetiver grass (*Chrysopogan zizanioides* (L) Roberty) and its manifold uses: A review. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 32(1), 01–13. <https://doi.org/10.25081/josac.2023.v32.i1.8204>
- Rachmat, B. R. (2024). *Jurnal (Kesesuaian Lahan, Tanaman Pangan)*. February. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29537.89445>
- Ravi, K., Board, C. S., & Plants, A. (2025). Discrepancy in essential oil yield & root structure of vetiver across different storage periods. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 33, 242–246. <https://doi.org/10.25081/josac.2024.v33.i2.9541>
- Sabila, G. M., Sephia, C., Karliati, T., Suhaya, Y., & Dungani, R. (2021). Washing and Chopping Pre-treatment Effect of Vetiver Roots on Vetiver Oil Yield and Distillation Time. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 891(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/891/1/012021>
- Sari, R. O., Zain, A., & Pratiwi, D. (2024). Analisis Penggunaan Tanaman Vetiver terhadap Stabilitas Lereng pada Bendungan Way Sekampung. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 24(2), 1376. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v24i2.5040>
- Silva, B., Santos, F. N. dos, Santos, L., Santos, Á., & Júnior, A. (2025). Estabilização De Taludes Com Bioengenharia: Avaliação Do Capim Vetiver Pelo Hyrcan. *Revista Foco*, 18(4), e8164. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v18n4-019>
- Suganya, K., Rizam, R., Anandham, R., Davamani, V., Jayashree, R., Kalaiselvi, P., Balasubramanian, A., Paul Sebastian, S., & Parameswari, E. (2025). Physiological insights into the carbon sequestration potential of vetiver grass in effluent-contaminated soil ecosystems. *Plant Science Today*, 1(2348–1900), 1–8. <https://doi.org/10.14719/pst.6602>
- Tessema, B., Baldock, J. A., Daniel, H., Kristiansen, P., Adimassu, Z., & Wilson, B. (2024). Soil Carbon Fractions under Vetiver Grass in Australia and Ethiopia Relative to other Land Uses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(3), 5680–5695. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01933-4>
- Torres, J. A., Torres, R. J., Peña, J. C., Picón, R. A., Méndez, L., & Calderas, R. J. (2020). Experimental study of root system of vetiver grass subjected to tensile stress. *Informes de La Construcción*, 72(560), 1–8. <https://doi.org/10.3989/ic.70923>

- Zereen, I., Abedin, Z., Rahman, S., & Pandit, D. (2025). Chromium Removal from Tannery Wastewater via a Hydroponic Technique with Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*). *Applied Environmental Research*, 47(1). <https://doi.org/10.35762/AER.2025002>
- Zobeir, H., & Asiabanpour, B. (2024). An Overview of the Agricultural, Industrial, and Economics of Vetiver. *Environment and Natural Resources Research*, 14(2), 17. <https://doi.org/10.5539/enrr.v14n2p17>
- Zobeir, H., & Asiabanpour, B. (2025). Optimizing Vetiver Oil Yield and Quality: A Comprehensive Approach Integrating Traditional and Modern Extraction Techniques. *Journal of Agricultural Science*, 17(5), 55. <https://doi.org/10.5539/jas.v17n5p55>