



SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

2024

CUARTA EDICIÓN

URABÁ

CIENCIA & *Desarrollo*



Apartadó - Antioquia
Colombia
2024

Comité científico

- Harold Castillo Navarro - Ingeniero Pesquero M.Sc. Coordinador de Investigación Escuela de Biología Marina Universidad del Sinú Seccional Cartagena
- Esteban Zarza González - Biólogo Marino M.Sc. en Ciencias del Mar y Limnología, Investigador asociado al grupo GIBEAM Escuela de Biología Marina Universidad del Sinú Seccional Cartagena.
- Osman Josué Perea Castro, Profesional en Psicología, Especialista en Gerencia de Servicios de Salud, Magister en Neuropsicología, Candidato a Doctor en Psicología
- Lizeth Cristina Chatez Ortega - Administradora de Empresas M.Sc. Agronegocios, Auxiliar editorial SENA Rionegro.
- Fernando Navarro Peláez - Biólogo M.Sc. Bosques y Conservación, Consultor ambiental independiente.
- Yamileth Arcos Arango - Bacterióloga y Laboratorista clínico, M.Sc. en Biología, Coordinadora Pregrado Microbiología Industrial y Ambiental en Regiones, Universidad de Antioquia.
- Paola Astrid Ríos Tapias - Bacterióloga y Administradora de Negocios con Especialización en Gestión de la Responsabilidad Social Empresarial. Estudiante de la Maestría en Epidemiología.
- José Patricio Reyes González - Químico, M.SC en Ciencias Químicas.

Comité editorial

- Magda Rocío Millán, Ingeniera Agroforestal, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Estudiante de Doctorado en Medio Ambiente.
- Gestor Editorial: Andrés Felipe Echeverri González. Ecólogo, Magister en Biotecnología.

Equipo de producción (Diagramador y maquetador)

- Oscar Fernando González

Director de la revista

- Harold Eduardo Vélez Castro - Subdirector(e) Complejo Tecnológico Agroindustrial, Pecuario y Turístico.

Líderes del proyecto

- Lizeth Muñoz Villarreal - Dinamizadora SENNOVA.
- Julio César Brunal Jiménez: Líder SENNOVA

Director general

Jorge Eduardo Londoño Ulloa, Dr.
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Director Regional Antioquia

John Albeiro Giraldo Londoño, Mag.
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

Subdirector**Director Revista****Complejo Tecnológico Agroindustrial, Pecuario y Turístico**

Harold Eduardo Vélez Castro, Mag.
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Dinamizador Sennova CTAPT**Editora**

Lizeth Lorena Muñoz Villareal
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Apoyo Editorial

Andrés Echeverry, Mag.
Magda Millán, Mag.
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Diagramación Editorial

Oscar Fernando González
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Revista Urabá Ciencia y Desarrollo

ISSN: 2665-1599 Periodicidad: anual
Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA
Dirección de correspondencia Km 1 vía Turbo Apartadó, Antioquia, Colombia.

Grupo de Investigación, Innovación y Desarrollo para la Subregión del Urabá-ABIBE

Reservados todos los derechos. Prohibida su reproducción parcial o total salvo con fines educativos. El contenido de este documento informativo corresponde a los autores y no implica una posición Institucional del SENA.

PRESENTACIÓN

En el año 2024 el Complejo Tecnológico Agroindustrial, Pecuario y Turístico presenta su cuarta edición de la Revista "Urabá, Ciencia y Desarrollo", en donde instructores, aprendices y personal externo exponen sus diferentes soluciones a problemáticas de su entorno como análisis de metales pesados en suelos, elaboración de productos alimenticios, educación financiera, salud deportiva, evaluación de bioestimulantes en plantas, entre otros. Lo anterior, gracias al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, el cual busca mejorar el desarrollo social y técnico de los trabajadores en las diferentes regiones, a través de formación profesional integral que logra incorporarse con las metas del Gobierno Nacional, por medio del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico -SENNOVA- el cual ejecuta la política de contribución a la Ciencia y Tecnología del País; fortaleciendo capacidades locales en productividad, competitividad, generación de conocimiento y pertinencia de la Formación Profesional Integral impartida en la institución. Con estos sistemas y programas nacionales sumados con la estrategia implementada a nivel local con el grupo de Investigación, Innovación y Desarrollo para la subregión de Urabá -ABIBE- categorizado como "C" ante Miniciencias, se ha potencializando el capital humano del Complejo por medio de sus semilleros de investigación en diferentes áreas tales como salud, bienestar, deportes, turismo, agropecuaria, medio ambiental, biodiversidad, biotecnología, innovación y desarrollo tecnológico, administración, finanzas y logística integral, alcanzando grandes logros en el renglón categorizado como generador de conocimientos en donde se proyecta seminarios, foros, simposios, libros y revistas científicas. Todo esto en pro del conocimiento e investigación que generen propuestas de soluciones a obstáculos o dudas de la comunidad, e incluso hallazgos de nuevas dudas, ideas expuestas por el astrónomo estadounidense, en su escrito:

"Equipado con sus cinco sentidos, el hombre explora el universo que lo rodea y a sus aventuras las llama ciencia."

Urabá es pluriétnica y pluricultural, con gran potencial en diversos renglones económicos como el agrícola, el pecuario, el industrial, el forestal y el turístico, con grandes bondades en fauna silvestre y ecosistemas estratégicos. Además del desarrollo portuario. Esto conlleva a la necesidad de implementar nuevos procesos de desarrollo y conocimiento que de alguna forma aumenten la productividad. Por esta razón, día a día se levantan los instructores y aprendices del SENA con carácter, criterio, perseverancia y motivación para generar nuevos conocimientos.

Harold Eduardo Vélez Castro

Subdirector(E) Complejo tecnológico Agroindustrial, Pecuario y Turístico

URABÁ

CIENCIA & *Desarrollo*



CONTENIDO

• TIEMPOS DE REACCIÓN EN ADULTOS MAYORES COMO INDICADOR DE CONDICIÓN FÍSICA.....	6
• EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA SOBRE EL FACTOR DE TRANSLOCACIÓN DE MERCURIO EN SUELOS CULTIVADOS CON <i>Vigna unguiculata</i> subsp. <i>Sesquipedalis</i> , L	22
• EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN DE CD EN SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO DE DIGESTIÓN ASISTIDO CON MICROONDAS PARA SU DETERMINACIÓN POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	36
• REMOCIÓN DE 2,4-D Y CARBONO ORGÁNICO DISUELTO UTILIZANDO HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL A ESCALA PILOTO.....	46
• EVALUACIÓN DE BIOESTIMULANTES EN VIVERO EN PLÁNTULA DE AJÍ (CAPSICUM ANNUUM) EN LA SUBREGIÓN DE URABÁ.....	51
• ELABORACIÓN DE HARINA POR MEDIO DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA CASCARA, RESIDUO GENERADO DE LA COSECHA Y POSTCOSECHA EN EL CULTIVO DE MARACUYÁ AMARILLO (PASSIFLORA EDULIS F. FLAVICARPA) EN LA SUBREGIÓN DEL URABÁ ANTIOQUEÑO.....	59
• MONEY MISMANAGEMENT BY TEENAGERS AND YOUNG PEOPLE AT SENA CTAPT.....	68
• CAMBIOS SOBRE LA BIODISPONIBILIDAD DE CADMIO EN SUELOS SOMETIDOS A FITORREMEDIACIÓN CON LA ESPECIE VEGETAL <i>Paspalum fasciculatum</i>	76



Jhonny Andres Bonilla-Henao 1; Javier Orlando-Peralta; Wilson Urrutia Mosquera; Leidy Daniela Garces Gómez; Yeni Yulieth Flórez Payares.

Jonny Andrés Bonilla-Henao, Complejo Tecnológico Agroindustrial Pecuario y Turístico – SENA. Apartadó – Antioquia. Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación– Sennova. Grupo de Investigación ABIBE. Semillero SISCAFED, E-mail: bonilla.inval@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1040-778X>

Resumen

El proceso de envejecimiento, particularmente después de los 50 años, está asociado con una pérdida significativa de masa corporal magra y función muscular, lo que contribuye a la sarcopenia, afectando así la capacidad para realizar tareas básicas como levantarse, subir escaleras o caminar. Este estudio explora la relación entre la condición física y los tiempos de reacción sensorial en adultos mayores activos, enfocándose en variables como la fuerza de agarre, la escala de fragilidad FTS-5 y el equilibrio, donde el objetivo fue evaluar los tiempos de reacción ante estímulos visuales, auditivos y mixtos, junto con las pruebas de fuerza de agarre, fragilidad y equilibrio, en 39 adultos mayores activos del municipio de Apartado, Colombia, cuyas edades oscilan entre 57 y 86 años.

El método incluyó pruebas de normalidad, análisis de homogeneidad de varianzas y análisis no paramétricos debido a la distribución no normal de

los datos. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman para identificar asociaciones significativas entre las variables claves. Los resultados mostraron diferencias significativas en los tiempos de reacción sensorial ópticos ($p=0,033$) y acústicos ($p=0,005$), con promedios más altos en los adultos mayores frágiles (1,09 s y 1,07 s, respectivamente) frente a los adultos mayores no frágiles (0,77 s y 0,76 s, respectivamente). Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que vinculan la fragilidad con el declive en la capacidad funcional y sensorial.

Este estudio refuerza la idea de que la fragilidad está estrechamente relacionada con los tiempos de reacción sensorial, lo que subraya el impacto del deterioro neuromuscular en el envejecimiento.

Los resultados resaltan la importancia de la actividad físicas que apunten a mejorar la condición física y los tiempos de reacción para prevenir los efectos adversos de la fragilidad en los adultos mayores.

TIEMPOS DE REACCIÓN EN ADULTOS MAYORES COMO INDICADOR DE CONDICIÓN FÍSICA

Palabras clave: Tiempo de reacción, Fragilidad, Condición física, Adultos mayores, Sarcopenia, Fuerza de agarre.

Abstract

The aging process, particularly after the age of 50, is associated with a significant loss of lean body mass and muscle function, contributing to sarcopenia. This condition adversely affects the ability to perform basic tasks such as standing up, climbing stairs, or walking. This study explores the relationship between physical fitness and sensory reaction times in active older adults, focusing on variables such as grip strength, the FTS-5 frailty scale, and balance. The objective was to evaluate reaction times to visual, auditory, and mixed stimuli, alongside tests for grip strength, frailty, and balance, in a sample of 39 active older adults from the municipality of Apartado, Colombia, aged between 57 and 86 years.

The methodology included normality tests, variance homogeneity analyses, and non-parametric tests due to the non-normal distribution of the data. Spearman's correlation coefficient was applied to identify significant associations among key variables. The results revealed significant differences in sensory reaction times for visual ($p=0.033$) and auditory ($p=0.005$) stimuli, with higher averages observed in frail individuals (1.09 s and 1.07 s, respectively) compared to non-frail participants (0.77 s and 0.76 s, respectively). These findings align with previous studies linking frailty to declines in functional and sensory capacity.

This study reinforces the notion that frailty is closely associated with sensory reaction times, highlighting the impact of neuromuscular deterioration in aging. The results emphasize the importance of physical activities aimed at improving physical fitness and reaction times to mitigate the adverse effects of frailty in older adults.

Keywords: Reaction time, Frailty, Physical condition, older adults, Sarcopenia, Grip strength.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) describe el "envejecimiento saludable" como el desarrollo y mantenimiento de habilidades funcionales que garantizan el bienestar en la etapa de la vejez (WHO, 2013). Además, enfatiza que los sistemas de salud deben enfocarse en fomentar y preservar dichas capacidades funcionales como una prioridad, estas capacidades funcionales comprenden los atributos relacionados con la salud que permiten a las personas ser y hacer aquello que más valoran (WHO, 2015), y depende de: (1) la capacidad intrínseca del individuo: conjunto de todas las capacidades físicas y mentales. Por ejemplo: fuerza muscular y memoria cognitiva; (2) el ambiente: factores extrínsecos del mundo que forman parte del contexto y la vida del individuo. Por ejemplo: barreras físicas en el domicilio o la disponibilidad de asistencia por parte de familiares; y (3) la interacción entre los dos anteriores.

De acuerdo con lo anterior, el deterioro en una estructura o función corporal (capacidad intrínseca) puede derivar en limitaciones para realizar actividades cotidianas (capacidad funcional) y, eventualmente, en fragilidad y discapacidad (WHO, 2013). Actualmente, se estima que 1 de cada 10 adultos mayores presenta fragilidad, mientras que 1 de cada 3 se encuentra en estado de pre-fragilidad (Collard et al., 2012). La fragilidad está asociada con un mayor riesgo de caídas, hospitalización, institucionalización y mortalidad, siendo considerada un precursor de la discapacidad (Clegg et al., 2013; García García et al., 2014; Cesari et al., 2016).

La realización de actividad física (AF) impacta de manera positiva en la salud de las personas en múltiples dimensiones, incluyendo la física, psicológica y socioafectiva. En cuanto al aspecto físico, USDHHS (2008) ha evidenciado que esta práctica contribuye al fortalecimiento y aumento de la masa muscular, además de preservar las capacidades funcionales, mejorar el equilibrio y disminución de la fragilidad.

Estos beneficios se reflejan en una condición física más favorable para los adultos mayores que llevan un estilo de vida activo, aunque de acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor del 75% de los habitantes de América Latina llevan un estilo de vida sedentario (Armando & Consuelo, 2012). En los adultos, los niveles de actividad física son notablemente bajos, y diversas investigaciones en países de la región revelan una disminución en la participación en actividades físicas conforme aumenta la edad (Jacoby, Bull, & Neiman, 2004).

Desarrollo

En Colombia, las cifras relacionadas con el sedentarismo son comparables a las de otros países. Según el estudio nacional sobre factores de riesgo de enfermedades crónicas, el 52 % de la población no realiza actividad física, mientras que únicamente el 35 % de los encuestados lleva a cabo actividad física al menos una vez por semana. Por su parte, solo el 21,2 % practica ejercicio regularmente al menos tres veces por semana (Vidarte-Claros et al., 2012). Esta inactividad física conlleva un deterioro de la composición corporal en el adulto mayor, el cual a partir de los 50 años se considera el período más significativo de pérdida de masa corporal magra, con una pérdida del 1-2% por año (Keller & Engelhardt, 2013) y a medida que avanza la edad se ven más afectados por los efectos de la influencia de la sarcopenia y en combinación con la incapacidad de transmitir impulsos nerviosos debido al deterioro de la masa muscular, esto puede reducir la funcionalidad de una persona, dificultándole la realización de tareas básicas como levantarse de una silla, subir escaleras, restaurar la postura después de un trastorno del equilibrio o incluso caminar a una velocidad normal (Lang et al., 2009).

Además, el tiempo de reacción se ve seriamente afectado en la vejez (Hagger Johnson et al., 2014) restringiendo la capacidad de reaccionar ante una pérdida de equilibrio, siendo esta variable un indicador crucial de la habilidad de los adultos mayores para llevar a cabo sus actividades diarias, también siendo considerado el tiempo de reacción como un importante indicador de riesgo de mortalidad (Batty et al., 2009). Por esto se considera necesario evaluar la capacidad del tiempo de reacción ante un estímulo óptico, auditivo y mixto en los adultos mayores que participan en programas de actividad física en el municipio de Apartado y así poder determinar los tiempos de reacción en una muestra de esta población, los cuales son activos físicamente y establecer percentiles que den de cuenta indicadores de condición física según sus tiempos de reacción para establecer la influencia que ha tenido la actividad física que practican y la cual es vital para frenar el descenso de capacidades funcionales, muy especialmente si hablamos de adultos mayores (Batty et al., 2009).





Metodología

• Diseño

La investigación realizada fue de tipo descriptivo de corte transversal, en el que el muestreo se dio de tipo no probabilístico e intencional, ya que el objetivo era elegir a personas con una edad y un nivel de actividad físicas determinadas. La población adulta mayor serán 39 personas pertenecientes a los programas activos y saludables del instituto municipal de deportes IMDER del municipio de Apartado, donde los criterios de inclusión de la muestra fueron ser hombre o mujer

mayor de 50 años y tener un índice de Barthel (medida de grado de dependencia) igual o superior a 90% (Solís et al., 2005).

• Protocolo e Instrumentos de recolección de información

Los Tiempos de reacción se tomaron mediante el Sistema foto-óptico el cual es una plataforma de infrarrojos Optogait (Microgate, Bolzano, Italia) que mide los tiempos de reacción a un estímulo óptico o acústico los cuales fueron evaluados de la siguiente manera:

“Impulso óptico”: en la pantalla del PC, un círculo rojo se vuelve verde tras un tiempo de duración casual; el usuario que estará en bipedestación tiene que reaccionar a ese impulso sacando su pierna dominante del espacio de medición.

“Impulso acústico”: el estímulo de reacción es un sonido emitido por el PC (a través de altavoz interno o tarjeta de sonido) después de un tiempo al azar el usuario que estará en bipedestación y tiene que reaccionar a ese impulso sacando su pierna dominante del espacio de medición.

“Impulso óptico-acústico”: se alternan, de forma casual, los impulsos ópticos (círculo rojo/verde) y acústicos (pitidos del PC) en el cual el usuario que estará en bipedestación tiene que reaccionar a ese impulso sacando su pierna dominante del espacio de medición.

Dinamómetro de presión: Para la medida de la fuerza isométrica del brazo, se ha utilizado un dinamómetro manual adaptable Camry cap. 90 kg con precisión de .1 Kg.

Prueba de equilibrio estático OLS 10-s: El participante se para sobre una pierna (izquierda o derecha, a su elección). El equilibrio estático se evalúa como la capacidad

SEDENTARISMO

URABÁ CIENCIA Y DESARROLLO

de completar 10 segundos en esta posición. El pie de la otra pierna se coloca detrás de la pierna de apoyo y se pide a los participantes que mantengan los brazos relajados junto a sus cuerpos y que fijaran la mirada en un punto específico a la altura de los ojos a una distancia de 2 metros. Se permite un máximo de tres intentos (Araujo et al., 2022).

• Escala de rasgos de fragilidad FTS-5

La escala mide la fragilidad a través de un perfil de fragilidad que incluye 5 ítems, y ha demostrado buena capacidad para predecir el riesgo de eventos adversos en personas mayores, (García-García et al. 2014) y se aplicara a través de la app Power frail la cual permite el seguimiento de las trayectorias de fragilidad entre los adultos mayores con mayor sensibilidad (Alcázar et al. 2021).

1) *Índice de Masa Corporal (IMC)*: Se asigna una puntuación de 0 a 10 según el grado de desnutrición o sobrepeso. IMC normal no recibe puntaje.

2) *Tiempo de Marcha*: Se mide el tiempo para recorrer tres metros a paso normal; más tiempo significa mayor puntaje.

3) *Fuerza de Agarre*: Evaluada con un dinamómetro de mano, ajustada por género; mayor fuerza resulta en menor puntaje.

4) *Test de Romberg Progresivo*: Se evalúa el equilibrio con pruebas graduales; menos avance implica mayor puntaje.

5) *Encuesta PASE (Physical Activity Scale for the Elderly)*: Contiene 9 ítems sobre actividad física. Los primeros 6 ítems combinan puntajes de dos partes, los ítems 7 a 9.d son preguntas de "sí" o "no". El ítem 10 considera el tiempo semanal dedicado a trabajo o voluntariado.

Método Estadístico

El presente estudio se llevó a cabo con una muestra de 39 adultos mayores, cuyas edades oscilaron entre los 57 y 86 años. El análisis se centró en variables relevantes como edad, estatura, masa corporal, índice de masa corporal (IMC), presión manual, equilibrio, fragilidad y tiempos de contacto (óptico, acústico y mixto), considerando las diferencias por sexo, estrato socioeconómico y nivel de fragilidad, además

de explorar correlaciones entre estas variables clave. Inicialmente, se realizaron pruebas de normalidad utilizando Kolmogorov-Smirnov, teniendo en cuenta el tamaño muestra. Además, la prueba de Levene se implementó para verificar la homogeneidad de las variaciones. Los resultados indicaron que la mayoría de las variables no presentaban una distribución normal, y las varianzas no eran homogéneas, lo que justificó la aplicación de análisis no paramétricos. Se elaboraron tres tablas descriptivas para caracterizar las variables según los grupos de interés: sexo, estrato socioeconómico y nivel de fragilidad. En cada tabla se calcularon estadísticas descriptivas, incluyendo media, desviación estándar, valores mínimo y máximo. Para la comparación de grupos, se utilizó la prueba de Mann-Whitney U en el caso de dos categorías (sexo y nivel de fragilidad) y la prueba de Kruskal-Wallis para múltiples categorías (estrato socioeconómico).

El análisis de evaluación mediante el coeficiente de Spearman permitió identificar asociaciones significativas entre variables clave. Además, se calcularon los percentiles $P_5, P_{10}, P_{25}, P_{50}, P_{75}, P_{90}$ y P_{95} para las variables de equilibrio, presión manual, fragilidad y tiempos de contacto (óptico, acústico y mixto).



Resultados

Tabla 1. Estadísticos descriptivos teniendo en cuenta el sexo de los participantes

Característica	Femenino (n=35)	95% IC (inf, sup)	Masculino (n=4)	95% IC (inf, sup)	p valor
Edad (años)	69,40 (8,5)	57 - 86	69,50 (5,1)	63 - 75	0,265
Masa corporal (kg)	63,48 (12,1)	45 - 95	79,50 (23,8)	60 - 113	0,13
Estatura (cm)	1,57 (0,06)	1,42 - 1,74	169,0 (0,1)	1,54 - 1,82	0,086
IMC (kg·m ⁻²)	25,62 (3,6)	18,49 - 35,82	27,61 (6,7)	23,8 - 37,7	0,079
Presión Manual	19,28 (4,2)	11,0 - 27,0	33,75 (5,3)	28,0 - 40,0	0,114
Equilibrio	5,26 (3,6)	0 - 10	2,75 (2,5)	0 - 6	0,572
Fragilidad	15,92 (6,9)	abr-35	16,75 (4,1)	11 - 20	0,289
Tiempo de contacto Óptica	0,79 (0,23)	0,55 - 1,44	0,91 (0,27)	0,54 - 1,21	0,927
Tiempo de contacto Visual	0,80 (0,21)	0,57 - 1,65	0,70 (0,09)	0,57 - 0,80	0,369
Tiempo de contacto Mixta	0,84 (0,23)	0,54 - 1,51	0,83 (0,28)	0,58 - 1,17	0,464

La población evaluada en este estudio presentó una media de edad de 69,41 años, con una desviación estándar de 8,20 años, lo que refleja una muestra homogénea de adultos mayores. Aunque los hombres tuvieron una edad promedio ligeramente superior (69,50 años) en comparación con las mujeres (69,40 años), esta diferencia no resultó estadísticamente significativa ($p=0,265$). En cuanto a la estatura, se observará una tendencia hacia valores mayores en los hombres (1,69 m frente a 1,57 m en mujeres), pero dicha diferencia tampoco alcanzó significancia estadística ($p=0,13$). De manera similar, la masa corporal mostró una marcada diferencia entre géneros, con un promedio de 79,50 kg en hombres y 63,49 kg en mujeres. No obstante, esta diferencia carece de significancia ($p=0,086$), posiblemente debido a la variabilidad dentro de los grupos. El índice de masa corporal (IMC) también presentó una diferencia notable, con un promedio de 27,61 en hombres frente a 25,63 en mujeres, pero sin alcanzar significancia estadística ($p=0,079$).

En términos de condición física, la fuerza de presión manual mostró diferencias destacables, siendo superior en hombres (33,75 kg) en comparación con mujeres (19,28 kg).

Sin embargo, esta diferencia, aunque considerable en valores absolutos, no fue significativa ($p=0,114$), lo que sugiere una alta variabilidad individual en ambas subpoblaciones. El equilibrio del usuario, evaluado como un componente funcional clave, mostró un desempeño ligeramente mejor en mujeres, quienes obtuvieron un promedio de 5,26 frente a 2,75 en los hombres.

A pesar de esta diferencia en las medias, el análisis estadístico no reflejó significancia ($p=0,572$). En cuanto a la fragilidad, medida numéricamente, los hombres presentaron una media de 16,75, mientras que las mujeres registraron 15,93. Al igual que las variables previas, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p=0,289$).

Los tiempos de contacto sensorial, evaluaciones bajo señales ópticas, acústicas y mixtas, mostraron resultados similares entre géneros. En la señal óptica, los hombres registraron un tiempo promedio de 0,91 segundos, mientras que las mujeres obtuvieron 0,80 segundos, sin significancia estadística ($p=0,927$). De manera análoga, los tiempos de contacto acústico fueron de 0,71 segundos en hombres y 0,81 segundos en mujeres, nuevamente sin significancia ($p=0,369$).

Finalmente, en la señal mixta, los tiempos promedio fueron prácticamente idénticos, con 0,83 segundos en hombres y 0,84 segundos en mujeres, sin diferencias significativas ($p=0,464$).

En general, los resultados no evidencian diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres en las variables analizadas, aunque se observan tendencias que podrían ser relevantes en un contexto clínico o funcional. La proporción limitada de hombres en la muestra ($n = 4$) frente a mujeres ($n = 35$) representa una limitación importante para la detección de diferencias significativas, lo que sugiere la necesidad de ampliar y equilibrar el tamaño muestral en futuros estudios.

Este análisis inicial proporciona una base para continuar explorando patrones en la funcionalidad y condición física en adultos mayores, con énfasis en la evaluación de las relaciones entre variables y su potencial impacto en la calidad de vida.

Característica	Frágil (n=5)	95% IC (inf, sup)	No Frágil (n=34)	95% IC (inf, sup)	p valor
Edad (años)	79,60 (7,02)	68 – 86	69,50 (5,1)	63 – 75	0,265
Masa corporal (kg)	62,00 (6,48)	57 – 72	79,50 (23,8)	60 – 113	0,13
Estatura (cm)	1,52 (0,048)	1,47 – 1,60	169,0 (0,1)	1,54 – 1,82	0,086
IMC ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	26,52 (3,13)	24,03 – 32,00	27,61 (6,7)	23,8- 37,7	0,079
Presión Manual	15,00 (2,73)	12 – 17	33,75 (5,3)	28,0 – 40,0	0,114
Equilibrio	3,40 (4,09)	0 – 10	2,75 (2,5)	0 – 6	0,572
Fragilidad	25,30 (10,80)	7 – 35	16,75 (4,1)	11 – 20	0,289
Tiempo de contacto Óptica	1,09 (0,34)	0,65 – 1,44	0,91 (0,27)	0,54 – 1,21	0,927
Tiempo de contacto Visual	1,06 (0,36)	0,71 – 1,65	0,70 (0,09)	0,57 – 0,80	0,369
Tiempo de contacto Mixta	1,12 (0,32)	0,65 – 1,51	0,83 (0,28)	0,58 – 1,17	0,464



El análisis estadístico realizado evidencia diferencias importantes entre los adultos mayores clasificados como frágiles y no frágiles en variables relacionadas con la condición física y tiempos de reacción. En cuanto a la edad, los adultos mayores frágiles presentan una media de 79,6 años, notablemente superior a la de los no frágiles (67,91 años). Sin embargo, esta diferencia no resulta estadísticamente significativa ($p=0,686$), probablemente debido al reducido tamaño del grupo frágil ($n=5$). De manera similar, aunque se observan menores promedios en la estatura de los frágiles (1,526 m) frente a los no frágiles (1,593 m), y en la masa corporal (62,00 kg frente a 65,59 kg), estas diferencias tampoco alcanzan significancia estadística ($p=0,390$ y $p=0,212$, respectivamente). En relación con el índice de masa corporal (IMC), no se identificaron diferencias significativas entre los grupos ($p=0,565$).

En el análisis del desempeño funcional, la fuerza de presión manual fue mayor en el grupo no frágil (21,62 kg) en comparación con el grupo frágil (15,00 kg), pero sin alcanzar significancia estadística ($p=0,285$). Este hallazgo, aunque no significativo, podría tener implicaciones clínicas, ya que refleja una posible disminución de la fuerza en los individuos frágiles. En términos de equilibrio, los no frágiles obtuvieron un promedio de 5,24 frente a 3,40 en los frágiles, pero esta diferencia también carece de significancia estadística ($p=0,862$). No obstante, el análisis del resultado numérico de fragilidad evidenció una diferencia estadísticamente significativa ($p=0,041$), con un promedio de 25,30 en los frágiles frente a 14,65 en los no frágiles, lo que respalda la utilidad de esta medida para discriminar entre los grupos. En cuanto a los tiempos de contacto, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las señales ópticas ($p=0,033$) y acústicas ($p=0,005$), con tiempos promedio más altos en los frágiles (1,09 s y 1,07 s, respectivamente) en comparación con los no frágiles (0,77 s y 0,76 s, respectivamente). Estos resultados sugieren un retraso en los tiempos de reacción sensorial en los adultos mayores frágiles, lo cual podría estar asociado a un deterioro en los procesos neuromusculares o cognitivos. Para la señal mixta, aunque los frágiles también mostraron tiempos mayores (1,12 s frente a 0,80 s en los no frágiles), la diferencia no fue significativa ($p=0,200$).

Característica	Muy Bajo Nivel (n=10)	95% IC (inf, sup)	Bajo Nivel (n=19)	95% IC (inf, sup)	Medio Bajo Nivel (n=10)	95% IC (inf, sup)	p valor
Edad (años)	69,60 (6,85)	57 – 82	66,89 (8,77)	57 – 86	74,00 (6,79)	65 – 84	0,325
Masa corporal (kg)	69,50 (20,82)	49 – 113	65,00 (12,59)	48 – 94	61,00 (7,58)	45 – 71	0,325
Estatura (cm)	1,62 (0,10)	1,50 – 1,82	1,56 (0,07)	1,42 – 1,65	1,59 (0,03)	1,54 – 1,65	0,107
IMC ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	26,24 (4,98)	21,6 – 37,7	26,51 (3,84)	21,0 – 35,8	24,12 (2,87)	18,4 – 27,3	0,434
Presión Manual	26,70 (7,07)	18 – 40	19,52 (4,64)	12 – 27	17,19 (3,58)	11 – 24	0,137
Equilibrio	4,50 (3,30)	0 -10	6,11 (3,84)	0 -10	3,40 (2,71)	0 -10	0,197
Fragilidad	14,45 (4,80)	7 – 20	16,05 (7,70)	4 – 35	17,50 (6,51)	7 – 31	0,342
Tiempo de contacto Óptica	0,91 (0,23)	0,54 – 1,29	0,77 (0,21)	0,55 – 1,42	0,76 (0,25)	0,57 – 1,44	0,726
Tiempo de contacto Visual	0,79 (0,19)	0,57 – 1,20	0,83 – 0,26	0,57 – 1,65	0,73 (0,07)	0,60 – 0,83	0,472
Tiempo de contacto Mixta	0,86 (0,19)	0,58 – 1,17	0,84 (0,26)	0,54 – 1,51	0,83 (0,24)	0,59 – 1,33	0,491

El análisis por estrato socioeconómico permitió identificar tendencias en variables demográficas, antropométricas y de desempeño funcional, aunque ninguna de las diferencias observadas alcanzó significancia estadística. En términos de edad, el estrato Medio Bajo Nivel presentó el promedio más alto con 74,0 años, mientras que el Bajo Nivel tuvo la media más baja con 66,90 años ($p=0,325$). Este resultado sugiere una posible variabilidad en la distribución etaria según el estrato, aunque la ausencia de significancia limita las inferencias generales. Respecto a la estatura, los individuos del Muy Bajo Nivel mostraron la mayor media (1,626 m), en contraste con el Bajo Nivel (1,561 m); sin embargo, las diferencias entre los grupos no fueron significativas ($p=0,136$). Del mismo modo, en cuanto a la masa corporal, el estrato Muy Bajo Nivel presentó el mayor promedio (69,5 kg), mientras que el Medio Bajo Nivel tuvo el menor (61,0 kg), sin que estas diferencias alcancen significancia estadística ($p=0,107$). En el índice de masa corporal (IMC), las medias oscilaron entre 24,12 (Medio Bajo Nivel) y 26,51 (Bajo Nivel), sin evidencia de significancia estadística ($p=0,434$).

En el desempeño funcional, se observó que la fuerza de presión manual fue mayor en el estrato Muy Bajo Nivel (26,7 kg) y más baja en el Medio Bajo Nivel (17,2 kg). Aunque esta diferencia podría reflejar disparidades en la fuerza física, no fue estadísticamente significativa ($p=0,137$). De manera similar, el equilibrio mostró mejores resultados en el estrato Bajo Nivel (6,11 puntos), pero nuevamente, sin significancia estadística ($p=0,197$). Estos hallazgos podrían ser clínicamente relevantes, ya que las diferencias en estas variables funcionales podrían asociarse con las demandas laborales o actividades físicas históricas de cada estrato, aunque no se evidenció robustez estadística en esta muestra.

En términos de fragilidad, el resultado numérico promedio fue más alto en el estrato Medio Bajo Nivel (17,5), mientras que el Muy Bajo Nivel mostró los valores más bajos (14,45). Aunque esta tendencia apunta a una mayor vulnerabilidad física en el estrato Medio Bajo Nivel, las diferencias no fueron significativas ($p=0,342$). En relación con los tiempos de contacto sensorial, los promedios fueron ligeramente más altos en el Muy Bajo Nivel para las señales óptica (0,91 s), acústica (0,79 s) y mixta (0,86 s), en comparación con los demás estratos. Sin embargo, ninguno de estos resultados alcanzó significancia estadística ($p>0,472$), lo que sugiere que los tiempos de reacción sensorial no varían de manera sustancial según el estrato socioeconómico.

Tabla 4. Percentiles de los tiempos de reacción y los niveles de fragilidad de los participantes

TIEMPO DE REACCIÓN					FRAGILIDAD		
Percentiles							
		TCA	TCO	TCM	EU	PM	FG
	5	1,229	1,425	1,229	0	12	31
	10	1,171	1,211	1,171	0	13	26
	25	0,803	0,932	0,803	2	17	19,5
	50	0,756	0,74	0,756	4	20	16,5
	75	0,671	0,642	0,671	10	24	11
	90	0,635	0,571	0,635	10	28	7
	95	0,579	0,55	0,579	10	36	7

TRA: Tiempo de contacto acústico, **TCO:** Tiempo de contacto óptico, **TCM:** Tiempo de contacto mixto,
EU: Equilibrio del usuario, **PM:** Presión Manual, **FG:** Fragilidad



Los análisis descriptivos de las variables fragilidad, equilibrio, presión manual (PM) y los tiempos de reacción (óptico (O), acústico (A) y mixto (M)), en función de los percentiles suministrados permitieron identificar patrones, valores extremos y clasificaciones de la población en estudio. Los tiempos de reacción son indicadores clave de la velocidad de respuesta neuromuscular, particularmente relevantes en la prevención de caídas y accidentes. Los tiempos de reacción óptica (O), Percentiles altos (1.229 en el percentil 5) reflejan tiempos prolongados, indicando respuestas más lentas, en este percentil identificamos alrededor del 5% de la población estudiada. En el percentil 50, el tiempo de reacción óptica es de 0,74, reflejando un desempeño promedio, en donde identificamos el mayor número de sujetos con un 25%. Valores bajos (percentil 90: 0.579) muestran tiempos de reacción rápidos, representando sujetos con buen desempeño neuromuscular.

Tiempos de reacción acústica (A), Los valores en percentiles altos (1.425 en el percentil 5) son también los más prolongados, con un 5% de la población estudiada. El tiempo promedio (percentil 50: 0,756) indica una distribución similar al óptico, con un valor porcentual igual al 25% con una mejora significativa en el percentil 90 (0,635). Tiempos de reacción mixta (M), al integrar estímulos Múltiples, los valores son similares a los anteriores, con tiempos más largos en los extremos superiores (percentil 5: 1.229) y tiempos óptimos en el percentil 90 (0.579). Los tiempos de reacción muestran una amplia dispersión, con un 25% de la población reflejando velocidades de reacción por debajo del promedio, lo cual puede afectar negativamente la funcionalidad. Los tiempos más rápidos se asocian a mayor condición física y mejor conectividad neuromuscular.

EQUILIBRIO...

El equilibrio se distribuye ampliamente, indicando variabilidad en las habilidades de estabilidad postural. Percentil 5 y 10, con valores de 0 y 0, una minoría significativa de los sujetos (10%) presenta un equilibrio prácticamente nulo, lo cual puede relacionarse con dificultades severas en la estabilidad. Percentil 25, con un valor de 2, se observa un incremento leve en la capacidad de equilibrio, aunque aún en niveles bajos. Percentil 50 (mediana), un valor de 4 refleja una capacidad de equilibrio moderada en la población. Percentil 75 y 90, Con valores de 10 en ambos percentiles, un porcentaje importante de los sujetos tiene habilidades de equilibrio destacadas. La distribución bimodal podría reflejar diferencias notables entre grupos subpoblacionales (p. ej., sujetos sedentarios vs. esencialmente activos). El equilibrio es clave para evitar caídas y su mejora es prioritaria en programas de intervención.

La fuerza de presión manual, medida en kilogramos, es un indicador relevante de fuerza general y funcionalidad. Percentil 5 y 10, con valores de 12 y 13 kg, respectivamente, estos sujetos tienen una fuerza manual baja, posiblemente reflejando sarcopenia u otras limitaciones musculares. Percentil 25, un valor de 17 kg indica un rango ligeramente mayor de fuerza, aunque aún bajo en comparación con los niveles óptimos. Percentil 50 (mediana), con 20 kg, se observa una fuerza moderada en la población evaluada. Percentil 75 y 90, con 24 y 28 kg, se encuentra un grupo con mayor fuerza, reflejando individuos con buen desarrollo muscular y probablemente una alta actividad física. Los valores sugieren una distribución centrada en niveles moderados de fuerza, con una minoría en los extremos superiores que reflejan buen estado funcional. Las intervenciones focalizadas en fortalecer la fuerza manual serán útiles para la mayoría de los sujetos.

La variable fragilidad, medida en términos de su impacto en el desempeño físico, muestra una clara tendencia de dispersión. Al observar los percentiles Percentil 5 y 10 (fragilidad alta): Valores de 31 y 26, respectivamente, indican que aproximadamente el 10% de los sujetos tienen niveles críticos de fragilidad que podrían estar asociados con mayores riesgos de caídas o incapacidad funcional. Percentil 25 (fragilidad moderada): Un valor de 19.5 refleja un rango medio donde comienza a disminuir la fragilidad, pero aún representa un grupo vulnerable. Percentil 50 (mediana): Con un valor de 16.5, se observa que la mitad de la población se encuentra por debajo de este nivel, lo cual sugiere una fragilidad moderada en promedio. Percentil 75 y 90 (fragilidad baja): Con valores de 11 y 7, se identifica que este grupo tiene un mejor desempeño físico, probablemente vinculado a mayor capacidad funcional y menor vulnerabilidad. La distribución sugiere que la mayoría de la población presenta niveles de fragilidad dentro de un rango moderado (percentil 50), con solo un 10-25% en los extremos superiores que representarían fragilidad baja.



Este estudio tuvo como propósito central examinar las posibles relaciones entre pruebas de condición física en adultos mayores descritas en la literatura como fuerza de presión manual, donde bajos valores son factores de riesgo para la sarcopenia en el adulto mayor (Jiménez-García et al., 2021), escala de rasgos de fragilidad FTS-5 el cual ha demostrado buena capacidad para predecir el riesgo de eventos adversos en personas mayores, García-García et al. (2020) y prueba de equilibrio unipodal por 10 segundos que se asocia de forma independiente con la mortalidad por todas las causas en esta población (Araujo et al., 2022), con tiempos de reacción ante un estímulo óptico, auditivo y mixto en adultos mayores activos ya que se destaca como indicador de la calidad de vida en el envejecimiento (León et al., 2011) y se ha demostrado que la práctica de actividad física mejora los valores de tiempos de reacción (Brooke-Wavell & Cooling, 2009).

La relación estadísticamente significativa de las pruebas de condición física con los tiempos de reacción ante un estímulo óptico ($p=0,927$) acústico ($p=0,369$) y mixta ($p=0,464$) en adultos mayores activos en nuestro estudio no evidenciaron diferencias entre hombres y mujeres en las variables analizadas, pero estudios como los de Burton et al. 2010, nos sugieren que se deberá prestar especial atención a las mujeres, puesto que diversos autores afirman que presentan peores tiempos de reacción que los hombres, lo que incrementa el perfil de riesgo.

A su vez nuestro análisis estadístico realizado a las variables relacionadas con la condición física y los tiempos de reacción entre adultos mayores categorizados como frágiles y no frágiles, revela diferencias significativas donde el análisis de los resultados numéricos de fragilidad mostró una diferencia estadísticamente significativa ($p=0,041$), con un promedio de 25,30 en el grupo de adultos mayores frágiles, en comparación con 14,65 en los no frágiles, lo que confirma la efectividad de esta medida para diferenciar entre ambos grupos y va acorde con los hallazgos de García-García et al. (2014), que destaca la escala de rasgos de fragilidad FTS5 ha mostrado una buena capacidad para predecir el riesgo de eventos adversos en la población de individuos sobre 65 años y en diabéticos, así como una buena sensibilidad para estratificar el rendimiento cognitivo o el estilo de vida sedentario en esta población.

Respecto a los tiempos de contacto el cual es una variable de gran interés dentro de nuestros análisis, se observaron diferencias significativas en las respuestas a estímulos ópticos ($p=0,033$) y acústicos ($p=0,005$), con promedios más altos en los frágiles (1,09 s y 1,07 s, respectivamente) frente a los no frágiles (0,77 s y 0,76 s, respectivamente). Estos hallazgos indican un retraso en los tiempos de reacción sensorial en los adultos mayores frágiles, posiblemente vinculado al deterioro de los procesos neuromusculares y a su vez van acorde con Alegre et al. (2021) el cual analizó el rendimiento físico y la fragilidad en adultos mayores, mostrando que esta última está vinculada a disminuciones en los tiempos de reacción y aunque para la señal mixta los frágiles también mostraron tiempos mayores (1,12 s frente a 0,80 s en los no frágiles), la diferencia no fue significativa ($p=0,200$).

Conclusión

La presente investigación refuerza la evidencia de que la fragilidad y el rendimiento físico en adultos mayores están estrechamente relacionados con los tiempos de reacción a estímulos sensoriales, lo que sugiere un vínculo directo entre la condición física y el deterioro neuromuscular. Los resultados destacan que los adultos mayores clasificados como frágiles presentan tiempos de reacción sensorial significativamente más lentos en comparación con los no frágiles, particularmente frente a estímulos ópticos y acústicos, lo cual concuerda con estudios previos que asocian la fragilidad con un declive en la capacidad funcional y sensorial (Alegre et al., 2021; García-García et al., 2014). Aunque no se encontraron diferencias significativas entre hombres y mujeres en este estudio, investigaciones anteriores han señalado que las mujeres mayores tienden a exhibir tiempos de reacción más prolongados, lo que podría aumentar su riesgo de caídas y eventos adversos (Burton et al., 2010). Este hallazgo subraya la importancia de evaluar de manera específica a las mujeres dentro de esta población. Además, la relación entre la fragilidad y variables como la fuerza de presión manual y la capacidad de equilibrio unipodal resalta la utilidad de estas pruebas para identificar riesgos funcionales y sensoriales, siendo especialmente relevante la escala FTS-5 como herramienta predictiva para estratificar el riesgo de eventos adversos y el deterioro funcional (Jiménez-García et al., 2021; Araujo et al., 2022).



Referencias bibliográficas Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett Jr, D. R., Tudor Locke, C., & Leon, A. S. (2011). Compendium of physical activities: A second update of codes and MET values. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(8), 1575-1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ece12> Al Nayf Mantas, M. R., Párraga Montilla, J., Lozano Aguilera, E., López-García, S., & Moral-García, J. E. (2022). Muscle strength, gait speed, and reaction time in active elderly people. *International Journal of Medicine & Science of Physical Activity & Sport/Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 22(85).

Araujo, C. G., e Silva, C. G. D. S., Laukkanen, J. A., Singh, M. F., Kunutsor, S. K., Myers, J., ... & Castro, C. L. (2022). Successful 10second one-legged stance performance predicts survival in middle-aged and older individuals. *British Journal of Sports Medicine*, 56(17), 975-980. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104080> Armando, V. C. J., & Consuelo, V. Á. (2012). Modelo predictivo de los niveles de sedentarismo en población de 18 a 60 años: Pereira 2011-2012.

<https://repositorio.autonoma.edu.co/handle/1182/428>

Batty, G. D., Shipley, M. J., Dundas, R., Macintyre, S., Der, G., Mortensen, L. H., & Deary, I. J. (2009). Does IQ explain socio economic differentials in total and cardiovascular disease mortality? Comparison with the explanatory power of traditional cardiovascular disease risk factors in the Vietnam Experience Study. *European Heart Journal*, 30(15), 1903-1909.

<https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp254>

Brooke-Wavell, K., & Cooling, V. C. (2009). Fall risk factors in older female lawn bowls players and controls. *Journal of Aging and Physical Activity*, 17(1), 123-130.

Cesari, M., Prince, M., Thiyagarajan, J. A., De Carvalho, I. A., Bernabei, R., Chan, P., ... & Vellas, B. (2016). Frailty: An emerging public health priority. *Journal of the American Medical Directors Association*, 17(3), 188-192.

<https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.02.011>

Clegg, A., Young, J., Iliffe, S., Rikkert, M. O., & Rockwood, K. (2013). Frailty in elderly people. *Lancet*, 381(9868), [https://doi.org/10.1016/S01406736\(12\)62167-9](https://doi.org/10.1016/S01406736(12)62167-9) 752-762. Collard, R. M., Boter, H., Schoevers, R. A., & Oude Voshaar, R. C. (2012). Prevalence of frailty in community-dwelling older persons: A systematic review. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(8), 1487-1492.

<https://doi.org/10.1111/j.1532415.2012.04054.x> García-García, F. J., Carcaillon, L., Fernández-Tresguerres, J., Alfaro, A., Larrion, J. L., Castillo, C., & Rodríguez-Mañas, L. (2014). A new operational definition of frailty: The Frailty Trait Scale. *Journal of the American Medical Directors Association*, 15(5), 371.e7-371.e13. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2014.02.018> Hagger-Johnson, G., Deary, I. J., Davies, C. A., Weiss, A., & Batty, G. D. (2014). Reaction time and mortality from the major causes of death: The NHANES III study. *PLOS ONE*, 9(1), e82959.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082959> Jacoby, E., Bull, F., & Neiman, A. (2004). Actividad física: Una prioridad ante el sedentarismo de la vida actual. Jiménez-García, J. D., Martínez-Amat, A., Hita-Contreras, F., Fábrega-Cuadros, R., Álvarez-Salvago, F., & Aibar-Almazán, A. (2021). Muscle strength and physical performance are associated with reaction time performance in older people. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), <https://doi.org/10.3390/ijerph18115893> Keller, K., & Engelhardt, M. (2013). Strength and muscle mass loss with aging process. *Age and strength loss. Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 3(4), 346-350.

Lang, T., Streeper, T., Cawthon, P., Baldwin, K., Taaffe, D. R., & Harris, T. B. (2010). Sarcopenia: Etiology, clinical consequences, intervention, and assessment. *Osteoporosis International*, 21(4), 543-559.

<https://doi.org/10.1007/s00198-009-1059-y> León, J., Oña, A., Ureña, A., Bilbao, A., & Bolaños, M. J. (2011). Effects of physical activity on reaction time in elderly women. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 11(44), 791-802. Neuffer, P. D., Bamman, M. M., Muoio, D. M., Bouchard, C., Cooper, D. M., Goodpaster, B. H., ... & Laughlin, M. R. (2015). Understanding the cellular and molecular mechanisms of physical activity-induced health benefits. *Cell Metabolism*, 22(1), 4-11.

<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2015.05.011>

Rodríguez-Gómez, I., Mañas, A., Losa-Reyna, J., Alegre, L. M., Rodríguez-Mañas, L., García-García, F. J., & Ara, I. (2021). Relationship between physical performance and frailty syndrome in older adults: The mediating role of physical activity, sedentary time, and body composition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), <https://doi.org/10.3390/ijerph18010203>.

Solís, C. L. B., Arrijoja, S. G., & Manzano, A. O. (2005). Índice de Barthel (IB): Un instrumento esencial para la evaluación funcional y la rehabilitación. *Plasticidad y restauración neurológica*, 4(1-2), 81-85. Vidarte-Claros, J. A., Vélez-Álvarez, C., & Parra-Sánchez, J. H. (2012). Niveles de sedentarismo en población de 18 a 60 años. Manizales, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 14, 417-428.

World Health Organization (WHO). (2013). *How to use the ICF: A practical manual for using the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)*. Geneva, Switzerland: WHO. World Health Organization (WHO). (2015). *World report on ageing and health*. Geneva, Switzerland: WHO.

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MATERIA ORGANICA SOBRE EL FACTOR DE TRANSLOCACIÓN DE MERCURIO EN SUELOS CULTIVADOS CON *Vigna unguiculata subsp. Sesquipedalis*, L

Carlos Alberto Solar Cardozo; Lizeth Muñoz Villarreal; Jesús Alberto Mendoza; Jesús Miguel Sierra; Heydy Rodríguez Castro; Valentina Orozco Peralta

Carlos Alberto Solar Cardozo; Complejo Tecnológico Agroindustrial Pecuario y Turístico – SENA. Apartadó – Antioquia. Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación– Sennova. Grupo de Investigación ABIBE. Laboratorio Agroambiental – Servicios Tecnológicos. E-mail: sasolar@sena.edu.co

Resumen

La contaminación por mercurio es una problemática ambiental que crece cada día de forma imparable y sin un ente controlador. Diferentes actividades antropogénicas, como la minería de oro han generado daños irreparables en los ecosistemas, produciendo así altos grados de contaminación hídrica, terrestre y aérea. En zonas contaminadas, como la región de la Mojana, se han encontrado concentraciones de mercurio en la matriz suelo, lo que causa preocupación debido a que es uno de los caminos para que el mercurio penetre en la cadena alimenticia, concentrándose de manera directa en los alimentos de consumo común por la población afectada. La presente investigación promueve la aplicación de enmiendas, como estrategia para la reducción de la traslocación de mercurio hacia las plantas y la restauración de suelos contaminados. La recolección de muestra de suelo fue en un sector de la región de la Mojana. El contenido de mercurio (Hg) en el suelo fue 1 µg/g. Las enmiendas utilizadas fueron Cal agrícola (Ca (OH)₂), hasta relación de pH 8 en el suelo y materia orgánica (estiércol de burro), en diferentes tratamientos (MO: Suelo; 2:3, 3:2, 1:4,1:9). El ensayo tuvo una duración de 120 días, en los cuales se monitorearon parámetros como porcentaje de humedad, temperatura, fotosíntesis y pH. Además de rasgos fitotóxicos y el factor de traslocación y bioconcentración de la especie. Los resultados obtenidos reflejan que la especie vegetal en estudio posee capacidad tolerante a las concentraciones de Hg. Se presentaron factores de traslocaciones bajos en el tratamiento encalado, debido a la alta capacidad que tuvo para fijar el metal en la raíz, y altos y medios en los tratamientos con materia orgánica.

Palabras claves: Mercurio; Enmienda; traslocación; bioconcentración; Fitotoxicidad

Abstract

Mercury contamination is an environmental problem that grows unstoppably every day and without a controlling entity. Different anthropogenic activities, such as gold mining, have caused irreparable damage to ecosystems, thus producing high levels of water, land and air contamination. In contaminated areas, such as the Mojana region, concentrations of mercury have been found in the soil matrix, which is a cause for concern because it is one of the ways for mercury to penetrate the food chain, directly concentrating in foods commonly consumed by the affected population. This research promotes the application of amendments as a strategy to reduce the translocation of mercury to plants and to restore contaminated soils. The soil sample was collected in a sector of the Mojana region. The mercury (Hg) content in the soil was 1 µg/g. The amendments used were agricultural lime (Ca (OH)₂), up to a pH ratio of 8 in the soil and organic matter (donkey manure), in different treatments



SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

(OM: Soil; 2:3, 3:2, 1:4,1:9). The test lasted 120 days, during which parameters such as humidity percentage, temperature, photosynthesis and pH were monitored. In addition, phytotoxic traits and the translocation and bioconcentration factor of the species were monitored. The results obtained reflect that the plant species under study has the capacity to tolerate Hg concentrations. Low translocation factors were presented in the lime treatment, due to the high capacity it had to fix the metal in the root, and high and medium in the treatments with organic matter.

Keywords: Mercury; Amendment; translocation; bioconcentration; Phytotoxicity

Introducción

En el territorio colombiano la minería de oro es la principal fuente que contribuye a la contaminación de mercurio (Hg), y la región de la Mojana es uno de los escenarios más afectados (Marrugo et al., 2008). El impacto ambiental producto de la amplia variedad de fuentes (antropogénicas y naturales), toxicidad y movilidad de este metal, tienden a aumentar la biomagnificación en los ecosistemas acuáticos y terrestres (Horvat., 2002). Las fuentes hídricas que rodean esta zona reciben gran abastecimiento de contaminantes, principalmente mercurio, proveniente de las instalaciones mineras, causando de este modo la entrada de dicho metal a la cadena trófica. Las constantes inundaciones que se presentan alrededor de toda la región de la Mojana, conciben un contacto directo entre las grandes porciones de agua y el suelo, provocando así la dispersión de contaminantes al mismo. Este hecho es preocupante, debido a que gran parte de la comunidad tiene como principal actividad económica la agricultura, lo que conlleva a una posterior contaminación del producto alimenticio emanado, mediante la posible traslocación que puede tener el mercurio desde el suelo hacia la planta y el fruto.

La contaminación por metales pesados a la que está expuesta la población humana, puede generar diversos efectos tóxicos en su salud, debido a que muchos metales actúan de manera individual o en sinergia, y ocasionan efectos genotóxicos, carcinógenos, hematotóxicos y neurotóxicos, así como en el sistema endocrino, entre otros (Agency For Toxic Substances and Disease Registry., 2000). En este sentido, en virtud de los tratados de libre comercio que se adelantan en el marco de la búsqueda de nuevos mercados para la producción nacional, el país tiene un reto con la trazabilidad de metales tóxicos en productos alimenticios, además el gobierno ha establecido a la región de la Mojana como área estratégica para la producción de los alimentos para el mercado interno y externo, por lo que

establecer zonas seguras para las actividades agrícolas, además de proponer estrategias de remediación o retención para realizar cultivos.

La adición de enmiendas como por ejemplo heces fecales animales o sustancias químicas (Cal) a los suelos contaminados con metales pesados se ha empleado para ayudar a su revegetación y evitar la translocación de estos metales. Las enmiendas orgánicas como el compost maduro, que contienen una alta proporción de materia orgánica humidificada, pueden disminuir la biodisponibilidad de metales pesados en el suelo, lo que permite el restablecimiento de la vegetación en los sitios contaminados y la mejora de la fertilidad, estructura y características del suelo (Williamson y Johnson, 1981, Tordoff et al., 2000). De igual manera, varios componentes en la solución del suelo, tales como hidróxidos y coloides de arcilla, pueden formar complejos con iones metálicos para modificar su actividad, y por lo tanto reducir la carga total de metal en la biota (Sparks, 2003). En este sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos tipos de enmiendas (estiércol de burro, Cal) sobre el factor de translocación de mercurio en suelos cultivados con *Vigna unguiculata* subsp. *Sesquipedalis*, L de la región de la Mojana.

Desarrollo

- Generalidades del mercurio

El mercurio es un elemento ampliamente utilizado en la minería para extraer oro de sedimentos y suelos, produciendo así uno de los principales problemas de contaminación por metales pesados. El mercurio se añade a los suelos que contienen partículas de Oro, formándose una amalgama, la cual es luego quemada, para separar el Oro y liberar los vapores de mercurio. En el proceso de amalgamamiento un exceso de Hg siempre es utilizado. El exceso del metal pesado se pierde como pequeñas gotas y pasa a contaminar los suelos y los ríos (Lacerda y Salomons ,1992). Es un contaminante global significativo debido

a sus propiedades biogeoquímicos y su toxicidad que pueden afectar la salud de las personas y los ecosistemas (US EPA, 1997). Las actividades antropogénicas relacionadas con la industrialización dispersar el mercurio, el mercurio principalmente inorgánico, que puede ser transformado por bacterias a metilmercurio y biomagnifica través de las redes alimentarias acuáticas y terrestres que resulta en problemas de salud humana a través de consumo de pescado y arroz (Clarkson, 1998 y Zhou et al., 2015)

Los efectos tóxicos de Hg son bien conocidos, que consiste principalmente de neurológica, inmune, hematológica y alteraciones renales (NTP, 1993 y de la NRC, 2000), y son dependientes de la dosis, la forma química y vía de exposición. La exposición continua a Hg se lleva a cabo principalmente como resultado de la exposición en el lugar de trabajo, sino que también se han identificado grupos de población expuestos a Hg a través de la dieta, tales como las poblaciones de pesca de subsistencia (Oliveira et al., 2010) y los consumidores frecuentes de determinados productos del mar (EFSA, 2012). De hecho, varias organizaciones han emitido recomendaciones para limitar el consumo de algunos productos del mar en las poblaciones susceptibles (mujeres embarazadas, mujeres lactantes y niños).

- Biotransformación del mercurio

El mercurio es biotransformado, especialmente en el agua de los ríos por microorganismos, e incorporado a las cadenas tróficas como metilmercurio. En la atmósfera, la especie predominante es la de Hg^{2+} , formada a partir de otras especies de mercurio, como el dimetilmercurio, el Hg^0 (el propio Hg metal), en diferentes procesos químicos; mientras que en el agua se biotransforma a metilmercurio. (Dorea, 2008).

Cuando el mercurio se metila pasa de forma inorgánica a orgánicas, como el metilmercurio (CH_3Hg^+) y el dimetilmercurio (CH_3HgCH_3), con características liposolubles y capacidad de acumularse en los organismos (Sauve et al., 2000; Shaban, et al., 2008). Por su sinergia con otras sustancias, es un elemento peligroso y perjudicial, aún en pequeñas cantidades (Chaney et al., 2000). Su toxicidad aumenta al ser ingerido en alimentos de origen animal como el pescado y los mariscos, dado que incrementa su concentración pues éste se biomagnifica en la cadena trófica (Dorea, 2008).

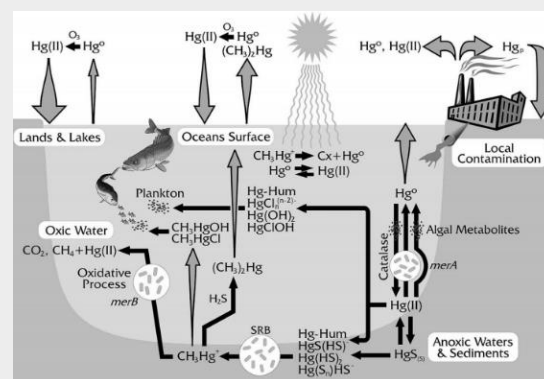


Figura 1. Biotransformación del Hg en el ambiente

- Tecnologías de remediación

El termino tecnología de remediación implica el uso de cualquier operación unitaria o conjunto de ellas, que altere la composición de un contaminante peligroso a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan su toxicidad, movilidad o volumen en la matriz o material contaminado. Las tecnologías de remediación representan una alternativa a la disposición en tierra de residuos peligrosos sin tratamiento y sus posibilidades de éxito, bajo las condiciones específicas de un sitio, pueden variar ampliamente (US EPA 2001).

Metodología

Para este estudio se recolectó una muestra de suelo del corregimiento el Torno Rojo en la región de la Mojana, Sucre. Se almacenó en bolsas plásticas para su preservación y transporte. Se sometió a secado y compactación para disminuir su humedad y su tamaño de grano. Previamente se realizó una caracterización fisicoquímica evaluando parámetros como Textura por el método de Bouyoucos (IGAC 60 Ed, 2006), consistencia por el método de attemberg (IGAC 60 Ed, 2006) y estabilidad estructural utilizando el método de Yoder (IGAC 60 Ed, 2006); de igual manera se realizó un análisis de parámetros fisicoquímicos como pH por el método potenciométrico (NTC 5264) , %H por el método gravimétrico (IGAC 60 Ed, 2006) , materia orgánica por el método de Walkley-Black(NTC 5403). La cuantificación de Hg se realizó aproximadamente 0,1 g de muestra sin ningún tratamiento previo usando un analizador de mercurio elemental (DMA-80, Milestone Instruments). (Anexo 1)

La concentración de Hg en la muestra de suelo fue inicialmente de (0.3 µg/g). Sin embargo, para simular escenarios a nivel de Colombia en donde la concentración de mercurio en diferentes tipos de suelo es superior a las concentraciones encontradas en la región de la Mojana, se llevó el suelo recolectado hasta una concentración de 1 µg/g de Hg utilizando un estándar de nitrato de mercurio HgNO₃.

- Preparación de la enmienda con estiércol de burro

La recolección del estiércol se realizó en una finca cercana del municipio de Cereté. Posterior a la recolección se realizó un lavado con agua potable, secado a temperatura ambiente y tamizado a un tamaño de poro de 2 mm.

Montaje e implementación

Se utilizaron unidades experimentales (Balde plásticos) bajo tres (2) tratamientos (Suelo Testigo (T0), El tratamiento suelo – Cal (T1) se realizó a pH: 8 para todos los ensayos. Suelo – estiércol). El tratamiento suelo – estiércol se realizó bajo diferentes relaciones estiércol: suelo (3:2; 2:3; 1:4; 1:9, T2, T3, T4 y T5 respectivamente). Todos los ensayos se hicieron por triplicado (anexo 2). En cada tratamiento se llevó a cabo siembra de la especie *Vigna unguiculata* subsp. *Sesquipedalis*, L (Habichuela larga). Los rasgos fitotóxicos, la temperatura, la humedad, altura, concentración de Hg en tejidos y suelos para los diferentes tratamientos se determinaron a lo largo del ensayo en función del tiempo (120 días).

- Análisis estadístico

Los datos de concentración de Hg en las partes de la planta se presentan como la media más la desviación estándar de las determinaciones por triplicado. Se realizó ANOVA de una vía para comparar las medias de los diferentes tratamientos. Las comparaciones múltiples se realizaron mediante la prueba de Dunnett. Todos los análisis estadísticos se realizaron con una significancia en $p < 0.05$ utilizando el paquete estadístico StatSoft Statistica versión 10 para Windows.

- Índice de riesgo

El índice de riesgo (HRI) se refiere a la relación entre la ingesta diaria de metales (DIM) en los cultivos de alimentos respecto a la dosis oral de referencia (DR). Para estimar el riesgo para la salud crónica se hace uso de la siguiente ecuación: $HRI = DIM / DR$

Donde DIM es la ingesta diaria promedio de metales, la cual es la relación entre la concentración de metal en la planta por cultivo [Hg] (µg/g), el factor de conversión específico para alimentos $C = .085$, la ingesta diaria promedio de alimentos D, y el peso promedio corporal BW. Se expresa con la ecuación:

$$DIM = ([Hg] * C * D) / BW.$$

Resultados

- Caracterización fisicoquímica del suelo

La tabla 1 muestra el resultado del análisis fisicoquímico del suelo inicial. De acuerdo con la distribución del tamaño de las partículas del suelo usando el triángulo textural, la U.S.D.A (United States Department of Agriculture), se encontró que el suelo presenta una textura arcillo limoso.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del suelo

PARÁMETRO	SUELO	INTERPRETACIÓN
pH	6.28	ácido
Materia orgánica	1.65%	moderado
Conductividad eléctrica	0.87 μ S/cm	adecuado
S	28.9 mg/Kg	moderado
Mn	43.1 mg/Kg	abundante
Fe	70.7 mg/Kg	abundante
Zn	5.70 mg/Kg	abundante
P	11.1 mg/Kg	deficiente
S	28.9 mg/Kg	moderado
B	0.07 mg/Kg	deficiente

La determinación de pH se realizó en función del tiempo, para lo cual en los tratamientos con aplicación de materia orgánica se encontró una disminución progresiva a lo largo de todo el ensayo como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Determinaciones de pH en el suelo en tres etapas de ensayo.

Tratamiento	pH		
	Inicial	medio	final
T1	8.04	7.50	7.38
T2	6.93	6.39	5.40
T3	6.95	5.76	5.62
T4	4.43	4.36	5.26
T5	5.01	5.21	5.48

Este descenso pudo ser posiblemente a la descomposición que sufre la materia orgánica, permitiendo la formación de ácidos fúlvicos y húmicos, aportando así acidez al suelo. La descomposición es un proceso en cascada en el

que la materia orgánica muerta experimenta una sucesión de transformaciones físicas y químicas en el suelo que conducen a la mineralización de una parte del recurso y al depósito de compuestos resistentes en forma de humus (Swift et al. 1979).

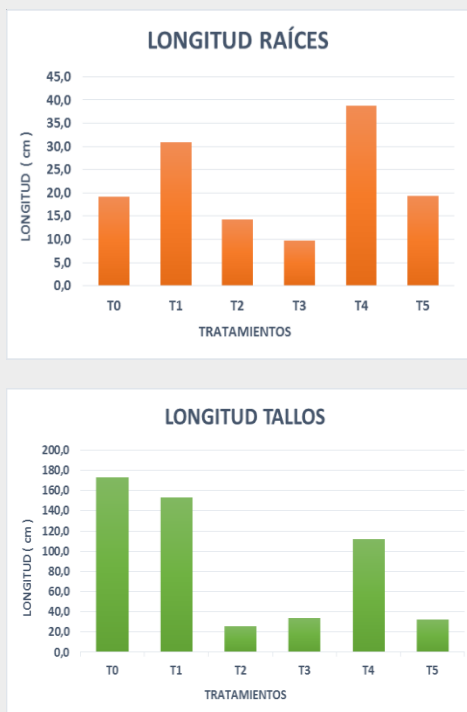
Una vez aplicadas las enmiendas, se puede notar el carácter ácido que poseen el 80% de los tratamientos enmendados, presentando valores de pH < 7 lo cual puede favorecer la biodisponibilidad de metales pesados en estos suelos (Kashem et al., 2006; Dragovic et al., 2008). Solo el tratamiento T1 tiene inicialmente pH>8.0, generando posiblemente adsorción de metales en estos suelos; ya que pueden sufrir remoción de la solución suelo, llegar a hacer adsorbidos por los coloides de este, disminuyendo su biodisponibilidad. El pH controla las reacciones de adsorción - desorción, precipitación - solubilización y puede ser considerado el factor más influyente, provocando un aumento de la solubilidad y por tanto biodisponibilidad de los elementos de forma inversamente proporcional al pH del suelo (Silveira et al., 2003; Basta 2004; Antoniadis et al., 2008), lo cual en zona de estudio puede ser un parámetro influyente al presentarse frecuentes procesos de inundación de los suelos durante la época de lluvia provocando cambios en la condiciones medioambientales. La capa superior del suelo presenta un moderado contenido de MO, con valor promedio de 1.65%, indicando que se puede presentar biodisponibilidad, al influir en la absorción, formación de complejos organometálicos y capacidad de intercambio catiónico de material orgánico (Silveira et al., 2003; Romic y Romic, 2003).

Rasgos de fitotoxicidad en las plantas

La especie vegetal estudiada presentó cambios en la morfología de sus hojas en los tratamientos T0, T1, T2 y T3, manifestando un cierre estomático (arruga) en los ápices de las

hojas más jóvenes (anexo 1). Varios experimentos han demostrado que metales pesados como Hg inhiben los canales de agua de las plantas a concentraciones submilimolares, y limitan el flujo de estos dentro de las células guardas (Singh y Sinha, 2004). Los canales de agua sensibles a Hg parecen estar involucrados en la disminución de la conductividad hidráulica desde la raíz hasta las hojas. Se ha demostrado que los iones de Hg inhiben rápidamente el transporte de agua a través de las raíces aisladas de plantas de cereales como maíz y trigo (Bramley et al., 2007). Los cambios promovidos por Hg son mayores en los ápices que en partes más viejas de las raíces, esto puede deberse a que el Hg es tomado en lugar de otros nutrientes (Patra et al., 2004).

Figura 2. Gráfica de las medias de las longitudes de raíces y tallos por tratamientos



Se puede observar que no existió diferencias significativas entre el tratamiento testigo y el

tratamiento encalado en raíces y tallos ($p < 0.05$); todas las plantas en estos dos tratamientos se desarrollaron en un periodo de tiempo más pronunciado respecto a las plantas en suelos con materia orgánica, pero alcanzando mayores longitudes. Los tratamientos T2 y T3 mostraron un comportamiento muy similar entre ellos. Ambos tratamientos con altos contenidos de materia orgánica no permitieron un desarrollo máximo de la planta (anexo 1). Tanaka et al. (1990) Demostró que las altas concentraciones de amonio y nitrato en el suelo inhiben el crecimiento de raíces, tallos y afectada la asimilación de la hoja, y por lo tanto su efecto sobre el crecimiento de la planta en general ya que son las principales formas de N absorbido por las plantas, y sus cantidades de absorción consisten en alrededor del 70% de los cationes y aniones totales (Caicedo, 2000).

Entre Los tratamientos T4 y T5 existe diferencia estadística. T4 desarrolló longitudes mayores, que siguen la tendencia de T0 mientras que las plantas en el tratamiento T5 fueron muy parecidas a las plantas desarrolladas en T2 y T3. Si observamos la figura 1, T4 tuvo un desarrollo significativo de la raíz frente a los demás tratamientos, permitiéndole a la planta tener una mayor absorción de agua y nutrientes, lo que se vio reflejado en un aumento de la biomasa aérea de la planta.

Por otra parte, T5 alcanzó longitudes de raíz en un 95% respecto a las longitudes de las raíces de las plantas testigos y longitudes en tallo hasta un 25% aproximadamente. Pudieron ser estas características fisiológicas producto de la interacción de la baja relación materia orgánica – suelo (1:9 respectivamente), o a las condiciones edafológicas que se presentaron en este tratamiento.

- Concentración de hg en las plantas

El orden de concentración de Hg en las partes de la planta fue raíz > hoja > tallo. En la figura 5 se muestran las medias más las desviaciones estándar de las concentraciones de los distintos tratamientos en la raíz. El 83% de los tratamientos fueron estadísticamente iguales ($p < 0.05$). Aquí el aumento del pH y el potencial redox pudieron ser los principales factores de la fijación del Hg en la raíz. Las complejas interacciones de óxidos, hidróxidos y demás compuestos que se forman por la adición de sales de calcio en el suelo, junto con la humedad del suelo, son los principales constituyentes que pueden exhibir una fuerte capacidad de amortiguación de pH en el suelo permitiendo así la baja movilidad para ciertos metales, como Hg, Pb, entre otros. (Thakur et al., 2006 y Wang et al, 2009).

(Oste et al., 2002 y Basta y McGowen, 2004) demuestran que la adición de una enmienda a un suelo para aumentar la proporción de la carga de metal total en el suelo, (estabilizar), ya sea por precipitación o aumento de la absorción de metal, disminuye en gran proporción la solubilidad del metal.

La materia orgánica por su parte ayudo a la fijación de metal en un porcentaje muy parecido de a lo fijado en el tratamiento testigo.

Oste et al., 2002 y Basta y McGowen, 2004) demuestran que la adición de una enmienda a un suelo para aumentar la proporción de la carga de metal total en el suelo, (estabilizar), ya sea por precipitación o aumento de la absorción de metal, disminuye en gran proporción la solubilidad del metal.

La materia orgánica por su parte ayudo a la fijación de metal en un porcentaje muy parecido de a lo fijado en el tratamiento testigo.

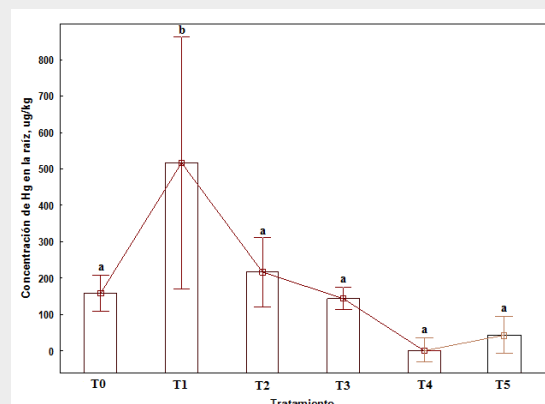


Figura 3. Grafica de la media $\pm$ desviación estándar de las concentraciones de Hg en las raíces de los distintos tratamientos

Las determinaciones de las concentraciones de Hg en los tallos tuvieron comportamientos similares, con una uniformidad muy notoria. Se observa en la figura 6 que los tratamientos T4 y T5 presentaron concentraciones muy por debajo respecto a los demás tratamientos. Estos resultados se pueden asociar al bajo desarrollo que tuvieron las plantas de estos tratamientos bajo las condiciones de trabajo, puesto que como se muestra en la gráfica 1, la longitud que alcanzaron las plantas fue inferiores respecto a las demás. Por otra parte, observamos valores muy cercanos entre las concentraciones de los tallos de T0, T1, T2 y T3 ($p < 0.05$).

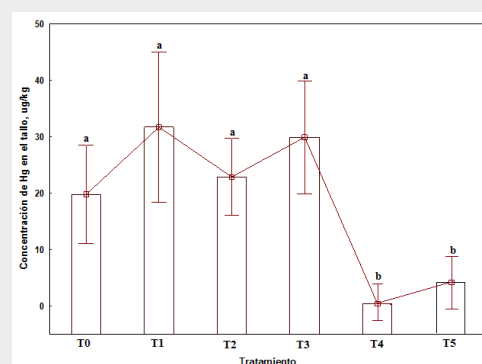


Figura 4. Grafica de la media $\pm$ desviación estándar de las concentraciones de Hg en los tallos de los distintos tratamientos.

Los tratamientos T2 y T3 reportaron elevadas concentraciones de Hg en los tallos. Como se muestra en la tabla 2, el pH en estos tratamientos tuvo descensos y es un factor primordial que permite dar explicación a este comportamiento. La descomposición que sufre la materia orgánica en este proceso vía la formación de ácidos fúlvicos y húmicos, los cuales, dependiendo a su tasa de descomposición, disminuyen proporcionalmente el pH en el suelo. En otras palabras, la condición ácida del suelo propició la traslocación de Hg desde la raíz al tallo debido a su amplia movilidad en la matriz.

De igual manera, observamos en la figura 4, que las hojas del tratamiento encalado acumularon un pequeño porcentaje más alto de Hg respecto a las hojas de los tratamientos testigos ($p < 0.05$), siendo esta acumulación la promotora de la deformación en los ápices de las hojas anteriormente mencionada. Los T2 y T3 mostraron concentraciones muy parecidas, por debajo del T0, indicando que se restringió en cierto grado el paso del contaminante del tallo a la hoja. Por otra parte, los tratamientos T4 y T5 resultaron ser estadísticamente iguales ($p < 0.05$), presentando T5 una mayor concentración de Hg en sus hojas. En este caso la materia orgánica no causó el efecto acidificante por descomposición de sus compuestos internos, atribuyéndose así la tasa de concentración de Hg a su bajo desarrollo fisiológico.

- Índice de riesgo

Se utilizó el factor de conversión (C) de 0,085 para la conversión de verduras frescas a pesos secos. La ingesta diaria promedio de los cultivos de alimentos se calculó en 0,527 kg persona⁻¹ d⁻¹, y el peso corporal promedio de la población adulta fue de 55,5 kg. La dosis de referencia (o la concentración de referencia) es una estimación de la exposición diaria de la población humana (incluidos los subgrupos

delicados) que no genera riesgo importante de efectos nocivos distintos de cáncer durante toda la vida.

El Organismo de los Estados Unidos para la Protección del Medio Ambiente (USEPA) ha desarrollado dosis de referencia para el cloruro mercúrico de 0,3 µg/kg de peso corporal por día y para el metilmercurio de 0,1 µg/kg de peso corporal por día y una concentración de referencia para el mercurio elemental de 0,3 µg/Kg.

Tabla 3. Índice de riesgo para el consumo humano de la especie vegetal

TRATAMIENTO	DIM	RF	HIM
T0	0,062	0.3	0,21
T1	0,081	0.3	0,27
T2	0,081	0.3	0,27
T3	0,055	0.3	0,18
T4	$1.3 \cdot 10^{-4}$	0.3	$4 \cdot 10^{-4}$
T5	$1.5 \cdot 10^{-4}$	0.3	$5 \cdot 10^{-4}$

Se muestra en la tabla 3 los distintos valores obtenidos que toma el índice de riesgo para la posible exposición de la especie vegetal bajo las condiciones de trabajo. Un HRI > 1 para Hg en los cultivos de la especie vegetal, indica que la población de consumidores se enfrenta a un riesgo para la salud. Un HRI < 1 indica que la población expuesta no se enfrenta a un riesgo potencial de salud. Como se puede observar en la tabla anterior, todos los valores de HRI fueron superiores a uno por lo tanto no hay una amenaza de afectación crónica por parte factor. Estos valores inferiores sustentan la poca capacidad acumuladora que tiene la especie. Sin embargo, los valores más altos de HRI se presentaron en los tratamientos T1 y T2 donde se notó anteriormente las más altas concentraciones en toda la planta. El cultivo alimentario producido en el presente estudio es consumido directamente por los habitantes

locales o se venden en el mercado para el consumo de la población dispersa.

Conclusiones

La especie vegetal toleró la concentración de Hg en su medio de crecimiento, presentando leves rasgos de fitotoxicidad, demostrando de esta manera que es una especie sensible a bajas concentraciones de metales pesados, específicamente mercurio, y que tiene mecanismos de desintoxicación a medida que concentra metales pesados en una de sus partes.

La enmienda con más viabilidad para la inmovilización de metales en el suelo es el Cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) debido a las características que aporta al suelo y a la sostenibilidad de los cambios en la fisiología de la planta. Por otra parte, la materia orgánica a altas relaciones (T2 y T3) no son factibles debido a los altos contenidos de nitrógeno que puede aportar a la solución del suelo provocando inhibición del crecimiento en las plantas. Tratamientos como T4 y T5 no permiten la traslocación masiva de mercurio hacia la planta, pero en este estudio, las condiciones mostraron un bajo índice de productividad.

Anexo 1. Cierre estomático de los ápices de las hojas



Bibliografía

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Medical management guidelines for acute chemical exposure. Atlanta, GA: Department of Health and Human Services; 2000. p. 22

Aguilera, María; la Mojana: riqueza natural y potencial económico; economía regional; 48; pp 26-38; 2004.

Alloway, B.J. 1995b. Chapter 2: Soil process and the behavior of the heavy metals. In: Alloway, B.J. (ed.). Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional, London, 2nd edition. Pp.11-37.

Antoniadis, V., Robinson, J., Alloway, B. (2008) Effects of short-term pH fluctuations on cadmium, nickel, lead, and zinc availability to ryegrass in a sewage sludge-amended field. Chemosphere. pp. 759–764.

Baldock JA, JO Skjemstad; Papel de la matriz del suelo y Minerales En La Protección de Materiales Orgánicos Naturales Contra el ataque biológico; Org. Geochem., 31 (7-8) (2000), pp. 697-710

Babula P., V. Adam, R. Opatrilova, J. Zehnalek, L. Havel, R. Kizek; Poco frecuentes pesada metales, metaloides y su planta de toxicidad: una revisión; Reinar. Chem. Lett., 6 (2008), pp. 189-213

Baker AJM, RR Brooks; Terrestres Plantas Superiores Que hiperacumular metálicos Elementos-una Revisión de su Distribución, Ecología y fitoquímica; Biorecovery, 1 (1989), pp. 81-126

Basta NT, SL McGowen; La evaluation de los Tratamientos de Inmovilización química para Reducir el transporte de Metales Pesados En un suelo contaminado con Fundición; La

Contaminación del Medio Ambiente, 127 (2004), pp. 73-82

Barzegar AR, MA Asoodar, M. Ansari; Efectividad de la incorporación de residuos de caña de azúcar a diferentes contenidos de agua y las cargas de compactación Proctor en la reducción de la compatibilidad del suelo; La labranza del suelo Res., 57 (2000), pp. 167-172

Beare MH, SJ McNeill, D. Curtin, RL Parfitt, SA Jones, MB Dodd, J. de Afilado; La estimacion De La Capacidad de Estabilización de Carbono Orgánico Y por Déficit de saturación de los Suelos: UN Estudio de Caso Nueva Zelanda; Biogás biogeografía humana biografía, 120 (1-3) (2014), pp. 71-87

Beaudete, L.A., M.B. cassidy, L.England, J.L.Kirk, M. Habassh, H. Lee, J.T. Trevors. 2002. Biorremediación of soils. En: enciclopedia of enviromental Microbiology. John Wiley y Sons. Inc

Bolan NS, DC Adriano, PA Mani, A. Duraisamy; Inmovilización y fitodisponibilidad de cadmio en los Suelos de carga variable. II. Efecto de la Adición de cal; El suelo de la planta, 251 (2003), pp. 187-198

Bramley, H.; N.C. Turner; D.W. Turner y S.D. Tyerman. 2009. Roles of morphology, anatomy, and aquaporins in determining contrasting hydraulic behavior of roots. Plant Physiol. 150, 348-364.

Caicedo JR; Efecto de la Concentración Total de Nitrógeno de amoníaco y el pH Sobre la Tasa de Crecimiento de la lenteja de agua (Spirodela polyrrhiza); Water Res., 34 (15) (2000), pp. 3829-3835

Coquery, M. y P. Welbourn. 1995. The relationship between metal concentration and organic matter sediments and metal concentration in the aquatic macrophyte

Eriocaulon septangulare. Water Resources Res., 29: 2094-2102.

David J Walker ,Rafael Clemente ,Asunción Roig ,M.Pilar Berna; Los efectos de las enmiendas del suelo sobre la biodisponibilidad de metales pesados en dos suelos contaminados mediterráneos; Contaminación ambiental; El sevier; Volumen 122; 2, abril 2003, Pag 303–312

Díaz-Báez, M. C., Bustos, M. C. y Espinosa, A. J. (2005). Pruebas de toxicidad acuática: fundamentos y métodos. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. P118

Dragovic S, Mihailovic N, Gajic B. Heavy metals in soils: distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources, Chemosphere 72 (2008) 491–549.

E. Lombi, FJ Zhao, GY Zhang, B. Sun, W. Fitz, H. Zhang, SP McGrath; La Fijación in situ de los metales en los Suelos utilizando residuos de bauxita; evaluación Química; La Contaminación del Medio Ambiente, 118 (2002), pp. 435-443

Elliot, H.A. and G.A. Shields. 1988. Comparative evaluation of residual and total metal analysis in pollute d soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 19:1907-1917.

Emst, W.H.O. 1996. Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants. Applied Geochemistry, 11, 163–167.

Ehlert, C.; C. Maurel; F. Tardieu y T. Simonneau. 2009. Aquapori-mediated reduction in maize root hydraulic conductivity impacts cell turgor and leaf elongation even without changing transpiration. Plant Physiol. 150, 1093-1104.

Esteban, E., S.Vázquez and R. Carpena. 2003. White lupin response to arsenate. Meeting in Stockholm, Sweden: Workshop

“Phytoremediation of toxic metals” June, 12-15, 2003

Fein, J.B., C.J. Daughney, N. Yee, and T.A. Davis. 1997. A chemical equilibrium model for metal adsorption onto bacterial surfaces. Geochimica et Cosmochimica Acta, 61, 3319–3328.

Fitz WJ, WW Wenzel;Transformación de arsénico en El Sistema suelo-planta-rizosfera, fundamentos y application potencial de fitorremediación; J Biotechnol, 99 (2002), pp. 259-278

GM Tordoff, AJM Baker, AJ Willis ;Los enfoques actuales para la revegetación y recuperación de residuos mineros metalíferos; Chemosphere, 41 (2000), pp. 219-228

Gleyzes C., S. Tellier, M. Astruc;Los Estudios de fraccionamiento de Elementos Traza en Suelos y sedimentos Contaminados: Una Revisión de los Procedimientos de Extracción secuencial;Tendencias en Química Analítica, 21 (2002), pp. 451-467

González M., S. 1995. Chapter 17: Copper upper critical levels for plants on copper-polluted soils and the effect of organic additions. In: Adriano, D.C.; Z-E. Chen, S-S. Yang, (eds.) Biochemistry of trace elements. Science and Technology Letters, Northwood. pp. 195-203.

Gratao PL, MNV Prasad, PF Cardoso, PJ Lea, RA Azevedo;La fitorremediación: la tecnología verde para la limpieza de metales tóxicos en el medio ambiente; Braz. J. Plant Physiol., 17 (2005), pp. 53-64

H. Ma, Dakota del Sur Kim, DK Cha, HE Allen; Efecto de la cinética de la Formación de Complejos de Ácidos húmicos en la toxicity del Cobre párrafo Ceriodaphnia dubia ;Reinar. Toxicology. Chem., 18 (1999), pp. 828-837

Hernández, 2011. tesis licenciatura en ciencias ambientales; Determinación de metales pesados en suelos de natividad, Ixtlán de Juárez Oaxaca. Universidad de la sierra de Juárez

Huang, R.F.; M.J. Zhu; Y. Kang; J. Chen y X.C. Wang. 2002. Identification of plasma membrane aquaporin in guard cells of *Vicia faba* and its role in stomatal movement. *Acta Bot. Sinica*. 44, 42-48.

JAC Verkleij, H. Schat; Los Mecanismos de tolerancia a metales en Las Plantas. Tolerance una Metales Pesados en los Aspectos centrales de la Evolución de prensa, el CRC (1990), pp. 179-193

J. Marrugo, J. Olivero, E. Lans, L. Benítez; las concentraciones totales de mercurio y metilmercurio en los peses de la región de La Mojana de Colombia; *Reinar. Geochem. Salud*, 30 (2008), pp. 21-30

José Negrete Marrugo, José Hernández Durango, José Hernández Pinedo, Jesús Olivero Verbel, Sergi Díez c; La fitorremediación de suelos contaminados con mercurio por *Jatropha curcas*; *Chemosphere*; 127 ; pp 58-63 ; 2015

Jung MC, I. Thornton; Contaminación por Metales Pesados de los Suelos y Plantas en las cercanías De Una mina de plomo y zinc, Corea; *Appl Geochem*, 11 (1996), pp. 53-59

Kabata-Pendias, Alina. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, - Boca Raton, USA.

Kabata-Pendias;transferencia suelo-planta de oligoelementos - Un Problema ambiental; *Geoderma*, 122 (2004), pp. 143-149

Kashem, M.D.A.,Singh,B.R.,Kawai,S.,2006.Mobility and distribution of cadmium, nickel and zinc in contaminated soil profiles from

Bangladesh.Nutr.Cycl. *Agroecosyst*.77,187–198.

Kim E, HK Kang, P. Johnson-verde, EJ Lee; La Investigación de la Acumulación de Metales Pesados en *Polygonum thunbergii* párrafo fitoextractor; *Environ Pollut*, 126 (2003), pp. 235-243

Krishnamurti, G.S.R., G.Cieslinski, P.M. Huang, and K.C.J. Van Rees. 1997. Kinetics of cadmium release from soils as influenced by organic acids: Implication in cadmium availability. *Journal of Environmental Quality*, 26 : 271–277.

Lacerda y Salomons ,1992. Mercurio en la Amazonía. Serie Tecnología Ambiental: 3; Río de Janeiro. 78pp.

Lasat M. 2001. The uses of plants for removal of toxic metal from contaminated soil. US-EPA

López-Berenguer, C.; M. Martínez-Ballesta; C. GarcíaViguera y M. Carvajal. 2007. Leaf water balance mediated by aquaporins under salt stress and associated glucosinolate synthesis in broccoli. *Plant Sci*. 174, 321-328

Lovley, D.R y J:D coates. 1997. Biorremediation of metal contamination. *Current opinion in biotechnology* 8: 285-289

Martinez, C.E. and M. McBride, 1998. Solubility of Cd²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺ and Zn²⁺ in aged coprecipitated with amorphous iron oxides. *Environmental Science and Technology*. 32 : 743-748.

McLaughlin MJ, DR Parker, JM Clarke; Metales y micronutrientes - cuestiones de seguridad alimentaria; *Cultivos de Campo Res.*, 60 (1999), pp. 143-163

McBride, M., S. Sauve, and W. Henderson. 1997. Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb

in contaminated soils. *European journal of soil science*. 48:337-346

M. Horvat; El Mercurio Como contaminante mundial; *Anal. Bioanal. Chem.*, 374 (2002), pp. 981-982

Miller, W.P., D.C. Martens, and L.W. Zelazny, 1987. Short-term transformations of copper in copper-amended soils. *Journal of Environmental Quality*. 16, 176-180.

Navarro, G. 2003. *Química Agrícola*. Segunda edición. Ediciones mundi-prensa. España.

Olivero J, Johnson B, Mendoza C, Paz R, Olivero R. Mercury in the aquatic environment of the village of Caimito at the Mojana Region, north of Colombia. *Water Air Soil Pollut*. 2004; 159:409-20.

Oste L., TM Lexmond, WH van Riemsdijk; Inmovilización del Metal en los Suelos utilizando Zeolitas Sintéticas; *Journal of Environmental Quality*, 31 (2002), pp. 813-821

Patrick, W.H., Jr. and A. Jugsujinda. 1992. Sequential reduction and oxidation of inorganic nitrogen, manganese, and iron in flooded soil. *Soil Science Society of America Journal*. 56 : 1071-1073.

Patra, M.; N. Bhowmik; B. Bandopadhyay y A. Sharma. 2004. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plants systems and the development of genetic tolerance. *Environ. Exp. Bot*. 52, 199-223

Percival HJ, RL Parfitt, NA de de Scott; Factores Que controlan los Niveles de Carbono del suelo en pastizales Nueva Zelanda: ¿Es Importante el contenido de arcilla?; *Soil Sci. Soc. Am J.*, 64 (5) (2000), pp. 1623-1630

Pierangeli M.A.P; L.R.G. Guilherme; L.R.; Oliveira, A N.Curi; and N.L.N. Silva. 2001. Efeito da força iônica da solução de equilíbrio

sobre a adsorção-dessorção de chumbo em Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, pp.1077-1084

Process of inorganic mercury and methylmercury in rice (*Oryza sativa* L.); *Environmental Science and Pollution Research*; springer; 2; 2015

Rajkumar M., MNV Prasad, H. Freitas, N. Ae; aplicaciones biotecnológicas de bacterias serpentina para la fitorremediación de metales pesados; *Crit. Rev. Biotech.*, 29 (2009), pp. 120-130

Riechaman M.S. 2002. The responses of plants to metals toxicity: A review focusing on copper, manganese and cinc. *Australian Minerals and Energy Environment Foundation* 54p.

Rieuwerts J.S., Thonton I., Farago M.E and Ashmore M.R. 1998. Factors influencing metals bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 10(2): 61-75.

Romic, M., Romic, D., 2003. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. *Environ. Geol*. 43, 795–805.

Rosselli W., C. Keller, K. Boschi; fitoextractor s capacidad de los Arboles Que Crecen en Suelos Contaminados con Metales; *El suelo de la planta*, 256 (2003), pp. 265-272

Sajwan, K.S. and W.L. Lindsay. 1986. Effects of redox on zinc deficiency in paddy rice. *Soil Science Society of America Journal*. 50: 1264-1269.

SEMARNAT 2005, Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, Capítulo 3: Suelos, México.

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN DE CD EN SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO DE DIGESTIÓN ASISTIDO CON MICROONDAS PARA SU DETERMINACIÓN POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Lizeth L. Muñoz Villarreal¹; Heydy Rodriguez Castro; Jesús Alberto Mendoza; Valentina Orozco; Carlos Solar Cardozo; Jesús Sierra Dominguez.

Lizeth Muñoz Villarreal, Complejo Tecnológico Agroindustrial Pecuario y Turístico – SENA. Apartadó – Antioquia. Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación– Sennova. Grupo de Investigación ABIBE. Laboratorio Agroambiental – Servicios Tecnológicos. E-mail: lmunozv@sena.edu.co

Resumen

Actualmente el método más utilizado para la extracción de metales pesados en muestras de suelos es la digestión por agua regia, es así como en este trabajo se estudió la metodología digestión asistida con microondas para la determinación de Cd en muestras de suelos, dando como resultado un porcentaje de extracción superior al 70%. para la metodología con microondas se utilizó EDTA, observando que a mayor concentración de EDTA el porcentaje de extracción era mayor y mas homogéneo.

Pabras claves: Cadmio, Espectrometría de absorción atómica, extracción de metales asistida con microondas.

Abstract

Currently, the most widely used method for the extraction of heavy metals in soil samples is aqua regia digestion. In this work, the microwave-assisted digestion methodology was studied for the determination of Cd in soil samples, resulting in an extraction percentage greater than 70%. For the microwave methodology, EDTA was used, observing that the higher the EDTA concentration, the higher the extraction percentage and the more homogeneous.

Keywords: Cadmium, Atomic absorption spectrometry, Microwave-assisted metal extraction.

Introducción

Actualmente existen diversos métodos analíticos para la determinación de Cd en muestras de suelos, pese que la gran mayoría de los laboratorios de ensayos cuentan con equipos de absorción atómica, ya que estos son simples, rápidos, confiables y de bajo costo. A pesar de ello, este método adolece de problemas de falta de sensibilidad cuando se compara con otros métodos de análisis cuantitativos como Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), espectrometría de emisión atómica (ICP-AES) y Espectrometría de Absorción Atómica con Vaporización Electrotérmica (GF-AAS) ampliamente aceptadas y costosas para los análisis de metales pesados en muestras de suelo, así, el método FAAS resulta ser más accesible y a la vez complejo, cuando se analizan muestras complejas, por lo cual es necesario un pretratamiento en éstas que permita extraer el elemento y así poder ser analizado.

En la literatura se encuentran disponibles varios métodos analíticos avanzados para la determinación de metales traza con suficiente sensibilidad.

El análisis de elementos en niveles de trazas es una tarea analítica difícil, principalmente debido a la complejidad de la matriz y la baja concentración de estos elementos, que requiere técnicas instrumentales sensibles y, a menudo, un paso de preconcentración. A este respecto, se han propuesto diversos métodos para la determinación de la cantidad de trazas de elementos, como la coprecipitación, la extracción líquido-líquido, la extracción del punto de enturbiamiento, extracción en fase sólida y microextracción líquido-líquido dispersivo, para la separación y preconcentración de Cd de diferentes matrices. Sin embargo, estos métodos a menudo requieren grandes cantidades de disolventes orgánicos, que en su mayoría son

dañinos y contaminan el medio ambiente debido a su alta presión de vapor (Santisteban Rojas, 2021).

Para realizar la determinación de Cd por Absorción Atómica de Llama, es necesario tener el analito en solución, y libre de posibles interferentes, tales como materia orgánica, o particulado. Para lograr estas condiciones, y con el objeto de reducir la interferencia por materia orgánica y liberar los metales de la matriz manteniéndolos en solución, es necesario el tratamiento previo de las muestras, y se debe realizar el procedimiento de preparación, digestión y preservación (Chavarrea Macas & Aguaisa Tamay, 2021).

Desarrollo

La espectroscopia de absorción atómica (AAS por sus siglas en inglés Atomic Absorption Spectroscopy), es un método extremadamente sensible, y específica debido a que las líneas de absorción atómica son considerablemente estrechas (de 0,002 a 0,005 nm) y las energías de transición electrónica son únicas para cada elemento (Araujo-Abad et al., 2020).

- Extracción de elementos traza solubles en agua regia

Este método de extracción está validado por la Norma Técnica Colombiana y es el más utilizado en los laboratorios de ensayos químicos. Este método aplica a muestras de suelo que contengan menos de un 20% m/m de Carbono Orgánico, según lo establecido en la ISO 11464 (Pretratamiento de las muestras de suelo para análisis fisicoquímicos) e ISO 10694 (Determinación del carbono orgánico y total después de la combustión seca), los materiales que contienen mayor porcentaje requieren concentración de ácido nítrico adicional. Esta técnica se basa en una digestión ácida de la muestra, para lo cual se requiere ácido clorhídrico (HCl) 2 M, ácido nítrico

(HNO₃) 15,8 M y ácido nítrico (HNO₃) 0,5 M. El agua regia que se utiliza para la extracción en este método no disuelve totalmente la mayoría de los componentes del suelo y materiales similares. La eficiencia de la extracción para elementos particulares difiere de un elemento a otro y también puede ser diferente para el mismo elemento en diferentes matrices (Salazar Oliva, 2019)

Metodología

- Pretratamiento de muestra

Se tomaron las muestras de suelo y se secaron en un horno a 40°C, luego se sometieron a trituración y se pasaron por un tamiz de 2 mm de apertura como lo indica el método (NTC – ISO 11464, 2022).

- Extracción por microondas

Se utilizó un horno microondas doméstico, modelo K-MW07N, voltaje 120 V, frecuencia nominal 60 Hz, potencia de entrada 1050 W, potencia de salida 700 W, frecuencia del microondas 2450 MHz.

Las muestras de suelos se pretrataron y se enriquecieron tomando 1 mL de estándar 0.6 mg/L Cd (siguiendo el método de enriquecimiento expuesto en el numeral 5.3.1), luego se tamizaron a un tamiz de 2 mm, posteriormente se pesaron (1,00 g) y se agregó 25 ml de EDTA a concentración 0.1, 0.25 y 0.3 M por último se llevaron a 50 mL.

Las pruebas de extracción se realizaron en vaso de precipitados, usando un agitador de extremo a extremo a una velocidad de 100, 180 y 250 rpm a temperatura ambiente (25 ° C) durante 30 minutos, 1 y 2 h (siguiendo diseño completamente al azar) Las suspensiones se filtraron.

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y los resultados se presentaron como

promedios de los extractos por triplicado. Como procedimiento experimental típico, la mezcla de 1,00 g de muestra y el volumen de Na₂ EDTA se trató mediante irradiación con microondas en un horno microondas durante un tiempo preestablecido 5 minutos (Kouzbou et al., 2019).

Resultados

Extracción por microondas para muestras de suelo

Las muestras de suelos se pretrataron y se enriquecieron a 0.6 mg/L Cd, luego se tamizaron a un tamiz de 2 mm, posteriormente se pesaron y se agregó 25 ml de EDTA a concentración 0.1, 0.25 y 0.3 M por último se llevaron a 50 mL. Estas se sometieron a agitación, de igual forma se realizó un procedimiento previo a las muestras sin agregar estándar con el fin de establecer si éstas estaban libres de Cd como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Extracción de Cd en muestras de suelos sin enriquecimiento por método asistido por microondas.

CONCENTRACIÓN EDTA	Agitación en RPM	TIEMPO AGITACIÓN	TIEMPO EN HORNO	CONCENTRACIÓN LEÍDA EN ESPECTROFOTÓMETRO (mg/L)
0,10 M	100	1.0 H	5,0 Min	0.0008
	180	1.0 H		0.0007
	250	1.0 H		0.0007
0,25 M	100	1.0 H		0.001
	180	1.0 H		0.0012
	250	1.0 H		0.0011
0,30 M	100	1.0 H		0.0014
	180	1.0 H		0.0013
	250	1.0 H		0.007

Análisis de extracción de Cd en muestras de suelos enriquecidas a 0,6 mg/L mediante extracción asistida por microondas.

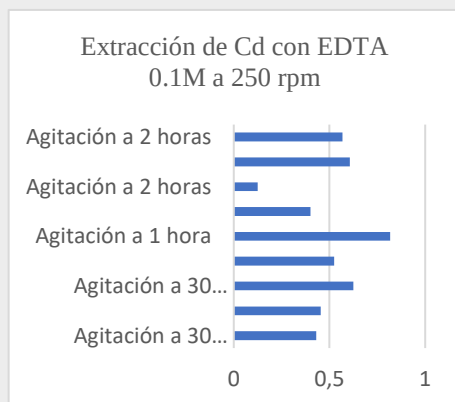
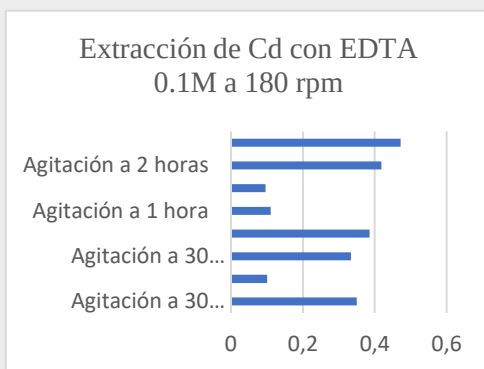
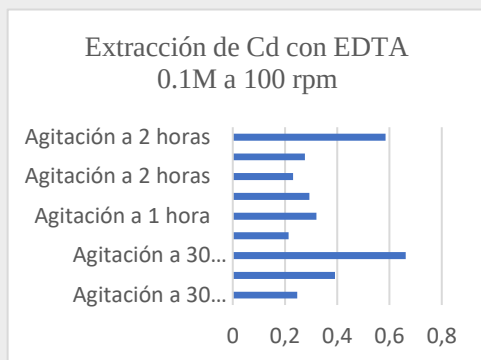


Figura 1. Extracción de Cd con EDTA 0.1 M

En la figura 1 se observa a simple vista que los valores presentan disparidad entre sí bajo las tres condiciones metodológicas ya que no se acercan al valor de referencia que en este caso es 0.6. No obstante, la figura 6 al igual que la

figura 5 presenta el mismo comportamiento, sin embargo, los valores se armonizan más entre sí.

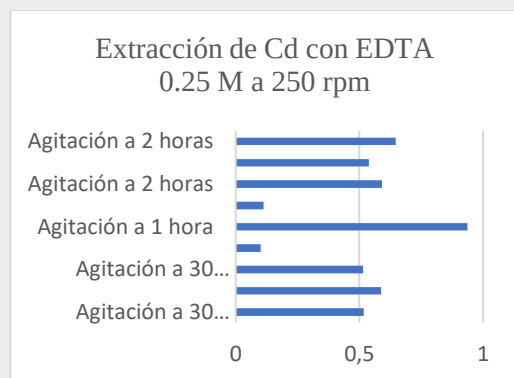
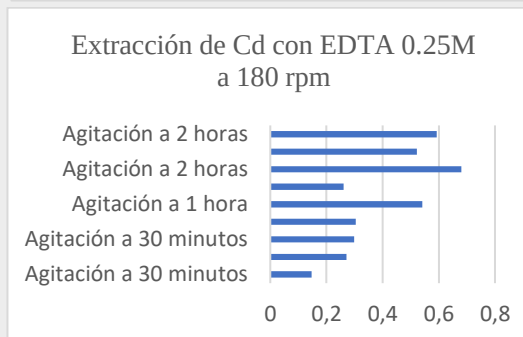
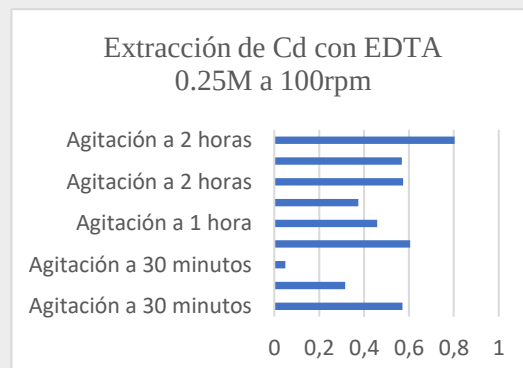


Figura 2. Extracción de Cd con EDTA 0.25 M

Así, en la figura 2 se observa que para la tercera condición experimental (mayor concentración de EDTA y mayor agitación) los valores se acercan más al valor de referencia, es así como en la figura 3 se observa que a diferencia de las figuras 1 y 2 los valores son más simétricos entre sí.

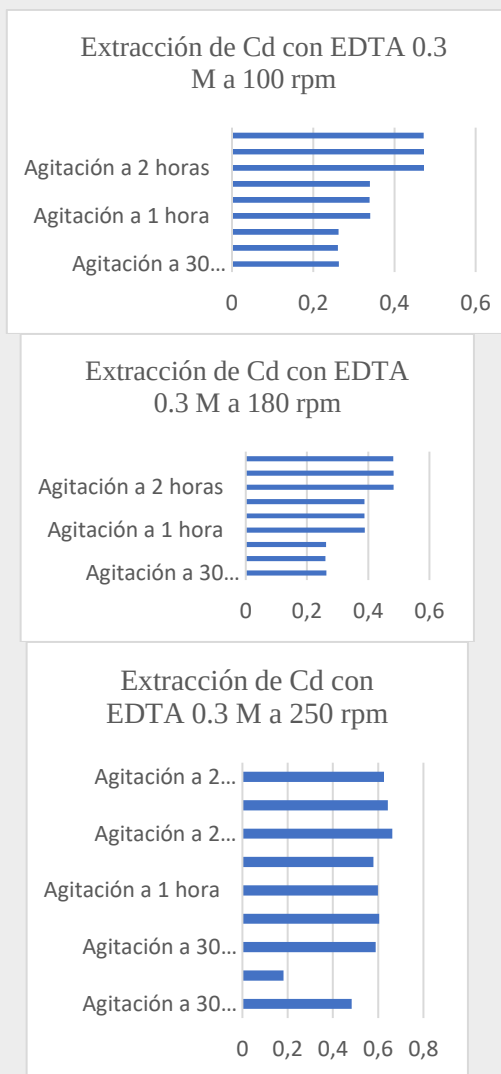


Figura 3. Extracción de Cd con EDTA 0.3 M

Así mismo, se observa que los valores se acercan más al valor de referencia cuando la concentración de EDTA es 0.3 M y la velocidad de agitación es 250 RPM.

Es así, como teniendo en cuenta los resultados expuestos en las figuras 1, 2 y 3 se procede a realizar un análisis de varianza con la finalidad de establecer la variabilidad numérica para cada tratamiento mediante un análisis estadístico utilizando el modelo Diseño Completamente al azar con arreglo factorial 3*3*3 bajo las condiciones de agitación rpm (100, 180, 250), tiempo de agitación (30 min,

1 hora, 2 horas) y concentración de EDTA (0.1, 0.25 y 0.3 M). Se realiza la siguiente tabla ANOVA.

Tabla 2. Análisis ANOVA para método microondas.

F.V	Gl	P-valor	Decisión
Agitación Rpm	2	0.00138	***
Tiempo	2	0.00112	**
EDTA	2	0.2526	
Agitación/Tiempo de agitación	4	0.44008	
Velocidad de agitación/Concentración de EDTA	4	0.5594	
Tiempo de agitación/Concentración de EDTA	4	0.16647	
Velocidad de agitación/Tiempo de agitación/Concentración de EDTA	8	0.45099	
Residual	54		

Donde:
F.V: factor de variación
Gl: grados de libertad
SC: suma de cuadrados
CM: media cuadrática
Fc: f calculado

Nivel significancia	Símbolo
0	***
0.001	**
0.01	*
0.05	.
1	

Nota: la tabla de decisión muestra el grado de significancia que tiene cada variable en el modelo, se escribe “***” para un nivel de confianza mayor al 99.99%, “**” para un nivel de confianza de 99.99%, “*” para un nivel de confianza de 99%, “.” para un nivel de confianza de 95% y no se pone nada para un nivel de confianza menor al 90%.

Discusión

- Influencia de la concentración de EDTA en la extracción del metal

El efecto de la concentración del EDTA sobre la tasa de extracción de cadmio se probó utilizando un rango de concentración de 0.1 M, 0.25 M y 0.3 M, observándose que la extracción de cadmio aumentó con el aumento de la concentración de EDTA como se observa en las figuras 1, 2 y 3 donde se evidencia que a medida que aumenta la concentración del extractante los valores son más uniformes entre sí, de igual forma, se observa que los porcentajes de recuperación mejoran y se hacen más estables cuando el EDTA está a 0.3 M.

Sin embargo, teniendo en cuenta el análisis ANOVA se observa que no hay diferencia significativa entre la concentración del EDTA y la extracción del Cd (tabla 1), lo que quiere decir que no hay diferencia entre las medias de los datos, comportándose de manera similar en las tres concentraciones.

Caso similar se observó en la investigación realizada por Benredjem y colaboradores, citado por (Kouzbour et al., 2019) donde evidenciaron el efecto de la concentración de EDTA sobre la tasa de extracción de cadmio, para lo cual utilizaron un rango de concentración de 0,01 a 0,25 M, notándose que la extracción de cadmio aumentó con el aumento de la concentración de EDTA.

Así mismo, una investigación realizada por Isern y colaboradores en donde se analizó al EDTA como extractante de distintos metales (incluyendo el Cd) se observó que éste extrajo el cadmio en un 78%, llegando incluso al 86% (Isern Roselló & Martínez Planas, 2011). De igual forma Dariush Naghipour y

colaboradores realizaron una investigación donde se establecía la capacidad y eficiencia de extracción del EDTA a concentraciones de 0.1, 0.01 y 0.005 M evidenciándose que la eficiencia de extracción de Pb, Cd y Zn con EDTA 0.01 M fue respectivamente 79.7%, 73.78% y 66.3%; mientras que las cantidades correspondientes para estos contaminantes utilizando EDTA 0.005 M fueron 70.2%, 47.98% y 61.11%, respectivamente, notándose que la eficiencia de extracción de metales del suelo contaminado aumenta cuando aumenta la concentración de EDTA (Naghipour et al., 2016).

- Influencia del tiempo de extracción

Como se observa en la tabla 1, la variable tiempo presenta significancia con respecto a la variable respuesta que en este caso es la concentración del metal extraído, indicando que al menos una de las medias de los tratamientos difiere de las otras. Es así, desde el punto de vista estadístico se realizó una comparación de medias para el tiempo de agitación (Tabla 2), para determinar el coeficiente de variación de esta variable.

Tabla 2. Comparación de medias para tiempo de agitación

Tiempo	Media	Sd	N	Grupo	CV%
Agitación a 30 m	0.401	0.205	27	A	51.12%
Agitación a 1 h	0.522	0.142	27	B	27.20%
Agitación a 2 h	0.359	0.166	27	A	46.24%

Teniendo en cuenta la tabla anterior se observa que el mejor tiempo de agitación es a una hora, porque su variación es la más baja, teniendo en cuenta la media mayor con pocas variaciones, sin embargo, la mayor taza extractiva en los tratamientos se reflejó en 2 horas de agitación.

Lo anterior tiene relación con la investigación realizada por Benredjem e investigadores, citado por (Kouzbou et al., 2019) donde se estableció que la mayor tasa de extracción (96%) fue a las dos horas, después de este tiempo, la extracción fue constante, por lo que para ese trabajo se estableció el tiempo de 2 horas para la extracción.

Un caso similar se observa en una investigación realizada por Kim y colaboradores donde se utilizó el EDTA con distintos agentes reductores para la determinación de As y otros metales, determinando así el efecto del tiempo de extracción entre el EDTA y muestras de suelos, donde éste extrajo aproximadamente el 20 % del As del suelo en 1 h y continuó extrayendo As durante las siguientes 9 h. El EDTA combinado con 0.01 M de ditionita extrajo aproximadamente el 40 % del As del suelo en 5 min y alcanzó aproximadamente el 60 % de extracción en 2 h. Casi el 100 % del As se extrajo del suelo, el EDTA combinado con 0.1 M de ditionita extrajo aproximadamente el 20 % del As en otra muestra de suelo en 5 min y extrajo gradualmente casi el 90 % del As en 6 h (Kim et al., 2016).

- Influencia de la velocidad de agitación en la extracción del metal

Teniendo en cuenta lo indicado en la tabla 1. Para este caso se observa que la variable agitación en rpm es significativa, indicando que al menos una de las medias de los tratamientos difiere de las otras, así que se procede a realizar comparaciones de medias (tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias para velocidad de agitación.

Velocidad de agitación	Media	Sd	N	Grupo	CV%
100 RPM	0.399	0.168	27	A	42.11%
180 RPM	0.362	0.152	27	A	41.99%
250 RPM	0.521	0.198	27	B	38.00%

Teniendo en cuenta la tabla anterior se evidencia que entre las condiciones de agitación al 100 rpm y 180 rpm no hay diferencias significativas, sin embargo, estas difieren con la condición de agitación al 250 rpm. Siendo así, se considera la mejor condición de agitación es al 250 rpm, porque su variación es la más baja.

Teniendo en cuenta lo anterior, el método asistido por microondas para la extracción de cadmio en muestras de suelos arroja mejores resultados en agitación por una hora a 250 rpm ya que a estas condiciones se presentaron menores coeficientes de variación y buenos porcentajes de recuperación. A su vez, la concentración apropiada de EDTA sería a 0.1 M ya que si bien desde el punto estadístico no hay diferencias significativas entre las tres concentraciones y desde el análisis el procedimiento con EDTA 0.3 M arrojaba valores más uniformes, lo cierto es que la solución de EDTA a 0.3 M requiere mayor consumo de reactivo, a su vez, el análisis debe hacerse en el menor tiempo posible debido a que el EDTA se empieza a decantar, lo contrario sucede con la solución de EDTA a 0.1M, debido a que a esta concentración se requiere menor consumo de reactivo y la solución permanece mayor tiempo sin que el EDTA se decante.

Conclusión

El método de digestión asistido por microondas presentó significancia para las variables tiempo de agitación (P – valor 0.00112) y velocidad de agitación (P – valor

0.00138) por lo que realizando un análisis de medias se establece que las condiciones con menor coeficiente de variación son agitación a 250 RPM a 1 hora. De igual forma para el método de microondas se establece mediante análisis de varianza que la concentración de EDTA no es significativa (P-valor 0.2526) por lo cual el análisis tiene un comportamiento similar bajo las tres concentraciones de EDTA.

8. Bibliografía

Acharte Lume, L. M. (2020). Presencia de cadmio y plomo en agua, suelo y su acumulación en pastos naturales de las bocaminas san antonio y tangana de la comunidad de Huachocolpa Huancavelica-2018.

Almeida Zambrano, J. A., & Macías Moreira, D. A. (2020). Metodología NIR en la determinación rápida de ácidos grasos en aceites crudos. Área de control de calidad La Fabril SA.

Araujo-Abad, S., Tapia, W., & Villamarín-Ortiz, A. (2020). Verificación del método analítico de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito para la cuantificación de cadmio en almendra de cacao (*Theobroma cacao*).

Behbahani, E. S., Dashtian, K., & Ghaedi, M. (2021). Fe₃O₄-FeMoS₄: Promise magnetite LDH-based adsorbent for simultaneous removal of Pb (II), Cd (II), and Cu (II) heavy metal ions. *Journal of hazardous materials*, 410, 124560.

Benredjem, Z., Delimi, R., & Khelalfa, A. (2016). Cadmium extraction from phosphate ore. Effect of microwave. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S446-S450. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.05.016>

César, E., & Zamora, D. (2019). Uso de enmiendas en la reducción del contenido de

cadmio en el suelo y en los granos del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon ccn-51.

Chavarrea Macas, B. M., & Aguaisa Tamay, J. M. (2021). Evaluación de la capacidad fitorremediadora de dos especies vegetales *Raphanus sativus* y *Brassica rapa* en suelos contaminados con cadmio en laboratorio.

Cuyubamba Meza, J. D. (2021). Evaluación de la influencia del cadmio y plomo disponible en el suelo sobre la densidad del bioindicador (*eisenia foetida*) en los cultivos de cacao (*teobroma cacao*), Huamalies, Huánuco-2020.

Dendievel, A.-M., Grosbois, C., Ayrault, S., Evrard, O., Coynel, A., Debret, M., Gardes, T., Euzen, C., Schmitt, L., & Chabaux, F. (2022). Key factors influencing metal concentrations in sediments along Western European Rivers: A long-term monitoring study (1945–2020). *Science of the Total Environment*, 805, 149778.

ELICEO, E. O. J. (2022). EVALUACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL SUELO DE CULTIVOS DE CAÑA DE AZÚCAR DEL INGENIO COAZÚCAR, LA TRONCAL-ECUADOR.

García-Sánchez, B. E., Vara-Castro, G. M., Kretzschmar, T., & Sánchez-Avila, J. I. (2022). Organic compounds in surface and groundwaters in the surrounding of a Mexican geothermal reservoir; case study Los Humeros, Puebla. *Applied Geochemistry*, 147, 105442.

Guzman Pinto, I. A. (2019). Métodos analíticos aplicados en la espectroscopía de absorción atómica.

Harvey, D. T. (2009). *Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption and Emission*, (by LHJ Lajunen and P. Perämäki).

Hernández, M. V. F., Gamboa, O. A. S., & De Astudillo, L. L. R. (2019). Evaluación del riesgo ambiental de metales pesados en los sedimentos superficiales del saco del Golfo de

Cariaco. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 35(1), 101-114.

Isern Roselló, R., & Martínez Planas, M. del M. (2011). Estudio experimental de la movilidad de metales pesados en sedimentos de la cuenca del Jequetepeque, Perú.

Karimova, U. A. (2020). EFFECT OF ULTRASOUND ON CATALYTIC ACTIVITY OF CHROMIUM SALT OF PETROLEUM ACIDS IN THE PROCESS OF AEROBIC OXIDATION OF N-UNDECANE. Journal Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 21(3), 372-377.

Khan, W. A., Arain, M. B., & Soyak, M. (2020). Nanomaterials-based solid phase extraction and solid phase microextraction for heavy metals food toxicity. Food and Chemical Toxicology, 145, 111704.

Kim, E. J., Jeon, E.-K., & Baek, K. (2016). Role of reducing agent in extraction of arsenic and heavy metals from soils by use of EDTA. Chemosphere, 152, 274-283. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.005>

Kou, Y., Zhao, Q., Cheng, Y., Wu, Y., Dou, W., & Ren, X. (2020). Removal of heavy metals in sludge via joint EDTA-acid treatment: Effects on seed germination. Science of the Total Environment, 707, 135866.

Kouzbour, S., Gourich, B., Gros, F., Vial, C., Allam, F., & Stiriba, Y. (2019). Comparative analysis of industrial processes for cadmium removal from phosphoric acid: A review. Hydrometallurgy, 188, 222-247. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.06.014>

Liu, Y., Chu, Y., Hu, Z., Zhang, S., Ma, S., Khan, M. S., Chen, F., Zhang, D., Guo, L., & Lau, C. (2020). High-sensitivity determination of trace lead and cadmium in cosmetics using laser-induced breakdown spectroscopy with

ultrasound-assisted extraction. Microchemical Journal, 158, 105322. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105322>

Mahmoud, M. E., Amira, M. F., Zaghoul, A. A., & Ibrahim, G. A. A. (2016). High performance microwave-enforced solid phase extraction of heavy metals from aqueous solutions using magnetic iron oxide nanoparticles-protected-nanosilica. Separation and Purification Technology, 163, 169-172. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.02.039>

Martínez Guijarro, M. (2020). Análisis Instrumental. Espectrometría de Absorción Atómica (EAA).

Meneses Escobar, J. P. (2019a). Desarrollo de un método de digestión para extracción de cromo de virutas de las curtiembres aplicando ultrasonido.

Meneses Escobar, J. P. (2019b). Desarrollo de un método de digestión para extracción de cromo de virutas de las curtiembres aplicando ultrasonido.

Morales, E. L. A., Llanos, X. M. G., & Angulo, D. E. R. (2021). Análisis de los efectos que produce la presencia del cadmio en el cultivo de cacao (Theobroma cacao). Ingeniería e Innovación, 9(2).

Muñoz Sandoval, M. J. (2022). Nuevos sistemas de microextracción dispersiva combinados con espectrometría de absorción atómica para la especiación de trazas de metales. Proyecto de investigación.

Naghipour, D., Gharibi, H., Taghavi, K., & Jaafari, J. (2016). Influence of EDTA and NTA on heavy metal extraction from sandy-loam contaminated soils. Journal of Environmental Chemical Engineering, 4(3), 3512-3518. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.07.034>

Naicker, K., Mahlambi, P., & Mahlambi, M. (2023). Comparison of ultrasonic and microwave assisted digestion methods for the

determination of heavy metals in soil and sediment: The effect of seasonal variations on metal concentrations and risk assessment. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 32(3), 320-336. <https://doi.org/10.1080/15320383.2022.2084032>

Perelonia, K. B. S., Benitez, K. C. D., Banicod, R. J. S., Tadifa, G. C., Cambia, F. D., & Montojo, U. M. (2021). Validation of an analytical method for the determination of cadmium, lead and mercury in fish and fishery resources by graphite furnace and Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry. *Food Control*, 130, 108363.

Rojas, T., Fuentes Campos, M. E., Contreras-López, E., Gómez, S., & Muñoz-Jáuregui, A. M. (2019). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de la cáscara de *sanky* (*Corryocactus brevistylus*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(2), 258-267.

Salazar Oliva, J. P. (2019). Aplicación de la extracción con agua regia para analizar elementos traza en suelos contaminados.

Sánchez Sarango, M. B. (2022). Cuantificación electroquímica simultánea de pb (ii), cd (ii) y zn (ii) en sedimentos marinos superficiales utilizando microelectrodo de carbono.

Santisteban Rojas, O. P. (2021). Comparación de los niveles de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en piensos y huevos de codorniz (*Coturnix coturnix japonica*), producidos en empresas formales e informales y comercializados en mercados, supermercados y ambulatoriamente en la región Lima, mediante espectrofotometría de absorción atómica y espectrometría de plasma acoplado inductivamente.

Shokunbi, O. S., Adepoju, O. T., Ramaite, I. D. I., Shokunbi, O. S., Mojapelo, P. E. L., & Akinyele, I. O. (2023). Potassium, sodium, calcium and magnesium levels of commonly consumed foods and estimates of dietary

intakes of selected Nigerian adults. *Heliyon*, 9(3), e13729. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13729>

Vettorel, S., Tabares, I., & Oliva, A. (2019). 7405-19 FÍSICA Electrostática.

Xie, L., & Kirk, D. W. (2020). Stability comparison of Pt and Ni as base metal catalysts in anion exchange membrane fuel cells. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(6), 064519.

Remoción de 2,4-D y carbono orgánico disuelto utilizando humedales construidos de flujo subsuperficial a escala piloto

Andrés Echeverri González¹, Gustavo Peñuela Mesa

Andrés Echeverri González: Grupo de Diagnóstico y Control de la Contaminación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia. E-mail: andresphelipe@gmail.com

Palabras clave: 2,4-D, carbono orgánico disuelto, humedales construidos de flujo subsuperficial, *Phragmites australis*.

Resumen

El 2,4-D es uno de los herbicidas más utilizados a nivel mundial y el segundo en Colombia después del glifosato, como consecuencia, es común encontrarlo en aguas superficiales y subterráneas. En la actualidad se han propuesto diversos tipos de sistemas para el tratamiento de 2,4-D en aguas, pero muy pocas investigaciones reportan sistemas biológicos para este fin, por tal motivo en este trabajo se evaluó la eficiencia de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal para la remoción de 2,4-D en aguas. Los humedales utilizados fueron construidos en fibra de vidrio y se plantaron con *Phragmites australis*, y como afluente se utilizó agua residual sintética, la cual fue adicionada con diferentes concentraciones de 2,4-D (20, 40 y 60 mg/L) y glucosa (COD=30, 60 y 90 mg/L). Al final se alcanzaron remociones entre 71%-99% y 73%-98% para 2,4-D y carbono orgánico disuelto (COD), respectivamente, obteniéndose efluentes con concentraciones menores a 0.05 mg/L para 2,4-D y entre 5-15 mg/L para COD. Se comprobó que a medida que aumentaba la concentración de 2,4D en el afluente, disminuía la eficiencia de remoción del mismo en el sistema, debido quizás a un efecto tóxico sobre el componente biológico, además, la concentración de COD en el afluente tuvo un efecto significativo sobre la remoción del herbicida y el COD, lo que demuestra que en los humedales construidos la materia orgánica juega un rol importante en los procesos de remoción de los contaminantes. Los resultados obtenidos dejan ver que este tipo de sistemas son una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con 2,4-D y materia orgánica para zonas rurales.

Abstract

2,4-D is one of the most widely used herbicides in the world and second in Colombia after glyphosate. Therefore, this herbicide is commonly found in surface water and groundwater. Various types of systems for treating water containing the pesticide 2,4-D have been proposed, but few studies report the use of biological systems for this purpose. Thus, in this work the efficiency of horizontal subsurface flow constructed wetlands were evaluated for the removal of 2,4-D in water. The wetlands were constructed using fiberglass and planted with *Phragmites australis*. Synthetic wastewater was used as the influent, which was added to different concentrations of 2,4-D (20, 40 and 60 mg/L) and glucose (DOC = 30, 60 and 90 mg/L). Removals of 71%-99% and 73%-98% were achieved for 2,4-D and dissolved organic carbon (DOC) respectively, resulting in effluent concentrations below 0.05 mg/L for 2,4-D and from 5-15 mg/L for DOC. It was found that with increasing concentrations of 2,4-D in the influent, the removal efficiency decreased, perhaps due to a toxic effect on the biological component. The DOC concentration in the influent had a significant effect on the removal of the herbicide and the DOC, demonstrating that organic matter in constructed wetlands is important to the contaminant removal process. It can be concluded that constructed wetlands are a viable alternative for the treatment of wastewater contaminated with the pesticide 2,4-D.

Introducción

El ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D), es un herbicida de tipo hormonal que actúa como análogo de la auxina, es ampliamente utilizado en cultivos de arroz, avena y maíz para el control de malezas dicotiledóneas (RAPAM et al., 2007). El 2,4-D es uno de los herbicidas más utilizados a nivel mundial y el segundo en Colombia después del glifosato, este hecho, sumado a su alta solubilidad en agua (900 mg/L, como sal dimetilamina) y movilidad, hace que sea común encontrarlo en aguas superficiales y subterráneas (Laganà et al., 2000; Zamba, 2003).

El 2,4-D es un herbicida neurotóxico, se absorbe con facilidad a través de la piel o por inhalación y puede causar daños al hígado, a los riñones, a los músculos y al tejido cerebral (Russell, 2001). Además, investigaciones realizadas por Pavlica et al. (1991) demostraron que el 2,4 D puede causar mutación genética en procariotas, insectos y células de mamíferos (in vitro) y efectos cromosómicos en plantas, y células somáticas de mamíferos (in vivo).

En la actualidad se han propuesto diversos tipos de sistemas para el tratamiento de 2,4-D en aguas, la mayoría de estos utilizan sistemas físicos o químicos para la remoción, como los reportados por Tang et al. (2012) y Han, Jia y Lian (2010), pero muy pocas investigaciones reportan sistemas biológicos para este fin, por tal motivo en este trabajo se evaluó la eficiencia de un sistema biológico tipo humedal construido para la remoción simultánea de 2,4-D y COD en aguas.

Metodología

Los humedales utilizados fueron contruidos en fibra de vidrio, sus dimensiones fueron 1m x 0,6m x 0,6m de largo, ancho y profundidad respectivamente, dentro de éstos se dispuso 0,3 m de grava con granulometría de 1"-1/2", la altura de la lámina de agua fue de 0,2m, los humedales fueron plantados con *Phragmites australis* a una densidad de 6,67 plantas/m² y el tiempo de retención hidráulico fue 4,2 días, durante la fase experimental los humedales

fueron operados bajo un régimen de flujo subsuperficial horizontal, de manera continua y el control de caudal se realizó mediante la instalación de flujómetros a la entrada de cada sistema, como afluente se utilizó agua residual sintética de acuerdo a lo descrito por Dangcong et al. (2000), la cual fue adicionada con diferentes concentraciones de 2,4-D (20, 40 y 60 mg/L) y glucosa, como carbón orgánico disuelto (COD=30, 60 y 90 mg/L), se tomaron muestras a la entrada del sistema los días 0, 1 y 2 y a la salida del mismo los días 4, 5 y 6.

Con el objetivo de obtener una mayor veracidad desde el punto de vista estadístico cada tratamiento fue realizado con 3 replicas. Para la determinación de la normalidad en la distribución de los resultados se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para determinar la determinación de homocedasticidad se aplicó el test de Levene, la presencia de diferencias significativas entre los tratamientos fue hallada mediante un Análisis de Varianza factorial y posterior aplicación de la prueba de contraste de medias de Tukey, todos los análisis se realizaron con un nivel de significancia de 5% y utilizando el paquete estadístico R versión 3.0.1.

Resultados y Discusión

Al final se alcanzaron remociones entre 73%-98% de COD, obteniendo en el mejor de los casos un efluente con concentración de 1,6 mg/L para este parámetro, cuando se comparó la eficiencia en la remoción de COD de acuerdo a la concentración de COD en el afluente, se observó que la menor remoción se obtuvo cuando la concentración en el afluente fue la más baja (30 mg/L), con un promedio de 87,7%, cuando el COD en el afluente aumentó a 60 mg/L y 90 mg/L las remociones fueron significativamente más altas ($p<0.05$) (Figura 1). El hecho que la eficiencia del sistema para remover COD se viera afectada por la concentración inicial de éste en el afluente, sugiere que el metabolismo microbiano pudo verse afectado por la baja concentración inicial de una fuente de carbono, inhibiendo la

capacidad de los microorganismos para degradarlo.

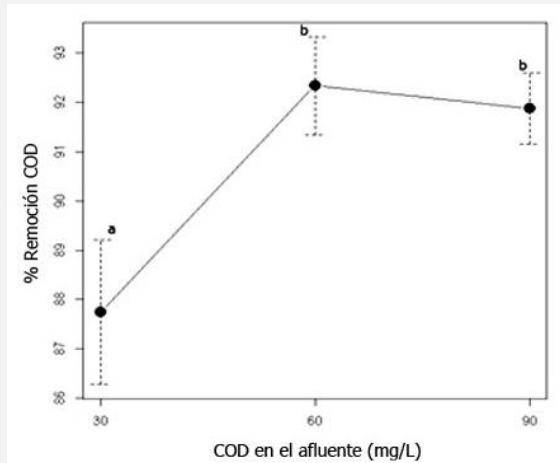


Figura 1. Efecto de la concentración inicial de COD sobre la remoción de COD. Nota: letras diferentes indican diferencias significativas (Prueba HSD Tukey).

La remoción de 2,4D en los humedales construidos fue alta, con un promedio de 92,2% y una eficiencia máxima de 99,92%, de acuerdo al análisis de varianza tanto la concentración inicial de COD como la de 2,4D, tuvieron un efecto significativo sobre la remoción de 2,4 D en el sistema ($p < 0,05$).

La remoción de 2,4D en los humedales construidos estuvo en función de la concentración de COD en el afluente (Figura 2), la mayor eficiencia de remoción (95,3%) se alcanzó con una concentración de 60 mg/L, mientras que para una concentración de COD de 30 mg/L, la remoción disminuyó hasta 89,6%, este comportamiento sugiere que la glucosa adicionada al agua residual podría estar actuando como cosustrato y que a una concentración adecuada podría estimular el metabolismo microbiano favoreciendo así la degradación del 2,4D, estudios como los de Xie, Liu y Li (2009) y Widehem et al. (2002) han demostrado la importancia de utilizar un cosustrato fácilmente biodegradable para mejorar la eficiencia en la degradación microbiológica de plaguicidas.

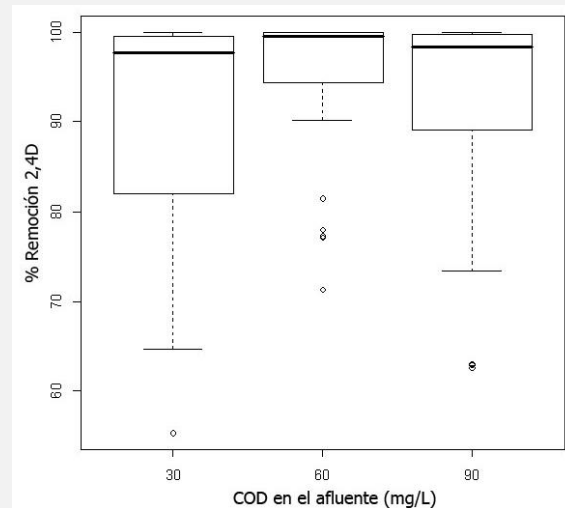


Figura 2. Efecto de la concentración inicial de COD sobre la remoción de 2,4 D.

En la figura 3. Se aprecia que para la concentración mas baja 2,4D en el afluente (20 mg/L), la remoción del herbicida fue la mas alta (98,2%), cuando la concentración de 2,4D aumentó a 40 mg/L y 60 mg/L, se obtuvieron remociones de 85.8 %y 92,8%, aunque las eficiencias del sistema para remover 2,4D disminuyeron con el aumento del plaguicida, en todos las concentraciones de 2,4D evaluadas se obtuvieron remociones altas, logrando obtener efluentes con concentraciones de 2,4D por debajo del limite maximo establecido por la norma internacional sobre la calidad del agua para consumo humano establecido en 0,07 mg/L (EPA, 2011).

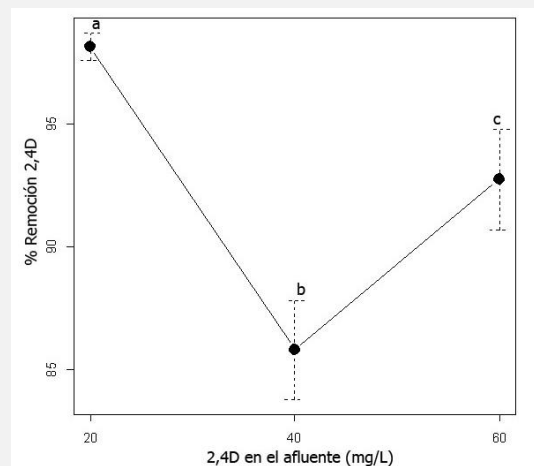


Figura 3. Efecto de la concentración inicial de 2,4D sobre la remoción de 2,4D. Nota: letras diferentes indican diferencias significativas (Prueba HSD Tukey).

Conclusiones

Los humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal empleados en esta investigación mostraron alta eficiencia en el tratamiento simultáneo 2,4D y del COD en aguas residuales, obteniendo remociones de 99,2% y 98,0%, respectivamente.

Esta investigación comprobó que al aumentar la concentración del COD incrementó la remoción tanto de 2,4D como de COD, lo que está acorde con otras investigaciones realizadas donde la adición de una fuente de carbono fácilmente biodegradable favorece el proceso de degradación de plaguicidas.

Referencias Bibliográficas

1. RAPAM, RAP-AL, and IPEN, 2,4-D: Razones para su prohibición mundial., 2007.
2. Laganà, A., A. Bacaloni, I. Leva, A. Faberi, G. Fago and A. Marino, Occurrence and determination of herbicides and their major transformation products in environmental waters. *Anal Chim Acta*, 2000; p. 187–198.
3. Zamba. 2,4 D Amina Zamba. Hoja de datos de seguridad. 2003 [cited 2013 01/06/2013].
4. Russell, J., June Russell's Health Facts. Pesticides – 2,4-D and Roundup. 2001.
5. Pavlica, M., D. Papeš, and B. Nagy, 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid causes chromatin and chromosome abnormalities in plant cells and mutation in cultured mammalian cells. *Mutation Research Letters*, 1991. 263(2): p. 77-81.
6. Tang, Y., S. Luo, Y. Teng, C. Liu, X. Xu, X. Zhang and L. Chen, Efficient removal of herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid from water using Ag/reduced graphene oxide co-decorated TiO₂ nanotube arrays. *Journal of Hazardous Materials*, 2012. 241–242(0): p. 323-330.
7. Han, D., W. Jia, and H. Liang, Selective removal of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid from water by molecularly-imprinted amino-functionalized silica gel sorbent. *Journal of Environmental Sciences*, 2010. 22(2): p. 237-241.
8. Dangcong, P., N. Bernet, JP. Delgenes, and R. Moletta, Effects of Oxygen Supply Methods on the Performance of a Sequencing Batch Reactor for High Ammonium Nitrification. *Water Environment Research*, 2000. 72(2): p. 195-200.
9. Xie, S., J. Liu, L. Li, C. Qiao, Biodegradation of malathion by *Acinetobacter johnsonii* MA19 and optimization of cometabolism substrates. *Journal of Environmental Sciences*, 2009. 21(1): p. 76-82.
10. Widehem, P., S. Ait-Aïssa, C. Tixier, M. Sancelme, H. Veschambre and N. Truffaut, Isolation, characterization and diuron transformation capacities of a bacterial strain *Arthrobacter* sp. N2. *Chemosphere*, 2002. 46(4): p. 527-534.
11. EPA, 2011 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, 2011: Washington, DC.

Evaluación de bioestimulantes en Vivero en plántula de Ají (*Capsicum annuum*) en la subregión de Urabá

Slim Alvarez Alarcon ¹, Mariana Restrepo Valencia¹; Juan Sebastián Cossío Sánchez¹;

Slim Camilo Álvarez Alarcón¹, Complejo Tecnológico Agroindustrial Pecuario y Turístico – SENA. Apartadó – Antioquia. Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación– Sennova. Grupo de Investigación ABIBE. Tel 57 (54) 8280072 IP 44222. CP: 05784. E-mail: alvaslim@sena.edu.co

Resumen

Este estudio evaluó el efecto de diferentes bioestimulantes en plántulas de ají (*Capsicum annuum*) en vivero, bajo dos mezclas de sustrato. Se aplicaron tratamientos con fertilización química, extracto de alga y Super Magro, sobre dos tipos de sustratos (50/50 y 70/30 de arena y bokashi), en un diseño experimental de bloques completamente al azar. Los resultados mostraron que la combinación de sustrato 50/50 con Globafol (un bioestimulante) promovió el mejor crecimiento, alcanzando un promedio de altura de 30,57 cm a los 77 días, seguido por un incremento significativo en el número de hojas, con un promedio de 21 hojas por plántula. La longitud de las raíces también fue notable, con un promedio de 13,5 cm, mientras que la acumulación de materia seca alcanzó los 3,13 g/plántula, lo que reflejó un desarrollo radicular saludable. Estos resultados muestran el potencial de los bioestimulantes como alternativa sostenible a los fertilizantes químicos, mejorando la productividad sin causar un impacto negativo en el medio ambiente o la salud del suelo.

Palabra clave: nutrición, bioestimulantes, Sustrato, Bokashi

Summary

This study evaluated the effect of different biostimulants on chili seedlings (*Capsicum annuum*) in the nursery, under two substrate mixtures. Treatments with chemical fertilization, algae extract and Super Magro were applied on two types of substrates (50/50 and 70/30 sand and bokashi), in a completely randomized block experimental design. The results showed that the combination of 50/50 substrate with Globafol (a biostimulant) promoted the best growth, reaching an average height of 30.57 cm at 77 days, followed by a significant increase in the number of leaves, with a average of 21 leaves per seedling. Root length was also notable, averaging 13.5 cm, while dry matter accumulation reached 3.13 g/seedling, reflecting healthy root development. These results show the potential of biostimulants as a sustainable alternative to chemical fertilizers, improving productivity without causing a negative impact on the environment or soil health.

Keyword: nutrition, biostimulants, Substrate, Bokashi

1. Introducción

La agricultura moderna enfrenta el desafío de satisfacer la creciente demanda de alimentos mientras minimiza los impactos ambientales asociados al uso intensivo de fertilizantes y productos químicos. Estas prácticas, aunque efectivas a corto plazo, han generado problemas graves como la degradación del suelo, la contaminación de recursos hídricos y la afectación de la biodiversidad agrícola (López et al., 2021). Frente a este panorama, los bioestimulantes han emergido como una alternativa sostenible que mejora la productividad de los cultivos y reduce la dependencia de insumos químicos.

El uso de bioestimulantes ha demostrado resultados prometedores en diversos cultivos. Por ejemplo, la aplicación de *Trichoderma harzianum* y FitoMas-E® ha mejorado significativamente la germinación y el crecimiento de plántulas de tomate (Santana Baños et al., 2016). Asimismo, el bioproducto QuitoMax® ha mostrado una respuesta agronómica favorable en este mismo cultivo, incrementando el rendimiento y la calidad del fruto (Terry Alfonso et al., 2017). En otros casos, como en el chile habanero, los bioestimulantes han mejorado la calidad de los frutos, resaltando su impacto en la sostenibilidad agrícola (Murillo-Cuevas et al., 2021).

Además de su uso directo en cultivos, los bioestimulantes enriquecen los sustratos utilizados en la producción de plantines, optimizando su desarrollo inicial y promoviendo la sostenibilidad en sistemas hortícolas (Vivencio Vicencio, 2011). Por ejemplo, los extractos de algas marinas y aminoácidos han mostrado efectos positivos en el crecimiento de la lechuga bajo sistemas

hidropónicos de raíz flotante (Estudillo Bahena & González Fuentes, 2017), mientras que extractos de *Sargassum* spp. han favorecido el crecimiento y la actividad antioxidante en plántulas de tomate (Sariñana-Aldaco et al., 2021).

Por otro lado, el uso de abonos orgánicos foliares, como el biol supermagro y los téis de compost y lombricompost, ha demostrado ser efectivo para mejorar la productividad de cultivos como la lechuga (Aliaga, 2007; Bonillo et al., 2015). Estas prácticas no solo ofrecen beneficios agronómicos, sino que también promueven la conservación de los agroecosistemas al minimizar el impacto ambiental de las prácticas agrícolas convencionales.

En este contexto, los bioestimulantes representan una herramienta clave para la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles, que no solo aseguren la productividad de los cultivos, sino que también contribuyan a la salud ambiental y al bienestar de las comunidades agrícolas.

2. Desarrollo

La utilización de bioestimulantes ha emergido como una alternativa sostenible para enfrentar los retos de la agricultura moderna. Estos productos, basados en compuestos orgánicos y microorganismos, contribuyen al desarrollo de cultivos al mejorar la asimilación de nutrientes, estimular el crecimiento y aumentar la resistencia frente a condiciones adversas. A continuación, se presenta una revisión del estado del arte sobre los principales tipos de bioestimulantes utilizados en la agricultura, organizados por categorías.

2.1. Ácidos húmicos y fúlvicos

Los ácidos húmicos y fúlvicos son compuestos orgánicos derivados de la materia orgánica descompuesta que favorecen la retención de nutrientes y mejoran la estructura del suelo. Su aplicación ha demostrado beneficios en la capacidad de intercambio catiónico del suelo y en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Aliaga (2007) destaca su inclusión en el biol supermagro, un abono líquido que mejora la productividad y la salud de los cultivos, al enriquecer el suelo y facilitar la absorción de nutrientes esenciales.

2.2. Aminoácidos y mezclas de péptidos

Los aminoácidos y péptidos desempeñan un papel crucial en la síntesis de proteínas y en procesos metabólicos clave para el desarrollo vegetal. Su aplicación como bioestimulantes ha demostrado ser efectiva en cultivos hidropónicos. Estudillo Bahena y González Fuentes (2017) evidenciaron el impacto positivo de aminoácidos y extractos marinos en el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo un sistema de raíz flotante, mejorando la absorción de nitrógeno y aumentando la biomasa vegetal.

2.3. Extractos de algas y de plantas

Los extractos de algas son reconocidos por su capacidad para promover el crecimiento vegetal gracias a su contenido de fitohormonas, polisacáridos y minerales. Sariñana-Aldaco et al. (2021) estudiaron los efectos de extractos de *Sargassum* spp. en plántulas de tomate, observando un incremento significativo en la actividad antioxidante y el desarrollo radicular. De igual forma, Bonillo, Filippini y Lipinski (2015) reportaron beneficios similares al aplicar té de compost y lombricompost en lechugas, destacando su potencial para mejorar la calidad y cantidad de la cosecha.

2.4. Quitosanos y otros biopolímeros

Los quitosanos, derivados de la quitina, actúan como bioestimulantes al mejorar la resistencia de las plantas frente a patógenos y al estrés abiótico. Terry Alfonso et al. (2017) evaluaron el impacto del bioproducto QuitoMax® en el cultivo de tomate, obteniendo mejoras significativas en el desarrollo de las plantas y en la producción de frutos, lo que subraya la efectividad de este biopolímero en la agricultura.

2.5. Hongos beneficiosos

El uso de hongos beneficiosos, como *Trichoderma harzianum*, ha demostrado ser altamente efectivo como bioestimulante y

agente de control biológico. Santana Baños et al. (2016) encontraron que la combinación de *Trichoderma harzianum* y FitoMas-E® mejoró la germinación y el desarrollo de plántulas de tomate, además de estimular el crecimiento inicial del cultivo. Este tipo de bioestimulantes también contribuye a la salud del suelo al aumentar la actividad microbiana beneficiosa.

2.6. Bacterias beneficiosas

Las bacterias beneficiosas, como las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), son fundamentales para la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la producción de fitohormonas. Murillo-Cuevas et al. (2021) documentaron la efectividad de bioestimulantes basados en bacterias en el cultivo de chile habanero, mejorando tanto el rendimiento como la calidad de los frutos. Asimismo, Vivencio Vicencio (2011) destacó la importancia de estas bacterias en la producción de plantines, optimizando el desarrollo inicial de diversas hortalizas.

3. Metodología

Este trabajo fue realizado por aprendices e instructores de la institución Servicio Nacional de Aprendizaje SENA – Complejo Tecnológico Agroindustrial Pecuario y turístico SENA, de Apartadó Antioquia, cuyas coordenadas son 7° 53' 31.6" de latitud norte y 76° 37' 53.8" de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 25 m. en una zona de vida Bosque húmedo Tropical (bh-T), con temperatura promedio anual de 28°C; Se utilizó un diseño en bloque completamente al azar (DBCA), el bloqueo es realizado por dos tipos de sustratos sustrato 1 (bocashi+ arena 70%/30%) y sustrato 2 (bocashi+ arena 50%/50%), a estos sustratos se le aplicó tres tratamientos (1: fertilización química 2: Extracto de Alga y 3: El super magro) con tres repeticiones cada replica tendrá 8 unidades experimentales para un total de 48 plantas por tratamiento ver tabla 1 a y b, estas plantas se le realizan su fertilización cada 15 días, la toma

de dato se realiza cada 15 días; se le procederá a medir Variables fenológicas: Número de hojas por planta; Ancho de las hojas (Cm); Largo de la hoja (Cm) ; Área foliar (Cm); Altura de la planta (Cm); Diámetro de la planta (Cm); dentro de estas variables se encuentran unas destructivas las cuales se tomarán cada mes Peso inicial (gr), en fresco (gr) y seco de las plantas (gr); Peso del sistema radicular (gr); Número de raíces; Largo de la raíz primaria (cm); como se observa en la imagen 1ª y 1b.

Tabla 1a . Tratamientos bloque arena bokashi 50/50

Blouqe	Tratamiento	Replica	U.E
50% arena 50% bokashi	15-15-15 5gr por planta -----0	3	8
	10 Cm3/Litro Globafol 100 Cm3/planta--1	3	8
	20 cm3/litro 100 cm3----2	3	8

Tabla 1b . Tratamientos bloque arena bokashi 30/70

Blouqe	Tratamiento	Replica	U.E
30% arena 70% bokashi	15-15-15 5gr por planta -----0	3	8
	10 Cm3/Litro Globafol 100 Cm3/planta--1	3	8
	20 cm3/litro 100 cm3----2	3	8

Imagen 1a, Unidades Experimentales
Tomado de : Restrepo, 2024



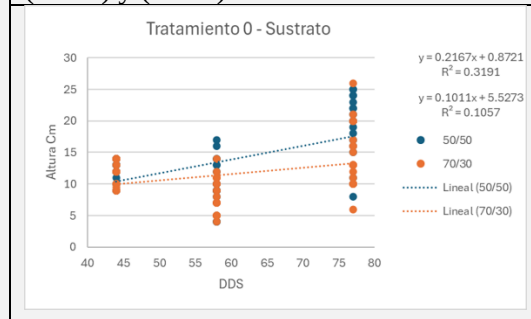
Imagen 1b, Toma de datos

Tomado de : Restrepo, 2024



4. Resultado

Grafica 1. Efecto de fertilización química en dos tipos de sustratos arena/bokashi (50/50) y (30/70)

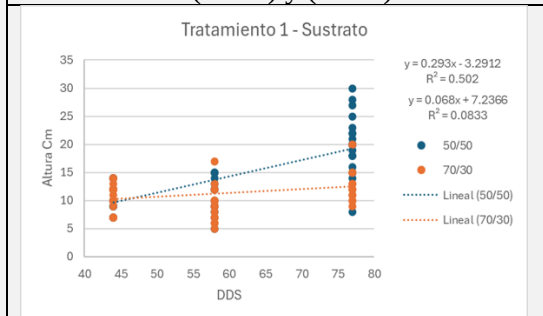


La gráfica 1.se presume una relación lineal entre la altura de las plantas y el tiempo bajo el efecto de fertilizantes químicos en dos proporciones de sustratos. La pendiente de las ecuaciones lineales indica un crecimiento más acelerado en el sustrato 50/50 en comparación con el 30/70, lo que sugiere que un balance equitativo entre arena y bokashi optimiza la disponibilidad de nutrientes y la aireación del suelo.

Vivencio Vicencio (2011) destacó que sustratos enriquecidos con bokashi mejoran la estructura y la capacidad de retención de nutrientes, promoviendo un crecimiento uniforme. Además, Aliaga (2007) resaltó que el uso de fertilizantes químicos puede ser efectivo, pero requiere un sustrato adecuado

para maximizar su eficiencia y evitar pérdida de nutrientes.

Imagen 2. Efecto de la fertilización con globafol en dos tipos de sustratos arena/bokashi (50/50) y (30/70)



En esta gráfica 2, las ecuaciones lineales muestran una pendiente más pronunciada en el sustrato 50/50 cuando se utiliza Globafol, lo que indica un crecimiento más rápido en comparación con el sustrato 30/70. Se puede observar el mismo comportamiento de la gráfica 1.

1. Santana Baños et al. (2016) señalaron que los bioestimulantes, como Globafol, estimulan procesos fisiológicos clave como la fotosíntesis y la absorción de nutrientes, lo que incrementa el crecimiento en etapas iniciales del cultivo. Por otro lado, Bonillo et al. (2015) documentaron que fertilizantes foliares orgánicos son más efectivos cuando se aplican en combinación con sustratos que mejoran la

retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes.

La gráfica 3. correspondiente a Super Magro en los dos tipos de sustratos (50/50 y 70/30) no se presentó el mismo comportamiento.

Aliaga (2007) destacó que fertilizantes líquidos como Super Magro son ideales para mejorar la actividad microbiana y liberar nutrientes de manera gradual, especialmente en suelos con un alto contenido de materia orgánica. Además, Estudillo Bahena y González Fuentes (2017) indicaron que los bioestimulantes líquidos enriquecen el suelo y promueven el desarrollo radicular, lo que contribuye a un crecimiento constante en diferentes tipos de sustratos.

Al comparar las gráficas (1, 2 y 3) y las ecuaciones lineales en el sustrato con mejor respuesta (50/50) se observa que:

$Y = 0.2167x + 0.8721$Fertilización química

$Y = 0.293x + 3.2912$Globafol

$Y = 0.2071x + 1.7362$ super magro

El orden da la tasa de crecimiento por tratamiento son globafol, fertilización química y super magro respectivamente

Tabla 2. Efecto de la aplicación de fertilizante químico, globafol y super magro

DDS	Altura cm			Nº Hojas			D mm
Tratamiento	44	58	77	44	58	77	77
0	11	9,23	16,71	7,67 c	5,18	8,43	0,13 a
1	11,75	10,19	17,41	8,10 ab	5,25	8,32	0,12 ab
2	11,9	10,27	16,43	8,2 a	5,36	8,07	0,10 b
	0,72ns	0,30ns	0,68ns	0,017	0,85ns	0,77ns	0,018

DDS: días después de la siembra

En esta tabla, se evalúan las respuestas en altura, número de hojas y diámetro de plántulas tratadas con fertilizantes químicos, Globafol y Super Magro, medidos en diferentes días después de la siembra (DDS). Aunque no todas las diferencias son

significativas, el tratamiento 1 (Globafol) mostró valores consistentes en las variables de altura y número de hojas superando a fertilizantes químicos y super magro a los DDS 77 con promedio de 17.41; 16.71 y 16.43 cm respectivamente, para diámetro

presentaron promedio de 0.13 y 0.12 mm en donde el fertilizante de síntesis química y globafol presentaron una media semejante en la prueba de tukey y por ultimo 0.10 mm super magro.

El uso de fertilizantes orgánicos como Globafol puede tener un efecto modulador en el crecimiento vegetal, resultados similar son

reportado por Aliaga (2007), quien destacó el impacto positivo de productos como el biol supermagro en la productividad agrícola. Además, Bonillo, Filippini y Lipinski (2015) evidenciaron que abonos foliares orgánicos pueden ser igual o más efectivos que los fertilizantes químicos en cultivos como la lechuga, optimizando la calidad del follaje.

Table 3. Efecto de la interacción de los sustratos arena/bokashi con la aplicación de fertilizantes químicos, globafol y super magro; en las variables altura, hoja y diámetro

DDS	Altura Cm			N° Hojas			Diametro mm
Tratamiento	44	58	77	44	58	77	77
T0+50-50	11	10,15 ab	18,94 a	7,65	5,73	9,36 a	0,13
T0+70-30	11	8,35 b	14,60 bc	7,7	4,8	7,55 ab	0,14
T1+50-50	11,27	11 ab	20,30 a	7,85	5,33	9,20 ab	0,14
T1+70-30	11,72	9,4 b	13,28 c	8	5	7,07 b	0,1
T2+50-50	12,14	11,26 a	18,73 ab	8,35	5,05	8,63 ab	0,11
T2+70-30	12,2	9,46 ab	14,25 c	8,52	5,57	7,55 ab	0,1
	0,78ns	0,031	0,01	0,53ns	0,36ns	0,004	0,99ns

DDS: días después de la siembra

Esta tabla refleja cómo diferentes proporciones de sustrato (50/50 y 70/30 de arena y bokashi) interactúan con los tratamientos en variables como altura, número de hojas y diámetro de las plántulas. Los mejores resultados en altura y número de hojas a los 77 DDS se obtuvieron con la combinación T1+50-50 (20,30 cm), destacando el rol de proporciones equilibradas de sustrato en el desarrollo del cultivo; al ver la variable altura se observa que los mejores valores se encuentran con los sustratos 50/50 siendo el Tratamiento 0 y 1 los mejores con una media sin diferencia significativa 20.30 y 18.94 cm respectivamente seguido por tratamiento 2 super magro 18.73 cm. En

cuanto a número de hojas no existe diferencia significativa en ninguno de los momentos evaluados 44 y 58 DDS, para los 77 días el p-Valor fue muy próximo a 0.005 por lo que la diferencia no es alta; en la variable diámetro de planta no existe diferencia significativa. Vivencio Vicencio (2011) destacó que los sustratos enriquecidos con bioestimulantes potencian la producción de plantines al mejorar la disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, Sariñana-Aldaco et al. (2021) demostraron que extractos de *Sargassum spp.* favorecen el crecimiento aéreo, incluso en sistemas con limitaciones nutricionales, subrayando la importancia de complementar los sustratos con bioestimulantes eficaces.

Tabla 4. Efecto de la aplicación de fertilizantes químicos, globafol y super magro; en las variables de Largo de raíz, materia seca de Raíz, hoja y tallo

Tratamiento	Raíz Cm	MS Raíz	MS Hoja	MS Tallo
0	8,5	20,60	8,46	5,97
1	9,5	17,50	10,58	5,97
2	7,3	12,35	7,87	5,58
P-Valor	0,068ns	0,051ns	0,272ns	0,938ns

Esta tabla muestra cómo los tratamientos impactan la longitud radicular y la materia seca de raíces, hojas y tallos. Aunque las diferencias no son estadísticamente significativas en todas las variables, Globafol (tratamiento 1) se destacó con el mayor desarrollo radicular (9,5 cm), la mayor acumulación de materia seca en las hojas (10,58 %); en cuanto a materia seca de la raíz el tratamiento con fertilización química ocupó el primer puesto con 20.60% seguido de globafol con 17.50% y super magro se aleja de

media.

El crecimiento radicular promovido por Globafol es consistente con lo reportado por Terry Alfonso et al. (2017), quienes encontraron que el QuitoMax®, un quitosano, incrementa la biomasa radicular al mejorar la captación de agua y nutrientes. Asimismo, estudios como el de Murillo-Cuevas et al. (2021) han demostrado que los bioestimulantes mejoran la calidad del cultivo, particularmente en sistemas donde el desarrollo de la raíz es clave para la absorción de nutrient

Tabla 4. Efecto de la interacción de los sustratos arena/bokashi con la aplicación de fertilizantes químicos, globafol y super magro en las variables Largo de raíz, materia seca de Raíz, hoja y tallo

	Raíz Cm	MS Raíz	MS Hoja	MS Tallo
T0+50-50	7,23 bc	19,03	5,75	5,73
T0+70-30	10,66 a	34,16	7,17	6,21
T1+50-50	7 bc	14,05	13,67	6,69
T1+70-30	10 ab	10,64	7,49	5,18
T2+50-50	6 c	13,48	6,46	7,55
T2+70-30	8,3 b	17,51	5,28	3,6
P-Vaor	0,048	0,122 ns	0,371ns	0,234ns

Los resultados sugieren que la combinación de sustrato T0+70-30 (70% arena y 30% bokashi) con fertilizantes químicos produjo la mayor longitud de raíz (10,66 cm). Sin embargo, otras combinaciones como T1+50-50 también demostraron buenos resultados en acumulación de materia seca, particularmente en hojas (13,67 g). Aliaga (2007) destacó que los sustratos enriquecidos con bokashi mejoran la actividad microbiana, lo que podría explicar el aumento en el desarrollo radicular. Además, el estudio de Estudillo Bahena y González Fuentes (2017) señaló que los extractos de algas marinas favorecen tanto el crecimiento aéreo como subterráneo en cultivos hidropónicos, resultados que son relevantes para

sistemas enriquecidos como los evaluados aquí.

5. Conclusiones

Los datos analizados subrayan la importancia de integrar sustratos enriquecidos y bioestimulantes para maximizar la productividad de los cultivos. La combinación de bokashi con productos como Globafol y Super Magro demostró ser efectiva para optimizar tanto el desarrollo radicular como la biomasa aérea, particularmente en proporciones equilibradas de sustrato. Estos resultados están respaldados por la literatura científica, destacando la efectividad de los bioestimulantes como herramientas clave para la sostenibilidad agrícola.

6. Referencia bibliográfica

- 1- Aliaga, N. (2007). *Producción de biol supermagro*. Cedepas Norte. Centro ecuménico de promoción y acción social.
- 2- Bonillo, M. C., Filippini, M. F., & Lipinski, V. (2015). Efectos de abonos orgánicos foliares: té de compost, té de lombricompost y supermagro en la productividad en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). In V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA (7 al 9 de octubre de 2015, La Plata)..
- 3- Estudillo Bahena, A. A., & González Fuentes, J. A. (2017). Efecto de extractos de algas marinas y aminoácidos en el crecimiento de lechuga (*Lactuca Sativa* L.) bajo un sistema de raíz flotante.
- 4- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Adame-García, J., Vásquez-Hernández, A., Martínez-García, A. D. J., & Moctezuma, R. L. (2021). Bioestimulantes en la calidad de frutos de chile habanero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1473-1481.
- 5- Santana Baños, Y., del Busto Concepción, A., González Fuentes, Y., Aguiar González, I., Carrodegua Díaz, S., Páez Fernández, P. L., & Díaz Lugo, G. (2016). Efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai y FitoMas-E® como bioestimulantes de la germinación y crecimiento de plántulas de tomate. *Centro agrícola*, 43(3), 5-12.
- 6- Sariñana-Aldaco, O., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., Robledo-Olivo, A., Rodríguez-Jasso, R. M., Preciado-Rangel, P., & Gonzalez-Morales, S. (2021). Efecto de extractos de *Sargassum* spp. en el crecimiento y antioxidantes de plántulas de tomate. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(2).
- 7- Terry Alfonso, E., Falcón Rodríguez, A., Ruiz Padrón, J., Carrillo Sosa, Y., & Morales Morales, H. (2017). Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax®. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 147-154.
- 8- Vivencio Vicencio, C. A. (2011). Bioestimulantes como enriquecedores de sustratos para la producción de plantines de hortalizas.
- 9- Vivencio Vicencio, C. A. (2011). *Bioestimulantes como enriquecedores de sustratos para la producción de plantines de hortalizas*.

ELABORACIÓN DE HARINA POR MEDIO DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA CASCARA, RESIDUO GENERADO DE LA COSECHA Y POSTCOSECHA EN EL CULTIVO DE MARACUYA AMARILLO (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) EN LA SUBREGION DEL URABA ANTIOQUEÑO.

Luis Alfredo Rentería Torres¹

Luis Alfredo Rentería Torres; Ing. Agroforestal, Msc. Ciencias de la Educación; Complejo Tecnológico Agroindustrial Pecuario y Turístico – SENA. Apartadó – Antioquia. Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación– Sennova. Grupo de Investigación ABIBE. Semillero de investigación SISAP.
E-mail: larenteriat@sena.edu.co

Resumen

El cultivo de las pasifloras en Colombia viene en aumento específicamente la producción del maracuyá amarillo, y en este caso la Subregión del Uraba Antioqueño no es la excepción, de ahí la importancia de buscar alternativas sostenibles para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en la producción, cosecha y postcosecha. Actualmente una de las problemáticas ambientales es la cantidad de residuos orgánicos que son desechados y que por una u otra razón no llegan a ser compostados o transformados para que no lleguen a los sitios de disposición final como son los rellenos sanitarios, por esta razón se requiere aportar a generar economía circular con los residuos que generan las distintas actividades económicas de los sectores productivos, el siguiente estudio cuyo propósito fue realizar una transformación natural de la cascara del fruto de maracuyá amarillo que producen los productores en el uraba antioqueño y someterlo a un tratamiento primario durante varios días y finalmente llevar una muestra seleccionada al laboratorio para ser sometida a un análisis bromatológico cuyo resultado obtenido se encuentra descrito a continuación. En el siguiente artículo se determinó el potencial nutritivo de la cascara del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) para la alimentación de especies pecuarias existentes en la Subregión del Uraba Antioqueño, departamento de Antioquia (Colombia), teniendo en cuenta la composición bromatológica de la muestra, El análisis bromatológico incluyó materia seca (MS), proteína bruta (PB), ceniza (Cen), fibra detergente ácida (FDA), fibra detergente neutra (FDN), lignina detergente ácida (LDA) y energía bruta (EB). En general los valores más altos se obtuvieron fueron los siguientes Fibra Cruda 46.2%, Fibra Detergente Ácida 42.1%, Fibra Detergente Neutra 46.5% y Nutrientes Digestibles Totales de 56.1%, esto hace que la harina elaborada de esta cascara nos sirva como elemento para la producción de alimento para animales como bovinos, equinos, caprinos y ovinos, por consiguiente con esta harina se elaboró un abono orgánico llamado Maracuyaza cuyos resultados arrojaron algunos porcentajes en los siguientes nutrientes como: Cu 10.7 mg/kg, Zinc 88.4 mg/kg, Boro 16.1 mg/kg y Manganeseo 144 mg/kg que aportarían en mejorar las condiciones de deficiencias de estos en los suelos de cada cultivo.

Palabras clave: Urabá, Cáscara, Agroindustria, Bromatología, alimentación, Abonos.

Abstract

The cultivation of passion flowers in Colombia is increasing, specifically the production of yellow passion fruit, and in this case the Uraba Antioquia Subregion is no exception, hence the importance of seeking sustainable alternatives for the management of organic solid waste generated in the production, harvest and post-harvest. Currently one of the environmental problems is the amount of organic waste that is discarded and that for one reason or another is not composted or transformed so that it does not reach final disposal sites such as landfills, for this reason it is necessary to contribute to generate a circular economy with the waste generated by the different economic activities of the productive sectors, the following study whose purpose was to carry out a natural transformation of the peel of the yellow passion fruit fruit produced by producers in the Uraba of Antioquia and subject it to a primary and take a selected sample to the laboratory to undergo a bromatological analysis, the result of which is described below. In the following article, the nutritional potential of the peel of the yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) was determined for feeding livestock species existing in the Uraba Antioqueño Subregion, department of Antioquia (Colombia), taking into account the bromatological composition of the sample, the bromatological analysis included dry matter (DM), crude protein (CP), ash (Cen), acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent lignin (LDA) and gross energy (EB). In general, the highest values obtained were the following Crude Fiber 46.2%, Acid Detergent Fiber 42.1%, Neutral Detergent Fiber 46.5% and Total Digestible Nutrients of 56.1%, this makes the flour made from this shell serve as an element for the production of food for animals such as cattle, horses, goats and sheep, therefore with this flour an organic fertilizer called Passion Fruit was made, the results of which showed some percentages in the following nutrients such as: Cu 10.7 mg/kg, Zinc 88.4 mg/kg, Boron 16.1 mg/kg and Manganese 144 mg/kg that would contribute to improving the conditions of their deficiencies in the soils of each crop.

Keywords: Urabá, Cascara, Agroindustry, Food Bromatology, Fertilizers.

Introducción

En el contexto geográfico el cultivo de las *Pasiflora edulis F.* en Colombia ha venido creciendo en producción y su mayor área sembrada se encuentran ubicadas en los Departamentos de Huila, Valle del Cauca, Antioquia, Meta y Magdalena, siendo el departamento de Antioquia el mayor productor a nivel nacional en la actualidad. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Torres, L. A. R. (2023). Elaboración de Compost Orgánico (Maracuyaza) en la subregión del Urabá Antioqueño. *Revista Ideales*, 15(15), 90-94. <https://doi.org/10.59514/2539-5211.3362>

En el contexto regional el Departamento de Antioquia en la subregión del occidente específicamente en el municipio de Dabeiba y la subregión del Urabá también viene realizando en los últimos años un desarrollo agrícola fuerte en la producción y comercialización del maracuyá amarillo en Antioquia con la calidad de su fruta; en donde se ven referenciados los siguientes municipios como Chigorodó, Carepa, Apartado, Turbo y Necoclí en donde buscan fortalecer sus procesos de certificación en normas para mejorar los precios en los mercados nacionales y su proyección de exportación teniendo en cuenta las unidades portuarias que se construirán en su localidad.

En este caso para (Addosio et al. 2005) La cáscara de maracuyá contiene en su mayoría pectinas de alto metóxilo que es beneficiosa para los humanos, por otra parte (Guertzenstein, 1998; Yapó y Koffi, 2006) mencionan que ayudan a bajar la glucosa y colesterol en la sangre.

La función principal de la fibra soluble es la de contribuir en la disminución de la absorción y aprovechamiento del azúcar, colesterol y triglicéridos en el aparato digestivo, de esta manera se reduce el riesgo de padecer enfermedades del corazón, ya que también controla los niveles de colesterol en la sangre y de diabetes, porque al ser absorbida la glucosa lentamente, se mejora la tolerancia al azúcar. La fibra insoluble da mayor consistencia a los alimentos, razón por la cual

la masticación se prolonga; así, aumenta la sensación de saciedad y se evita el sobreconsumo de alimentos. Además, esta clase de fibra también aumenta el volumen del bolo alimenticio y disminuye el tiempo de paso de los desechos, y se mejora el funcionamiento del sistema digestivo. Mayo clínc. (2022) Estilo de vida saludable (Nutrición y comida saludable) Fibra alimentaria esencial para una alimentación saludable.

Desarrollo

El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates en la zona de Mesopotamia. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas direcciones. Los historiadores y arqueólogos cuentan que las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre datan de hace más de doce mil años. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo del trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía e Irak (Ferias, 2002).

Los cereales constituyen la fuente de nutrientes más importantes de la humanidad. Históricamente están asociados al origen de la civilización y cultura de todos los pueblos. El hombre pudo pasar de nómada a sedentario cuando aprendió a cultivar los cereales y obtener de ellos una parte importante de su sustento. Cada cultura, cada civilización, cada zona geográfica del planeta, consume un tipo de cereales específicos creando toda una cultura gastronómica en torno a ellos. Entre los europeos domina el consumo del trigo; entre los americanos el de maíz, y el arroz es la comida esencial de los pueblos asiáticos; el sorgo y el mijo son propios de las comunidades africanas. Los molinos de mano más antiguos se remontan al Neolítico, una fase económica caracterizada por la extensión de la agricultura. Aunque siguieron moliéndose las semillas de recolección, como bellotas o castañas, el producto principal paso a ser los cereales. Es muy probable que la molienda del trigo para producir harina se

hiciera primitivamente, por medio de majaderos y de morteros, o machacándolo entre dos piedras planas: las mejoras de este último procedimiento llevo a la invención de los molinos de sangre (movidos por animales) que alcanzan hasta la más remota antigüedad y de ella se habla con frecuencia en la Biblia: Sansón hizo girar la muela entre los filisteos, etc. Homero habla también de ella en la Odisea. Los romanos empezaron a servirse de los molinos hidráulicos desde el siglo I a. C. En este trabajo también empleaban a los esclavos y penados. Más tarde aplicaron también a él a algunos animales. El trigo produjo más alimento al ser cultivado por iniciativa de los seres humanos, pues de otra manera este no habría podido tener éxito en estado salvaje (León, 2007).

Metodología

- Materiales y métodos

Las materias primas y los subproductos fueron recolectados en la zona rural del municipio de Chigorodó, ubicado a 34 m.s.n.m ubicado, a 7°40'11"N 76°40'53"O / 7.6697222222222, -76.6813888888889; con una temperatura promedio de 28 °C y humedad relativa de 76%. El área de muestreo se encuentra en el departamento de Antioquia segundo productor a nivel nacional de Maracuyá, alcanzando un área sembrada de 2.447 ha, que arroja un dato de producción de 33.500 Toneladas, con un rendimiento de 14,91 Toneladas/hectáreas. L. A. R. (2023). Elaboración de Compost Orgánico (Maracuyaza) en la subregión del Urabá Antioqueño. Revista Ideales, 15(15), 90-94. <https://doi.org/10.59514/2539-5211.3362>

Para la toma de las muestras en campo fue seleccionado 1 productor, de la asociación de maracuyá ubicada en el municipio de Chigorodó que ha participado en el proceso de fortalecimiento socio empresarial de ASOHOFRUCOL (2019-2021), además de las evaluaciones y rendimientos de su predio, fue el primero en Urabá con certificado predio exportador ICA en el cultivo de maracuyá, esto le ha permitido la participación en el primer

concurso de calidad en el Urabá y realizar diversos ejercicios de exportación de fruta para diferentes países de Europa, por consiguiente se relacionan sus datos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Toma de muestra productor de maracuyá del Municipio de Chigorodó

Número de la muestra	Nombre	Apellido	Dto	Asociación
M1	Marta lucia	Rojas	Chigorodó	AGROPASF

Fuente de consulta: Selección del productor para la toma de muestras en campo de cascara de maracuyá, Fuente consulta: adoptado por Luis Alfredo Rentería autor.

Posteriormente a esa selección se procedió a realizar una distribución anual de la toma de las respectivas muestras en el predio esto se ajustó a las proyecciones de estimación de producción durante el año ya que esta varia en el año. La muestra final que fue llevada al laboratorio fue tomada de 24 submuestras obtenidas durante el año.

Tabla 2. Distribución anual de muestra productor de maracuyá del Municipio de Chigorodó.

Número de Submuestras de cascara procesadas de 100gr recolectadas durante un año.											
Semana 4	X		X			X	X		X		X
Semana 3		X	X		X	X		X			X
Semana 2	X			X	X		X		X		X
Semana 1	X		X			X		X		X	X
MESES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Diciembre

- Análisis químicos.

Los procedimientos analíticos se realizaron en el Laboratorio servicios ambientales y agrícolas de la empresa AGRILAB sede Bogotá D.C. Para el efecto, se tomaron muestras en forma aleatoria de la materia prima y el subproducto y sobre ellas se emplearon los siguientes tratamientos técnica de gravimetría, Volumetría y Kjendhal basada en el postulado, Bernal, I. 1994. Análisis de alimentos. Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Bogotá, seguido de Gravimetría, digestión con una mezcla de ácido fuerte y posterior mezcla de base

concentrada, Gravimetría, extracción con detergente en solución ácida y Gravimetría, extracción con detergente neutro basada en la referencia del ICA, Técnicas para evaluación de forrajes y análisis de minerales en tejido vegetal y animal. 1985. Tibaitatá, Mosquera. Por último, Colorimetría, extracción en medio ácido. Basada en la NTC-234:1996 y Espectroscopía de absorción atómica, digestión en medio ácido cuya referencia fue Programa Internacional de Intercambio Analítico de la Universidad de Agricultura de Wageningen: Walinga, I., Vark, W., Houba, J., Lee, J., Plant Analysis Procedures: SOIL AND PLANT ANALYSIS, PART 7, 1989.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en el estudio realizado a las submuestras de la cascara de maracuyá establecieron los siguientes valores: % Fibra Cruda 46, % Fibra Detergente Ácida 42.1, % Fibra Detergente Neutra 46.5 y Nutrientes Digestibles Totales de 56.1% (Tabla 3).

En comparación, la muestra de harina de CM presentó un contenido de proteína de 6.81 g/100 g. Siendo un poco mayor que lo descrito en el trabajo de Cazarinet Et al (2014) de 3.94 g/100 g. En cambio, Fue menor que lo relatado por Souza et (2008) y Carneiro (2001) con contenidos de 11.76 g/100 g.

Se encontró que el contenido de proteína determinado para la harina de Maracuyá se asemeja a el contenido de proteína del frijol carioca cocido (4.8 g/100 g) (TACO, 2011). Es importante resaltar que este tipo de proteína puede ser aprovechada para alimentación vegetariana.

La harina de cascara de maracuyá presento 46 g/100 g de fibra bruta. Valor mucho menor que los 66.37 g/100 g, 65.22 g/100 g trabajos de Souza et al., (2008); Cazarin et al., (2014) pero mayor que los 42.84 g/100 g descritos en los Carneiro (2001).

Según Bernaud & Rodrigues (2013) la ingestión de fibras puede estar asociada a reducción en los niveles de glucosa, presión arterial y lípidos séricos y describieron datos que fundamentan su influencia en la reducción de enfermedades crónicas como neoplasia de colon en personas que consumen mayor cantidad de fibras y confirman que consumir por lo menos 30g/día de fibras es un factor relevante para conseguir los beneficios relatados.

Según la Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas - FAO (2013) en la nutrición humana los macronutrientes son usados para generar energía y los micronutrientes tienen la función de ayudar en el cuidado de la salud por lo cual, es importante suplir las necesidades mínimas de estos nutrientes diariamente con el objetivo de mantenernos saludables y tener energía suficiente para cumplir con nuestras tareas diarias.

Los resultados del presente estudio revelan (figura 1) que los recursos evaluados pueden ser utilizados para la alimentación animal como alternativa para reducir los costos de producción; De esta forma la harina de cascara de maracuyá pueden ser usadas como fuentes complementarias para incentivar la ingestión diaria de fibras para mantener una adecuada salud del tracto digestivo y se considera, que esta propuesta permite enseñar a los pequeños y medianos productores sobre la importancia de incorporar nuevamente este residuos al ciclo de producción, generando valor agregado y fortaleciendo sus ingresos además de reducir de manera considerable los residuos sólidos orgánicos de esta cadena productiva que no son utilizados de manera sostenible generando muchas veces impactos negativos al medio ambiente con este tipo de residuos dispuestos de cualquier manera o en su defecto enterrados en los sitios de disposición final

Tabla 3. Composición bromatológica (%) del recurso evaluado.

Variable	Resultados	Extractante/Técnica/Referencia
Humedad	10%	70 °C / Gravimétrico / Bernal 1994
Materia Seca	90%	Cálculo
Cenizas	7.90%	700 °C / Gravimétrico / Bernal 1994
Pérdidas por Volatilización	92.1%	Cálculo
Extracto Etéreo	1.57%	Éter / Gravimétrico / Bernal 1994
Fibra Cruda	46.2%	Mezcla ácida / Gravimétrico / Bernal 1994
Fibra Detergente Ácida	42.1%	Detergente Ácido / Gravimétrico / ICA 1985
Fibra Detergente Neutra	46.5%	Detergente Neutro / Gravimétrico / ICA 1985
Nitrógeno Orgánico	1.09%	Mezcla Kjeldahl / Volumétrico / Bernal 1994
Proteína Cruda	6.81%	Mezcla Kjeldahl / Volumétrico / Bernal 1994
Extracto No Nitrogenado	37.5%	Cálculo
Energía Digestible	2.47%	Cálculo
Energía Metabolizable	2.03%	Cálculo
Nutrientes Digestibles Totales	56.1%	Cálculo
Fosforo	0.214%	MVH Ácido Nítrico: Ácido Perclórico / Colorimétrico / NTC 234
Calcio	0.280%	MVH Ácido Nítrico: Ácido Perclórico / EAA / Método Interno



Figura 1. Cascara maracuyá secada y trozada (a); Cascara maracuyá triturada (b); Harina de cascara maracuyá (c)

Conclusiones

La cascara de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) presenta grandes posibilidades para uso como suplementos en la alimentación animal, debido a su mayor contenido de fibra y nutrientes digestibles totales. Fibra Cruda 46,2 Fibra Detergente Ácida 42,1, Fibra Detergente Neutra 46,5 y NTD 56,1.

De igual manera con nuestra investigación buscamos aportar nuevos conocimientos a la cadena productiva del cultivo de maracuyá amarillo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) en la subregión del uraba antioqueño, a partir de la innovación de poder elaborar nuevos productos a partir de los residuos como la cáscara, resultado del procesos de la poscosecha en el cultivo en mención, por consiguiente nuestro resultado de la investigación llevada a cabo permitirá el fortalecimiento de las líneas de investigación en los programas de ciencias agrarias de las instituciones de educación superior de la subregión, el departamento y la nación para nuevas investigaciones.

Finalmente podemos concluir que el valor agregado es fundamental para la sostenibilidad ambiental de cualquier agroindustria en la actualidad, por esta razón aplicar economía circular disminuyendo la generación de residuos orgánicos aprovechables con este tipo de subproducto de un valor nutricional importante es fundamental para nuevas generaciones de empleo y eco economía de productos alternativos para la industria de derivados para elaboración de concentrados animales.

Bibliografía

León, A. E., Rosell, C. M., Gómez Pallarés, M., Brites, C., Haros, M., Trigo, M. J., ... & Benedito Mengod, C. (2007). De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. ISEKI-Food.

Farías, R. F., Bustos, F. M., Moreno, Y. S., & Ríos, E. (2002). Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36(5), 557-567.

Arango, A. J. y Zuluaga, S. G. 2007. Seguridad alimentaria desde una perspectiva de gestión ambiental en territorios de comunidades Emberá del Atrato Medio Antioqueño. La Paz. Fondo para el desarrollo de los pueblos indígenas de América Latina y el Caribe, Secretaría Técnica, Comisión de Desarrollo con Identidad. p. 71 - 187.

Artega, S. (2015). Sustitución parcial de la harina de trigo (*triticum Aestivum*) por harina de Tarwin (*Lupinus multabilis sweet*) y harina de cáscara de Maracuya (*passiflora edulis*) en las (características fisicoquímicas y sensoriales de cupcakes [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería. E.A.P Ingeniería Agroindustrial.] al final el link donde reposa la tesis

Arroyo, O. C. y Rojas, B. A. 2012. Experiencias con ganado estabulado utilizando pejibaye (*Bactris gasipaes*) y frutas tropicales en Costa Rica. *Ganadería/Artículos técnicos/Nutrición*. Universidad de Costa Rica. (Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/nutricion/articulos/experiencias-con-ganado-estabulado4033/141-p0.htm> 12-26-2013)

Bayas, A. A. M. 2010. Utilización de residuo fibroso seco obtenido de la cáscara de palmito de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K); en la elaboración de barras alimenticias energéticas (BAE) en la Industria Agrícola Exportadora C.A. INAEXPO. Tesis Ingeniero de Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Tungurahua, Ecuador. 184 p.

Juárez, R. A.; Cerrillo, S. M.; Gutiérrez, O. E.; Romero, T. E.; Negrete, C. J.; y Bernal, B. H. 2009. Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas in vitro. *Téc. Pec. México* 47(1):55 - 67.

Leyva, C. S.; Valdivié, M.; y Ortiz, A. 2012. Utilización de harina de frutos y hojas del árbol del pan (*Artocarpus altilis*) en la ceba de conejos Nueva Zelanda Blanco. *Rev. Pastos y Forrajes* 35(4):443 – 451.

Martínez, M. G.; Medina, A. H. H.; y Ríos, H. A. 2010. Aprovechamiento de residuos sólidos. Avances en investigaciones realizadas en la Universidad Tecnológica del Chocó. *Rev. Institucional Universidad Tecnológica del Chocó: Investigación, Biodiversidad y Desarrollo* 29(1):177 - 185.

Martínez, G. M. 2004. Metodología de valoración nutritiva de materias primas mediante ensayos de digestibilidad en conejos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 175 p.

Mayo clínc .(2022) Estilo de vida saludable (Nutrición y comida saludable) Fibra alimentaria esencial para una alimentación saludable.

Medina, A. H.; Martínez, M. G.; y Flórez, B. J. A. 2007. Caracterización bromatológica de materias primas y subproductos en el municipio de Quibdó. *Rev. Institucional Universidad Tecnológica del Chocó: Investigación, Biodiversidad y Desarrollo* 26(2):9 - 12.

Palacios, J. P.; y Córdoba, W. E. 2009. Evaluación de una materia prima y dos subproductos regionales en la alimentación de pollos de engorde en el municipio de Quibdó. Tesis Ingeniero Agroforestal. Universidad Tecnológica del Chocó. Quibdó, Chocó, Colombia. 70 p.

Palomino, C.; Molina, Y.; y Pérez, E. 2010. Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott y



Xanthosomas agittifolium (L.) Schott.
Maracay. Rev. Fac. Agron. 36(2):58 - 66.

Rojo, R. R.; Mendoza, M. G.; García, B. C.;
Bárcena, G. J.; y Aranda, I. E. 2000. Consumo
y digestibilidad de pastos tropicales en toretes
con suplementación nitrogenada y
Saccharomyces cerevisiae. Maracaibo. Rev.
Fac. Agron. 17(4):358 - 370.

Serrano, M.; Umaña, G.; y Sáenz, M. V. 2011.
Fisiología poscosecha, composición química y
capacidad antioxidante de frutas de pejibaye
(Bactris gasipaes Kunth) Tuirá Darién
cosechadas a tres diferentes edades.
Agronomía Costarricense 35 (2):75 - 87.

Torres, L. A. R. (2023). Elaboración de
Compost Orgánico (Maracuyaza) en la
subregión del Urabá Antioqueño. Revista
Ideales, 15(15), 90-94.
<https://doi.org/10.59514/2539-5211.3362>.

Van Soest, P. J.; Robertson, J. B.; y Lewis, B.
A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral
detergent fiber, and nonstarch polysaccharides
in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci.
74:3583 - 3597.

Zeraik, Maria Luiza et al. Maracujá: ¿um
alimento funcional? Revista Brasileira de
Farmacognosia [online]. 2010, v. 20, n. 3
[Acessado 5 Março 2022], pp. 459-471.

MONEY MISMANAGEMENT BY TEENAGERS AND YOUNG PEOPLE AT SENA CTAPT

Nellis María Bejarano Chantac¹; Eliana Vanessa Salas López

Nellis María Bejarano Chantac; Complejo Tecnológico Agroindustrial Pecuário y Turístico – SENA. Apartadó – Antioquia. Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación– Sennova. Grupo de Investigación ABIBE. Semillero Research Lovers only. E-mail: nebejarano@sena.edu.co

Abstract

Financial education is globally recognized as an essential life skill and the process of financial knowledge comes from family and school. (Fernando et al., 2024) However, tuition in this regard is scarce. Also, at school, teachers don't usually teach financial education to adolescents and, as a result, they don't know how to manage their finances effectively, which can head them up to bad financial habits. Moreover, teenagers and youth are callow, consequently social pressure and impulsiveness can make them make bad decisions about money and how to invest it. And this behavior is seen at SENA, an institution full of teens. Many of them mismanage their money and spend it very fast. One reason could be that this money comes from their parents and not from their effort. Therefore, they don't mostly care if they waste it. So, if they want to buy whatever they want no matter the consequences, they will do it. This is a big problem because, in the future, they won't know how to manage money properly. (Kilroy, A., 2024) This investigation was created with the purpose to educate teenagers about the disadvantages of wasting money and give them some tips to manage their finances very well.

Key words: Money, teenagers, youth, financial habits.

Resumen

La educación financiera es reconocida mundialmente como una habilidad esencial para la vida y el proceso de conocimiento financiero proviene de la familia y la escuela. Sin embargo, la enseñanza en este sentido es escasa. Además, en la escuela, normalmente los maestros no enseñan educación financiera a los adolescentes y, como resultado, no saben cómo administrar sus finanzas de manera efectiva, lo que puede llevarlos a tener malos hábitos financieros. Incluso, los adolescentes y jóvenes son inexpertos, en consecuencia, la presión social y la impulsividad pueden hacer que tomen malas decisiones sobre el dinero y cómo invertirlo. Y este comportamiento se ve en el SENA, una institución llena de adolescentes. Muchos de ellos administran mal su dinero y lo gastan muy rápido. Una razón podría ser que este dinero proviene de sus padres y no de su esfuerzo, por lo tanto, muchas veces, no les importa si lo malgastan. Entonces, si quieren comprar lo que quieran sin importar las consecuencias, lo harán. Este es un gran problema porque, en el futuro, no sabrán cómo administrar el dinero adecuadamente.

Palabras clave: Dinero, adolescentes, jóvenes, hábitos financieros.

Introduction

It is well known that teenagers, in general, are more likely to waste money. By a metaphorical way, they don't accept the idea that money "does not grow on trees" and waste it lightly (Foucalt, B., et al., 2022) Why? We know that financial education is globally recognized as an essential life skill and the process of financial knowledge comes from family and school. When parents control financial resources and nurture independence, they inevitably exert influence on financial attitudes and behaviors in the next generation. Grusec & Davidov, in Yue (2019). However, the tuition of this regard is scarce, and the shortage of financial knowledge is few; maybe the problem is, parents' responsibility. This may be caused by unfavorable teaching from family (parents) regarding money and saving when they were children. Simultaneously, at school, teachers don't usually teach financial education to adolescents and, as a result, they don't know how to manage their finances effectively, which can head them up to bad financial habits (Fox, M., 2021)

Furthermore, currently, they are exposed to a huge number of advertisements that incites them to excessive consumption and the idea that having material things is synonymous with success (Tantawi, I., 2023). As Zhang (2024) states that the mass media and manufacturers create social trends, stimulate people's desire to consume, and guide people's consumption behavior using highly attractive advertisements and inflammatory propaganda. These things can lead young people to get into debt early and easily. Moreover, teenagers and youth are callow, consequently social pressure and impulsiveness can make them make bad decisions about money and how to invest it.

And this behavior is seen at SENA, an institution full of teens. Many of them mismanage their money and spend it very fast. One reason could be that this money comes from their parents and not from their effort. Therefore, they don't care if they waste it. So, if they want to buy whatever they want no matter the consequences, they will do it. In this case their parents are guilty because they pamper them and make them spoil. Others, if they work, still live with their parents. So, it doesn't matter if they misspend their money.

This is a big problem because, in the future, they won't know how to manage money properly. This investigation was created with the purpose of educating teenagers about the disadvantages of wasting money and give them some tips to manage their finances suitably. For that reason, we saw relevance to purpose as a general objective. Make students aware about the correct use of finances in teenagers and young people.

Some of the theoretical underpinnings that support this theory are enlisted under the following ideas. It is relevant to talk about money management because this topic is of high interest for kids, teenagers, adolescents, and adult people at all times. Getting to know about the correct use of finances, investments and profits can influence well or badly depending on the education people have. Money management, along with financial information seeking and the ability to plan and save for important purchases and unexpected expenses, makes people financially capable (Warren et al., 2018). Taking this into consideration, there were stated specific objectives in order to make an informational handbook containing strategic tips for saving money, to demonstrate theoretically disadvantages of money mismanagement at a short long term and to make a suggested budget plan using

a template to control their money income and expenses.

As advice for saving money, good habits are learnt from childhood. It is valuable that parents may encourage their kids toward Learning to save, which is an essential money skill. Teaching children about the value of money and the importance of saving could be one of the most valuable life lessons you could impart. (Gray, C., Bridge, S., 2024). Piggy banks are great for younger kids. coins help kids see and understand money. They can see their money grow as they save. Opening a savings account is a good way to introduce kids to banking, saving and interest. (Dieterich Bank, 2024). Setting money goals helps your kids avoid impulse buys by teaching them to set goals and priorities how they spend their money. These tips also apply for adolescents and young people who are not trained in the saving money culture. (Money Smart)

- Disadvantages of money mismanagement

“Julie likes shopping for shoes, but when she thinks back on her purchases, she realizes that on several occasions, she has bought shoes that she never used. Indeed, Julie’s closet has numerous items that have been lying unused for years”.

Koley (2023) There are many consequences of wasting or mismanaging money. One of them is the inability to save. For example, a car crash happens but you don’t have enough money to pay the damages or even, a hospital in case of human injury. Well, it couldn’t be a car crash, but life is full of surprises and not having enough money now in case of emergency, It could cost your life.

But the problems are not only physical, but also mental. “Money issues affect the mental health of many people, making them feel hopeless, depressed, and unable

to focus on work and other important tasks - says an article about this topic - People who are constantly worrying about their finances are also twice as likely to suffer from depression as those who don’t”. A medical review about mental health mentions that a person who overthinks (in this case, about money) can suffer depression, panic disorders, obsessive-compulsive disorder (OCD), etc. (Nelson, L., 2023). And teenagers are more likely to develop these mental issues because of money mismanagement, not to mention other causes.

On the other hand, money mismanagement has an economical issue in the future. You will get into debt early because of buying material things or investing in bad business or going into bankruptcy. And it is easier to cheat you, because you are callow, and you don’t know how to manage your finances. Wherever you see it, It is a big problem for you, dear young.

Most parents avoid teaching their children about economies; however, it is essential to put into practice this valuable principle. The child who goes with you to the grocery store can be given a list and a budget or can just wander around giving you more tasks as you spend more time on discipline than on buying groceries. “When supermarket shopping, in-store or online, challenge your kid to find the least expensive cereal brand” (Crouch et al., 2023).

It is a priority to train young people in the effective use of money. An experienced author argues: “Teaching kids how to budget is one of the most important money lessons you can impart as a parent or guardian”. Lake (2022).

Methodology

Technological, Agro-industrial, Livestock and Tourist Complex (C.T.A.P.T. acronym in Spanish), Apartado-Turbo, where the

youth population are aged around 16-25 years old, come from low-income families. Some groups from different programs were surveyed (in Spanish) through an open ended google form with twelve multiple choice questions with qualitative and quantitative information to be explored. It was intended to know the financial behavior, the source of their incomes, how do they spend it, also how much they know about financial education; Whether or not was important financial training for them and how they manage their economic resources. So, the objectives of this project help us to lead the community to proper data about money management.

The investigation was descriptive, because we gave descriptions about the circumstances and problems of financial mismanagement. Through inquiry and detailed inspection to SENA teen's community.

Next, let us append some of the most relevant questions

Results

The data collected indicates that a significant portion of the SENA population (C.T.A.P.T. acronym in Spanish) relies primarily on limited financial resources from parents and family. Furthermore, their level of financial education is minimal, and many do not have a regular saving habit. According to data collected, we saw some possible causes of the lack of financial education:

Financial education is not always included in the curriculum of SENA training programs, what carries to instructors to think unnecessary teaching financial education, limiting themselves in this area. Another one would be that SENA focuses primarily on technical and professional training, which may leave financial education aside.

By the other hand, low financial education form family affects the lives of our

apprentices. They may not learn basic financial concepts, such as the importance of saving, money management and financial planning. Without financial education, apprentices may make impulsive or uninformed financial decisions, leading them to long-term financial problems. These long-term consequences would be debt problems, lack of savings, limited career opportunities and mental health problems (Nelson, L., 2023).

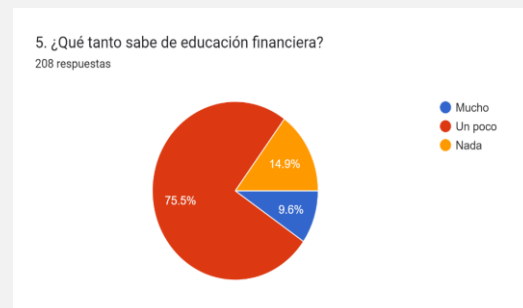


Figure 1. Answers about knowledge in financial education

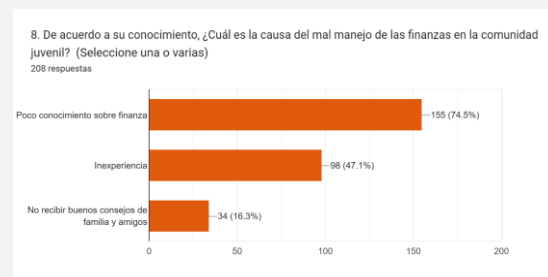


Figure 2. Answers about financial management.

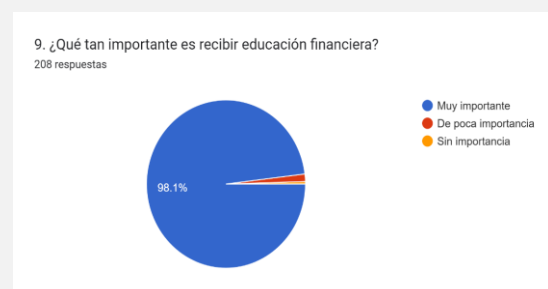


Figure 3. Answers about the importance of financial education

Discussion

According to data obtained from the survey conducted with CTAPT apprentices (see appended survey [here](#)), the study results revealed the following insights:

Regarding the first question on **periodical income**, specifically what is your fortnightly income?

- 39.4% of apprentices reported earning between \$50,000 and \$200,000 COP.
- 31.3% have an income of less than \$50,000 COP.
- 17.8% earn between \$200,000 and \$400,000 COP.

For the second question, what is your fortnightly outcome? The **periodical expenditure** figures were as follows:

- 71.6% reported spending between \$50,000 and \$200,000 COP.
- 14.4% have expenditures ranging from \$200,000 to \$400,000 COP.
- 9.6% spend between \$400,000 and \$600,000 COP.

In regard with the **source of income**, to the question where does your income come from? The apprentices replied as follows:

- 64.4% of respondents indicated that their income comes from parents or family.
- 26.4% reported earning their income from part-time jobs.

On the topic of **spending habits**, (a multiple-choice questions) the main results were

- 79.3% spend their money on personal needs.

- 60.6% use their income for food and transportation.
- 26% spend their money on paying off debt.

For question fifth, **about financial education awareness**,

- 75.5% stated they know a little bit about financial education.
- 14.9% indicated they do not know anything about financial education.
- 9.6% reported that they know a lot about financial education.

The survey results further revealed the following perceptions. For question six, about **frequency of saving**, as per the question, how often do you save? The outcome is

- 37.5% of respondents save on a weekly basis.
- 32.7% save monthly.
- 20.2% indicated that they do not save at all.

Question number seven, on the **purpose of savings** (also a multiple choice) included the upcoming percentages

- 38.5% save for transportation costs.
- 54.8% save primarily for educational expenses.
- 32.7% save for general purchases.

For question number eight, on the **perceived causes of financial mismanagement among youth**, the main one involved not knowing how to deal with it, then

- 74.5% attributed financial mismanagement to a lack of financial knowledge.
- 47.1% cited inexperience as a significant factor.
- 16.3% believed that poor advice from family and friends contributes to financial mismanagement.

Summarized the response of the ninth question, regarding the **importance of financial education**:

- 98.1% of respondents considered receiving financial education to be very important.

For the tenth question, on **experience with credit**:

- 73.6% of respondents reported that they have never taken out a loan.
- 26.4% indicated that they have taken out a loan at least once.

For the eleventh question, about **knowledge of obtaining credit**, replies to the question have you ever received a credit? Showed the resulting values

- 57.2% stated that they do not know how to obtain credit.
- 42.8% reported that they do know how to obtain credit.

Finally, for question twelve, on **coping strategies for financial shortfalls**:

- In summary, when in need of money and lacking immediate resources, 81.3% of respondents resort to borrowing from friends or family members.

Conclusions

Given these concerning findings, strategies were developed based on the main and specific objectives. One key strategy involves organizing informative and interactive sessions on financial education and effective money management. These sessions will be conducted weekly across various classes, regardless of their focus area (e.g., natural resources, accounting, administration, graphic design, etc.). The content for these sessions will be grounded in the expertise of financial professionals and authoritative sources on responsible financial management. Our approach ensures that the information provided is credible and well-founded.

As a recommendation, you can check a magazine made exclusively with advice for saving money properly



References

Bridge, Gray, C., S. (Aug. 2024) How to teach children to save money.
<https://www.goodhousekeeping.com/uk/consumer-advice/money/a27097010/teach-kids-save/>

Crouch, M., Lockhart, A. (July 2023) 10 Life Skills to Teach Young Kids Before Age 10.
<https://www.parents.com/parenting/better-parenting/advice/10-life-skills-to-teach-your-child-by-age-10/>

Doty, Anthony (2024). Mindful Financial Planning for Children: My Guide "children's savings accounts", "financial education for kids", Understanding the Importance of Financial Education for Kids"2024" Last retrieved from.<https://anthonydoty.com>

Fox, M., (Apr. 2021) To combat financial illiteracy, education needs to start early in the classroom, advocates say.
<https://www.cnn.com/2021/04/05/state-of-personal-finance-education-in-the-us.html>

Foucault, B., Ducourant, H., Mortain B. (Jan 2022) A sociological analysis of how teenagers spend their pocket money.
<https://hellofuture.orange.com/en/a-sociological-analysis-of-how-teenagers-spend-their-pocket-money/>

Kilroy, A. (June 2024) What Are the Consequences of Not Saving Money?
<https://www.sofi.com/learn/content/consequences-of-not-saving-money/>

Koley, S. (2023). Bought but never used: How and when unused utility reduces subsequent spending. Psychology and marketing. Last retrieved from:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mar.21883>

Lake, R. (2022). Budgeting for Teens Is an Important Money Skill. Retrieved from:
<https://www.thebalancemoney.com/how-to-teach-your-teen-about-budgeting-4160105>

Mirara, J. (Jan. 2023) Consequences of poor money mismanagement
<https://www.linkedin.com/pulse/consequences-poor-money-management-james-mirara>

Money Smart: Teaching kids about money. Retrieved from:

<https://moneysmart.gov.au/family-and-relationships/teaching-kids-about-money>

Nelson, L. (Nov. 2023) Why Do I Overthinking Everything: Causes, Effects, And Strategies
<https://afaeducation.org/blog/why-do-i-overthinking-everything-causes-effects-and-strategies/>

Rodriguez, Fernando, J. P., Rohrs, K. (June 2024) Financial Literacy: What It is, and why it is so important to teach teens.
<https://www.investopedia.com/terms/f/financial-literacy.asp>

Tantawi, I., (Jan. 2023) Materialism, life satisfaction and Compulsive Buying Behavior: An empirical investigation on Egyptian consumers amid Covid-19 pandemic.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9813889/#Abs>

Warren, A and Gasser (2018) Shop or save: How teens manage their money. LSAC Annual Statistical Report 2018 chapter. Retrieved from:
<https://growingupinaustralia.gov.au/research-findings/annual-statistical-reports-2018/shop-or-save-how-teens-manage-their-money>

Yue Feng Zhu, Alex (2019). School financial education and parental financial socialization: Findings from a sample of Hong Kong adolescents. Children and Youth Services Review, Volume 107, 2019, 104532, ISSN 0190-7409. From:
<https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2019.104532>.

Zhang, Z. (2024). Exploring the Impact of Contemporary Consumerism on Young People. Lecture Notes in Education Psychology and Public Media 42(1):118-124. Last retrieved from
https://www.researchgate.net/publication/378963707_Exploring_the_Impact_of_Contemporary_Consumerism_on_Young_People



SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

CAMBIOS SOBRE LA BIODISPONIBILIDAD DE CADMIO EN SUELOS SOMETIDOS A FITORREMEDIACIÓN CON LA ESPECIE VEGETAL *Paspalum fasciculatum*

Jesús Alberto Mendoza Almentero¹; Juan David Marmolejo; Jesús Miguel Sierra; Heydy Rodríguez Castro; Valentina Orozco Peralta

Jesús Alberto Mendoza Almentero; Complejo Tecnológico Agroindustrial Pecuario y Turístico – SENA. Apartadó – Antioquia. Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación– Sennova. Grupo de Investigación ABIBE. Laboratorio Agroambiental – Servicios Tecnológicos. E-mail: jamendozaa@sena.edu.co

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la geoquímica de Cd durante procesos de fitorremediación como estrategia para la recuperación de los suelos contaminados por estos metales pesados. Para llevar a cabo este trabajo se contemplaron 4 niveles del metal, correspondientes a la concentración obtenida en el suelo control y los suelos mineros fortificados hasta obtener concentraciones de 15, 30 y 50 mg metal Kg⁻¹ suelo. A estos suelos se les determinaron los parámetros fisicoquímicos, las concentraciones de Cd, antes y después del tratamiento de fitorremediación con la especie vegetal *paspalum fasciculatum*, y se evaluó la biodisponibilidad de estos metales en el suelo. Los resultados indican que la concentración de cadmio total en los suelos analizados tiene un valor promedio de 1.02±0.10 mg. Cd Kg⁻¹.

Palabras claves: Cadmio, contaminación, metales pesados

Abstract

The objective of this study was to evaluate the geochemistry of Cd during phytoremediation processes as a strategy for the recovery of soils contaminated by these heavy metals. To carry out this work, 4 levels of the metal were considered, corresponding to the concentration obtained in the control soil and the fortified mining soils until obtaining concentrations of 15, 30 and 50 mg metal Kg⁻¹ soil. The physicochemical parameters of these soils, the concentrations of Cd, were determined before and after the phytoremediation treatment with the plant species *paspalum fasciculatum*, and the bioavailability of these metals in the soil was evaluated. The results indicate that the concentration of total cadmium in the analyzed soils has an average value of 1.02±0.10 mg. Cd Kg⁻¹.

Keywords: Cadmium, contamination, heavy metals

Introducción

En Colombia varios estudios han documentado zonas contaminadas con diferentes elementos químicos entre los que se encuentran los metales pesados como cadmio, plomo, cromo, mercurio, selenio, entre otros, los cuales al ser liberados en grandes cantidades al medio ambiente traen consigo consecuencias negativas sobre este (Katerin, Casallas, Alexandra, & Díaz, 2015). Una de estas zonas se encuentra en el municipio de Puerto Libertador-Córdoba, específicamente en la mina El Alacrán, en donde se han encontrado indicios de tener altas concentraciones de metales pesados tales como plomo y cadmio en el interior de sus suelos (Marrugo et al., 2014).

Los altos niveles de metales pesados presentes en suelos, resultan nocivos para el medio ambiente debido a su carácter no biodegradable, y tóxico. Cuando los contenidos de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo (Méndez et al., 2009)

En la actualidad la fitorremediación de suelos contaminados es una técnica con grandes posibilidades. El uso de especies vegetales tolerantes a altos niveles de metales en suelos, permite actividades de restauración con menor impacto ambiental sobre los terrenos que otras técnicas tradicionales, más invasivas y con efectos secundarios adversos (Robinson, et al., 1997). Esta tecnología ha recibido cada vez más atención luego del descubrimiento de especies hiperacumuladoras con la capacidad de absorber, acumular, trasladar y concentrar gran cantidad de ciertos elementos tóxicos en sus estructuras, principalmente metales pesados y productos xenobióticos (Rahman y Hasegawa, 2011). Sin embargo, en la mayoría de los estudios se centran en determinar la cantidad total de metal extraídos por las

plantas del suelo, sin tener en cuenta los cambios en la geoquímica de los mismos (Sierra, 2006), ya que es conocido que la distribución geoquímica de metales pesados es un factor determinante en la toxicidad de estos contaminantes hacia los ecosistemas. Al determinar la geoquímica del suelo, podemos conocer las consecuencias, y efectos que producen los elementos químicos de origen antrópico, sobre el entorno, para así poder predecir su comportamiento y con esto, realizar el diseño de las medidas correctoras necesarias (Sol, Navarro, & Guerrero, 1996).

Los metales pesados son elementos tóxicos que pueden quedar retenidos en el suelo por procesos de adsorción, complejación y precipitación o movilizarse hacia los distintos compartimientos ambientales y causar impactos negativos en el medio ambiente, la salud humana y animal (Lora Silva & Bonilla Gutiérrez, 2010)

Es bien conocido que la peligrosidad de los elementos tóxicos en especial de metales pesados en los suelos está determinada más por la movilidad de estos que por la cantidad total presente en el suelo; ya que la fracción biodisponible determina la cantidad del tóxico asequible para plantas y otros organismos del medio (Abollino et al., 2002). Mediante el uso de tecnologías innovadoras como los procesos de fitorremediación se pueden prevenir o restaurar daños ocasionados por acciones antropogénicas que alteran la estabilidad de los metales pesados que se encuentran de forma natural en los ecosistemas. Este avance tecnológico es aplicado para restaurar ambientes que se encuentran contaminados por dichos tóxicos, utilizando plantas que almacenan y eliminan estas sustancias, mediante sus procesos metabólicos (Mallick, 2003; De Olivera, 2004; Audet y Charest, 2007).

Con este sistema se busca extraer en mayor grado aquella fracción disponible de metales como plomo y cadmio en suelos contaminados de la mina el Alacrán - Córdoba, buscando minimizar el impacto generado por estos, y por tanto el riesgo que generan. Se han realizados

estudios en esta zona, donde se evaluaron los efectos genotóxicos de metales pesados asociados a explotaciones mineras (Madrid et al., 2015).

Para lo anterior, se realizó la evaluación del cambio en la geoquímica del suelo, al ser tratado para la remoción de los metales mencionados anteriormente por medio de la especie vegetal *Paspalum fasciculatum*, aprovechando su capacidad de absorción y acumulación de metales pesados (Cd), con el fin de mitigar problemáticas posteriores generadas por la contaminación con estos elementos (Lora Silva & Bonilla Gutiérrez, 2010).

Desarrollo

El uso de plantas para la remediación de suelos contaminados con metales pesados ha tenido un avance considerable en los últimos años, esto ha sido de vital importancia en la búsqueda de posibles soluciones a la problemática de contaminación por metales pesados, varios de estos avances los podemos mencionar en cada uno de los siguientes estudios:

Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. En este estudio se evaluó la capacidad extractora de plomo (Pb) y cadmio (Cd) del quelite (*Amaranthus hybridus* L.) al adicionar una mezcla de micorrizas arbusculares (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum*) al sustrato contaminado con Pb o Cd. Se encontró que la planta de *A. hybridus* L. tiene la capacidad de concentrar en sus tejidos plomo y cadmio al crecer en suelos contaminados conforme aumenta la edad de la planta independientemente de la agregación de micorrizas (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum*) (Ortiz et al., 2009).

Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. En este estudio se evaluaron las especies: *Cenchrus ciliaris*, *Helianthus annuus*, *Ricinus*

communis, *Nicotiana tabacum*, *Sorghum sudanense* y *Brassica campestris*. Se encontró que ninguna de las seis especies se puede clasificar como “hiperacumuladora” de plomo (Rodríguez et al., 2006)

Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. En este estudio se evaluó la capacidad fitoextractora de las especies *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata* y *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*. Se encontró que la mayor eficiencia de acumulación de plomo y zinc fue obtenida en las raíces de *Fuertesimalva echinata* con el tratamiento de 100% de relave de mina. En las raíces de *L. ballianus* fue obtenida la más alta acumulación de cadmio, con el tratamiento de 100% de relave de mina. *Fuertesimalva echinata* presentó el mayor índice de tolerancia (IT) al tratamiento de 100% de relave de mina, pero, *S. nitidum* y *L. ballianus* presentaron el mayor IT al tratamiento de 60% de relave de mina (Jara et al., 2014).

Capacidad remediadora y bioacumuladora de los órganos de *Helianthus annuus* L. “girasol” cuando son sometidas a diferentes concentraciones de plomo. En este estudio se evaluó la capacidad remediadora y bioacumuladora de la especie *Helianthus annuus* L. utilizando tratamientos de 0, 500 y 1000 ppm de Pb. Se encontró que *H. annuus* L. es una planta remediadora y bioacumuladora, donde la raíz es el órgano con mayor capacidad de bioacumulación y, que el crecimiento se ve afectado a concentraciones mayores a 1000 ppm de Pb (García, 2009).

Fitorremediación de suelo contaminado por Pb y Zn mediante la especie vegetal *Nicotiana glauca* G. En este estudio se evaluó la capacidad de retención de Pb y Zn de la especie vegetal *Nicotiana glauca* G. en raíz, tallo y hoja. Se encontró que la planta absorbió Pb en cantidades considerables siendo 283.3 ppm entre raíz, tallo y hoja, mientras que de Zinc absorbió 605.1 ppm entre raíz, tallo y hoja al término del periodo de evaluación (Pérez, 2008).

Metodología

Las muestras de suelo fueron recolectadas desde la capa superior del suelo (0-30 cm) usando una pala de acero o barreno de acero inoxidable, de la cual se colectaron sólo la parte central de la muestra de suelo, para evitar una posible contaminación de la muestra con las paredes de la pala. Las muestras fueron almacenadas en bolsas de polietileno, rotuladas y transportadas al laboratorio, donde posteriormente fueron secadas a 35°C, mezcladas por molienda y homogenizadas hasta obtener una cantidad de aproximadamente 500kg (Marrugo et al., 2016).

Para llevar a cabo este trabajo se contemplaron 4 niveles del metal, correspondientes a la concentración obtenida en el suelo control y los suelos fortificados hasta obtener concentraciones de 15, 30 y 50 mg metal/Kg suelo. Para obtener estas concentraciones de Cd en las muestras de suelo, primero evaluamos los niveles de estos metales desde las muestras de suelo original (contaminadas y control) y posteriormente se ajustaron las concentraciones por adición de cantidades suficientes de sales metálicas, dejando en incubación a saturación de humedad durante un periodo de 15 días.

Se utilizó un diseño experimental factorial (4x3) para determinar el efecto de cada metal por separado y donde las concentraciones de los metales en suelos fueron las variables de respuesta. Los factores seleccionados fueron el nivel de contaminación del suelo con dichos metales (control (0), 15, 30 y 50 mg metal/Kg del suelo contaminado) y el tiempo de fitorremediación (0, 1 y 3 meses). Cada uno de los factores y sus niveles fueron evaluados de forma independiente por duplicado, lo que llevó a 24 unidades experimentales.

El material vegetal fue obtenido desde plantas de *P. fasciculatum* desde sitios con bajos niveles de contaminación de Cd, se transportaron al laboratorio, donde fueron lavadas con agua destilada, trasplantadas a recipientes plásticos que contenían 5 kg de

suelo con los tratamientos antes mencionados (control, 15, 30 y 50 mg metal/Kg suelo) y se dejaron crecer durante un periodo de 3 meses en un invernadero. Se mantuvieron las condiciones del invernadero para evitar gradientes de luz y temperatura. Todas las plantas fueron regadas con tres cuartos de su capacidad de campo para evitar la lixiviación. Se tomaron muestras de suelo al inicio del proceso y final del experimento.

Los resultados de las concentraciones de metales en los suelos fueron presentados como la media $\pm$ desviación estándar, en peso seco. Los datos fueron evaluados con el test de normalidad y homocedasticidad de Shapiro-Wilk y Bartlett respectivamente. Una vez cumplidos los supuestos de distribución normal e igualdad de varianzas, se utilizará un ANOVA para evaluar diferencias significativas entre las concentraciones totales de metales pesados y fases geoquímicas en los suelos, discriminando dichas diferencias, si existen, a través de la prueba de rango múltiple de Tukey-HSD. Con el fin de determinar correlaciones entre las variables y parámetros fisicoquímicos de suelos se realizará un análisis de correlación de Pearson. El tratamiento de los resultados será realizado por medio del programa estadístico IBM SPSS Statistics Version 23.0.0.0, a un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

Resultados y Discusión

En la Tabla 1. se resumen los resultados de las muestras obtenidos para pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), potencial redox, azufre, magnesio, potasio, sodio, fosforo, de elementos menores (cobre, hierro, zinc, manganeso y boro) y textura (% de arcilla, arena y limo).

Tabla 1. Características Fisicoquímicas del suelo evaluado

Parámetro	Unidades	Valor
pH		5.4
%MO	%	1.27
CIC	cmol ⁺ Kg ⁻¹	8.4

P. Redox	Mv	194.37
Azufre	mg S kg ⁻¹	34.2
Magnesio	cmol ⁺ Kg ⁻¹	4.2
Potasio	cmol ⁺ Kg ⁻¹	1.09
Sodio Al+H	cmol ⁺ Kg ⁻¹ cmol ⁺ Kg ⁻¹	0.07 0.30
Fosforo	mg P kg ⁻¹	3.4
Calcio	cmol ⁺ Kg ⁻¹	2.7
Cobre	mg Cu kg ⁻¹	0.6
Hierro	mg Fe kg ⁻¹	13.1
Zinc	mg Zn kg ⁻¹	0.2
Manganeso	mg Mn kg ⁻¹	19.7
Boro	mg B kg ⁻¹	0.10
Arcilla	%	43.3
Arena	%	30
Limo	%	28.7

El análisis de las propiedades químicas del suelo original mostró un valor ácido de pH (5.4), lo cual indica una mayor movilidad de los metales pesados (Cd) en la solución del suelo, debido a que se produce una desorción de estos, incrementando su concentración (Basta, 2005)

Adicionalmente el contenido de materia orgánica fue de (1.27%), valor que puede ser considerado como bajo y explicado por la alta mineralización y el escaso aporte de residuos de materia orgánica presente en estos suelos, lo cual podría evitar la formación de complejos organometálicos, contribuyendo a una mayor disponibilidad de los metales pesados (Cd), al presentar baja formación de estos complejos en función del contenido de materia orgánica (Basta, 2004).

Por otro lado el análisis textural clasificó a esta muestra de suelo como franco arcillosa, esto puede tener un gran impacto en la movilidad de los metales pesados, ya que la mayor parte de las arcillas se caracterizan por tener cargas

eléctricas principalmente negativas en su superficie, que constituyen un freno al movimiento de estos cationes metálicos en la solución del suelo afectando directamente su solubilidad y disponibilidad (Kabata-Pendias, 2000). Debido a esto las cargas eléctricas de las arcillas son un factor importante en la capacidad de intercambio catiónico del suelo, la cual fue baja (8.4 cmol⁺ Kg⁻¹) para los suelos analizados en este estudio, esto puede favorecer la disponibilidad de los metales pesados al poseer pocos sitios de intercambio en la fracción coloidal del suelo. Cabe resaltar que la CIC no solo depende de la cantidad de arcilla sino también del tipo de arcilla; El cual tiene que ver con su estructura y si tienen arcillas con carga permanente, es decir, carga generada por sustitución isomórfica, y arcillas con carga variable o dependiente del pH, la cual es generada por la adsorción o remoción de iones hidrógeno en la superficie de los coloides (Rieuwerts, et al., 1998). Por ello se puede explicar la poca relación que existe entre el contenido de arcilla (moderadamente alto) y la baja capacidad de intercambio catiónico.

- Parámetros fisicoquímicos de suelos dopados

En la Tabla 2. se resumen los resultados de las muestras obtenidos para pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), potencial redox, azufre, magnesio, potasio, sodio, fosforo, de elementos menores (cobre, hierro, zinc, manganeso y boro).

Tabla 2. Características Fisicoquímicas de suelos dopados con Cd.

parámetro	Unidades	V.Máximo	V.Mínimo
pH		6.08	5.78
%MO	%	1.02	0.84
CIC	cmol ⁺ Kg ⁻¹	9.9	9.5
P. Redox	mV	222	190
Azufre	mg S kg ⁻¹	51.4	12
Magnesio	cmol ⁺ Kg ⁻¹	3.9	3.5

Potasio	cmol ⁺ Kg ⁻¹	1.03	0.75
Sodio	cmol ⁺ Kg ⁻¹	0.29	0.21
Fosforo	mg P kg ⁻¹	5	0.4
Calcio Al+H	cmol ⁺ Kg ⁻¹ cmol ⁺ Kg ⁻¹	5.2 -----	4.4 -----
Cobre	mg Cu kg ⁻¹	1.7	0.8
Hierro	mg Fe kg ⁻¹	81.2	23.3
Zinc	mg Zn kg ⁻¹	3.6	2.8
Manganeso	mg Mn kg ⁻¹	29	18.5
Boro	mg B kg ⁻¹	0.26	0.24

Tabla 3. Características Fisicoquímicas de suelo control después del tratamiento de fitorremediación

Parámetro	Unidades	Valor
pH		5.91
%MO	%	1.02
CIC	cmol ⁺ Kg ⁻¹	9.7
P. Redox	Mv	199.58
Azufre	mg S kg ⁻¹	41.5
Magnesio	cmol ⁺ Kg ⁻¹	3.5
Potasio	cmol ⁺ Kg ⁻¹	0.75
Sodio	cmol ⁺ Kg ⁻¹	0.21
Al+H	cmol ⁺ Kg ⁻¹	-----
Fosforo	mg P kg ⁻¹	5.0
Calcio	cmol ⁺ Kg ⁻¹	5.2
Cobre	mg Cu kg ⁻¹	1.7
Hierro	mg Fe kg ⁻¹	81.2
Zinc	mg Zn kg ⁻¹	2.8
Manganeso	mg Mn kg ⁻¹	28.1
Boro	mg B kg ⁻¹	0.24

Después del tratamiento de fitorremediación se pudo apreciar un cambio en la mayoría de los parámetros fisicoquímicas del suelo que pudieron ser influenciados por el efecto de la especie vegetal *paspalum fasciculatum*. Estas variaciones se presentaron en: El pH que aumento de 5.40 a 5.91; este hecho se puede atribuir a la disminución que hubo en la acidez intercambiable debido a la neutralización del aluminio por precipitación (Combatt et al., 2007). El aumento del pH también pudo afectar la capacidad de intercambio catiónico, debido a que los componentes del suelo que contribuyen a la CIC tienen grupos de OH en

su superficie. El grupo OH puede liberar o absorber protones, al aumentar el pH, se liberan de este grupo, la carga del grupo funcional se hace negativa y como resultado aumenta la CIC del suelo (Chávez, 2015), lo cual se vio reflejado al pasar de 8.4 a 9.7 cmol⁺ Kg⁻¹. También se pudo apreciar un aumento considerable en la concentración de hierro que paso de 13.1 mg Fe Kg⁻¹ a 81.3 mg Fe Kg⁻¹, lo cual se puede explicar debido a la adsorción de este metal por parte de los óxidos hidratados, que luego son movilizados y concentrados alrededor de la rizosfera. Por la misma razón el manganeso pudo aumentar su concentración al pasar de 19.7 mg Kg⁻¹ a 28.1 mg Kg⁻¹ (Doménech, 1995).

La concentración de cadmio total en los suelos analizados arrojó un valor promedio de 1.02±0.10 mg. Cd Kg⁻¹. Este valor se encuentra entre el intervalo de 0.3 mg Cd Kg⁻¹ y 2 mg. Cd Kg⁻¹, para valores mínimos y máximos permisibles respectivamente, según el compendio realizado por Dé Vries & Bakker (1998) de los límites establecidos por diversos países para los niveles de cadmio en suelo, también se encuentra muy cercano al límite máximo permisible según la ley federal alemana (European commission, 2001) (1.5 mg. Cd Kg⁻¹) y por encima de los encontrados por Marrugo et al (2017) para suelos colombianos no contaminados (0.008 mg Cd Kg⁻¹). Lo cual nos indica que la concentración de Cd es ligeramente alta, Estas concentraciones pueden ser atribuidas en gran medida a la actividad minera que se presenta en esta zona.

Las concentraciones de los suelos analizados después del dopaje con sales metálicas se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Concentraciones de plomo y cadmio de los suelos dopados.

NIVEL DE DOPAJE	mg. Cd Kg ⁻¹
Nivel Bajo	21.34±0.89
Nivel Medio	38.62±1.06
Nivel Alto	68.76±1.75

Como se puede observar estas concentraciones corresponden a suelos con alto niveles de concentración de estos metales superando en la mayoría de los casos los valores límites establecidos por instituciones internacionales como la EPA y la comisión europea, especialmente para el cadmio.

- Biodisponibilidad de cadmio en suelos naturales y dopados

Las fases geoquímicas obtenidas para el plomo y cadmio desde la metodología de extracción de Tessier en los suelos de la mina del Alacrán y aquellos dopados son mostradas en la figura 1. Como podemos observar en la figura 1, las cantidades de cadmio en los suelos naturales obtenidos se distribuyen en las fases 3, 4 y 5. Lo anterior denota que este metal no se encuentra en sus formas biodisponibles en estos suelos. Varios estudios realizados en suelos de vocación minera han encontrado que el mayor porcentaje de los metales se encuentran unidos a la fase residual (60-90%), atribuyendo este hecho a la asociación de los metales a la fracción mineralógica del suelo (Kidd y Monterroso, 2003; Smith et al, 2012;). Para el caso del cadmio un porcentaje de aproximadamente el 15% corresponde a la fase 3 metal unido a materia orgánica, resulta interesante ya que este metal tiene menor tendencia a esta fase que el plomo (Texeira et al, 2004). Por otro lado los altos porcentajes de metales unidos a la fase 4 (34 y 45% para Cd) muestran una fuerte tendencia a la unión a los oxihidroxidos de Fe y Mn. Los óxidos hidratados de Fe y Mn influyen la solubilidad de Pb, Zn, Cd, y Cu; los óxidos de Mn en particular presentan una fuerte afinidad por la adsorción de Pb y probablemente en menor grado por la adsorción de Cd (Rieuwerts et al., 1998). También cabe resaltar que estos valores de concentración son bajos y la distribución de las fases podría estar determinada por los contenidos de materia orgánica, CIC, pH y contenido de oxi-hidroxi de hierro y manganeso, como se describió en el apartado de variables fisicoquímicas del suelo en estudio.

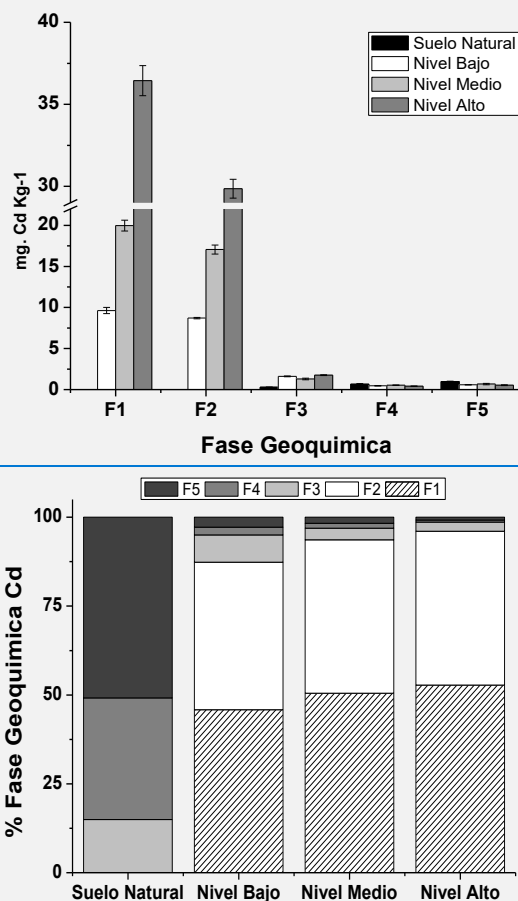


Figura 1. Concentraciones (arriba) y porcentajes (abajo) de las fases geoquímicas para Cd en los suelos naturales y los suelos dopados.

Para el caso de los suelos dopados observamos en la figura anterior un incremento sustancial en los porcentajes de cadmio asociado a la fase 1 y 2 (aproximadamente 85%, respectivamente), las cuales corresponden a las fases realmente biodisponibles del suelo. Lo anterior puede ser explicado a la poca interacción entre el suelo y las sales metálicas dado el carácter ácido del suelo, su bajo contenido de materia orgánica y CIC. La solubilidad de estos metales es altamente dependiente del pH. En suelos ácidos, se produce una competencia de los iones de H⁺ con los cationes metálicos por los sitios de intercambio. A pH bajo se produce desorción de los metales pesados, aumentando su concentración en la solución suelo y su biodisponibilidad (Alloway, 1995b; Lassat, 2001). Cuando se presenta un pH ácido en el

suelo, el Cd se encuentran móvil, por lo que pueden ser fácilmente absorbidos por las plantas.

- Cambios en la concentración total de cadmio después del tratamiento de fitorremediación

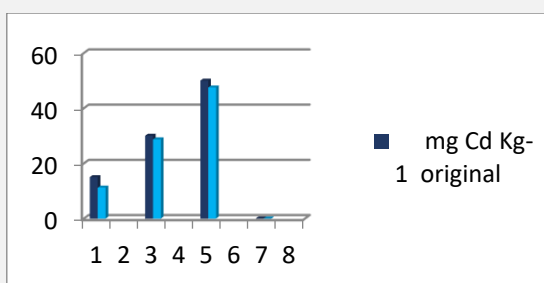


Figura 2. Cambios en la concentración total de Cd (mes 1 respecto a las concentraciones de suelo original).

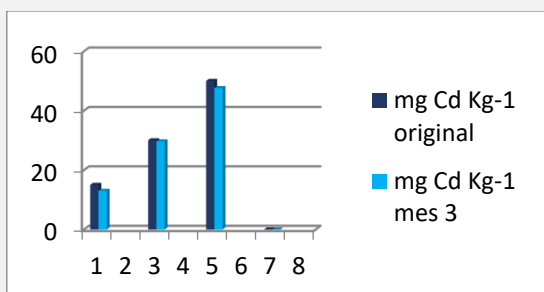


Figura 3. Cambios en la concentración total de Cd (mes 3 respecto a las concentraciones de suelo original)

En las figuras 2 y 3. Se observan los cambios en las concentraciones totales de cadmio para los tres niveles ensayados (15, 30, 50 y 0 (control) mg Cd Kg⁻¹ respectivamente) que se dieron entre los tiempos del tratamiento de fitorremediación (primer y tercer mes) con respecto a las concentraciones de suelo original.

Es apreciable una reducción en la concentración para los tres niveles de metal ensayados en los dos distintitos meses de muestreo, presentándose mayor remoción en el suelo tratado con 15 mg Cd Kg⁻¹ en el mes 1, donde hubo una reducción en la concentración de 3.79 mg Cd Kg⁻¹ equivalente al 25.27 % de la concentración

total del suelo original. Es normal que la reducción en las concentraciones totales de los metales pesados no sea tan considerable, debido a que no todo el metal se encuentra disponible para ser absorbido por la planta, por ello, la concentración total de los metales en el suelo no refleja necesariamente los niveles de metales biodisponibles.

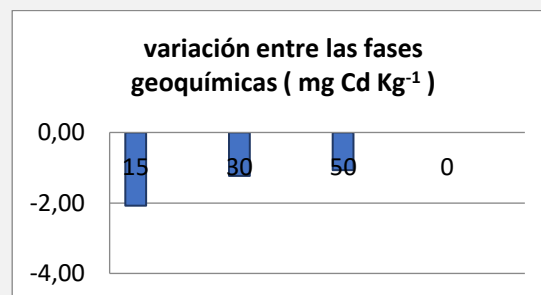


Figura 4. Variación de las fases geoquímicas en suelos dopados con Cd en el mes 1 en relación con el suelo original.

En la figura 4. Se observan las variaciones encontradas entre las fases geoquímicas luego de transcurrido 1 mes del tratamiento de fitorremediación en suelos dopados con 0 (control), 15, 30 y 50 mg Cd Kg⁻¹ respectivamente, en relación con las condiciones de suelo original.

Es apreciable la considerable disminución en la concentración de las fases geoquímicas del metal cadmio de manera inversa a las concentraciones de metal ensayadas (0 (control), 15, 30 y 50 mg. Cd Kg⁻¹ respectivamente). Este hecho se puede explicar debido a que la biodisponibilidad de los metales pesados depende su solubilidad y movilidad en la solución suelo. (Elliot y Shields, 1988; Sims y Kline, 1991; Ma y Rao, 1997; Rieuwerts et al., 1998; Lassat, 2001; Silveira et al., 2003) así, al estar el cadmio en menor concentración (15 mg. Cd Kg⁻¹) puede presentar mayor biodisponibilidad debido a que se encuentra con mayor libertad de movimiento y el cambio en las fases geoquímicas sería más significativo. Esta disminución en la concentración de las fases geoquímicas de los metales se puede atribuir a la absorción por la especie vegetal *paspalum fasciculatum*.

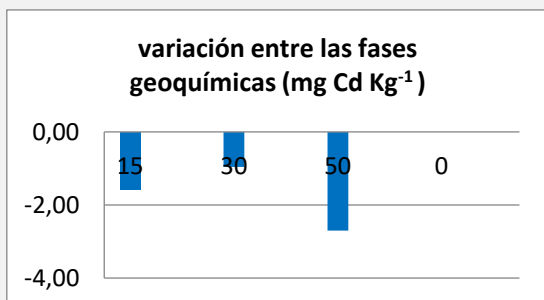


Figura 5. Variación de las fases geoquímicas en suelos dopados con Cd en el mes 3 en relación con el suelo original.

En la figura 5. Se observan las variaciones encontradas entre las fases geoquímicas del metal cadmio luego de transcurrido el tercer mes del tratamiento de fitorremediación, en suelos dopados con 0 (control), 15, 30 y 50 mg. Cd Kg⁻¹ respectivamente, en relación a las condiciones de suelo original.

Luego del tercer mes de tratamiento, es notoria la remoción en la concentración de las fases geoquímicas del metal cadmio, presentando mayor grado de remoción en el suelo tratado con 50 mg. Cd Kg⁻¹, seguido por el de 15 mg. Cd Kg⁻¹ y por último el de 30 mg Cd. Kg⁻¹.

Conclusiones

Con esta investigación se pudo observar una considerable disminución en la concentración de las fases geoquímicas del metal cadmio de manera inversa a las concentraciones de metal ensayadas (0 (control), 15, 30 y 50 mg. Cd Kg⁻¹ respectivamente). Este hecho se puede explicar debido a que la biodisponibilidad de los metales pesados depende su solubilidad y movilidad en la solución suelo. así, al estar el cadmio en menor concentración (15 mg. Cd Kg⁻¹) puede presentar mayor biodisponibilidad debido a que se encuentra con mayor libertad de movimiento y el cambio en las fases geoquímicas sería más significativo. Esta disminución en la concentración de las fases geoquímicas de los metales se puede atribuir a la absorción por la especie vegetal *paspalum fasciculatum*.

Bibliografía

Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. and Barberis, R. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environmental Pollution, 119: 177.

Adriano, D.C. (1986). Trace Elements in the Terrestrial Environment. Ed. Springer-Verlag, New York:533pp.

Albert L., (1988). Curso básico de toxicología ambiental. Centro Panamericano de ecología humana y salud OPS/OMS.

Alcaldía del municipio de Puerto Libertador. Plan de Desarrollo municipal. 2012-2015. <http://www.puertolibertador-cordoba.gov.co/apc-aa-files/>. [13 junio 2016]

Alkorta, I., Hernández-Allica, J., Becerril, J.M., Amezcua, I., Albizu, I. y Garbisu, C. (2004). Recent Findings on the Phytoremediation of Soils Contaminated with Environmentally Toxic Heavy Metals and Metalloids Such as Zinc, Cadmium, Lead, and Arsenic. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 3 (1) 71-90.

Alloway, B.J. 1995b. Chapter 2: Soil process and the behavior of the heavy metals. In: Alloway, B.J. (ed.). Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional, London, 2nd edition. pp.11-37.

Alloway, B.J. (1995). Soil Processes and Behavior of Metals. Heavy Metals in Soils. 22nd Ed. London: Blackie Academic & Professional.

Antonovics, J., Bradshaw, A.D., y Turner, R.G. (1971). Heavy metals tolerance in plants. Advances in Ecological Research, 7:1-85.

ATSDR (2004). Agencias para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades Reseña toxicológica del Cobre (en inglés).Atlanta, GA: Departamento de salud y servicios

humanos de EE.UU., servicio de salud pública.

Audet P., Charest C. (2007) Heavy metal phytoremediation from a metal-analytical perspective. Environ. Pollut., 147: 231-237.

Baker, A.J.M. (1981). Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. Journal of Plant Nutrition 3: 643–654.

Barceló, J. Y Poschenrieder, CH. (2003). Phytoremediation: Principles and perspectivas. Contributions to Science, 2(3): 333-344.

Basta N.T. 2004. Heavy metal and trace element chemistry in residual-treated soil: Implications on metal bioavailability and sustainable land application. In: Sustainable land application Conference, January, 4-8, Florida; University of Florida.

Basta, N.T., Ryan, J.A., Chaney, L., 2005. Trace element chemistry in residual-treated soil: key concepts and metal bioavailability. J. Environ. Qual. 34, 49–63.

Basta, N.T. and Tabatabai, M.A. 1992. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils: II. Effect of pH. Soil Science, 153: 195–204.

Becerril, J. M., Barrutia, O., García Plazaola, J.I., Hernández, A., Olano, J.M y Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: Aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. Ecosistemas, 2007/2.

Bech, J., Poschenrieder, C., Barceló, J., Lansac., A. (2002). Plants from mine spoils in the South American Area as Potential Sources of Germplasm for Phytoremediation Technologies. Acta Biotechnol. 22: 1-2, 5-11.

Bech, J.; Tobías, F.J.; Roca, N. (1995). Influence of dispersed copper ores on soil background values of heavy metals in Barcelona area (Catalonia, Spain). Third Int.

Conf. of the biogeochemistry of Trace Elements (París, Francia).

Bech, J., Tobías, F.J. y Roca, N. (1995). Nivells basals de metalls pesants i elements traça a sòls de Catalunya. En Cortés, A. y Boixadera, J. Dossiers Agraris:Sòls contaminats, Institució catalana d'estudis agraris ed.: 19-35

Blaylock, M.J., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B.D., y Raskin, I. (1997). Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil applied chelating agents. Environ. Sci. Technol. 31, 860–865 .

Birley, N.H. y Lock, K. (1999). Health and peri-urban natural resource production. Environment and Urbanisation 10(1): 89-106.

Boekhold, A.E., Temminghoff, E.J.M. and Van der Zee, S.E.A.T.M. 1993. Influence of electrolyte composition and pH on cadmium sorption by an acid sandy soil. Journal of Soil Science, 44: 85–96.

Bradshaw, A.D. y McNeilly (1985). Evolución y Contaminación. Ed. Omega. 82 p. Brady, N.C. Y Weil, R.R. (2008). The nature and properties of soils, 14th Edición. Prentice Hall, Upper Saddle River, New York.

Brümmer G., K.G.Tiller, U. Herms, and P.M. Clayton 1983. Adsorption/desorption and/or precipitation/dissolution processes of zinc in soils. Geoderma 31:337-354.

Chaney, M., Brown, S.L., LI, Y.M., Angle, J.S. Homer, F.A. y Green, C.E. (1995). Potential use of metal hyperaccumulators. Min Environ Mag 3:9-11.

Chávez, A. (2015). Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras.

Cheng, H. Hu, Y. (2010). Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China: a review. Environ. Pollut. 158, 1134–1146.

Combatt E, Jarma A, Martínez G, Cabrales E, Cardona C, Atencio L, Cadavid C, Uparela E, Mercado J. 2007. Caracterización de suelos sulfatados ácidos y la respuesta de tres especies vegetales en el bajo Sinú de Córdoba. Informe del Grupo de Investigación en Cultivos Tropicales de Clima Cálido. Universidad de Córdoba, Oficina administrativa de Investigación y Extensión. Montería, Colombia. 278 p.

Cunningham, S.D. y OW, D.W. (1996). Promises and prospects of phytoremediation. Plant Physiol. 110: 715-719.

Davis, A., Drexler, J.W., Ruby, M.V., y Nicholson, A. (1993). Micromineralogy of mine wastes in relation to lead bioavailability. Butte, Montana. Environ. Sci. Technol. 27: 1415-1425.

De Olivera L. (2004) Heavy metal biosorption by chitin and chitosin isolated from Cunninghamella elegans (IFM 46109). Brazilian Journal of Microbiology, 35: 243-247.

Dé Vries, W. & Bakker, D. J. (1998). Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystem: Guidelines for critical limits, calculation methods and input data. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation. Den Helder, Netherland. s/n.

Díaz-Granados M., Moreno M., Maestre A., García J. 1998. Adaptabilidad de la Producción Agropecuaria Sostenible en los Ecosistemas de la Región de la Mojana. Capítulo Modelación Hidrobiológica y Dinámica Fluvial, Fase 2 Etapa 1, Volumen 1, Informe Final, Universidad de los Andes - CORPOICA, Santa Fe de Bogotá. 48 pp.

Doménech, X. (1995). La Química del Suelo. El impacto de los contaminantes, Ed. Mirahuano- Madrid.

Dushenkov, V., Nanda Kumar, P.B.A., Moto, H., y raskin, I. (1995). Rhyzofiltration: The

use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environ. Sci. Technol.* 29, 1239-1245.

Elliot, H.A. and G.A. Shields. 1988. Comparative evaluation of residual and total metal analysis in polluted soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1907-1917.

Esteban, E., S.Vázquez and R. Carpena. 2003. White lupin response to arsenate. Meeting in Stockholm, Sweden: Workshop "Phytoremediation of toxic metals" June, 12-15, 2003.

European Commission. 2001. Survey of wastes spread on land. Appendix F Germany.

Felipó, M. 1992 Contaminación del suelo e impacto ambiental. Seminario "cotaminación, protección y saneamiento del suelos" UIMP, Valencia.

Evans, L.J. 1989. Chemistry of metal retention by soils. *Environmental Science and Technology*, 23, 1046-1056.

Garbisu, C., Becerril, J. M., Epelde, L., Alkorta, I. 2007. Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas*. 16: 44-49.

García, I. y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por metales pesados. En: *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.

Ginocchio, R. y Baker, A. (2004). Metallophytes in Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. *Revista chilena de historia natural*. 77: 185-194.

Gong, H.; Rose, A.W. y Suhr, N.H. (1977). The geochemistry of cadmium in some sedimentary rocks. *Geochimica et cosmochimica Acta*, Vol 41:1687-1692.

Gratão, P., Polle, A., Lea, P. y Azevedo, R. (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*. 32 (481-494)

Hall, J.L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53 (366), pp. 1-11.

Hinsinger, P., Bengough, A.G., Vetterlein, D., Young, I.M., 2009. Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. *Plant Soil* 321, 117-152.

Holmgren, G.G.S; M.W. Meyer; R.L. Chaney y R.B. Daniels. 1993. Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual.* 22: 335-348.

Hose G., Murray B., Park M., Kelaher B., Figueira W. (2006). A meta-analysis comparing the toxicity of sediments in the laboratory and in situ. *Env. Tox. and Chem.* 25: 1148-1152.

IGAC. 2007. Estudio semidetallado de suelos de las áreas potencialmente agrícolas, Bajo Cauca. Imprenta Nacional de Colombia.

Jarvis, S.C. and L.H.P. Jones. 1980. The contents and sorption of cadmium in some agricultural soils of England and Wales. *Journal of Soil Science*, 31: 469-479.

Kabata-Pendias, A. y Pendias, H. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants*. (3rd edition) CRC Press. Boca Raton, Florida, EEUU. 412 pp.

Kabata-Pendias A, Pendias H, 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Katerin, J., Casallas, C., Alexandra, I., & Díaz, R. (2015). Fitorremediación in Situ Para La Recuperación De Suelos Contaminados Por Metales Pesados (Plomo Y Cadmio) Y Evaluación De Selenio En La Finca Furatena Alta En El Municipio De Útica (Cundinamarca), 13-43.

Kidd, P.C., Becerra Castro, C. García Lestón, M. y Monterroso, C. (2007). Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Ecosistemas* 16 (2): 26-43.

Krishnamurti, G.S.R., G.Cieslinski, P.M. Huang, and K.C.J. Van Rees. 1997. Kinetics of cadmium release from soils as influenced by organic acids: Implication in cadmium availability. *Journal of Environmental Quality*, 26 : 271–277.

Lederer. C.M., Hollander. J.M., Pelman. I., 1957. Table of Isotopes, 6th edición, p. 68.

Lindsay, W.L. (1979). Chemical equilibria in soils. Ed. John Wiley and sons. New york.

Llugany, M.; Tolrà, R.; Poschenrieder, C. y Barceló, J. (2007). Hiperacumulación de metales: ¿Una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas* 16 (2):4-9.

Lofts, S.; Spurgeon, D. and Svendsen, C. (2005). Fractions Affected and Probabilistic Risk Assessment of Cu, Zn, Cd, and Pb in Soils Using the Free Ion Approach, *Environmental Science & Technology*, 39 (21), 8533-8540.

Lombi, E. et ál. (2003). Lability of Cd, Cu, and Zn in Polluted Soils Treated with Lime, Beringite, and Red Mud and Identification of a Non-Labile Colloidal Fraction of Metals Using Isotopic Techniques, *Environmental Science & Technology*, 37 (5), 979-984.

López, M. y Grau J.M. (2005). Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España peninsular. II Resultados por Provincias. Ministerio de Educación y Ciencia e Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria.

Lora Silva, R., & Bonilla Gutiérrez, H. (2010). Remediation of a Soil Contaminated With the Heavy Metals Cadmium and Chromium on the High Basin of the Bogota River. *Revista*

U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 13(2), 61–70.

Ma, L.Q. and G. Rao. 1997. Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel, and zinc in contaminated soils. *J. Environ. Qual.*, 26:259-264.

Macek, T., Francova, K., Sura, M. y Mackova, M. (2006). Genetically modified plants with improved properties for phytoremediation purposes. In: *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. Ed. Springer. 2 (68), pp 85-108.

Madrid, G. L. (2015). Genotoxicidad de metales pesados (Hg, Zn, Cu, Pb y Cd) asociado a explotaciones mineras en pobladores de la cuenca del río San Jorge del departamento de Córdoba, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(23).

Marrugo et al 2014: Atmospheric deposition of heavy metals in the mining area of the San Jorge river basin, Colombia. José Luis Marrugo-Negrete & Ivan D. Urango-Cardenas & Saudith M. Burgos Núñez & Sergi Díez. *Air Qual Atmos Health* (2014) 7:577–588.

Marrugo et al 2016: Screening of native plant species for phytoremediation potential at a Hg-contaminated mining site. José Marrugo-Negrete a, Siday Marrugo-Madrid a, José Pinedo-Hernández a, José Durango-Hernández a, Sergi Díez. *Science of the Total Environment* 542 (2016) 809–816.

McBride, M.B. (1994). *Environmental chemistry of soils*. Oxford Univ. Press, New York.

McGrath, S.P.; F.J. Zhao; S.J. Dunham; A.R. Crosland y K. Coleman. 2000. Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. *J. Environ. Qual.* 29:875-883.

McLaren, R.G., R.S. Swift, and J.G. Williams,. 1981. The adsorption of copper by

soil materials at low equilibrium solution concentrations. *Journal of Soil Science*, 32 : 247–256.

Mench, M., Vangronsveld, J., Lepp, N., Bleeker, P., Ruttens, A. y Geebelen. (2006). Phytostabilisation of metal-contaminated sites. In: *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. Ed. Springer. 2 (68), pp 25-52.

Méndez, P., Ramírez, G., César, A., Gutiérrez, R., Alma, D., & García, P. (2009). Disponible en:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10(1), 29–44.

Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2005: Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2005. Esquema de ordenamiento territorial 2005-2019, Documento técnico de soporte, Republica de Colombia, departamento de Cordoba, Municipio de San Carlos, Pp 209.

Millán, R., Carpena, R.O., Schmid, T., Sierra, M.J., Moreno, E., Peñalosa, J., Gamara, R. y Esteban, E. (2007). Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: Estrategias aplicables en el área de Almadén. *Ecosistemas* 2007/02.

Naidu, R., and D. Oliver. 2003. Uptake of copper (Cu), Lead (Pb), cadmium (Cd), arsenic (As) and dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) by vegetables grown in urban environments. Ed. Langley A., Gilbey M. and Kennedy, B. National Environment Protection Council (NEPC) Australia. pp. 235-241.

Navarro-Aviñó, J.P., Aguilar Alonso, I., López-Moya, J. R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas* 16 (2): 10-25.

Nigam, R.; S. Srivastava; S. Prakash y M.M. Srivastava. 2001. Cadmium mobilisation and plant availability - the impact of organic acids

commonly exuded from roots. *Plant Soil*. 230:107-113.

Nolan, A.L.; McLaughlin, M.J. and Mason, S.D. (2003). Chemical Speciation of Zn, Cd, Cu, and Pb in Pore Waters of Agricultural and Contaminated Soils Using Donnan Dialysis, *Environmental Science & Technology*, 37 (1), 90-98.

Ortiz, J. Sanz, M. Dorado, S. Villar. (2007). “Técnicas de recuperación de suelos contaminados”. Universidad de Alcalá. pp, 108.

Philippot, L., Raaijmakers, J.M., Lemanceau, P., van der Putten, W.H., 2013. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nat. Rev. Microbiol.* 11, 789–99. doi:10.1038/nrmicro3109

Phillips I.R. 1999. Copper, lead, cadmium and zinc sorption by waterlogged and air-dry soil. *Journal of Soil Contamination* 3:343-364

Pierangeli M.A.P; L.R.G. Guilherme; L.R.; Oliveira, A N.Curi; and N.L.N. Silva. 2001. Efeito da força iônica da solução de equilíbrio sobre a adsorção-dessorção de chumbo em Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, pp.1077- 1084

Pierangeli M.A.P; L.R.G Guilherme; L.R.;Oliveira, A N.Curi; N.L.N. Silva. 2003. Efeito da força iônica da solução de equilíbrio na adsorção de cádmio em Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.737-745.

Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 56:15-39.

Prabhakaran, K.P. y Cottenie, A. (1971). Parent material-soil relationship in trace elements –A quantitative estimation-. *Geoderma* 5:81-97.

Proctor, J y Woodell, S. (1971). The Plant Ecology of Serpentine: I. Serpentine Vegetation of England and Scotland. *Journal of Ecology*, Vol. 59, No. 2. pp. 375-395.

Purves, D. (1977). The contamination of soil and food crops by toxic elements normally found in municipal wastewaters and their consequences for human health, in Wastewater Renovation and Reuse, D'Itri, F.M., Ed., Marcel Dekker, New York.

Rahman, M. & Hasegawa, H. (2011). Aquatic arsenic: Phytoremediation using floating macrophytes. *Chemosphere*, 85(5), 633-646.

Rascio, N. (1977). Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits. *Oikos* 29, 250-253.

Reeves, R.D. (2006). Hyperaccumulation of trace elements by plants. In: *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. Ed. Springer. 2 (68), pp 25-52.

Reid, R. (2001). Mechanisms of micronutrient uptake in plants. *Australian Plant Physiology*. 28, 659-666.

Rieuwerts J.S., Thonton I., Farago M.E and Ashmore M.R. 1998. Factors influencing metals bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 10(2): 61-75.

Robinson, B.H., Chiarucci, A., Brooks, R.R., Petit, D., Kirkman, J.H. and Gregg, P.E.H. 1997. The nickel hyperaccumulator plant *Alyssum bertolonii* as a potential agent for phytoremediation and phytomining of nickel. *Journal Geochemical Exploration*, 59, 75-86.

Roca, N. (2004). Salinidad, alcalinidad y metales pesados en suelos semiáridos de Fray Mamerto Esquiú (Catamarca, Argentina): Aplicabilidad de la taxonomía de suelos. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.

Roqueme J, Pinedo J, Marrugo J, Aparicio A. (2014). Metales pesados en suelos agrícolas del valle medio y bajo del río Sinú, departamento de Córdoba. (Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe & VII Seminario Internacional de

Gestión Ambiental, 2014). Universidad de Córdoba, Montería. Colombia.

Sierra Villagrana, R. U. B. E. N. (2006). Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial.

Silva, C. 2004. Adsorção competitiva de cádmio, cobre, níquel e zinco em solos. Tesis Mestre em Agronomia, área de concentração: Solos e nutrição de plantas. Piracicaba, Estado de São Paulo, Brazil. 79 p

Silviera M.L.A., L.R.F. Alleoni, and L.R.G. Guilherme. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola* 60 (4): 793-806.

Sims, J.T., and J.S. Kline. 1991. Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals in soils amended with co-composted sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 20:387-395.

Sol, M. V., Navarro, R. V., & Guerrero, R. E. Z. (1996). Geoquímica aplicada al medio ambiente, 30(1995).

Sposito, G. 1986. Sorption of trace metals by humic materials in soils and natural waters. *Crit. Rev. Environ. Control* 16(2):193-229.

Sposito, G. 1989. The chemistry of soils. New York: Oxford University. 277 p.

Tsang, D.C.W. and Lo, M.C. (2006). Competitive Cu and Cd Sorption and Transport in Soils: A Combined Batch Kinetics, Column, and Sequential Extraction Study, *Environmental Science & Technology*, 40 (21), 6655-6661.

Tessier, A; Campbell, P.G.C. & Bisson, M (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, (7), p:844-851.

Tessier, Andre; Campbell, Peter G.C.; Bisson, Marc (1980). Trace metal speciation of USGS reference sample MAG-1. *Geostandards Newsletter, Association Nationale de la Recherche Technique*, p: 145-148.



Complejo Tecnológico Agroindustrial,
Pecuario y Turístico – Urabá



SENA - Regional Antioquia
ISSN: 2665-1599

ISBN: 978-958-15-0308-7



SENA comunica

