



LAS VALVAS DE LAS CONCHAS DE ABANICO EN LA SORCIÓN DEL CADMIO, COMO ENMIENDA Y FERTILIZANTE PARA USO EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS

Hugo Alfredo Huamani Yupanqui

© Fundación Promoción Social, 2025

Calle de las Huertas, 71, 5º Derecha

28014, Madrid (España)

Teléfono: +34 91 344 01 76

Correo electrónico: promocionsocial@promocionsocial.org

www.promocionsocial.org

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con la autorización expresa de la Fundación Promoción Social.

Esta publicación cuenta con la colaboración de la Cooperación Española a través de la Agencia Española de Cooperación (AECID). El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva de la Fundación Promoción Social y no refleja, necesariamente, la postura de la AECID.

ÍNDICE

- Carta de la presidenta Pág. 4
- Introducción Pág. 5
 - Quiénes somos
 - El proyecto en la Bahía de Sechura
 - Presentación del estudio
- **Estudio:** Las valvas de las conchas de abanico en la sorción del cadmio, como Pág. 8
enmienda y fertilizante para uso en los suelos agrícolas

CARTA DE LA PRESIDENTA

Queridos amigos y amigas:

Es un verdadero placer presentaros esta publicación, que difunde los resultados de una valiosa investigación científica realizada en el marco del proyecto “Desarrollo económico inclusivo y sostenible de la población de Piura, mejorando la competitividad de la cadena de valor de la concha de abanico”. Esta iniciativa ha sido posible gracias al apoyo de AECID y se ha llevado a cabo junto a nuestro socio local, ESCAES.

Este estudio ofrece conocimientos innovadores sobre maricultura sostenible, valorización de residuos marinos y economía circular, destacando su importancia ambiental, social y económica, en línea con los principios del desarrollo sostenible que guían nuestro trabajo.

Entre febrero de 2023 y febrero de 2025, la Fundación Promoción Social y ESCAES han desarrollado un proyecto en la Bahía de Sechura para fortalecer los medios de vida de 300 maricultores y maricultoras organizados en 15 PYMES. La iniciativa promueve ingresos dignos, inclusión económica de las mujeres y conservación de ecosistemas, con un enfoque integral de desarrollo humano. Refleja el compromiso de la Fundación con la sostenibilidad, la justicia social y el fortalecimiento de capacidades locales.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al autor de la investigación científica, el Dr. Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui, especialista en suelos, biodiversidad y educación ambiental, y actual vicepresidente de Investigación de la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas. Su rigor metodológico, compromiso con el desarrollo sostenible y profundo conocimiento del contexto local han sido fundamentales para el éxito de este estudio.

Asimismo, trasladamos nuestro especial reconocimiento al equipo técnico y humano de ESCAES, cuya implicación y profesionalidad han sido clave tanto en la implementación del proyecto como en la generación de condiciones óptimas para la investigación. Agradecemos especialmente a la Dra. María del Carmen Parrado Novoa, al Ing. Nesky Nelson López Coveñas, al Biólogo Héctor Manuel Fiestas Chanduví, a la Mg. Edc. Delicia Coronado Rivera, a la Ing. Hedy Valentina Gonzáles Yep, al Téc. Yuniño Gonzáles Valencia, al Téc. Henry A. Morales Vegas y al Téc. Adm. Luis A. Gómez Coronado por su dedicación y compromiso constantes.

Finalmente, nuestro más profundo agradecimiento a las autoridades e instituciones locales, así como a las familias maricultoras de la Bahía de Sechura, por su participación activa, su confianza y su decidido compromiso con el desarrollo sostenible de su territorio.

Esperamos que esta publicación no solo difunda conocimientos útiles para una maricultura sostenible, sino que también refuerce la misión de la Fundación Promoción Social y ESCAES: impulsar el desarrollo humano integral en comunidades vulnerables, con equidad, sostenibilidad y liderazgo local.



Jumana Trad

Presidenta de la Fundación Promoción Social

INTRODUCCIÓN

QUIÉNES SOMOS

La Fundación Promoción Social es una institución privada y sin ánimo de lucro, cuyo objetivo central es asegurar que todas las personas puedan vivir conforme a su dignidad humana, siendo protagonistas de sus vidas y motores de su propio desarrollo. Desde su creación, FPS ha centrado su trabajo en el desarrollo rural, promoviendo medios de vida sostenibles y el emprendimiento bajo una gestión responsable de los recursos naturales.

La Escuela Campesina de Salud y Educación Señor Cautivo de Ayabaca (ESCAES) es una organización local con más de 30 años de trayectoria, especializada en el desarrollo humano sostenible y la innovación social en comunidades vulnerables de Piura, especialmente en Sechura. ESCAES impulsa procesos participativos y asociativos, promoviendo capacidades locales que permitan una gestión sostenible e inclusiva de los recursos y contribuyendo significativamente al bienestar social y económico de la población maricultora.

EL PROYECTO EN LA BAHÍA DE SECHURA

El proyecto “Desarrollo económico inclusivo y sostenible de la población de Piura, mejorando la competitividad de la cadena de valor de la concha de abanico” financiado por la AECID y desarrollado por FPS y ESCAES en la Bahía de Sechura tiene como finalidad contribuir al desarrollo económico sostenible e inclusivo de la población maricultora, a través de la mejora de la competitividad y sostenibilidad de la cadena de valor de la concha de abanico. Este proyecto se implementa en una región que concentra el 80 % de la producción nacional de esta especie y donde la maricultura representa una fuente clave de empleo y sustento para las familias locales.

A lo largo de su ejecución, se ha trabajado estrechamente con 300 maricultores y maricultoras organizados en 15 pequeñas y medianas empresas, mejorando su acceso a recursos productivos, fortaleciendo su capacidad organizativa y promoviendo la adopción de prácticas técnicas más eficientes y sostenibles. Asimismo, el proyecto ha impulsado oportunidades de empleo digno, especialmente para las mujeres, y ha facilitado la diversificación de la actividad económica a través de la valorización de subproductos de la maricultura, en un enfoque de economía circular.

El enfoque integral de esta intervención permite abordar no solo los desafíos técnicos de la producción acuícola, sino también las condiciones estructurales que limitan el acceso de la población local a medios de vida dignos, especialmente en un contexto de creciente vulnerabilidad ambiental, desigualdad y precariedad laboral.

PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO

En el marco del componente de economía circular del proyecto, se ha desarrollado la investigación científica que aquí se presenta: “Las valvas de las conchas de abanico en la sorción del cadmio, como enmienda y fertilizante para uso en los suelos agrícolas”. Este estudio parte de una problemática ambiental concreta: la acumulación de residuos marinos generados por la maricultura intensiva y la contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, como el cadmio.

La investigación, liderada por el Dr. Hugo Alfredo Huamaní junto al equipo de ESCAES, ha demostrado que las valvas procesadas poseen propiedades fertilizantes y biorremediadoras que permiten mejorar la calidad del suelo, aumentar la productividad agrícola y reducir la presencia de contaminantes. Su aplicación representa una solución innovadora que conecta dos sectores tradicionalmente separados —la maricultura y la agricultura— y que potencia sinergias locales para un desarrollo verdaderamente sostenible.

Esta publicación busca, por tanto, no solo difundir los hallazgos de esta investigación, sino también ofrecer una herramienta práctica para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas productivos costeros y rurales, demostrando el potencial de la ciencia aplicada como motor de transformación social, económica y ambiental en territorios como la Bahía de Sechura.

ESTUDIO
LAS VALVAS DE LAS CONCHAS DE ABANICO
EN LA SORCIÓN DEL CADMIO,
COMO ENMIENDA Y FERTILIZANTE
PARA USO EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS

LAS VALVAS DE LAS CONCHAS DE ABANICO EN LA SORCIÓN DEL CADMIO, COMO ENMIENDA Y FERTILIZANTE PARA USO EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS

Autores:

Hugo Alfredo Huamani Yupanqui

RESUMEN

El experimento se realizó en dos suelos de textura diferentes: Suelo arenoso extraídas del caserío Chapaira distrito de Castilla Piura (Coordenadas 582616.972 E 9454008.919 N) y suelo franco arenoso extraídas del caserío de Malingas, Distrito de Tambogrande departamento de Piura (Coordenadas 549933.864 E 9429348.636 N); en cada una de ellas se aplicaron 1, 3, 5 % de valva de conchas de abanico previamente molidas en un molino industrial tradicional de la zona de Sechura. Para el experimento se usó el diseño en bloque completamente randomizado con arreglo factorial de 2 por 3 en tres repeticiones. El objetivo fue de demostrar que las valvas de las conchas de abanico pueden usarse como enmienda, fertilizante y en la sorción del cadmio. Los resultados arriban que la valva de la concha de abanico molida se considera potencial enmienda y fertilizante, no solo modifica el pH, incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo sino que también cuando es aplicado al suelo incrementa el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y sobre todo el calcio, convirtiéndose en una potencial enmienda y/o fertilizante. Así mismo, es un potencial secuestrador del cadmio

Palabras claves: Valva de concha de abanico, enmienda, fertilizantes y sorción de cadmio

INTRODUCCIÓN

La concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) es un molusco del océano Pacífico, se encuentran generalmente en fondos arenoso, fangosos o pedregosos, con escasa corriente y cubiertos de macroalgas (Ccopa et al., 2022), constituyendo su alimento principal principalmente fitoplancton (Shumway et al., 1987), de ahí su valor nutricional, las cuales representan el principal alimento ampliamente consumido en nuestro país (Mendo & Quevedo, 2020, pp. 24-26), desde la llegada de los primeros pobladores al Perú hace más de 10 000 años que ha constituido en un papel muy importante en el desarrollo de los asentamientos costeros (Rostworoski 1981). El principal hábitat natural para este molusco en Perú es la Bahía de Sechura donde se concentra el 80% de la producción nacional (Lomovasky et al., 2015). Actualmente, países como Francia, España, Reino Unido, Italia, Bélgica y Estados Unidos son los más grandes importadores de la concha de abanico (Mendo & Quevedo, 2020 ; Conchaabanico_compressed.pdf, s. f.). Es por ello que estos recursos permitieron generar actividades como la acuicultura, y dentro de ésta la producción de concha de abanico, se remonta a la década de los 70' como parte de programas experimentales, fue recién en los 80' cuando adquirió gran interés. (Mendoza Ramírez et al. 2016) y se estima que las cosechas de concha de abanico podrían para el 2025, alcanzar entre las 120 mil toneladas. Las partes comestibles de la anatomía de la *A. purpuratus* representa aproximadamente el 20% de su peso total, la valva o concha equivale aproximadamente al 76% del peso total y las vísceras, branquias y manto aportan el restante 4% (Von Brand et al., 2009). La parte no comestible, o el caparazón, o valva son desechos de residuos que representan entre 80 a 85% que no se aprovechan en la actualidad por lo que existe un gran potencial para la producción de nuevos productos (Ccopa et al., 2022); su disposición en los lugares no apropiados, generan un impacto negativo en el

medio ambiente (Cueva, M. 2019), o en su defecto son desechados en rellenos sanitarios sin previo tratamiento, contaminando grandes áreas del desierto costero peruano (Sleyther A. De La Cruz Vega, et al., 2022), Durante el procesamiento para la comercialización de *A. purpuratus* se puede encontrar en la actualidad entre 200 a 300 toneladas de residuos acumulados de conchas de abanico en calidad de desecho o valva, sin aprovechamiento ulterior alguno

Generalmente, la calcita biogénica es el constituyente principal de las conchas; así por ejemplo conchas de ostras (que representan aproximadamente el 61 % de CaCO_3 en peso) (Du et al., 2011), mientras que el material de las conchas de abanico presenta en su composición química elemental el 64,11 % de Calcio, 33,81 % de Azufre, 0,81 % de Fósforo, 0,56% de Silicio, 0,51 % de Estroncio y 0,14% de Hierro (Sleyther A. De La Cruz Vega, et al., 2022) que muy bien se pueden aprovechar bajo diferentes aplicaciones en: la fabricación de concretos (Carrillo, S. 2017); además, se puede usar en la agricultura en especial en el cultivo de cacao, para solucionar problemas diferentes: como fertilizantes, en vista a su alto contenido de calcio y azufre; como enmienda por alguna para corregir la acidez o por alguna propiedad del material para secuestrar los metales pesados en especial al cadmio.

El cadmio se encuentran de manera natural en la corteza terrestre en forma de minerales, de donde pueden ser absorbidos por las plantas y tomados de ellas por el ser humano (H. A. Huamaní-Yupanqui et al., 2012). En el cuerpo humano, el Cd en altas concentraciones y tienen un papel importante en la génesis de la insuficiencia renal crónica. Estudios epidemiológicos han demostrado la fuerte asociación entre exposición a estos metales y la presencia de daño renal crónico (Sabath & Robles-Osorio, 2012). Convirtiéndose en grave problema a nivel mundial Motivando (Lim & Aris, 2014). Y en la actualidad existe una reglamentación de la Unión Europea el N. 488/2014 para productos procesados del cacao y que rigen del 2019. (Zug et al., 2019)

Se han desarrollado investigaciones de muchos tipos de sistemas de tratamiento para eliminar la contaminación de metales pesados en el medio ambiente. Los métodos comunes utilizados son el intercambio iónico, la floculación, la coagulación, la oxidación química, la precipitación química, la ozonización, la filtración por membrana y la ósmosis inversa (Li & Champagne, 2009). Además se usaron diferentes técnicas para diagnosticar el problema tal como el estudio de: Fraccionamiento densimétrico y químico de la materia orgánica asociada al cadmio (Ottos Díaz, 2018) y determinaciones de la fracción física y química de la materia orgánica asociada al adsorción del cadmio (Edilberto César, 2019), así como el uso de la materia orgánica para reducción del cadmio en el cultivo de cacao (H. A. H. Huamaní-Yupanqui & Rojas, 2021). Además el uso de las conchas muestran una alta eficiencia de eliminación de metales pesados en agua contaminada por los consideraciones siguientes: Por la precipitación superficial que conduce al crecimiento de cristales; por La similitud de la estructura cristalina entre los precipitados y los sustratos afecta la sorción; el efecto en el pH del medio (Du et al., 2011). La extracción secuencial o fraccionamiento es la técnica más utilizada, para determinar la relación de los metales pesados con otras especies químicas presentes en los suelos. (Martínez & Rivero, s. f.)

Con base en lo descrito se llevó a cabo la presente investigación, que se realizó en las instalaciones de la Escuela Campesina de Salud y Educación Señor Cautivo de Ayabaca ONG ESCAES, con la finalidad de demostrar que las valvas de las conchas de abanico, como subproductos del procesamiento, pueden ser usados como una enmienda que mejore algunas propiedades del suelo y como un compuesto que secuestre el cadmio.

METODOLOGIA

El experimento se realizó en dos tipos de textura de suelo: Suelo arenoso extraídas del caserío Chapaira distrito de Castilla Piura (Coordenadas 582616.972 E 9454008.919 N) y suelo franco arenoso extraídas del caserío de Malingas, Distrito de Tambogrande departamento de Piura (Coordenadas 549933.864 E 9429348.636 N); en cada una de ellas se aplicaron 1, 3, 5 % y un control sin aplicación de residuos las valvas de concha de abanico. Previamente este insumo se extrajo de los desechos de la industria de las conchas de la localidad de Sechura y luego fueron molidas en un molino industrial tradicional de la zona de Sechura, se sacó una muestra de las valvas, cuyos resultados se muestran en las Tablas 1. El experimento fue conducido en las Instalaciones de **ONG ESCAES** El diseño experimental usado fue DBCR con arreglo factorial de 2 por 4, en cuatro repeticiones, en cada kilo de suelo se aplicó los insumos de acuerdo al porcentaje, luego se aplicaron agua a capacidad de campo, para posteriormente incubarlos por 30 días a temperatura ambiental. A los 30 días se extrajeron las muestras que fueron remitidas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para los análisis siguientes: textura por el método de Bouyoucus (1962), pH (1:1), materia orgánica (M.O.) por el método de Walkley y Black (1934), P disponible por el método Olsen modificado (1954), potasio disponible empleando ácido sulfúrico 6 N (Cano et al., 1984), C.I.C. según el método de acetato de amonio 1N pH 7 (Rhoades, 1982), calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiable por extracción con acetato de amonio y lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (Jackson, 1964), C.I.C. efectiva por desplazamiento con KCl 1N (Díaz y Hunter 1978), aluminio más hidrógeno por el método de Yuan (1958), cadmio y plomo disponibles empleando el extractante EDTA 0.05M pH 7 (Westerman, 1990). Para realizar el análisis de extracción química secuencial se siguió el método propuesto por (TESSIER et al., 1979 citado por (Espinosa et al., 2011), que consiste en el uso de LOS extractantes siguientes: para la fracción intercambiable se usa el extractante 8 mL de Cl_2Mg 1M, a pH = 7 o NaOAc 1M, pH 8.2 (relación suelo extractante 1:8) 1h agitación a temperatura ambiente; para la fracción enlazado a carbonatos se usó el 8 mL de NaOAc 1M, pH = 5 con ácido acético, 5 h de agitación a temperatura ambiente; para la fracción enlazada a óxidos de Fe y Mn se usó el 10 mL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 0.3M + Na-Citrato 0.175 M + H-Citrato 0.025 M o $\text{NH}_2\text{OH} - \text{HCl}$ 0.04 M en HOAc 25% (v/v); mientras que para la fracción enlazada a la materia orgánica se usó el extractante 3 mL de HNO_3 0.02 M y 5 mL de H_2O_2 . Ajustar a pH 2 con HNO_3 ; para el cadmio residual se usó como extractante el $\text{HF} - \text{HClO}_4$ y finalmente para el cadmio total fueron atacados con HF (Ácido fluorhídrico), HClO_4 (Ácido Perclórico) y HCl (Ácido Clorhídrico).

Los datos obtenidos fueron procesados en el paquete estadístico InfoStat para los análisis de variancia y prueba de comparaciones de (Infostat - Software estadístico, 2020) mientras que para los análisis de correlación de Pearson entre los contenidos de diferentes tipos de cadmio y los indicadores de las propiedades químicas de los suelos se usaron el IBM SPSS ESTADISTICS (IBM SPSS Statistics 25, 2022)

| Parámetro | Resultado | Método | Lim Cuantif /Detec |
|----------------------------|-----------|---------------|---------------------|
| pH(Extracto 1/10) | 8,65 | Electrometría | 2,00 Unidades de pH |
| Materia Orgánica Total (%) | 4,59 | Gravimetría | 1,00 % |

| | | | |
|---|--------|-------------------------|--------------------------------------|
| Conductividad Eléctrica (Extracto 1/10) | | | |
| $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20 °C | 280 | Conduc | 70,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20 °C |
| Nitrógeno Total (%) | < 0,50 | Anal. Elemental | 0,50 % |
| Fósforo (%) | 0,07 | Espect ICP-OES | 0,05 % |
| Potasio (%) | 0,029 | Espect ICP-OES | 0,024 % |
| Calcio (%) | 37,0 | Espect ICP-OES | 0,035 % |
| Magnesio (%) | 0,14 | Espect ICP-OES | 0,06 % |
| Azufre (%) | 0,13 | Espect ICP-OES | 0,03 % |
| Manganeso (mg/kg) | 8,00 | Espect ICP-OES | 5,00 mg/kg |
| Cobre (mg/kg) | < 5,00 | Espect ICP-OES | 5,00 mg/kg |
| Hierro (mg/kg) | 427 | Espect ICP-OES | 5,00 mg/kg |
| Boro (mg/kg) | 6,29 | Espect ICP-OES | 5,00 mg/kg |
| Molibdeno (mg/kg) | < 2,50 | Espect ICP-OES | 2,50 mg/kg |
| Cloruros (mg/kg) | 321 | Analiz Flujo Segmentado | 300 mg/kg |

Tabla 1. Análisis químico de las valvas de las conchas de abanico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La valva de la concha de abanico como enmienda y fertilizante

Los resultados de los análisis de caracterización físicos químicos de los suelos usados (Figura 1) indican: como era de esperarse, difieren en cuanto al contenido de materia orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico, y la conductividad eléctrica; en los atributos nombrados

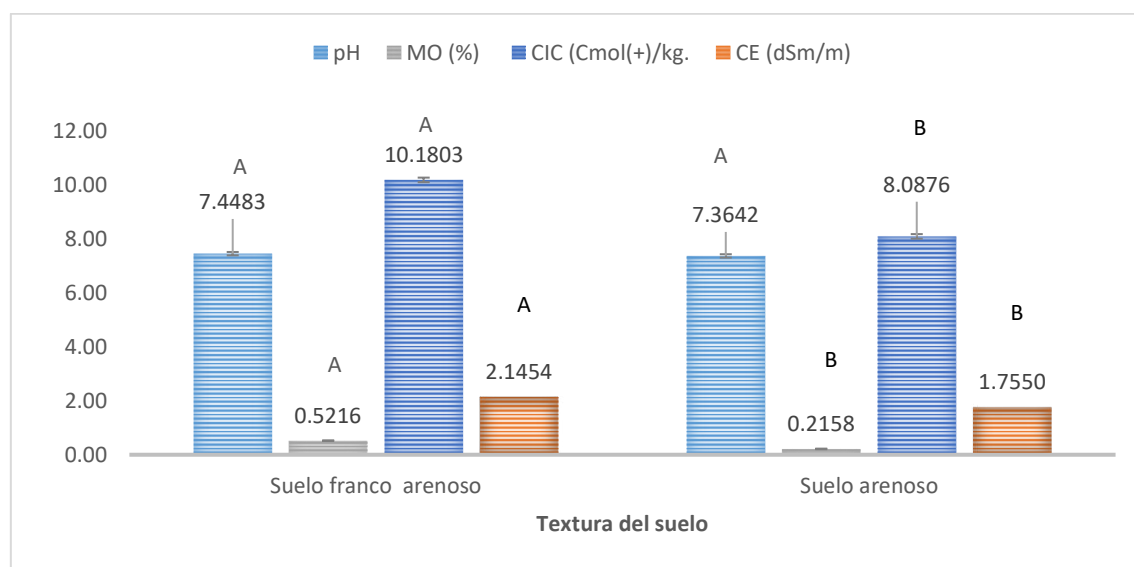


Figura 1. Efecto de la valva de concha de abanico en el pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio de cationes (CIC) y la conductividad eléctrica (CE) de dos suelos.

De manera general en el suelo franco arenoso los valores en todos parámetros son estadísticamente superiores al suelo arenoso, obedeciendo al efecto más de la naturaleza de formación del suelo, antes del efecto de los tratamientos aplicados. Sin embargo, los valores del pH (Tabla 4) son estadísticamente similares ($p > 0.05$) en ambas clases texturales, propios de los suelos de la costa.

Por otro lado, al apreciar el efecto de los niveles de valvas en cada uno de los caracteres evaluados (figura 2 y tabla 4) se observan: un incremento pronunciado para la conductividad eléctrica (CE) describiendo una tendencia lineal positiva, poco pronunciado para el pH, lo que quiere decir que la calca de las valvas tuvieron un efecto tanto en el incremento del pH como en el incremento de la CE; en ambos casos la variación obedece al efecto del contenido de calcio (Tabla 1) del insumo usado. Resultado que corrobora a lo reportado por Smith et al., (1995), y Maier et al., (2002). Por otro lado, en relación al contenido de materia orgánica, se reporta un crecimiento decreciente describiendo una tendencia lineal (Figura 2), Los parámetros de CE y pH son indicadores de efectos sobre la actividad biológica donde ciertos procesos mediados por microbios se ven afectados por cambios en el pH o de la CE. (J. L. Smith & Doran, 1997), es así como el aumento de la conductividad eléctrica del suelo, como respuesta a la aplicación de la valva de la concha de abanico, tiene un efecto negativo sobre la fertilidad biológica y bioquímica del suelo (lo que se relaciona directamente con la actividad microbiológica del suelo) (García & Hernández, 1996); Además, en relación a la CIC, se observa una tendencia polinómica de segundo grado indicándonos que a medida que se aumenta la proporción de valva de concha de abanico se incrementa la CIC del suelo, por efecto del pH que influye la CIC de las arcillas, cargas que dependen del pH (Alam et al., 2020); sin embargo, realizando la estimación matemática a partir de la ecuación $Y = -0.274x^2 + 2.3654x + 6.2091$, nos indica que a partir de la proporción 4.31 % de la valva aplicada al suelo la CIC del suelo tiende a disminuir.

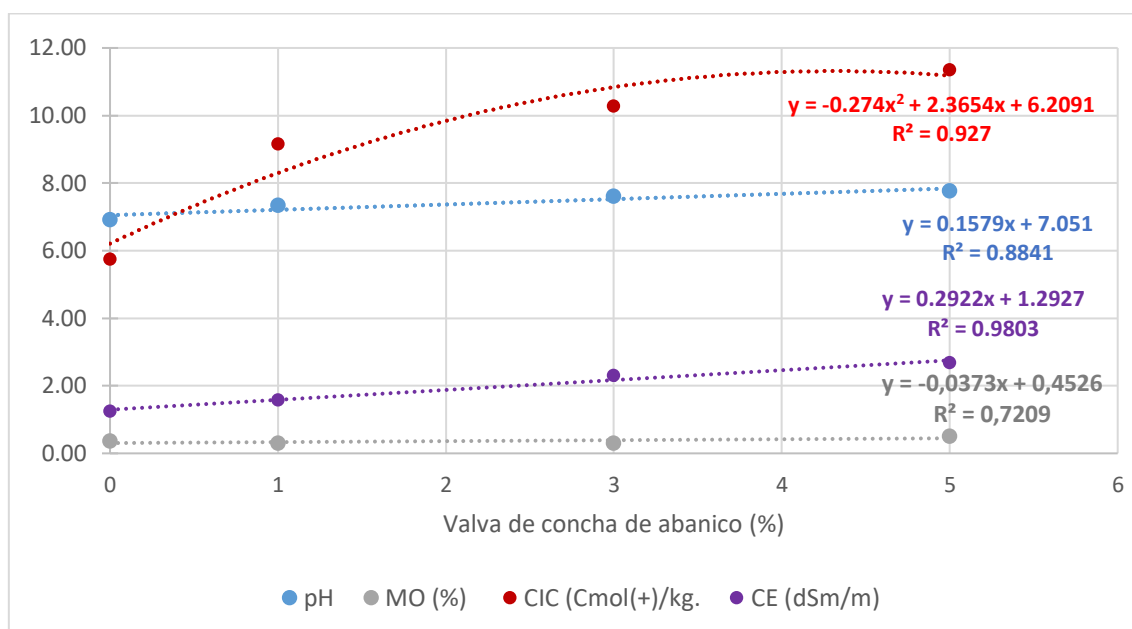


Figura 2. Efecto de la proporción de la valva de concha de abanico en el: pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE) y contenido de materia orgánica dos tipos de suelo

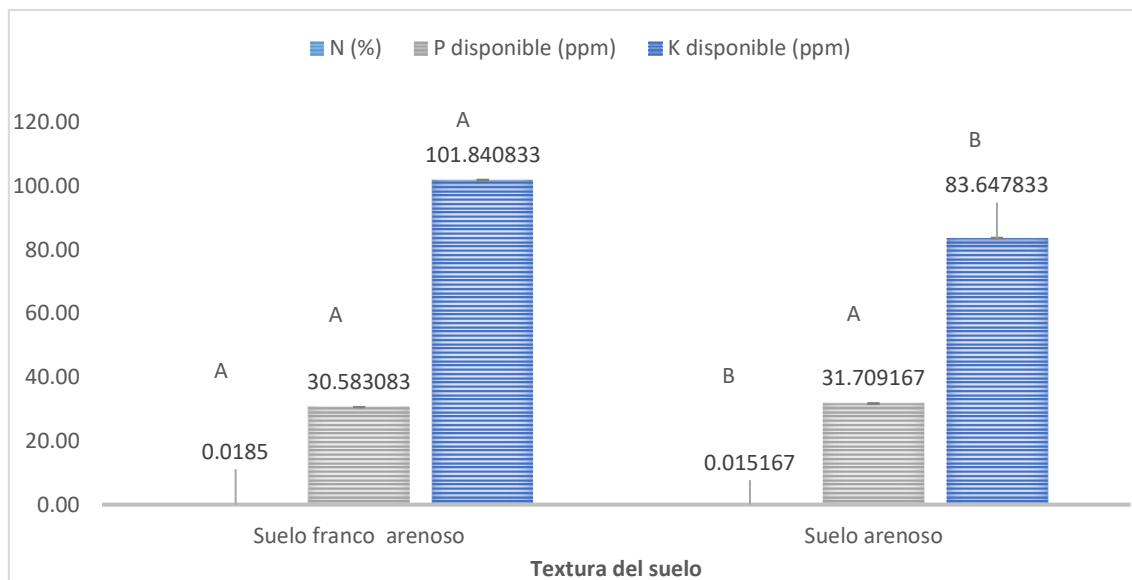


Figura 3. Efecto de la valva de concha de abanico en el: contenido de Nitrógeno (N), Fósforo Disponible (P) y Potasio disponible (K) en dos tipos de suelo.

El efecto de la valva de la concha de abanico en el contenido de nitrógeno fue ligeramente mayor en los suelos franco arenoso que en los suelos arenoso (Figura 3), lo mismo ocurre con el fósforo y potasio, pero en este caso la diferencia es estadísticamente significativa (Figura 3 y Tabla 5). El efecto de la aplicación de las valvas de la concha de abanico sobre el incremento de los elementos nutritivos disponibles en el suelo obedece a la concentración del insumo mostrado en Tabla 1 para el caso del fósforo, potasio y mientras que para el caso del nitrógeno sería los restos proteicos del insumo estudiado. En los tres casos describieron un efecto lineal y positivo (Figura 4), indicándonos que a medida se incrementa la proporción de valvas de concha de abanico acompañan un incremento de los nutrientes, siendo muy notorio para los casos del fósforo y potasio disponible.

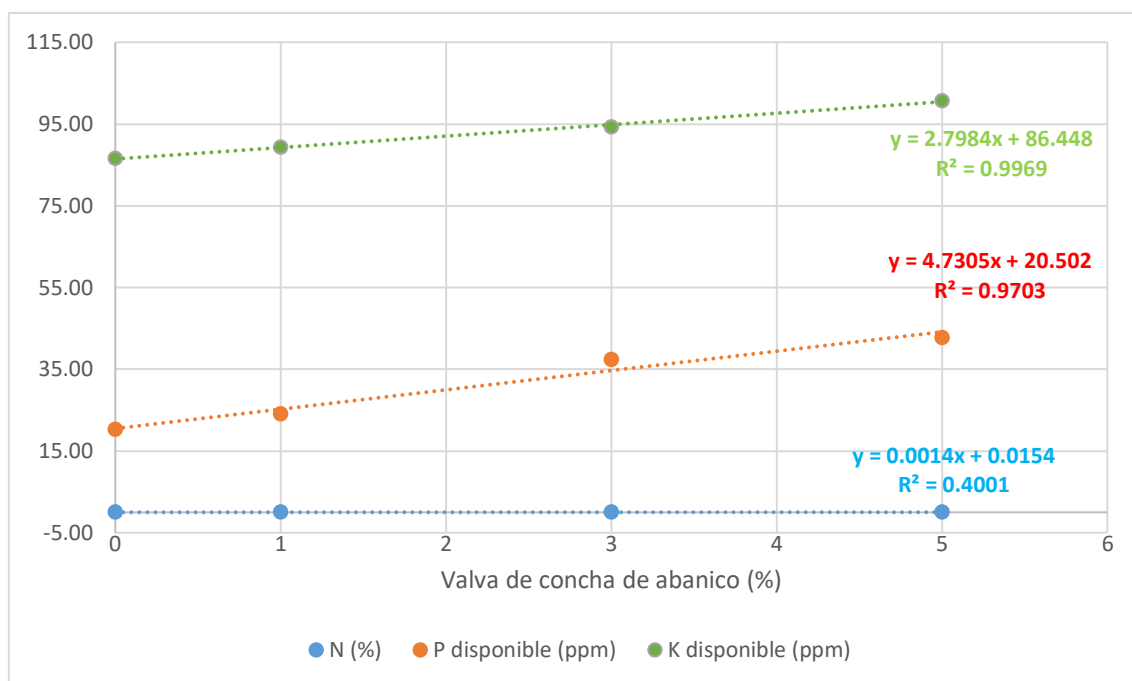


Figura 4. Efecto de la proporción de la valva de concha de abanico en el: contenido de Nitrógeno (N), Fósforo Disponible (P) y Potasio disponible (K) en dos tipos de suelo

De manera similar que los elementos nutritivos anteriores, la aplicación de las valvas de la concha de abanico al suelo permite un incremento del calcio, magnesio y sodio intercambiable. El efecto es mayor en el suelo franco arenoso que en el arenoso (Figura 5 y Tabla 9) con diferencias estadísticas para el caso del calcio, magnesio y potasio ($p > 0.05$). Pero cuando se evalúa las proporciones aplicadas de valva de concha de abanico los resultados son diferentes. Así, para el caso potasio intercambiable la respuesta al incremento de la proporción aplicadas al suelo de las valvas de la concha de abanico describe una tendencia lineal negativa $Y = -0.0009x + 0.1588$ (Figura 6) como consecuencia de que el insumo aplicado contienen pequeñas concentraciones en comparación de los otros elementos intercambiables. Sin embargo, para el caso del calcio, magnesio y sodio el efecto la respuesta es a medida que se incrementa la proporción de la valva de la concha de abanico también se incrementa los cationes intercambiables, describiendo una tendencia lineal positiva (Figura 6).

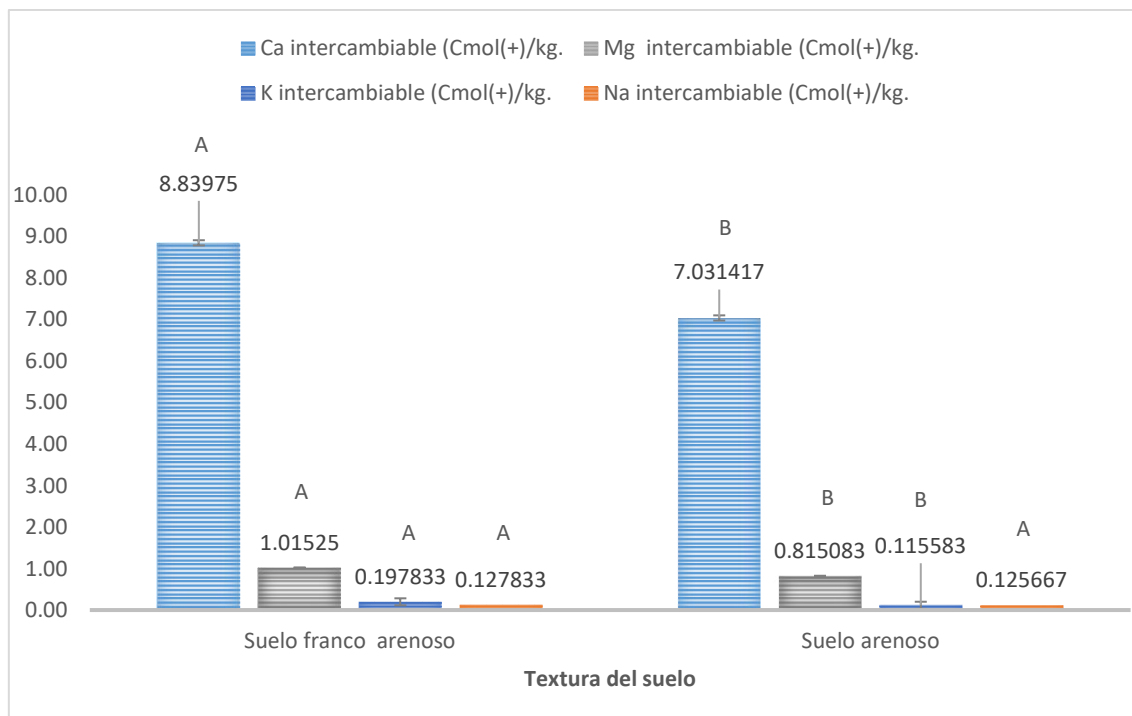


Figura 5. Efecto de la valva de concha de abanico en el: contenido de Calcio intercambiable (Ca), Magnesio Intercambiable (Mg), Potasio intercambiable (K) y Sodio intercambiable (Na)

Era evidente que, a mayor cantidad de valva aplicada al suelo, mayor fue el contenido del calcio intercambiable. Dos aspectos para explicar lo acontecido: la concentración del calcio que contiene el insumo que se liberó como efecto de los cambios químicos ocurridos en la incubación del material tales como el incremento del pH y de la CIC (Figura 2) corroborando con la teoría que indica que la cantidad y el tipo de catión que puede retener un suelo dependen de sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas (Sadeghian K. & Zapata H., 2015), sobre todo resaltamos el incremento de la CIC que ha hecho posible el incremento de las cargas negativas y por ende un incremento de la capacidad de intercambiar con los cationes en este caso el calcio, magnesio y sodio; otro aspecto es el efecto de la afinidad iónica sobre la superficie específica de cambio así tenemos si la actividad o la concentración de un ion es muy elevada en la solución del suelo, éste puede sustituir otros iones en la fase sólida, en un claro proceso de intercambio iónico (Peraza, 2020). De manera general, hasta aquí se reporta que la aplicación de las valvas de las conchas de abanico modifican las propiedades químicas y biológicas del suelo es decir actúan como una enmienda, al mismo tiempo actúa como fuente de nutrientes en especial del calcio.

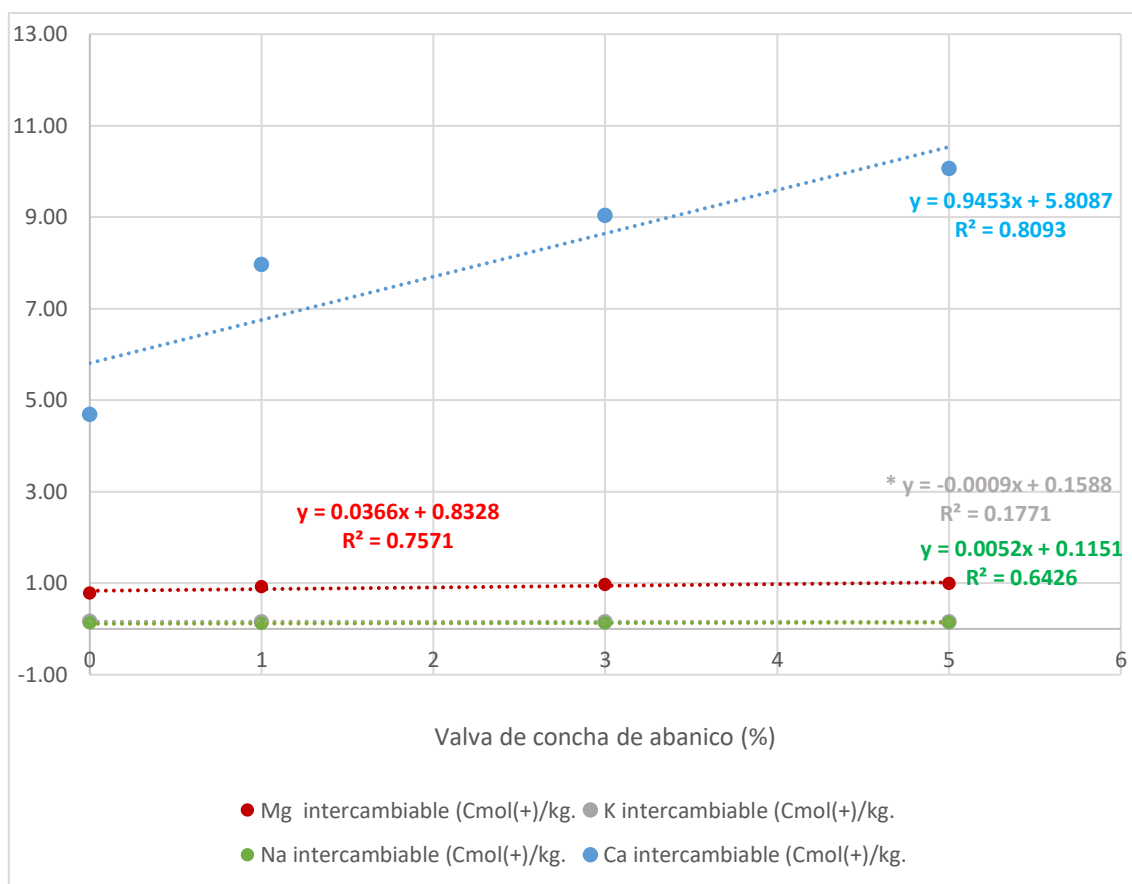


Figura 6. Efecto de la proporción de la valva de concha de abanico en el: contenido de Calcio intercambiable (Ca), Magnesio Intercambiable (Mg), Potasio intercambiable (K) y Sodio intercambiable (Na). * Como los valores del k intercambiables son pequeños, no aparece en el gráfico solo colocamos la ecuación de la línea.

La valva de concha de abanico como remediador del suelo al cadmio: Análisis químico secuencial del cadmio.

La adsorción de cadmio luego de aplicar la valva de la concha de abanico fue significativamente mayor ($p > 0.05$) en suelos de textura franco arenoso (Figura 7 y Tabla 1). La explicación a estos resultados serían: a la presencia de mayor contenido de arcilla en los suelos franco arenosos, presentando mayor capacidad de intercambio catiónico, induciendo a la adsorción del cadmio por el coloide; a la valva de concha de abanico aplicado, que están compuestas de una fase de carbonato de calcio inorgánico (95-99 %) y una fase orgánica, principalmente proteínas (1-5 %) (Janković et al., 2020) que tiene una capacidad de adsorción a metales potencialmente tóxicos (Du et al., 2011, Prieto et al., 2003)

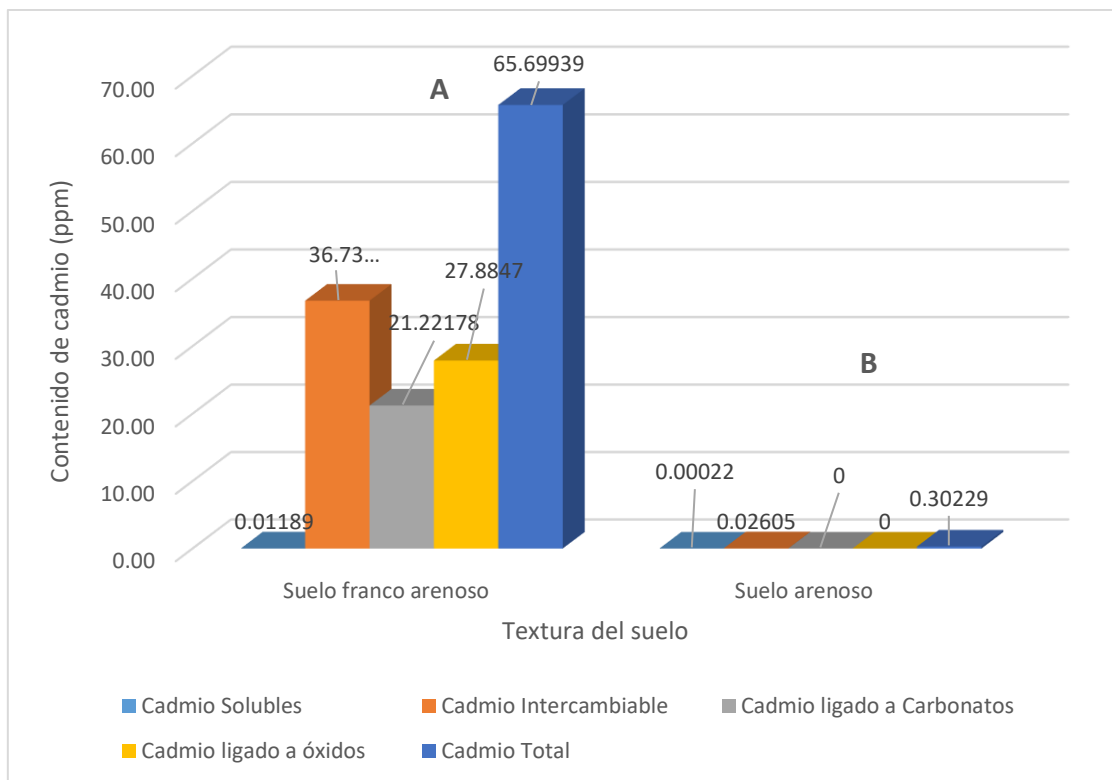


Figura 7. Contenido de cadmio en diferentes sustancias de suelos, en dos texturas de suelo

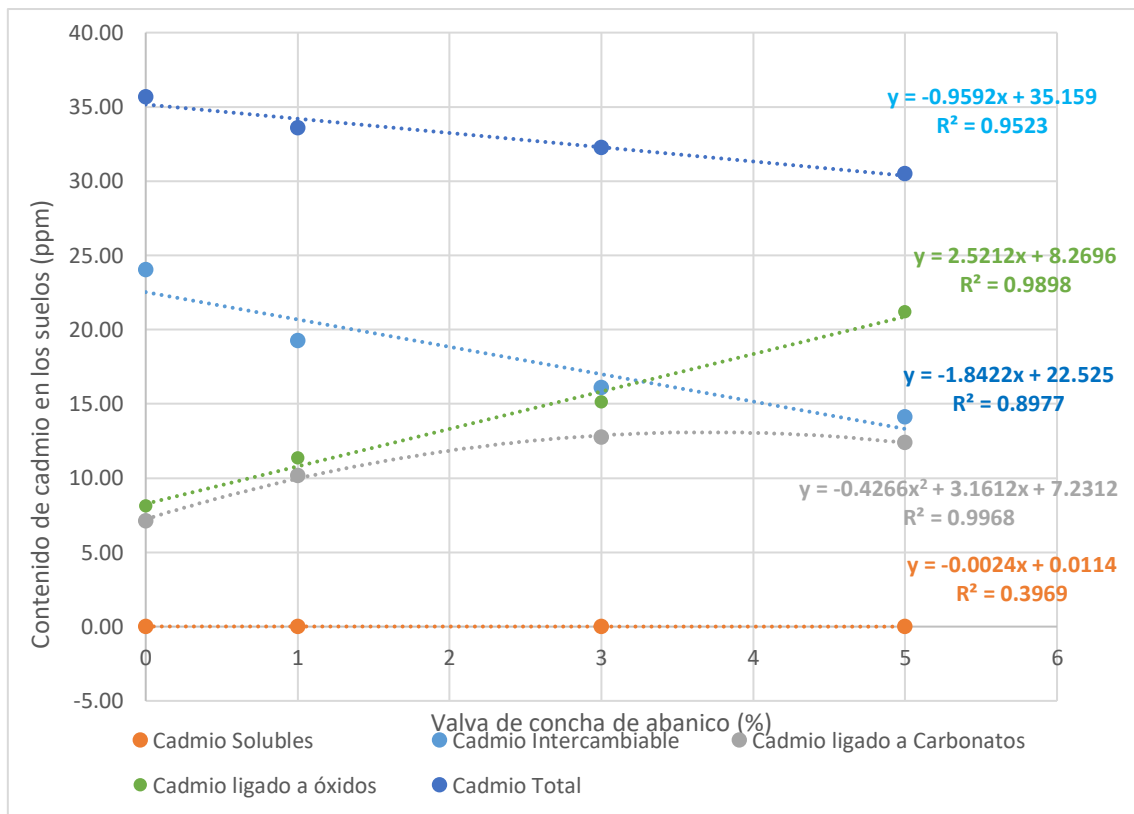


Figura 8. Contenido de cadmio en los suelos por efecto de aplicación de la valva de concha de abanico en diferentes proporciones.

La aplicación en diferentes proporciones de valva de concha de abanico al suelo tuvo un efecto muy significativo ($p > 0.05$) independientemente de las sustancias ligadas al cadmio, a excepción del cadmio total que estadísticamente fueron similares (Tabla 2.). Este efecto significativo fue muy diferenciado, las líneas de tendencia para cada sustancia asociada al cadmio (Figura 8) indican que: Para el caso del cadmio soluble, por cada unidad (%) de valva de concha de abanico (VCA) aplicada al suelo, el contenido de cadmio soluble disminuye en un 0,0024 ppm de cadmio, esta disminución se atribuyen a la quelación del metal, considerando aún el aumento de la solubilidad del Cd en agua en los suelos alcalinos, el cadmio disuelto al entrar en contacto con la parte orgánica estas tienden a quelatarse. La misma tendencia le sigue el cadmio intercambiable, pero con cifras diferentes, es decir por cada unidad (%) de valva de concha de abanico (VCA) aplicada al suelo, el contenido de cadmio intercambiable disminuye en un 0,8422 ppm de cadmio; indicándonos que a pesar de que los suelos incrementaron la CIC, este no ha sido suficiente para que el cadmio ocupe los sitios de cambio o en su defecto las altas concentraciones del calcio, magnesio y sodio, por competencia, impidieron la adsorción del cadmio. Mientras tanto, lo inverso ocurre para el cadmio ligado a óxidos, donde por cada unidad (%) del insumo aplicado evidencia un incremento de 2.5212 ppm de cadmio; en este caso la respuesta tuvo una tendencia lineal. En general, los iones de metales pesados se adsorben en nanomateriales de óxido metálico mediante intercambio electrostático o iónico. El mecanismo general es en realidad una reacción interfacial sólido-líquido (Cao et al., 2012) además también puede haber adsorción por complejación de superficie ternaria (Yin et al., 2023; Liu et al., 2021). Por otro lado, el efecto de las proporciones de valva de la concha de abanico en el cadmio ligado a los carbonatos desarrollo una tendencia polinómica ($y = -0.4266x^2 + 3.1612x + 7.2312$ 3.70); con esta ecuación se estimó que a partir de la proporción de 3.70 (%) disminuye el contenido de cadmio asociado a los carbonatos. El incremento del contenido de cadmio asociado a los carbonatos a medida que incrementa la proporción obedece a la superficie de CaCO_3 que tiene una alta afinidad por el Cd (Papadopoulos & Rowell, 1988) por contener macro y mesoporos (Dou et al., 2022) o la formación de material compuesto con algunos sitios específicos que pueden ser responsables de la adsorción de iones analitos en la interfaz adsorbato-adsorbente (Mahmud et al., 2017) en su defecto por incremento del área específica, ya que los adsorbentes usados por Alidosut et al. derivados de conchas de ostra exhibieron un área superficial BET que osciló entre 1,8 y 64,6 m^2/g . (Alidoust et al., 2015)

En este caso el desecho de las conchas de abanico estaría secuestrando el cadmio o en su defecto la valva de la concha de abanico está adsorbiendo al cadmio directamente o indirectamente. En el primer caso, la (VCA) estaría actuando como una aragonita, de estructura cristalina ortorrómbica, que tienen una excelente capacidad de adsorción a metales potencialmente tóxicos (Du et al., 2011, Prieto et al., 2003). Esta estructura, la distribución de densidad de carga y la estructura electrónica de los sistemas de adsorción son las responsables que controlan la adsorción, y que la adsorción de átomos de metales pesados en la superficie de la calcita estaría influyendo los enlaces iónicos y covalentes. (Wang et al., 2021). Por esta razón, la aragonita biogénica se considera como un adsorbente potencial para la remediación del agua. (Van et al., 2019). Indirectamente por el contenido de compuestos orgánicos del VCA de contener una fase orgánica, principalmente proteínas (Janković et al., 2020) que estarían quelatando al cadmio, siendo unas características de los compuestos orgánicos

Relación entre los resultados de los análisis químicos secuenciales del cadmio con los resultados de los análisis químicos de los suelos

Numerosas investigaciones han demostrado que los oligoelementos se adsorben en la superficie de la calcita y pueden incorporarse a la estructura cristalina de la calcita (Heberling et al., 2011). La calcita es un mineral muy común y también es el polimorfo de carbonato de calcio más estable en condiciones naturales y la convierten en un adsorbente potencial, (Wang et al., 2021). En razón a lo manifestado, los resultados correspondientes a la correlación entre el cadmio asociado a diferentes compuestos con los diferentes parámetros químicos del suelo, reafirman lo reportado por los estudios en relación de la adsorción del cadmio por la calcita, en este caso las valvas de las conchas de abanico (tabla 3); posiblemente como respuesta de la carga de la calcita que tiene una influencia importante en la adsorción de contaminantes. Por lo tanto, un modelo confiable de complejación de superficies para calcita. (Heberling et al., 2011).

| Cadmio asociado a diferentes compuestos | | pH | Conductividad Eléctrica | Materia orgánica | Fosforo disponible | Potasio disponible | Capacidad de Intercambio catiónico | Calcio Intercambiable | Magnesio Intercambiable | Potasio intercambiable | Sodio Intercambiable |
|---|------------------------|-------|-------------------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Cd- solución suelo | Correlación de Pearson | -,289 | -,402 | ,455* | -,278 | ,311 | -,067 | -,116 | ,347 | ,571** | ,236 |
| | Sig. (bilateral) | ,171 | ,052 | ,025 | ,188 | ,139 | ,757 | ,589 | ,096 | ,004 | ,268 |
| Cd- intercambiable | Correlación de Pearson | -,196 | -,391 | ,704** | -,164 | ,744** | ,296 | ,256 | ,492* | ,949** | ,098 |
| | Sig. (bilateral) | ,358 | ,059 | ,000 | ,443 | ,000 | ,160 | ,228 | ,015 | ,000 | ,648 |
| Cd-carbonato | Correlación de Pearson | -,004 | -,167 | ,758** | ,076 | ,834** | ,482* | ,469* | ,372 | ,883** | ,052 |
| | Sig. (bilateral) | ,986 | ,437 | ,000 | ,725 | ,000 | ,017 | ,021 | ,074 | ,000 | ,810 |
| Cd-oxido | Correlación de Pearson | ,059 | -,082 | ,869** | ,145 | ,853** | ,522** | ,517** | ,323 | ,853** | ,063 |
| | Sig. (bilateral) | ,783 | ,704 | ,000 | ,499 | ,000 | ,009 | ,010 | ,124 | ,000 | ,769 |
| Cd- total | Correlación de Pearson | -,140 | -,322 | ,762** | -,083 | ,810** | ,378 | ,345 | ,468* | ,965** | ,082 |
| | Sig. (bilateral) | ,513 | ,125 | ,000 | ,701 | ,000 | ,069 | ,098 | ,021 | ,000 | ,704 |

** Diferencia altamente significativo ($p > 0.01$). * Diferencia significativo ($p > 0.05$).

Tabla 2. Matriz de coeficientes de correlación de Pearson entre el cadmio asociado a diferentes compuestos y las propiedades químicas del suelo.

Al reportar una correlación altamente significativa ($p > 0.01$) entre el cadmio asociado a diferentes compuestos con la materia orgánica del suelo, el potasio disponible e intercambiable demuestra que la valva de la concha de abanico si es un insumo que adsorbe al cadmio. Un argumento teórico a partir de los resultados de este estudio sería: El desprendimiento del calcio y del CO₃ de la valva de la concha de abanico permite un incremento del pH del suelo, de la CIC, la MO y la CE, (Figura 2), por lo tanto, el incremento de la materia orgánica del suelo permite que el cadmio se ligue a todas las formas de compuestos estudiados en especial a los óxidos formando compuestos oxicationes. Por otro lado, tanto el potasio disponible como el potasio intercambiable se correlaciona altamente significativa con los cadmios asociados a los diferentes compuestos, en especial del potasio intercambiable se correlaciona con el cadmio asociado con el cadmio ligado al complejo de cambio

CONCLUSIONES

La valva de la concha de abanico molida se considera potencial enmienda y fertilizante, no solo modifica el pH, incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo sino que también cuando es aplicado al suelo incrementa el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y sobre todo el calcio, convirtiéndose en una potencial enmienda y/o fertilizante. Así mismo, es un potencial secuestrador del cadmio.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a la Escuela Campesina de Salud y Educación Señor Cautivo de Ayabaca ONG ESCAES, a la Fundación Promoción Social (FPS), a la Agencia Española de Cooperación Internacional para el desarrollo (AECID).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alam, S. I., Hammoda, H., Khan, F., Enazi, R. A., & Goktepe, I. (2020). Electrical Conductivity, pH, Organic Matter and Texture of Selected Soils Around the Qatar University Campus. *Research in Agriculture Livestock and Fisheries*, 7(3), 403-409. <https://doi.org/10.3329/ralf.v7i3.51359>
- Alidoust, D., Kawahigashi, M., Yoshizawa, S., Sumida, H., & Watanabe, M. (2015). Mechanism of cadmium biosorption from aqueous solutions using calcined oyster shells. *Journal of Environmental Management*, 150, 103-110. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.032>
- Brand, E. V., Cisterna, M., Merino, G., Uribe, E., Palma-Rojas, C., Rosenblitt, M., & Albornoz, J. L. (2009). Non-Destructive Method to Study the Internal Anatomy of the Chilean Scallop *Argopecten purpuratus*. *Journal of Shellfish Research*, 28(2), 325-327. <https://doi.org/10.2983/035.028.0214>
- Cao, C.-Y., Qu, J., Wei, F., Liu, H., & Song, W.-G. (2012). Superb Adsorption Capacity and Mechanism of Flowerlike Magnesium Oxide Nanostructures for Lead and Cadmium Ions. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4(8), 4283-4287. <https://doi.org/10.1021/am300972z>
- Ccopa, J., Puelles, C., Rivas, W., & Chira, L. L. (2022). Aprovechamiento de subproductos de Concha de Abanico (*Argopecten purpuratus*) para la elaboración de nuevos productos. *CIENCIA UNEMI*, 15(40), Article 40. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss40.2022pp110-121p>
- Conchaabanico_compressed.pdf.pdf*. (s. f.). Recuperado 31 de enero de 2024, de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3891725/Conchaabanico_compressed.pdf.pdf?v=1669830945

Dou, D., Wei, D., Guan, X., Liang, Z., Lan, L., Lan, X., Liu, P., Mo, H., & Lan, P. (2022). Adsorption of copper (II) and cadmium (II) ions by in situ doped nano-calcium carbonate high-intensity chitin hydrogels. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127137. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127137>

Du, Y., Lian, F., & Zhu, L. (2011). Biosorption of divalent Pb, Cd and Zn on aragonite and calcite mollusk shells. *Environmental Pollution*, 159(7), 1763-1768. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.04.017>

Edilberto César, D. Z. (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. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1623>

Espinosa, L. F., Parra, J. P., & Villamil, C. (2011). Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a manglares de la Ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 40(1), 7-23.

Garcia, C., & Hernandez, T. (1996). Influence of salinity on the biological and biochemical activity of a calciorthird soil. *Plant and Soil*, 178(2), 255-263. <https://doi.org/10.1007/BF00011591>

Heberling, F., Trainor, T. P., Lützenkirchen, J., Eng, P., Denecke, M. A., & Bosbach, D. (2011). Structure and reactivity of the calcite–water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 354(2), 843-857. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.10.047>

Huamaní-Yupanqui, H. A. H., & Rojas, M. Á. H. (2021). Efecto de materia organica en el contenido de cadmio en almendras de cacao orgánico en Perú. *RevIA*, 8(5), Article 5.

Huamaní-Yupanqui, H. A., Huauya-Rojas, M. ángel, Mansilla-Minaya, L. G., Florida-Rofner, N., & Neira-Trujillo, G. M. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica*, 61(4), 339-344.

IBM SPSS Statistics 25. (2022, septiembre 1). <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-25>

Janković, B., Smičiklas, I., Manić, N., Mraković, A., Mandić, M., Veljović, Đ., & Jović, M. (2020). Thermo-oxidative evolution and physico-chemical characterization of seashell waste for application in commercial sectors. *Thermochimica Acta*, 686, 178568. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178568>

Li, C., & Champagne, P. (2009). Fixed-bed column study for the removal of cadmium (II) and nickel (II) ions from aqueous solutions using peat and mollusk shells. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1), 872-878. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.084>

Lim, A. P., & Aris, A. Z. (2014). Continuous fixed-bed column study and adsorption modeling: Removal of cadmium (II) and lead (II) ions in aqueous solution by dead calcareous skeletons. *Biochemical Engineering Journal*, 87, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2014.03.019>

Liu, J., Zhu, R., Ma, L., Fu, H., Lin, X., Parker, S. C., & Molinari, M. (2021). Adsorption of phosphate and cadmium on iron (oxyhydr)oxides: A comparative study on ferrihydrite,

goethite, and hematite. *Geoderma*, 383, 114799.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114799>

Lomovasky, B., Gamero, P., Romero, L., Firstater, F., Gamarra-Salazar, A., Hidalgo, F., Tarazona, J., & Iribarne, O. (2015). The role of *Argopecten purpuratus* shells structuring the soft bottom community in shallow waters of southern Peru. *Journal of Sea Research*, 106.
<https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.09.006>

Mahmood, Z., Amin, A., Zafar, U., Raza, M. A., Hafeez, I., & Akram, A. (2017). Adsorption studies of cadmium ions on alginate–calcium carbonate composite beads. *Applied Water Science*, 7(2), 915-921. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0302-2>

Maier, N. A., McLaughlin, M. J., Heap, M., Butt, M., & Smart, M. K. (2002). Effect of nitrogen source and calcitic lime on soil pH and potato yield, leaf chemical composition, and tuber cadmium concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, 25(3), 523-544.
<https://doi.org/10.1081/PLN-120003380>

Martínez, Y., & Rivero, C. (s. f.). *Evaluación de diferentes métodos para determinar las fracciones de metales pesados presentes en el suelo*.

Ottos Díaz, E. (2018). Fraccionamiento densimétrico y químico de la materia orgánica asociado al cadmio en suelo aluvial y residual cacaotero. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*.
<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1340>

Papadopoulos, P., & Rowell, D. L. (1988). The reactions of cadmium with calcium carbonate surfaces. *Journal of Soil Science*, 39(1), 23-36. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1988.tb01191.x>

Peraza, P. R. S. (2020, julio 13). El Intercambio iónico en los suelos. *QUIFUCA, C.A*.
<https://www.quifuca.com/ve/2020/07/13/intercambio-ionico-suelos/>

Sabath, E., & Robles-Osorio, M. L. (2012). Medio ambiente y riñón: Nefrotoxicidad por metales pesados. *Nefrología (Madrid)*, 32(3), 279-286.

Sadeghian K., S., & Zapata H., R. D. (2015). *Propiedades relacionadas con la adsorción de cationes intercambiables en algunos suelos de la zona cafetera de Colombia*.
<https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/537>

Smith, C. J., Goh, K. M., Bond, W. J., & Freney, J. R. (1995). Effects of organic and inorganic calcium compounds on soil-solution pH and aluminium concentration. *European Journal of Soil Science*, 46(1), 53-63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01812.x>

Smith, J. L., & Doran, J. W. (1997). Measurement and Use of pH and Electrical Conductivity for Soil Quality Analysis. En *Methods for Assessing Soil Quality* (pp. 169-185). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c10>

Van, H. T., Nguyen, L. H., Nguyen, V. D., Nguyen, X. H., Nguyen, T. H., Nguyen, T. V., Vigneswaran, S., Rinklebe, J., & Tran, H. N. (2019). Characteristics and mechanisms of cadmium adsorption onto biogenic aragonite shells-derived biosorbent: Batch and column studies. *Journal of Environmental Management*, 241, 535-548.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.079>

Wang, J.-M., Zhao, J., Qin, X.-Z., & Wang, Z. (2021). Theoretical study of adsorption mechanism of heavy metals As and Pb on the calcite (104) surface. *Materials Today Communications*, 26, 101742. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101742>

Yin, G., Chen, X., Sarkar, B., Bolan, N. S., Wei, T., Zhou, H., & Wang, H. (2023). Co-adsorption mechanisms of Cd(II) and As(III) by an Fe-Mn binary oxide biochar in aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 466, 143199. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.143199>

Zug, K. L. M., Huamaní Yupanqui, H. A., Meyberg, F., Cierjacks, J. S., & Cierjacks, A. (2019). Cadmium Accumulation in Peruvian Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Opportunities for Mitigation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230(3), 72. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4109-x>

ANEXO

Tabla 4. Efecto de las valvas trituradas en el pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la conductividad eléctrica (CE), en dos clases de texturas de suelo.

| Textura del suelo | pH | | MO (%) | | CIC (Cmol(+)/kg) | | CE (dSm/m) | |
|----------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|------------------|---------------|--------------|---------------|
| | Medias n= 12 | Significación | Medias n= 12 | Significación | Medias n= 12 | Significación | Medias n= 12 | Significación |
| Suelo franco arenoso | 7,4483 | A | 0,5216 | A | 10,1803 | A | 2,1454 | A |
| Suelo arenoso | 7,3642 | A | 0,2158 | B | 8,0876 | B | 1,7550 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 5. Efecto de los niveles de valvas en trituradas en el pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la conductividad eléctrica (CE) del suelo.

| Niveles de valva (%) | pH | | MO (%) | | CIC (Cmol(+)/kg) | | CE (dSm/m) | |
|----------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|------------------|---------------|--------------|---------------|
| | Medias n = 6 | Significación | Medias n = 6 | Significación | Medias n = 6 | Significación | Medias n = 6 | Significación |
| 0 | 6,9133 | C | 0,3677 | B | 5,7538 | D | 1,2452 | B |
| 1 | 7,3417 | B | 0,2997 | C | 9,1542 | C | 1,5790 | B |
| 3 | 7,6033 | AB | 0,3005 | C | 10,2703 | B | 2,3000 | A |
| 5 | 7,7667 | A | 0,5068 | A | 11,3573 | A | 2,6767 | A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 6. Efecto de las valvas trituradas en el nitrógeno (N), fósforo disponible (P) y potasio disponible (K), en dos clases de texturas de suelo.

| Textura del suelo | N (%) | | P disponible (ppm) | | K disponible (ppm) | |
|----------------------|--------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| | Medias n= 12 | Significación | Medias n= 12 | Significación | Medias n= 12 | Significación |
| Suelo franco arenoso | 0,026083 | A | 30,583083 | A | 101,840833 | A |
| Suelo arenoso | 0,010917 | B | 31,709167 | A | 83,647833 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 7. Efecto de los niveles de valvas en trituradas en el nitrógeno (N), fósforo disponible (P) y potasio disponible (K), en dos texturas de suelo.

| Niveles de valva (%) | N (%) | | P disponible (ppm) | | K disponible (ppm) | |
|----------------------|-------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| | Medias n= 6 | Significación | Medias n= 6 | Significación | Medias n= 6 | Significación |
| 0 | 0,0185 | B | 20,322167 | D | 86,609167 | D |
| 1 | 0,015167 | C | 24,135167 | C | 89,293333 | C |
| 3 | 0,015 | C D | 37,340167 | B | 94,345833 | B |
| 5 | 0,025333 | A | 42,787 | A | 100,729 | A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 8. Efecto de las valvas trituradas en el calcio intercambiable (Ca), magnesio intercambiable (Mg), potasio intercambiable (K) y sodio intercambiable en dos clases de texturas de suelo.

| Textura del suelo | Ca intercambiable (Cmol(+)/kg) | | Mg intercambiable (Cmol(+)/kg) | | K intercambiable (Cmol(+)/kg) | | Na intercambiable (Cmol(+)/kg) | |
|----------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| | Medias n= 12 | Significación | Medias n= 12 | Significación | Medias n= 12 | Significación | Medias n= 12 | Significación |
| Suelo franco arenoso | 8,83975 | A | 1,01525 | A | 0,197833 | A | 0,127833 | A |
| Suelo arenoso | 7,031417 | B | 0,815083 | B | 0,115583 | B | 0,125667 | A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 9. Efecto de los niveles de valvas en trituradas en el calcio intercambiable (Ca), magnesio intercambiable (Mg), potasio intercambiable (K) y sodio intercambiable en dos clases de texturas de suelo.

| Niveles de valva (%) | Ca intercambiable (Cmol(+)/kg) | | Mg intercambiable (Cmol(+)/kg) | | K intercambiable (Cmol(+)/kg) | | Na intercambiable (Cmol(+)/kg) | |
|----------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| | Medias n = 6 | Significación | Medias n = 6 | Significación | Medias n = 6 | Significación | Medias n = 6 | Significación |
| 0 | 4,684833 | D | 0,782167 | B | 0,163333 | A | 0,124167 | B |
| 1 | 7,9655 | C | 0,9225 | A B | 0,154333 | A | 0,112167 | B |
| 3 | 9,031333 | B | 0,963167 | A B | 0,151833 | A | 0,124167 | B |
| 5 | 10,060667 | A | 0,992833 | A | 0,157333 | A | 0,1465 | A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 10. Efecto de las valvas trituradas en el fraccionamiento químico del cadmio en dos clases de texturas de suelo.

| Textura del suelo | Cadmio Soluble (ppm) | | Cadmio Intercambiable (ppm) | | Cadmio ligado a carbonatos (ppm) | | Cadmio ligado a óxidos (ppm) | | Cadmio total (ppm) | |
|----------------------|----------------------|---------|-----------------------------|---------|----------------------------------|---------|------------------------------|---------|--------------------|---------|
| | Medias n= 12 | Signif. | Medias n= 12 | Signif. | Medias n= 12 | Signif. | Medias n= 12 | Signif. | Medias n= 12 | Signif. |
| Suelo franco arenoso | 0,0100 | A | 36,7300 | A | 21,2200 | A | 27,8800 | A | 65,7000 | A |
| Suelo arenoso | 0,0002 | B | 0,0300 | B | 0,0000 | B | 0,0000 | B | 0,3000 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 11. Efecto de los niveles de valvas trituradas en el fraccionamiento de cadmio.

| Niveles de valva (%) | Cadmio Soluble (ppm) | | Cadmio Intercambiable (ppm) | | Cadmio ligado a carbonatos (ppm) | | Cadmio ligado a óxidos (ppm) | | Cadmio total (ppm) | |
|----------------------|----------------------|---------|-----------------------------|---------|----------------------------------|---------|------------------------------|---------|--------------------|---------|
| | Medias n= 6 | Signif. | Medias n= 6 | Signif. | Medias n= 6 | Signif. | Medias n= 6 | Signif. | Medias n= 6 | Signif. |
| 0 | 0,0200 | A | 24,0200 | A | 12,7500 | A | 21,2000 | A | 35,6700 | A |
| 1 | 0,0029 | B | 19,2600 | AB | 12,4100 | A | 15,1100 | B | 33,5700 | A |
| 3 | 0,0017 | B | 16,1100 | B | 10,1600 | AB | 11,3500 | C | 32,2500 | A |
| 5 | 0,0011 | B | 14,1300 | B | 7,1300 | B | 8,1200 | D | 30,5100 | A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

