



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola
Cupiche, Ricardo Palma, 2019.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Mishell Shirley Alderete Quispe (ORCID: 0000-0001-7195-5240)

ASESOR:

Dr. Michael Edgard Flores Mamani (ORCID: 0000-0001-8608-3502)

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y gestión de los residuos

LIMA - PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación al Padre Celestial y Madre Celestial, por el apoyo incondicional e infinito, así mismo al apoyo de mis padres por su confianza y amor.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Padre celestial y Madre Celestial, por brindarme la sabiduría para la ejecución de la investigación, también a mis padres por el apoyo incondicional y real, así mismo a mi asesor Michael Flores Mamani por compartirme su conocimiento que permitieron que se finalizara con la investigación.

PÁGINA DEL JURADO

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado, en cumplimiento del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Cesar Vallejo presto ante ustedes la tesis titulada '**Eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola Cupiche, Ricardo Palma, 2019**', cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio en el suelo agrícola Cupiche, Ricardo Palma 2019. y que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de ingeniero ambiental. La investigación consta de seis capítulos .En el primer capítulo se explica la realidad problemática, la finalidad de la investigación, teorías relacionadas a la elaboración de del biochar para inmovilización del cadmio en suelos agrícolas, en el segundo capítulo se muestra diseño de la investigación, tipo de investigación y operacionalización de variables, en el tercer capítulo se detalla los resultados obtenido a través de evaluación fisicoquímicas del biochar y del suelo contaminado, así como la aplicación de las diferentes concentraciones de biochar en el suelo contaminado con cadmio. En el cuarto capítulo se explica la discusión de los resultados de la investigación comparando con los resultados de otras investigaciones similares. En el quinto capítulo se presenta las conclusiones generales y específicas de acuerdo a los objetivos planteados en la investigación. En el sexto capítulo se detalla las recomendaciones con respecto potencializar la investigación con aportes de investigaciones futuras similares.

ÍNDICE

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del jurado.....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Presentación.....	vi
Índice.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MÉTODO.....	27
2.1. Diseño de investigación.....	28
2.2. Tipo de investigación.....	28
2.3. Nivel de investigación.....	28
2.4. Operacionalización de variables.....	28
2.5. Población y muestra.....	30
2.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	33
2.7. Diagrama de las etapas de la metodología del Proyecto	36
2.8. Método de análisis de datos.....	41
2.9. Aspectos éticos.....	41
III. RESULTADOS.....	42
IV. DISCUSIÓN.....	55
V.CONCLUSIONES.....	58
VI. RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS.....	62
ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1. Plantas fitoextractoras de cadmio (Cd).....	20
Cuadro N°2. Estándar de calidad del Cadmio (Cd).....	25
Cuadro N° 3. Matriz de Operacionalización de Variables.....	29
Cuadro N° 4. Geolocalización del lugar de estudio.....	30
Cuadro N°5. Identificación de puntos de muestreo del MINAM.....	32
Cuadro N°6. Tipo de muestra.....	33
Cuadro N°7. Descripción de los equipos de laboratorio.....	34
Cuadro N° 8. Resultados del porcentaje de humedad.....	37
Cuadro N°9. Cantidad de muestras.....	37
Cuadro N°10. Tratamientos para la inmovilización de cadmio.....	38
Cuadro N° 11. Resultados de la composición de los residuos de biomasa de Quelite (<i>Amaranthus hybridus L.</i>).....	43
Cuadro N°12. Resultados de la composición del suelo contaminado con cadmio.....	43
Cuadro N°13. Resultados de la composición del suelo con la adición de biochar al 10% tratamiento al suelo contaminado.....	44
Cuadro N°14. Resultados de la composición del suelo con la adición de biochar al 15% tratamiento al suelo contaminado.....	46
Cuadro N°15. Evaluación de la concentración del cadmio en el suelo después de la adición del 10% y 15% de biochar	49
Eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio en el suelo con el tratamiento del 10%.....	50
Cuadro N°17. Eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio en el suelo con el tratamiento del 15%.....	50
Cuadro N° 18. Evaluación de las concentraciones de cadmio en el agua intersticial.....	52

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio en el suelo agrícola Cupiche, Ricardo Palma, 2019. Para ello se utilizó residuos de una planta oriunda la cual fue el Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) el cual fue recolectado en Cupiche, en el distrito de Ricardo Palma, el biochar se elaboró a una temperatura de 350°C considerada como pirolisis rápida, durante 3 horas y media, se realizaron análisis al biochar para determinar el porcentaje de carbono, nitrógeno, humedad y materia orgánica. Posteriormente se determinaron las concentraciones de cadmio, a partir de la recolección de seis muestras compuestas, de la primera muestra compuesta se obtuvo 5 repeticiones, así fue para las todas las restantes 5 muestras compuestas. Se realizaron tratamientos para determinar la eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio en el suelo, a cada muestra compuesta se realizaron tratamientos en la cual se le aplicó el 10% y otro el 15% de biochar, después de 60 días se analizó la cantidad de plomo en el suelo de las 5 repeticiones. Así mismo se realizaron análisis al suelo como temperatura, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica; además se ejecutaron análisis en el agua intersticial para corroborar que el cadmio se no haya lixiviado en el agua. Los resultados del análisis del biochar son carbono 8.53%, nitrógeno 1.04%, materia orgánica 14.71 y humedad 1%. Se concluye que la eficiencia del biochar logró reducir con una máxima eficiencia del 59.89 % con la aplicación de un tratamiento con 10% de biochar en el suelo contaminado, así mismo en el segundo tratamiento se utilizó una concentración de 15% de biochar se logró reducir el cadmio en el suelo con una eficiencia máxima de 60%, reduciendo la movilización de cadmio en el suelo agrícola y en el agua intersticial.

Palabras clave: biochar, eficiencia, pirolisis

ABSTRACT

The objective of the investigation was to evaluate the efficiency of the biochar in the immobilization of cadmium in the agricultural soil Cupiche, Ricardo Palma, 2019. For it was used residues of a native plant which was the Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) which was collected in Cupiche, in the district of Ricardo Palma, the biochar was elaborated to a temperature of 350°C considered as rapid pyrolysis, during 3 hours and a half, analyses were made when biochar to determine the percentage of carbon, nitrogen, humidity and organic matter. Later the cadmium concentrations were determined, from the collection of six composite samples, from the first composite sample 5 repetitions were obtained, so it was for all the remaining 5 composite samples. Treatments were performed to determine the efficiency of the biochar in the immobilization of cadmium in the soil, to each composite sample were performed treatments in which 10% was applied and another 15% of biochar, after 60 days was analyzed the amount of lead in the soil of the 5 repetitions. In addition, analyses were performed in the interstitial water to corroborate that cadmium has not leached into the water. The results of the biochar analysis are carbon 8.53%, nitrogen 1.04%, organic matter 14.71 and humidity 1%. It is concluded that the efficiency of the biochar managed to reduce with a maximum efficiency of 59.89% with the application of a treatment with 10% biochar in the contaminated soil, also in the second treatment was used a concentration of 15% biochar was achieved to reduce cadmium in the soil with a maximum efficiency of 60%, reducing the mobilization of cadmium in agricultural soil and interstitial water.

Keywords: biochar, efficiency, pyrolysis

I. INTRODUCCIÓN

Las plantas concentradoras de Tamboraque de la Empresa Nystar Coricancha S.A. generan pasivos ambientales ubicados en margen derecho de río Rímac conocidas como desmonteras (residuos de metales pesados), las cuales por factores meteorológicas como vientos, precipitación, temperatura, etc, han generado la movilización, transporte y lixiviación de estos metales pesados como el cadmio, de la cuenca alta a la cuenca media del río Rímac, generando una externalidad negativa en los suelos agrícolas ubicado en la zona media a la altura de centro poblado de Cupiche, Ricardo Palma. Estos metales pesados generan en los suelos, cambios de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, acelerando así los procesos del comportamiento de los metales pesados (cadmio) en el suelo, generando la baja productividad y rendimiento a los suelos, así como reducción y pérdida de flora nativa en las zonas aledañas de la cuenca media del río Rímac.

Por ello, el presente trabajo de investigación propone una alternativa de solución frente al problema de contaminación del suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, a través de la caracterización compuesta del suelo, en la cual se utilizó cantidades de biochar de la biomasa vegetal Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) la cual fue sometida a pirolisis rápida, la cual también se evaluó algunas propiedades físicas y químicas de estas, así mismo se realizó el mezclado con el suelo contaminado con un porcentaje de 10% y 15% de biochar y se evaluó la eficiencia de inmovilización de cadmio en el suelo antes y después del tratamiento, cuya finalidad fue reducir la cantidad de cadmio en el suelo agrícola y mejorar la agricultura en Cupiche.

Por ello la importancia ambiental es brindar tratamiento y gestión de los residuos de biomasa para su aprovechamiento y potencialización con la finalidad de inmovilizar el cadmio en los suelos agrícolas de Cupiche, lo cual se podrá utilizar para otro tipos de metales ,y extensiones de terrenos de tamaños considerables, evitando su desplazamiento en las capas o horizontes inferiores de los suelos impactados y que no sean asimilados por las raíces de los cultivos, y que no afecte a la población con la adquisición de enfermedades terminales y la muerte de fauna nativa.

El aporte de otras investigaciones con respecto a la inmovilización de cadmio a través de la eficiencia y uso de biochar sea potencializado con la finalidad de la recuperación de suelos contaminado con cadmio por acción antropogénica.

Abenza, D. (2012) quién realizó una investigación titulada "Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta". Objetivo general es evaluar los efectos de varios tipos de biochar incorporados en el suelo y una planta de utilidad agrícola. Conclusiones fueron que la aplicación de los distintos biochar sobre el suelo en una dosis de 1% de carbono añadido su comportamiento es ligeramente alcalino. El cambio en el pH del suelo han sido menores en los que se ha añadido algún tipo de enmienda orgánica. El biochar que ha mostrado un comportamiento diferente al resto es el producido a partir del lodo de depuradora, que ha comportado una ligera acidificación del suelo, así mismo ha permitido observar mejoramiento de parámetros físicos del suelo relacionados con la producción de plantas, como la densidad aparente y la capacidad de retención de agua.

Soria, L. (2016) quién realizó una investigación titulada "Producción y evaluación de biocarbon para la adsorción (inmovilización) de sodios en el suelo salinos". Objetivo Evaluar la inmovilización de sodio a través de la incorporación de biocarbon en un suelo salino. Conclusiones: Los biocarbones producidos a partir de la biomasa vegetal por el proceso de pirolisis lenta presentaron propiedades físico-químicas estructurales distintas, no obstante ambos biocarbones son fuente de nutrientes inorgánicos vitales en el suelo; así mismo reducen la conductividad eléctrica y relación de adsorción de sodio del suelo y amortiguador los efectos provocados por el estrés salino.

Al-Web, et al (2014) quién realizo el trabajo de investigación de "Conocarpus biochar como enmienda del suelo para reducir la disponibilidad y la absorción de metales pesados por las plantas de maíz". Resultados: este biochar fue elaborado por la biomasa vegetal del árbol Conocarpus , a través de un proceso de pirolisis con una temperatura de 400°C, con un pH alcalino de 9.85 y con el porcentaje de 76.18% de carbono, 2.53% de hidrógeno, 0.42% de nitrógeno y 18.67% de oxígeno; se emplearon una cantidad de 0.0 , 1.0, 3.0 y 5.0% combinado cada uno con 4 kg de suelo y con la muestra testigo sin añadir el biochar, así mismo se realizó tres repeticiones y se plantaron 4 semillas de maíz. Los resultados más notorios fueron de concentración al 5.0% de biochar con los siguientes datos de las propiedades como pH de

0.17 y conductividad de 2.10 us/cm; así mismo se evaluó los brotes de y se determinó que se encuentra con baja capacidad de asimilación de metales pesados (zinc, cadmio, manganeso y plomo) en su estructura foliar.

Amjad, A. et al (2017) quién realizó el trabajo de investigación “Uso de biochar de bambú con compost para la estabilización y reducción de la fitotoxicidad de metales pesados en suelos contaminados por minas de China”. Resultados: Se realizó la inmovilización de metales pesados en suelos contaminados por acción antrópica a través de biochar producido por el bambú, con diferentes concentraciones 1%, 2.5%,5% y un tratamiento sin adición de biochar, en un 1 kg de suelo contaminado con metales pesados, la concentración más efectiva y notorio fue de 5% de biochar de bambú con los siguientes resultados, con un pH de 8.86, nitrógeno 7.13 g /kg conductividad eléctrica de 280.67 uS/cm, hubo una estabilización de metales pesados por el alto contenido de sales alcalinas que proporciono el biochar en el suelo contaminado.

Santos, E. et al (2018) quien realizo el trabajo de investigación “Residuos orgánicos y biochar para inmovilizar elementos potencialmente tóxicos en el suelo de una mina de oro en el Amazonas”. El objetivo: Investigar la eficiencia con la que los residuos orgánicos y el biochar inmovilizan las TTP en un suelo multicontaminado de una mina de Au en pequeña escala en el estado de Pará. El suelo de un área de extracción de oro se mezcló con diferentes proporciones (v / v) de residuos de café molido (café B.), residuos de tegumento de nuez de Brasil (BN), residuos de piedra de palma de açai (A) y residuos de biochar de nueces de Brasil para determinar cuál es el mejor tratamiento para inmovilizar PTE. Los tratamientos con la adición de BN y A resultaron en un pH bajo y altos contenidos de materia orgánica (MO) y fósforo (P). El BN aumentó los niveles disponibles de Ba y redujo los niveles disponibles de Ni. La adición de residuos de café molido y biochar aumentó la absorción de Ba, Cd, Pb y Ni en las plantas de lechuga en comparación con los tratamientos con BN y A. Las plantas cultivadas con A mostraron un mayor rendimiento de materia seca y una menor absorción y translocación de las PTE. Por lo tanto, la adición de residuos de BN y A en los programas de fitoestabilización de PTE en suelos multicontaminados con PTE es una posibilidad potencial.

Méndez, A. et al. (2018) quien realizo el trabajo de investigación " Uso de biochares magnéticos para la inmovilización de metales pesados en un suelo multicontaminado". Resultados: El suelo fue contaminó con cadmio, cobre, zinc y plomo, con un contenido total de 1,4 mg/kg, 80 mg /kg, 1638 mg / kg y 2463 mg / kg, El biochar magnético y convencional a partir de dos materias primas (desperdicios de aves de corral y Eucalyptus) a una temperatura de 300 y 500 ° C. Una extracción secuencial. Se realizó un proceso para la especiación de metales pesados y una prueba de fitotoxicidad con arroz. El cadmio soluble en ácido en los suelos modificados con PLB fue de 8 a 10% más bajo que en el suelo contaminado de control. Esta cifra fue de 27 a 29% para Zn soluble en ácido y de 59 a 63% para Cu soluble en ácido. En algunos casos, se encontraron diferencias entre el fraccionamiento de metales pesados en muestras modificadas con biochares magnéticos y convencionales. La biomasa de la planta no se vio afectada por la mayoría de los tratamientos, pero aumentó en un 32% en los tratamientos que contienen biochar de cama de aves de corral magnética. El estudio muestra que una elección cuidadosa de la materia prima es de suma importancia para una inmovilización exitosa de metales pesados en un suelo minero contaminado. Una elección apropiada de la materia prima (en el caso de este estudio de hojarasca frente a eucalipto) fue más determinante con respecto a la movilidad de los contaminantes que la alteración de la temperatura de pirólisis o la modificación de las propiedades de la superficie mediante magnetización.

Liu, S. et al (2018) quien realizo el trabajo de investigación " El efecto de varios biochares en la inmovilización de Cd en la remediación in situ de sedimentos contaminados con metales pesados". Resultados: Para la activación química y la activación asistida por microondas fueron adoptadas para modificar el biochar. Los biochares activados se caracterizaron por método de microscopia electrónica de barrido y espectroscopia de rayos X. El biochar crudo, los biochares activados y el carbón activado se compararon como estrategias de remediación para los sedimentos del río Xiangjiang que contenían 14,70 mg / kg de cadmio. Después del tratamiento con biochar activado, la concentración de agua porosa y agua de poros de Cd en el suelo disminuyó en un 71% y 49%, respectivamente. Y la amenaza del heavy metal junto con la biodisponibilidad del cd estaba deprimido. Además, la inmovilización de Cd en sedimentos se relacionó con el área de superficie BET y el contenido de oxígeno que contiene grupos funcionales de biochares activados. Además, se realizó un

experimento basado en PCR-DGGE para la detección de la comunidad microbiana. La comunidad microbiana indígena se vio afectada y apareció una nueva comunidad microbiana después del tratamiento con biochar activado. El biochar activado se puede utilizar como un material de remediación in situ de bajo costo y eficiente de metal que contiene sedimentos. Noerpel, M. et al. (2019) quien realizo el trabajo de investigación "El biochar de paja de trigo reduce la biodisponibilidad ambiental del cadmio". Resultados: La adición de biochar de 5 y 15% (en peso) al suelo contaminado con Cd redujo la concentración de Cd biodisponible en un 53.4% a 87.9% durante el experimento de 240 d en comparación con el suelo de control ($p < 0.001$; Fig. 2B), probablemente Debido a procesos similares a los que se sugieren en el estudio de solución de Cocho de biochar anterior. Apoyando este argumento, Beesley et al. (2010) mostraron que una tasa de aplicación de biochar del 8% (peso / peso) redujo la concentración de cadmio soluble en agua en un suelo contaminado con metales pesados múltiples en un experimento de olla de incubación de 56 días, debido al aumento del pH y la creación de precipitados de cadmio insolubles. En un estudio posterior, Beesley y Marmiroli (2011) encontraron una correlación negativa significativa entre el pH y la sorción de Cd por biochar. Un biochar de hierba china inmovilizó 81% de Cd en suelo contaminado después de una incubación de 28 días, con cambios de intercambiables (es decir, biodisponible) a fases residuales y orgánicamente unidas (es decir, menos biodisponible), según Qiao propuso que la reducción en la biodisponibilidad de metales pesados en el suelo (cadmio) no era solo una función de la formación de precipitados metálicos, sino reacciones metálicas con grupos funcionales orgánicos de superficie de biochar.(2017). Por lo tanto, hasta este punto, los datos sugieren que el aumento del pH desempeñó un papel en la disminución de la biodisponibilidad de cadmio, probablemente debido a reacciones de precipitación. Sin embargo, todavía no podemos descartar las asociaciones de grupos de función orgánica Cd que promueven reducciones en la biodisponibilidad de Cd. Por lo tanto, seguimos el trabajo anterior con la investigación centrada en el uso de fracciones de suelo definidas operativamente mediante un procedimiento de extracción secuencial, seguido de un análisis de adsorción de Cd definitivo mediante XAS(x-ray absorption spectroscopy).

Nigam, N. et al. (2019) quien realizo el trabajo de investigación "El secuestro mediado por biochar de Pb y Cd conduce a un productividad mejorada en *Mentha arvensis*". Resultados:

Se realizó un experimento en invernadero para evaluar el efecto del suelo enriquecido de Cd y Pb con biochar (BC) sobre su inmovilización y absorción, crecimiento de la planta, atributos fotosintéticos (clorofila total, tasa de transpiración y actividad estomática) y enzimas oxidativas (guaiacol). peroxidasa: POD; catalasa: CAT y superóxidodismutase: SOD). En el presente estudio, los atributos fotosintéticos mostraron que la BC mejoró significativamente la clorofila total, la fotosíntesis, las tasas de transpiración y la actividad estomática en las plantas. La incorporación de BC en el suelo aumenta la tolerancia a Pb y Cd en *M. arvensis* con respecto a la mejora del rendimiento de biomasa y la ingesta de nutrientes. Además, el biochar también ha reducido la POD, la CAT y la SOD en la planta, además de mejorar el pH del suelo y las actividades enzimáticas

Bashir, S. et al (2018) quien realizó el trabajo de investigación 'Eficiencia y caracterización de la superficie de diferentes biochar derivados de plantas para la movilidad de cadmio (Cd), bioaccesibilidad y biodisponibilidad para el repollo chino en suelos altamente contaminados'. Resultados: Este estudio evaluó la eficiencia comparativa de biochar (BC) derivado de paja de arroz (RSB), cáscara de arroz (RHB) y restos de maíz (MSB) en la movilidad del Cd y su acumulación en la col china (*Brassica chinensis* L), que está acumulando una gran cantidad de Cd. cultivo. Los resultados mostraron que las propiedades químicas del suelo (pH, carbono orgánico y nutrientes) aumentaron significativamente al aumentar la tasa de aplicación de biochar del 1.5% al 3%. Concentración de Cd disminuida en CaCl_2 (Cloruro de calcio) extracto de 58.6, 39.7 y 46.49% y en las pruebas de lixiviación de características de toxicidad (TCLP) de 42.9, 32.7 y 36.7% para RSB, RHB y MSB, respectivamente, a una tasa de aplicación del 3%. Las técnicas de la prueba de extracción de bioaccesibilidad simple (SBET) mostraron una disminución significativa en Cd en 30.5, 20.6 y 27.5% para RSB, RHB y MSB, respectivamente a la tasa de aplicación del 3%. Además, el contenido de Cd en los brotes de repollo disminuyó en 25, 21.3 y 23.1% para RSB, RHB y MSB a una tasa de aplicación del 3% y en las raíces en 31.3, 23.9 y 26.5% para RSB, RHB y MSB a un 3% tasa de aplicación, respectivamente. La bioacumulación (BCF) y los factores de translocación (TF) disminuyeron significativamente hasta un 26,5% y un 11%, respectivamente, entre todos los tipos de biochar. En general, RSB demostró resultados positivos como enmiendas del suelo para la inmovilización de Cd y, por lo tanto, reducir

su biodisponibilidad en el suelo contaminado con Cd para mitigar los riesgos de seguridad alimentaria.

Cordero, D. et al. (2017), quien realizo el trabajo de investigación "Estabilidad térmica del biochar y sus efectos sobre la capacidad de absorción de cadmio". Resultados: En este estudio, la estabilidad térmica de un biochar de viruta de madera (WS, 650 ° C), un biochar de cama de pollo (CL, 550 ° C) y un carbón activado (AC, 1100 ° C) se evaluó por combustión a 375 ° C Durante 24 h para eliminar la materia orgánica lábil no carbonizada. Los resultados mostraron que los biochars WS y CL no eran térmicamente estables y pueden perder la mayor parte de la C orgánica durante la combustión. Los biochars WS y CL quemados retuvieron cantidades considerables de carga negativa y mostraron una mayor sorción para cadmio de 5.46 a 68.9 mg/g para en el biochar de biruta y de 48.5 a 60.9 mg / g para biochar de cama de pollo.; en el biochar de carbon activado se conservó el 76.5% de su carbono original y se volvió más negativamente con carga después de la combustión, pero su absorción para el Cd disminuyó ligeramente (de 18.5 a 14.9 mg / g). Este estudio indicó que después de la quema potencial en incendios forestales (200–500 ° C), los biochars podrían tener una mayor capacidad de absorción de metales por los minerales restantes.

Choppala, G. et al (2011) quien realizo el trabajo de investigación "El biochar reduce la biodisponibilidad y fitotoxicidad de los metales pesados". Objetivo: Evaluar la inmovilización de metales de los biochars derivados de desechos de biomas vegetal y abono de pollo. Método: Se examinó la inmovilización y fitodisponibilidad de Cd, Cu y Pb utilizando un campo de tiro contaminado naturalmente y suelos con picos. Las muestras de biochar preparadas a partir de estiércol de pollo y residuos verdes se utilizaron como enmiendas del suelo. Resultados: La aplicación de biochar redujo significativamente el NH_4NO_3 concentraciones de suelo de Cd, Cu y Pb extraíbles, lo que indica la inmovilización de estos metales. El biochar derivado de estiércol de pollo aumentó la biomasa seca de la planta en 353 y 572% para brotes y raíces, respectivamente, con un 1% de adición de biochar. Esto debido a la disminución de la toxicidad de los metales pesados y al aumento de la disponibilidad de nutrientes como fosforo y potasio en el suelo. Ambos biochars redujeron significativamente la acumulación de Cd, Cu y Pb en la mostaza india

(*Brassica juncea*), y la reducción aumentó al aumentar la cantidad de aplicación de biochar excepto Cu concentración. Los datos de fraccionamiento secuencial de metales indicaron que los tratamientos con biochar modificaron sustancialmente la partición de Cd, Cu y Pb de la fase fácilmente intercambiable a una fracción unida orgánica menos biodisponible, así como una efectiva inmovilización de metales pesados en el suelo.

Wang, M. et al (2018) quién realizó el trabajo de investigación "Adsorción y desorción de cadmio por enmienda de suelo: mecanismo e implicaciones ambientales en la remediación de suelo". Objetivo: Evaluar la efectividad de cuatro enmiendas del suelo (denominadas AD1: arcilla, AD 2: base mineral, AD3: humus y AD4: biochar) para reducir la disponibilidad de Cd y aumentar la estabilidad de Cd en el suelo. La capacidad máxima de adsorción de las enmiendas de prueba en Cd varió de 7.47 a 17.67 mg g⁻¹. Las caracterizaciones de las enmiendas de prueba antes y después de la carga de Cd proporcionaron la evidencia de que la precipitación en la superficie y el intercambio iónico fueron las razones principales para que Ad1 y Ad2 adsorbieran Cd, y la complejación fue para Ad3 y Ad4. Además, hubo un aumento significativo en los porcentajes de desorción de Cd a partir de enmiendas a medida que el pH disminuyó (de 7 a 1) o aumentó la fuerza iónica (de 0 a 0,2 M). Comparativamente, Ad3 y Ad4 podrían ser más efectivos para la inmovilización in situ de Cd en suelos contaminados, debido a sus altas capacidades de adsorción (12.82 y 17.67 mg g⁻¹, respectivamente) y bajos porcentajes de desorción (4.46–6.23%) a pH desde 5 a 7 y fuerzas iónicas de 0.01 a 0.1 mol L⁻¹. Los resultados obtenidos en este estudio podrían proporcionar una guía para la remediación in situ del suelo de campo contaminado con Cd en China.

Guo, F. et al. (2018) quien realizó el trabajo de investigación "Estabilidad de remediación de la inmovilización de varias enmiendas en suelos contaminados con cadmio afectado por la acidificación simulada del suelo". Objetivo: Evaluar la inmovilización de varias enmiendas afectadas por la acidificación simulada del suelo. Método: Se utilizaron Enmiendas (cal hidratada, hidroxiapatita y biochar). La hidroxiapatita y el biochar tuvieron un efecto inmovilizador duradero más fuerte que la cal hidratada, particularmente en el suelo con una menor capacidad de amortiguación de pH, lo que se confirmó aún más por la concentración de Cd y la acumulación en lechuga. Estos resultados pueden atribuirse a que la hidroxiapatita y el biochar transformaron mayores proporciones de Cd intercambiables a

otras fracciones más estables que la cal. Después de 48 semanas de incubación, en un suelo con una menor capacidad de amortiguación del pH, las eficiencias de inmovilización de la cal, la hidroxiapatita, el biochar y el fertilizante orgánico en el grupo de agua desionizada (pH 6,5) fueron del 71,7%, 52,7%, 38,6% y 23,9%, respectivamente, y cambió a 19.1%, 33.6%, 26.5% y 5.0%, respectivamente, en el grupo de lluvia ácida simulada (pH 2.5). El presente estudio proporciona un método simple para estimar preliminarmente la eficiencia de inmovilización de las enmiendas y predecir su estabilidad en regiones de lluvia ácida antes de la aplicación de campo a gran escala.

Tang J. et al (2013) quién realizó el trabajo de investigación “Características del biochar y su aplicación en la remediación de suelos contaminados”. Las características del biochar están influenciadas directamente en la temperatura de preparación y la biomasa. La temperatura de preparación es a través de una pirolisis alta, lo que permite a una alta capacidad de adsorción de contaminantes. Los biochars derivados de diversos materiales brindan diferentes propiedades de área de superficie, porosidad y cantidad de grupos funcionales generados por el biochar. Además se ha demostrado la eficacia del biochar en el mejoramiento de las propiedades del suelo e incremento de la biomasa de los cultivos. El biochar se utilizó para remediar los suelos impactados por metales pesados y contaminantes orgánicos. Sin embargo, se ha comprobado que la aplicación de biochar en el suelo reduce la eficacia de los pesticidas, lo que indica un compromiso entre el efecto potencialmente prometedor del biochar sobre la remediación de pesticidas y su efecto negativo sobre la eficacia de los pesticidas.

Liu, L. et al.(2018) que realizó el trabajo de investigación “Efectos de la inoculación de micorrizas arbusculares y la enmienda de biochar sobre el crecimiento del maíz, la adsorción de cadmio y la especiación de cadmio en suelos contaminados”. Método: Se realizó un experimento de mesocosmos para investigar el efecto de la inoculación con AM (*Glomus intraradices* BEG 141) y / o la enmienda del biochar de trigo y paja sobre el maíz (*Zea mays* L. cv. Hongdan No. 897) crecimiento, actividades enzimáticas antioxidantes y absorción de Cd, así como la especiación de Cd del suelo en aplicaciones de 0, 3, 6 mg Cd por kg de suelo. La aplicación de inoculante AM o biochar solo aumentó significativamente el crecimiento del maíz y redujo la absorción de Cd. Además, la inoculación individual de AM alivia el estrés

del Cd más completamente que con el biochar, lo que a su vez facilita el crecimiento del maíz y disminuye la translocación del Cd del suelo al tejido vegetal. Aún así, la enmienda del biochar solo fue más efectiva para inducir alcalinización del suelo y contribuyendo a la inmovilización del Cd. Agregar biochar junto con un inoculante de AM promovió significativamente las poblaciones de hongos en comparación con un control. La modificación del suelo con inoculante de AM y biochar juntos produjo el mayor aumento en el crecimiento del maíz y la disminución en las concentraciones de Cd en los tejidos. Este efecto fue aditivo, con un 79.1% mayor de biomasa, 51.42%, 82.91%, 43.96% más actividades de superóxido dismutasa (SOD), peroxidasa (POD), catalasa (CAT), y 50.06%, 67.19%, 58.04% y 76.19%; menores concentraciones de Cd en raíces, tallos, hojas y orejas, respectivamente, a una contaminación de 6 mg kg^{-1} de cadmio. El tratamiento combinado también tuvo un efecto sinérgico en la inducción de la alcalinización del suelo y causó la inmovilización de Cd, y la disminución de la fitodisponibilidad de cadmio y los riesgos de transferencia por cosecha.

Kumar, A. et al. (2016), quien realizó el trabajo de investigación "Producción y utilización de biochar a partir de desechos orgánicos para el control de contaminantes en sitios contaminados". Resumen: El biochar es el producto de calentar biomasa rica en carbono en condiciones de oxígeno bajo y controlado. Una variedad de materiales orgánicos tales como troncos, residuos agrícolas, biomasa residual y lodos de aguas residuales. Otro uso es como un sorbente in situ para contaminantes del suelo. Las propiedades físicas y químicas son variables del biochar pueden movilizar e inmovilizar una variedad de contaminantes del suelo tales como metales pesados y contaminantes orgánicos por medios directos e indirectos, incluida la adsorción, mecanismos de intercambio iónico y precipitación, cambio de pH y manipulación del balance redox. El biochar también influye en la tasa de degradación de los contaminantes orgánicos al alterar las actividades microbianas de muchas maneras. Estas características hacen posible desarrollar productos de biochar diseñados para condiciones específicas del sitio que son técnicas in situ altamente rentables para minimizar los riesgos de la exposición a una variedad de contaminantes del suelo.

Cui L. et al (2016), quien realizó el trabajo de investigación "Inmovilización continua de cadmio y plomo en suelo de arroz contaminado modificado con biochar". Resultados: Se

utilizó biochar de paja de trigo (WBC); Las concentraciones totales de Cd y Pb en el suelo de arroz contaminado se redujeron en un 7.5–23.3% y en un 3.7–19.8% con la aplicación de WBC durante cinco años, respectivamente. El cadmio se distribuyó principalmente en las fracciones intercambiables (50%) y carbonato (> 30%), y Pb fue la fracción principalmente unida a carbonato (70%). La concentración de fracciones intercambiables de Cd y Pb se redujo significativamente en un 8,0–44,6% y en un 14,2–50,3% durante cinco años. Las fracciones residuales se incrementaron en un 4,0–32,4% (Cd) y en un 14,9–39,6% (Pb). El porcentaje de fracciones de Cd intercambiables disminuyó en 1.2–6.9%, pero las incensaciones de 1.7–7.2% y 1.3–2.2% se observaron en carbonato y fracciones residuales para Cd. De manera similar, el porcentaje de fracciones de Pb intercambiables disminuyó en un 0,3-1,6%, aunque el carbonato y la fracción residual aumentaron en un 1,2-2,9% y un 1,4-12,2%. Los cambios en las fracciones de Cd y Pb se debieron principalmente a los abundantes grupos funcionales y estructuras complejas en WBC, que mejoró la microestructura del suelo y aumentar el potencial de hidrogeno del suelo y el porcentaje de materia orgánica del suelo.

Brassard, P. et al. (2019), quien realizo el trabajo de investigación. “ Biochar para la enmienda del suelo”. Método: El biochar producto de la descomposición termoquímica de biomasa a temperaturas moderadas (350°C-700°C) en condiciones limitantes de oxígeno. El biochar es un nutriente para los suelos agrícolas, ya que incluyen altos contenidos de carbono, alto pH, alta estabilidad, alta porosidad y alta superficie, así mismo el biochar es una herramienta de remediación de suelos ya que tiene la gran capacidad adsorción o inmovilización de contaminantes orgánicos e inorgánicos (metales pesados y pesticidas), reduciendo la lixiviación en curso de agua.

Zhang, et al (2017) que realizo una investigación titulada “Comparación de cadmio y adsorción de plomo por el biochar de *Phyllostachys pubescens* producido en una atmosfera de pirolisis con bajo contenido de oxígeno”. Resultados: El biochar de *Phyllostachys pubescens* fue sometido a una atmosfera con un contenido de 1 al 4 % de oxígeno, adicionalmente se prepararon sorbentes para determinar el mecanismo de adsorción de plomo y cadmio, al someterlo a una la biomasa a una pirolisis con bajo contenido de oxigeno se obtuvieron los siguientes resultados, aumento las cenizas del biochar lo que permitió la precipitación y complejación de plomo y cadmio. la capacidad máxima de adsorción del

plomo fue obtenida por el modelo de Langmuir fue de $67.4\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, mientras la capacidad máxima de adsorción del cadmio fue de $14.7\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$. La contribución de cada mecanismo varió al aumentar el contenido de oxígeno a una baja temperatura de pirolisis, la contribución aumentó significativamente de 17.2% a 71.7% a medida que la atmósfera de oxígeno de pirolisis aumentó de 0% a 4%. Los resultados mostraron que la absorción de cadmio involucraba principalmente la coordinación con electrones π , a 54.1–82.6% de la capacidad total de adsorción.

Khang, et al. (2018) que realizo una investigación titulada “Los efectos del biochar y la cascara de arroz en la adsorción y desorción de cadmio en suelos con diferentes condiciones de agua (tierras altas y saturadas)”. Resultados: Se realizaron dos tipos de biochar uno proveniente de la madera dura y otra de la cascara de arroz las cuales se aplicaron en suelos de tierras altas y en condiciones saturadas; los resultados obtenidos en la adsorción de cadmio en de 59-71 % en el suelo saturado, mientras en el suelo de montañas fue de 59-84%. La ecuación de Langmuir ajusto la adsorción de cadmio en un $R>0.95$ correlación positiva, para los tratamientos electrostáticos y no electrostáticos permitieron la adsorción de cadmio en suelos con biochar proveniente de madera dura y una baja adsorción de cadmio para el biochar proveniente de cascara de arroz.

Bian, et al. (2019) quién realizó una investigación titulada “Biochar DOM para la promoción de plantas pero no residual biochar para inmovilización de metales dependiente de la temperatura de pirolisis”. Resultados: el biochar de paja de trigo fue pirolizado a una temperatura de 350°C, 450 °C y 550 °C, así mismo se extrajo con agua caliente la fracción de materia orgánica soluble (DOM), se analizaron como enmienda foliar a la col china, mientras que los biochars extraídos se analizaron la inmovilización de metales pesados en un suelo contaminado. Los resultados mostraron que el biochar pirolizado a 350°C presento más contenidos de materia orgánica, nutrientes como minerales que con los sometidos a 450 °C y 550 °C. La aplicación foliar biochar con pirolisis mejoró significativamente la biomasa de los brotes (en un 89%), aumentó el contenido de azúcar soluble en las hojas (en un 83%) pero redujo el contenido de nitrato en las hojas (en un 34%) y de metales tóxicos potenciales (en un 49% para Cd y en un 30% para Pb). Así mismo disminuyó significativamente el Pb, Cu y Zn extraíble en cloruro de calcio suelo en un rango de 27% a 78%. Por lo tanto, el

rendimiento del extracto DOM de biochar en la promoción del crecimiento de las plantas fue en realidad dependiente de la temperatura de pirólisis, siendo mayor a 350 ° C que a temperaturas más altas.

Oliveira, et al (2017) quién realizó una investigación titulada “ Aplicación ambiental del biochar: estado actual y perspectivas”. El biochar presenta una gran variedad de propiedades que la convierten en un material eficiente, rentable y amigable con el medio ambiente, es utilizado también en la eliminación de contaminantes; las propiedades fisicoquímicas más importantes son el área de superficie, microporosidad y pH lo cual permite que se incremente la eficacia en su aplicaciones. En investigaciones recientes la aplicación de biochar permite la descontaminación de suelos contaminados por metales pesados, esto se da principalmente a el tipo de residuo vegetal y sus parámetros y su proceso de producción.

Cui, et al (2016), quién realizo la investigación “ Capacidad y mecanismos de absorción de amonio y cadmio en diferentes biochares derivados de plantas humedales”. Objetivo: Investigar la relación entre la absorción de cadmio/amonio y las propiedades fisicoquímicas de los biochares. Se obtuvieron seis tipos de biochares de plantas de humedales y se sometieron a una pirolisis rápida con una temperatura de 500°C. La absorción de amonio y cadmio en los biochares podría describirse mediante el modelo de cinético de segundo orden y modelo de Langmuir. El biochar de *C. indica* tiene la mayor capacidad de sorción de amonio y cadmio, con una sorción máxima de 13,35 y 125,8 mg g⁻¹. La absorción de amonio se controló mediante el intercambio catiónico, complejación de la superficie con grupos funcionales que contiene oxígeno y la absorción de cadmio se da la formación de precipitados de fosfato de cadmio, intercambio de cationes y unión de grupos de oxígenos.

Soudek, P. et al. (2017) quién realizo la investigación “Características de los diferentes tipos de biochar y efecto sobre la toxicidad de los metales pesados para germinar semillas de sorgo”. Resultados: Las características de adsorción para metales pesados (Cd, Cu y Pb) también se probaron para los diferentes tipos de biochar. Los datos de adsorción fueron bien descritos por una isoterma de Langmuir con capacidades de adsorción máximas de Cd⁺², Cu⁺² y Pb⁺² de 20.16, 7.83 y 70.92 mg / g para biochar derivado del bambú; 18.80, 13.85 y 200 mg / g para biochar derivado de cáscara de arroz; 11.63, 20.08 y 123.46 mg / g para biochar derivado de fresno; y 15.11, 10.86 y 196.08 mg / g para biochar derivado de haya,

respectivamente. El efecto del biochar sobre la toxicidad de los metales pesados se midió mediante la inhibición de la germinación de las semillas de sorgo. Con el biochar, se redujo la toxicidad del cadmio, el cobre y el plomo. El biochar derivado del bambú fue menos eficiente para reducir la toxicidad del cadmio y el cobre en comparación con los otros tipos de biochar. Para el plomo, el biochar derivado de la cáscara de arroz fue el menos eficiente para reducir la toxicidad.

Ahmad M. et al. (2014). quién realizó la investigación "El biochar como un sorbente para el manejo de contaminantes en el suelo y el agua". El biochar es un producto con gran contenido de carbono obtenido a través de la pirolisis. Los parámetros fundamentales que son la temperatura de pirolisis, tiempo de residencia, tamaño de poros y capacidad de intercambio iónico. Además la temperatura de pirolisis altas permite aumentar la microporosidad y hidrofobicidad; las temperaturas bajas de pirolisis permite eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos, por la formación de grupos funcionales que contiene oxígeno, atracción electrostática y precipitación. Las aplicaciones potenciales de biochar incluyen en la captura de carbono, mayor índice de fertilidad del suelo, la remediación de la contaminación y el reciclaje de subproductos / desechos agrícolas.

Huang H. et al (2018) quién realizó la investigación "Efecto de la temperatura de pirólisis en la forma química, el comportamiento y el riesgo ambiental de zinc, plomo y cadmio en biochar producido a partir de residuos de fitorremediación". Resultados: el comportamiento de los metales pesados como el zinc, plomo y cadmio en el residuo de biomasa de fitorremediación pirolizado a 350°C, 550°C y 750°C. Los resultados mostraron lo siguiente al incrementar la temperatura de pirolisis, disminuyó la fracción de la biomasa de fitorremediación soluble, intercambiable y biodisponibilidad de metales pesados; así mismo al someterlo a una temperatura de 550°C permitió la reducción de ecotoxicidad de los residuos de biochar, ya que formaron óxidos y comportamientos más estables, generando un bajo riesgo ecológico.

Brendova K. (2016) quién realizó la investigación "Utilización de biochar y carbón activado para reducir la fitodisponibilidad y la fitotoxicidad de cadmio, plomo y zinc en las plantas". Los resultados mostraron que el carbón activado y el biochar aumentan la producción de biomasa. En sitio contaminado. La aplicación de enmiendas disminuyó la inmovilización de

cadmio y zinc por las plantas de espinaca. La mostaza aumentó significativamente la acumulación de plomo en la biomasa y también en las espinacas de otoño que se cultivaron posteriormente. La aplicación de carbón activado y biochar aumentó el contenido de ácido glutámico en todas las plantas en suelos no contaminados y contaminados. Los tratamientos con carbón activado y biochar también indujeron un aumento de ácido aspártico. En las plantas de espinacas. El biochar producido a partir de biomasa originada a partir de tecnologías de fitoextracción promovió un mayor rendimiento de biomasa de espinaca al comparar el control no modificado y mostró una tendencia a reducir la acumulación de cadmio y zinc, por lo que es una enmienda prometedora para el suelo.

Sik J. (2016) quién realizó la investigación "Adsorción competitiva de metales pesados sobre biochar de paja de sésamo en soluciones acuosas". Objetivo: Evaluar la adsorción de metales pesados en la forma multimetal en biochar de paja de sésamo. Resultados: Las capacidades máximas de adsorción de metales pesados por biochar de paja de sésamo es de en el siguiente orden plomo 102 mg g⁻¹, cadmio 86 mg g⁻¹, cromo 65 mg g⁻¹, cobre 55 mg g⁻¹ y zinc fue de 34 mg g⁻¹ en la isoterma de adsorción utilizando el modelo de Freundlich y Langmuir, los comportamientos de adsorción multimetal el cadmio se intercambió fácilmente y se sustituyó por otros metales.

Dong, et al (2017) quien realizó una investigación titulada "Efectos de los biochares ácidos y neutros sobre las propiedades y retención de cadmio de los suelos". Resultados: la aplicación de dos tipos de biochar uno ácido (pH=3.25) y el segundo fue neutro (pH=7) con una concentración de 5 % en dos suelos con composiciones diferentes uno ferrosol ligeramente ácido y el segundo suelo es Dermosol con composición alcalina. Con el primer tipo de biochar se obtuvieron los siguientes resultados, no obtuvo niveles de nutrientes significativos, la capacidad de neutralización fue nula, su nivel de almacenamiento de carbono fue de 69.5%; sin embargo en el segundo tipo de biochar neutro, se obtuvieron los siguientes resultados, aumento de nutrientes en el suelo, pH, almacenamiento de carbono de 87.9%. Con respecto al biochar neutro aumentó la adsorción de minerales del suelo ferrosol en aproximadamente un 25,4% y disminuyó la desorción en aproximadamente un 50,0%.

Puga, et al. (2015) quien realizo una investigación titulada "La aplicación de biochar en un suelo contaminado reduce la disponibilidad y la adsorción de zinc, plomo y cadmio en las plantas". Resultados: el biochar se obtuvo de la paja de caña de azúcar, con una pirolisis con una temperatura de 700° C, se aplicó a suelos con metales pesados con una proporción e 1,5%, 3% y 5 % (p/p), con respecto a su aplicación los resultados de suelo efectividad de absorción o inmovilización fueron las siguientes, redujo las concentraciones de cadmio en un 56% %, de plomo en un 50% y en zinc en un 54%. La aplicación de biochar de caña de azúcar redujo la captación de cadmio, zinc y plomo por las plantas con el frijol de grano de grano que translocada altas proporciones de metales (especialmente del cadmio) a brotes.

Huang, et al. (2019) quien realizo una investigación titulada "Biochar facilito la fitorremediación de sedimentos contaminados con cadmio, comportamiento de metal, toxicidad de las plantas y actividad microbiana". Resultados: se utilizó el biochar de residuos de té, para mejorar la fitorremediación de sedimentos contaminados con cadmio, con una concentración de 100, 500 y 1000 mg /kg los cuales aumenta su acumulación y translocación de cadmio en plántulas de ramio alterando la distribución de cadmio en la células de vegetales, así mismo el uso de este tipo de biochar ayudo al crecimiento de las plantas y a mejorar la actividad microbiana en el suelo, así mismo se con los resultados se deduce que no requiere grandes concentraciones de biochar para inmovilizar un metal pesado como es el caso del cadmio sino a bajas concentraciones mejora la eficiencia de absorción, fitorremediacion y mitigación de toxicidad inducida por el cadmio en plantas y microorganismos en sedimentos contaminados con cadmio.

Khalid, et al. (2019) quien realizó una investigación titulada "Efecto del biochar sobre la disponibilidad de plomo, cadmio, cromo y el crecimiento del maíz en suelos contaminados artificiales". Resultados: La reducción máxima de Cd intercambiable fue de 85.14% para el tratamiento con una cantidad de 400 mg kg⁻¹ tratado con un 10% de biochar, seguido de los tratamientos de 600 mg kg⁻¹, control y 200 mg kg⁻¹. Los porcentajes de reducción máxima se registraron para la tasa de aplicación más alta de biochar; sin embargo, el porcentaje de reducción no superó el 39.5% para el suelo contaminado artificial. Por otro lado, en el tratamiento de control, el CET extraído con TCLP y CCL mostró altos porcentajes de reducción con valores promedio de 50 y 72.22% cuando el suelo se trató con 10% de

biochar. Parece que el biochar es eficaz para disminuir la disponibilidad de metales pesados en bajas concentraciones, y las altas concentraciones de metales pesados dificultan la eficiencia de la estabilización.

Muhammad, et al. (2018) quien realizó una investigación titulada " La influencia de varias enmiendas orgánicas en la biodisponibilidad y la absorción de cadmio en las plantas presentes en suelos degradados por minas". Resultados: Se utilizaron cuatro tipos de biochar el primero de madera dura, bagazo, de cascara de arroz y residuos de panal de maíz; los resultados indicaron el biochar aumento los contenidos de clorofila (20-40%), biomasa de 40-63%) con respecto al biochar de madera dura, sin embargo con el biochar de cascara de arroz aumento en mejor medida 10-18% en cuanto a la clorofila y biomasa de 3-4.5%; además el biochar de madera dura fueron efectivas para reducir la biodisponibilidad del cadmio, tanto los cultivos de tomate(24-30%) y pepinillo(36-54%), así mismo la aplicación de 5% de este biochar fue más efectiva para la inmovilización de cadmio y bioacumulación en suelos degradados por minas, aumentando el nivel de significancia.

Linbo, et al (2016) quién realizó una investigación titulada " Eliminación efectiva de metales pesados por coloides de biochar a diferentes temperaturas de pirolisis". Resultados: la estructuras de los disgregados de biochar y su remoción de metales pesados se realizó a partir de espectrometría infrarroja difracción de rayos X; las materias minerales contenidas en los coloides de biochar tiene la capacidad de eliminación de cromo y cadmio, las capacidades de su retención fueron cuando el pH inicial 3.5 ,se obtuvieron mediante RS 400(fue el adsorbente de cromo y cadmio) lo que atribuyo presencia de grupos funcionales de oxígeno y minerales, la capacidad de eliminación de cromo VI fue observada en RS 300(eliminación de cromo por reducción y adsorción) debido a la reducción adicional a grupos fenólicos.

Guerra, Patricia (2015) quién realizo una investigación titulada "Producción y caracterización de biochar a partir de la bioma residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonia Peruana". Resultados:Se utilizaron dos tipos de biochar , el primero fue de hojas de palmito con un rendimiento de 41.2%, el segundo cascarilla de arroz, asi mismo las propiedades del biochar presentaron las diferentes características baja densidad aparente, contenido alta de materia organica y carbono total,elevado potencial de hidrogeno, conductividad de media-alta; asi mismo permite

transformaciones de nutrientes aptos para el suelo.

De la Cruz, Lidia (2018) quien realizo una investigación titulada "Eficiencia del biochar a partir de residuos de poda para inmovilizar plomo en el suelo a nivel laboratorio UCV, 2018.". Resultado: Se realizó 5 tratamientos con una concentración de 20% de concentración de biochar cuyos resultados de eficiencia fueron de 50.29%,24.94%,6.27% y 1.60%; siendo el de mayor eficiencia de inmovilización de plomo el de 50.29%,los demás obtuvieron baja inmovilización pero mejoraron las propiedades del suelo, así mismo tuvo una mayor eficiencia en el agua intersticial con un 50% , lo cual permitió que el biochar aplicado en el suelo tuviera mayor poder de retener y reducir el plomo en el suelo contaminado, todo debido a la estructura porosa del biochar y su nanoporosidad.

Romero, Jhon (2017) que realizo una investigación titulada "Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el suelo mediante la aplicación de cantidades de Biochar en el Distrito San Mateo, Lima". Resultados: Se utilizó el biochar producido de excretas de porcinos, con una pirolisis con una temperatura de 500°C, se obtuvo los siguientes resultados, la máxima eficiencia de inmovilización de plomo fue de 70.34% y en el agua intersticial de 81.89% con la aplicación del 20% de concentración, lo cual permitió que los metales pesados no sean absorbidos por el por las raíces del bioindicador (planta), en la etapa de experimentación.

"El biochar es un vegetal estable y altamente poroso obtenido mediante la descomposición térmica de materia orgánica bajo un entorno con suministro de oxígeno limitado (O₂) y ante temperaturas medias (<700°C) " (Guerra, 2015, p. 11).

El biochar es considera como un nutriente para el suelo debido a sus propiedades físicas, química y biológicas y tener la capacidad de maximizar el rendimiento de los cultivos, así mismo brinda de nutrientes como el carbono orgánico (Lehman et al, 2012, p. 12).

Según Obregón (2013), menciona que el proceso de absorción involucra la transferencia del contaminante soluble a la superficie de un sólido, donde se concentra el contaminante que se desea remover después que este migre a través de la red porosa del sólido para adherir al absorbente y es donde ocurre la absorción (p. 10)

Debido a la contaminación ambiental producto de acciones antrópicas, en el suelo agrícola, surgió una tecnología medioambiental la cual es la absorción, que permite la inmovilización

de compuestos inorgánicos perjudiciales en las propiedades físico-químicas y las cuales generan alteraciones negativas en las plantas, Según Bonilla (2017), menciona que la adsorción es un proceso que permite la atracción de iones que están cargados positivamente y son intercambiados con iones de hidrogeno H^{+1} , debido a la diferentes propiedades que presenta la biomasa vegetal para acumular contaminantes (p.31).

Cuadro N° 1. Plantas fitoextractoras de cadmio (Cd), biomasa con la capacidad de inmovilizar metales pesados.

Flora nativa	Fitoextractor/ cantidad
Quelite (<i>Amaranthus hybridus</i> L.)	Cadmio
Cosmos (<i>Cosmos bipinnatus</i>)	Cadmio y plomo
Vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>)	Cadmio y arsénico

Fuente: Propia del autor

La especie utilizada para la elaboración de biochar es Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) ya que es una especie con capacidad de acumular dichos contaminantes en sus estructuras. Además es una planta nativa de la zona en los suelos agrícolas de Cupiche y se encuentra en abundancia la biomasa seca debido a la estación de otoño.

La biomasa es transformada a través de tres principales procedimientos: por medio de procesos de transformación de la estructura de la materia residual a través de biodegradación microbiana; también el proceso de conversión térmica, a través de la combustión condiciones con exceso de aire, gasificación y pirólisis con deficiencia de oxígeno; así como también de transformaciones físicas-químicas (Guerra, 2015, p. 11).

En la pirólisis el calentamiento de materia orgánica se somete a temperaturas superiores de 400 ° C con privación de oxígeno, la desintegración térmica de la materia genera vapores y genera una fase solida residual. Así mismo es importante considerar la materia orgánica, como el tamaño de partícula y la porosidad son esenciales para el poder de adsorción o inmovilización de materias inorgánicas en el suelo (McHenry, 2009, p. 9).

La pirolisis utiliza tecnologías para su procesamiento la cual proviene de una degradación térmica de la materia orgánica y en déficit de oxígeno y aire, la variación de las propiedades dependerá del tipo de pirolisis, biomasa, temperatura, tiempo de permanencia en el medio donde se ejecutara la pirolisis, distribución y su caracterización (Gómez y Rincón, 2008, p. 22).

Pirolisis lenta o pausada se determina por presentar periodos de calentamiento de la biomasa a bajas temperaturas y tiempos requeridos para que una determinada masa vegetal hasta que complete su ciclo de ingreso, duración y egreso de la materia en su estado sólido y gas (Sadaka, 2007, p. 9).

Pirolisis rápida proviene del calentamiento es superior a 200°C por cada segundo y temperaturas superiores de 550°C. Debido a un corto periodo de tiempo de residencia de vapor; este proceso genera rupturas en las macromoléculas de la materia generando vapores condensables que producen bioaceites (Mullen, et al, 2010, p. 9).

Pirolisis ultrarrápida: se caracteriza por presentar temperaturas estables de 400-600°C y calentamiento rápido mayores a 2°C por cada segundo. Así mismo los tiempos de residencia son inferiores a 2 segundos (Demirbas, 2009, p.10).

Según Escalante (2016) atribuye a las características químicas y físicas, dependen de los procesos de pirolisis, a la temperatura a la que se somete la biomasa vegetal y depende mucho del tamaño de materia prima (p. 371).

La biomasa vegetal al sufrir descomposición térmica, se obtiene como consecuencia un material carbonoso, depende de la temperatura proporcionada esto da como resultados a que se generen más poros en toda el área del carbón.

Según García (2014) señala que es preciso evaluar las propiedades del biochar, ya que nos permite tener comprensión de las relaciones entre oxígeno/carbono, oxígeno/hidrogeno e hidrogeno/carbono sobre el proceso de pirolisis. El contenido de materia orgánica volátil se

eleva al 80% puede señalar un biocarbon sin la capacidad para el secuestro de carbono (p. 67).

El biochar al estar en contacto con el suelo su aporte es altamente significativo e influenciando la profundidad, textura, tamaños porosidad, repartición de las partículas, densidad y aglomeración.

Área de superficie del biochar y del suelo, la composición del suelo conforme a su textura arena, arcillo y limos conlleva al poder de retención de biochar y su eficiencia de retención o movilización ya el biochar experimentalmente mejora la estructura y la aireación.

Nanoporosidad del biochar se denomina a los microporos mayores a 2 nm de diámetro contribuyen en el área superficial del biochar y permiten tener mayor capacidad de absorción direccionado a partículas de dimensiones pequeñas como de gases y disolventes. (Oses, 2013, p. 29).

Macroporosidad del biochar es uno de los principales absorbentes, los macroporos de las estructuras del biocarbón son menores a 50nm de diámetro, así mismo son consideraos como la parte más importante debido a su porosidad ya que permite el transporte de moléculas absorbidas a los mesoporos y a los microporos. (Oses, 2013, p.30).

La humedad del biochar es la cantidad de agua liberada durante el proceso de secado de la biomasa vegetal, considerando también que la ebullición del agua es a una temperatura de 105°C (Guerra, 2015, p.19).

Según Guerra (2015) la ceniza es la fracción inorgánica con un porcentaje bajo de humedad, así mismo presenta mayor cantidad de nutrientes favorecedores para el suelo como son el calcio, potasio, magnesio, sodio, fosforo, aluminio y azufre (p. 20).

El carbono fijo es el contenido de materia móvil, y se obtiene con la diferencia entre el porcentaje del material que se volatilizo y las cenizas, se le denomina como la base seca (Guerra, 2015, p.19).

Es una característica muy esencia ya que determina efectos con respecto al suelo, biochar y planta, el potencial de hidrogeno dependerá de la biomasa utilizada y las condiciones de elaboración; cuando el biochar fresco se adiciona al suelo no proyecta una variación

significativa en pH del suelo; por ello el biochar al estar en contacto con el carbono atmosférico y el aire del entorno generando una disminución de pH en la muestra debido a que se generan carbonatos (Guerra, 2015, p. 16).

El biochar presenta un porcentaje alto de cenizas lo cual incrementa el nivel de sólidos totales disueltos en el suelo debido a la presencia de sales solubles (Guerra, 2015, p. 17).

El suelo es un ente natural estructurado proveniente de diferente proceso de evolución y formación, estas variaciones se dan por factores bióticos y abióticos (Alvarez, et al, 2011, p.18).

La estructura es definida como la distribución de tamaño de la partícula sólida de la composición de del suelo como arcilla, limos y arcillas, la cual conlleva a estimar la capacidad productiva, retención de agua, infiltración, densidad y profundidad (Álvarez, et al, 2011, p.18).

Según López y Estrada (2015) lo define como el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos pero sí un medio para las transferencias de gases (p. 4).

Es el peso por volumen del suelo y está vinculada con la porosidad, la cual se obtiene al dividir la cantidad de masa del sólido que existe por unidad de volumen total (densidad aparente) y la masa por unidad de volumen (densidad real) (López y Estrada, 2015, p. 3).

Estructura del suelo Están formados por los agregados (arcilla, limos y arcilla) que forma parte de la composición del suelo como la forma, tamaño del agregado y grado de proceso.⁶⁷

Potencial de hidrogeno indicador que permite determinar el grado de acidez o alcalinidad en el suelo, y se determina con la cuantificación de iones de hidrogeno en una solución, y es una propiedad determinante en la disponibilidad, movilidad y absorción de nutrientes para flora (FAO, 2015, p.2).

Conductividad eléctrica es la capacidad de medir la energía eléctrica generada por sales solubles o ionizadas en una solución y se miden en ms/cm. (FAO, 2015, p.2).

La función del nitrógeno en el suelo es un elemento fundamental que sirve como nutriente para la flora, así mismo se encuentra en estado inorgánicos. (FAO, 2015, p.3).

La función del carbono orgánico es mejorar las propiedades físicas en el suelo como aumenta el CIC, humedad y permite estabilidad a los agregados (arcilla, limo y arena) del suelo.

Los metales pesados como hierro (Fe), cobre (Cu), plomo (Pb), arsénico(As), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), sus concentraciones altas, alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como en ecosistemas naturales (flora y fauna), siendo los metales pesados de mayor impacto en el suelo el cadmio y el plomo por su biodisponibilidad y dinámica en sus proceso de transformación en el suelo.

La contaminación de metales pesados puede ser de origen natural debido a las reacciones naturales del suelo, meteorización física, química y biológica, su composición y en su estructura, así como fuentes indirectas como actividades volcánicas, incendios forestales; lo que acrecientan mayor concentración de metales pesados en el suelo.

La contaminación por acción antrópica se deben por acciones de mineras de tajo abierto y socavón la cual a través de sus procesos productivo de extracción, procesamiento, residuos considerados como desmonteras y pasivos ambientales, son desplazados por los factores meteorológicos (vientos, precipitaciones, etc.) que las dirigen de la zona directa a una zona indirecta afectando no solo a factores bióticos y abióticos.

Los suelos que presentan un pH ácido aumenta su absorción en las raíces de las plantas, así mismo la concentración alta de cadmio en el suelo altera los procesos de la actividad microbiana y amenaza con microecosistema en el suelo generando así menor productividad en su uso agrícola.

La toxicidad del cadmio en las plantas según Serrano, et al (2008) interfieren en la absorción de elementos esenciales (calcio, magnesio, fosforo y potasio) y del agua, así mismo el cadmio reduce la asimilación de nitratos y su transporte en las raíces al tallo, e inhibe la reductasa en tallos, generando alteraciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración, así mismo las planta presentan clorosis producidas por retraso de los niveles de hierro y fosfatos.

Según Pernia et al (2008) menciona que la absorción de cadmio por las raíces depende de su concentración, porcentaje materia orgánica, el pH, el potencial reducción-oxidación, la temperatura, la concentración de otros elementos, la salinidad, la intensidad de la luz y el

nivel de oxígeno. El cadmio también puede ingresar utilizando transportadores de otros metales tales como calcio (Ca^{+2}), hierro (Fe^{+2}) y zinc (Zn^{+2}). Si los metales se han movilizad, son capturados por las células de las raíces, donde se unen inicialmente a la pared celular de las células epidérmicas para ser luego trasladado o movilizad por intercambio iónico al resto de la planta (p. 20).

Según Serrano, et al (2008), la toxicidad del cadmio en las plantas interfieren en la absorción de elementos esenciales (calcio, magnesio, foforo y potasio) y del agua, así mismo el cadmio reduce la asimilación de nitratos y su transporte en las raíces al tallo, e inhibe la reductasa en tallos, generando alteraciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración, así mismo las planta presentan clorosis producidas por retraso de los niveles de hierro y fofatos (p.4).

Cuadro N°2. Estándar de calidad del Cadmio (Cd)

PARAMETRO	USO DEL SUELO			Método de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/parques	Suelo comercial/industrial /extractivos	
Cadmio total (mg/kg MS)	1.4	10	22	EPA 3050 EPA 3051

Fuente: ECAS del Suelo (2017).Ministerio del Ambiente.

Problema general de la investigación

¿Cuál es la eficiencia del Biochar en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019?

Problemas específicos de la investigación

¿Qué cantidad de Biochar logra una mayor eficiencia en la inmovilización del cadmio en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019?

¿Qué característica física intervienen en la eficiencia del biochar para inmovilización del cadmio en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019?

¿Qué característica química intervienen en la eficiencia del biochar para inmovilización del cadmio en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019?

La investigación permitirá obtener información, conocimientos e innovación experimental sobre la eficiencia de biochar en la adsorción e inmovilización de cadmio en el suelo agrícola Cupiche, Ricardo Palma; lo resultados obtenidos ayudaran como un antecedente a próximas investigaciones so estudios referentes a este tema. Los resultados dependerá mucho de la temperatura de pirolisis de la biomasa vegetal que se elegirá será el Quelite (*Amaranthus hybridus* L.). El uso del biochar es un potencializador de nutrientes a suelos agrícolas mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, además presenta alta capacidad de remediar los suelos impactados con metales pesados por acción antrópica y reducir su acumulación en el suelo y en los cultivos.

Hipótesis General

La eficiencia del biochar influye significativamente en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.

Hipótesis Específica

Las cantidades de biochar incorporadas en el suelo influyen significativamente en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.

Características físicas del biochar influyen significativamente en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.

Características químicas del biochar influyen significativamente en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.

Objetivo General

Evaluar la eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio en el suelo agrícola Cupiche, Ricardo Palma 2019.

Objetivo Específico

Determinar las cantidades de biochar que permiten obtener una mayor eficiencia en la inmovilización de cadmio en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.

Determinar cómo influye la característica física para inmovilizar cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.

Determinar cómo influye la característica química para inmovilizar del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.

II. MÉTODO

II.1. Diseño de investigación

El diseño de investigación es experimental ya que existe una aplicación intencional para obtener posibles resultados dentro de la situación de control del investigador (Babbie, 2014, p.129).

En la investigación se evaluó la eficiencia del biochar para inmovilizar el cadmio en el suelo agrícola Cupiche, Ricardo Palma 2019, se determinó a través de las concentraciones aplicables de biochar en el suelo contaminado con cadmio. Por lo tanto, se manipularon las variables independientes, también se utilizaron instrumentos de recolección de datos para relacionarlo con la variable dependiente a partir datos generados en el experimento.

II.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es cuasi-experimental ya que se manipularon voluntariamente las variables independientes para observar su efecto en las variables dependientes (Fernández y Baptista, 2014, p. 151).

Se realizó la comparación de las concentraciones de biochar empleados para la adsorción de cadmio y se determinó su capacidad de adsorción de cada material. Así mismo en la investigación se realizó en diferentes periodos de tiempos que comprenden desde julio hasta la primera semana de noviembre para la recolección de datos.

II.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativa ya que estos tipos de estudios parten de problemas bien identificados y la relación entre causa-efectos.

II.4. Operacionalización de variables

Variables independientes: Eficiencia del biochar

Variables Dependientes: Inmovilización de cadmio en el suelo

Cuadro N° 3. Matriz de Operacionalización de Variables

PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES
¿Cuál es la eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche?	Evaluar la eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio en el suelo agrícola Cupiche, Ricardo Palma 2019	La eficiencia del biochar influye significativamente en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.	DEPENDIENTE	La eficiencia del biochar proviene de la variación de las propiedades de la biomasa vegetal, tipo de pirólisis, temperatura y caracterización física y química (Gómez y Fincon, 2008, p.22).	Se someterá la biomasa Quelite (<i>Amaranthus hybridus</i> L.), la cual se someterá a proceso de pirolisis rápida, así mismo se efectuara la caracterización del biochar.	Características físicas	Temperatura de pirólisis (C°), tipo de material (gr) biomasa vegetal, humedad(%).
			Inmovilización de cadmio en el suelo			Características químicas	Carbono total(%), Nitrogeno y Materia orgánica.
			INDEPENDIENTE			Cantidad de biochar	Cantidad cadmio en el suelo contaminado antes de la aplicación del biochar. Cantidad de cadmio en el suelo contaminado después de la aplicación del biochar.
<p>¿Qué cantidad de Biochar logra una mayor eficiencia en la inmovilización del cadmio en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019?</p> <p>¿Qué característica física interviene en la eficiencia del biochar para inmovilización del cadmio en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019?</p> <p>¿Qué característica química interviene en la eficiencia del biochar para inmovilización del cadmio en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019?</p>	<p>* Determinar las cantidades de biochar que permiten obtener una mayor eficiencia en la inmovilización de cadmio en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.</p> <p>* Determinar cómo influye la característica física para inmovilizar cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.</p> <p>* Determinar cómo influye la característica química para inmovilizar cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.</p>	<p>Las cantidades de biochar incorporadas en el suelo influyen significativamente en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.</p> <p>Características físicas del biochar influyen significativamente en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.</p> <p>Características químicas del biochar influyen significativamente en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.</p>	Eficiencia del biochar	La incorporación de biochar de biomasa vegetal es una alternativa capaz de inmovilizar metales pesados en el suelo, lo cual permite mitigar y recuperar suelos agrícolas (Obaji, et al, 2017, p. 200)	Se realizará la caracterización del suelo contaminado con cadmio, así mismo se añadirá cantidades de biochar, la cual determinará la eficiencia de la inmovilización del cadmio.	Propiedades físicas y químicas del suelo con cadmio	Temperatura (C°), Potencial de hidrógeno (pH), materia orgánica(%), conductividad (µS).

Fuente: Propia del autor

II.5. Población y muestra

El lugar de aplicación del proyecto es el suelo agrícola de Cupiche, ubicado en el distrito de Ricardo Palma, al margen derecho del río Rímac, en la cual se tomaron 6 muestras compuestas del suelo contaminado, así mismo se proceda con la caracterización y determinación de las concentraciones de cadmio en este.

Cuadro N° 4. Geolocalización del lugar de estudio.

Puntos	Muestra y codificación	Latitud y longitud
1	Muestra A	11°54'49.57"S
2	Muestra B	11°54'49.74"S 76°36'32.01"O
3	Muestra C	11°54'50.02"S 76°36'32.60"O
4	Muestra D	11°54'50.09"S 76°36'33.25"O
5	Muestra E	11°54'50.28"S 76°36'33.88"O
6	Muestra F	11°54'50.12"S 76°36'34.39"O

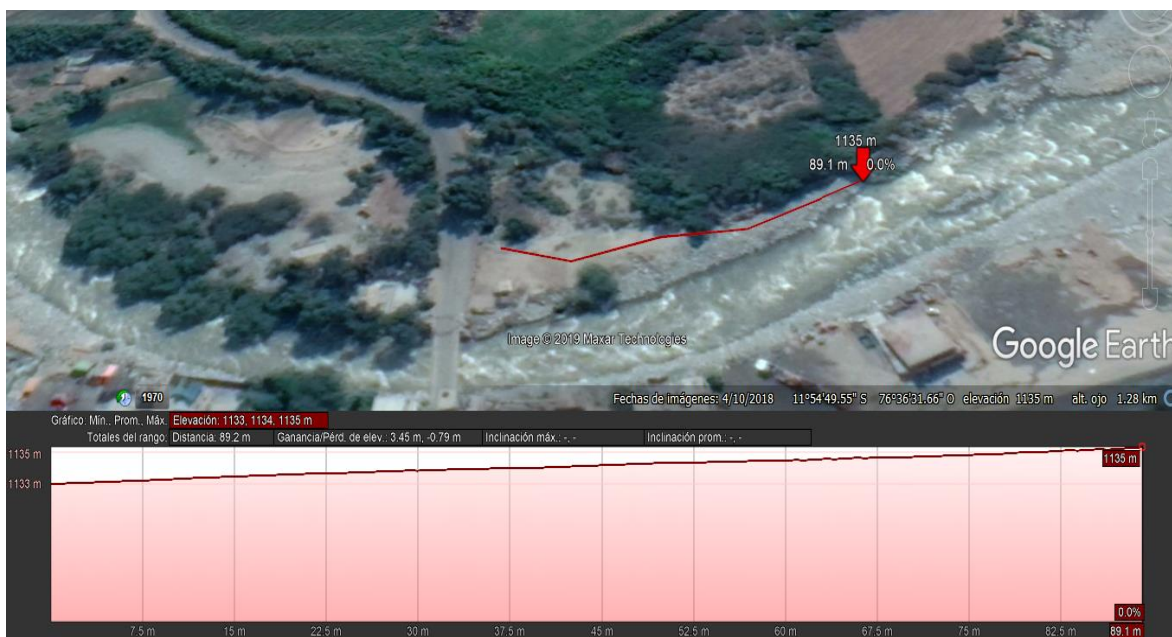
Fuente: Propia del autor. 2019

Imagen N°1. Punto de evaluación de toma de muestra de suelos.



Fuente: Propia del autor, la distancia de punto en punto es de 12 metros.

Imagen N°2. Elevación de la toma de muestra de suelos.



Fuente: Propia del autor, elevacion 1135 msnm(2019).

II.5.2. Muestreo y muestra

Con respecto a las muestras se tomaron 6 puntos, los cuales se posicionaron estratégicamente alrededor del suelo agrícola de Cupiche colindando con margen derecho del rio Rimac.

Sus limites son:

- Por el Norte: Distrito de Iris y San Pedro de Casta
- Por el Sur: Santa Cruz de Cocachara y San Bartolome
- Por el Oeste: Callahuanca y Santa Eulalia
- Medios de transporte: Bus y autos.

II.5.2.1. Tipo de muestreo

Los puntos de muestreo se determinaron en función de cada área de potencial dentro del predio de estudio, que abarca el número total de los puntos de muestreo, tanto superficial como de profundidad.

Fórmula:

$$N: 0.1X + 40$$

Donde:

N: Número mínimo de puntos de muestreo

X: Superficie en hectáreas

Puntos de muestreo de los suelos agrícolas, Cupiche.

Cuadro N°5. Identificación de puntos de muestreo del MINAM

Área de potencial interés(Ha)	Puntos de muestreo en total
0.1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23

Fuente: Guía para el muestreo de suelos contaminados del MINAM (2014)

Con respecto a la toma de muestras se tiene 0.5 hectáreas por lo tanto el total de puntos de muestreo en total fue de 6 muestras compuestas.

Muestras compuestas:

Son grandes volúmenes de muestras que se les realizó la partición o cuarteo y para que después sean reducidas para obtener una muestra representativa (Ministerio del Ambiente, p 17).

II.5.2.2. Tipo de muestra

Para el proyecto de investigación se tomaron muestras superficiales por lo cual se consideró los siguientes cuadros.

Cuadro N°6. Tipo de muestra

Usos del suelo	Profundidad del muestreo
Suelo Agrícola	0-30 cm
	30-60 cm

Fuente: Guía de Muestreo del MINAM (2014).

Para las muestras compuestas del suelo agrícola de Cupiche se tomaron a una profundidad de 30 cm; así mismo se tomó de un punto(A) grandes cantidades de volúmenes de muestras las cuales se sometieron a su partición, para reducirlas y poder obtener una muestra representativa, por ello se cuarteo la muestra mezclada y se repite el proceso hasta que llegue a una cantidad de material que se utilizó para la investigación, aproximadamente 10 kilogramos, así será para cada uno de los restantes puntos(B,C,D, E y F).

II.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

II.6.1. Técnicas

La técnica que se utilizó en la investigación es la observación, la caracterización física y química del suelo, analizó y determinó la concentración de cadmio en los suelos de muestras compuestas y se requiere de la manipulación intencional para la obtención de resultados dentro de control del investigador.

II.6.2. Instrumento de recolección de datos

Con respecto al instrumento que se utilizaron durante toda la investigación fue la recolección de las muestras compuestas de los 6 puntos elegidos en la investigación, fichas de observación, data cuantitativa de la variabilidad en los tratamientos en el suelo con el biochar de planta de Quelite.

II.6.3. Validez y confiabilidad de instrumento

La descripción de los equipos de laboratorio que se utilizaron en la investigación:

Cuadro N°7. Descripción de los equipos de laboratorio

Equipo de laboratorio	Modelo	Serie	Alcance
Conductimetro	OAKTON	700	147
pHmetro	HANNA	HANNA	14 PH
Balanza Analitica	AES	658745	200 G
Estufa	DAF	43 LT	250 C
Agitador magnetico	TS F 100	TS F 100	100 C

Fuente: Universidad Cesar Vallejo, 2019.

pHmetro mide la concentración de iones de hidrogeno, utilizando un electrodo el cual presenta la integración de dos sistemas uno de referencia y el otro de vidrio en el interior del tubo presentan cloruro de potasio saturado, así mismo presenta dos tubos uno interno y otro externo contienen una solución de referencia. Ambos tubos, el interior y el exterior, contienen una solución de referencia, pero únicamente el tubo exterior tiene contacto con la solución del lado externo del electrodo de pH (Organización Panamericana de la Salud, 2005, p. 39).

Los siguientes componentes son:

Presentan un interruptor de encendido y apagado, presenta control de temperatura, presenta 3 soluciones de calibración y presenta funciones de protección de electrodos de corrientes eléctricos. Después de su utilización la limpieza del electrodo es con agua destilada, sobre un vaso precipitado vacío, secar electrodo, este procedimiento se realiza después de cada medición para evitar la posible contaminación de la disolución (Organización Panamericana de la Salud, 2005, p. 39).

Balanza analítica permite determinar el peso de una sustancia desconocida, presenta en su estructura externa una barra simétrica apoyando a un soporte de cuchillas en un punto control denominado fulcro, así mismo las cuchillas permiten una oscilación delicada, además presentan dos platillos en el primer platillo se coloca la masa certificada y el segundo aquella masa que se requiere pesar, también como un medio de protección

presentan una caja de vidrio que protege la medición de interferencias, su rango de medición es de milésimas de gramo hasta los 200 gramos(Organización Panamericana de la Salud, 2005, p. 39).

Estufa de secado es utilizado para reducir el % de humedad de un material, así como un medio para la esterilización, su estructura está conformado por dos cámaras una interna hecha con aluminio inoxidable y otra externa con material aislante así mismo resiste temperaturas altas, además la energía térmica a la cámara interna ubicada en el interior de la estufa.

Las operaciones de la estufa son las siguientes:

Presenta un interruptor general, botones de programación, selección de temperatura de operación, antes debe ejecutarse la operación de calentamiento hasta alcanzar la temperatura requerida, además presenta un sistema de sensores de alarma y parámetros adicionales.⁷⁶

Agitador magnético es empleado para la elaboración de soluciones, suspensiones y dispersiones fluidas o poco viscosas. Antes de empezar la agitación se debe comprobar lo siguiente:

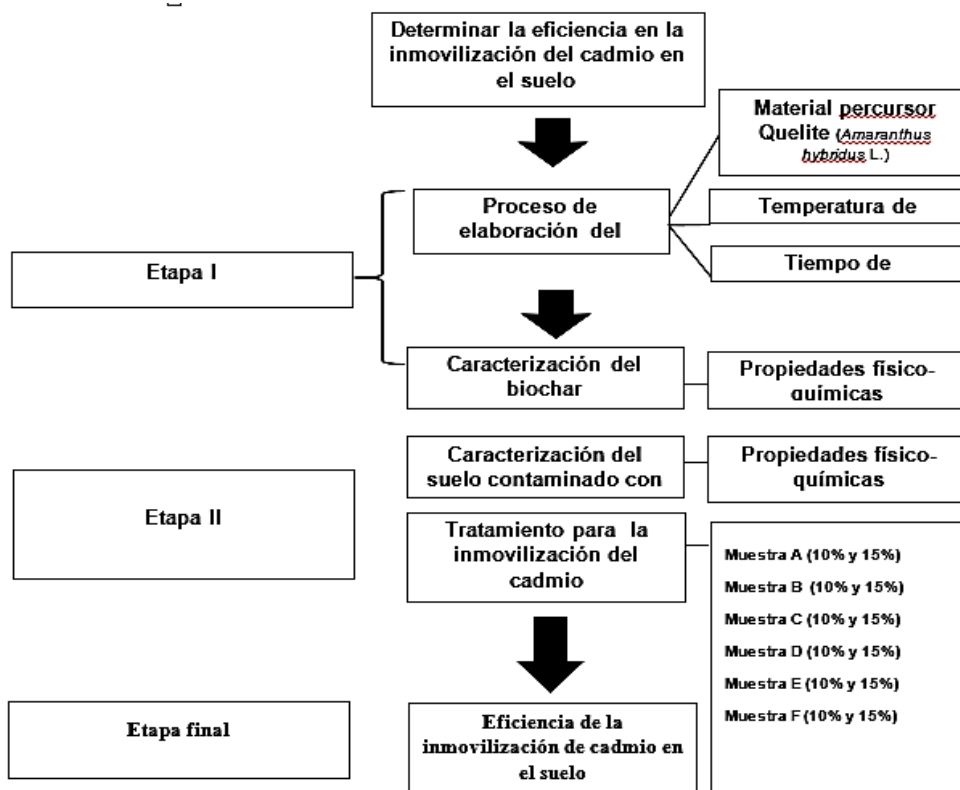
- El mando de velocidad se encuentre en velocidad neutral
- Al colocar el vaso precipitado con el contenido se requiere agitar sobre el plato de agitación
- Cubrir el vaso con papel de aluminio
- Durante la agitación: ajustar la velocidad, comenzar de la intensidad baja e ir incrementándola progresivamente, al finalizar la agitación colocar el mando velocidad neutral, apagar el interruptor y extraer el imán de su interior. Con respecto a su limpieza su limpieza es con alcohol etílico o un sistema de calefacción y dejar enfriar.

Sus características externas están compuestas de una barra pequeña y una placa inferior la cual presenta una serie de electrodos magnéticos distribuidos en forma circular y un campo magnético rotatorio de un solo imán(Organización Panamericana de la Salud, 2005, p. 39).

Conductímetro permite medir la conductividad eléctrica es decir la cantidad de iones en una disolución, los conductímetros emiten sus valores de medición en $\mu\text{S}/\text{cm}$, además presenta un coeficiente de temperatura para una mejor precisión en cada medición, esta función es

muy importante para una mayor resistencia a diferentes disoluciones.

II.7. Diagrama de las etapas de la metodología del Proyecto



Fuente: Propia del autor

Etapa I: Proceso de elaboración de biochar

I.1. Material precursor, pirolisis y tiempo de elaboración

Se recolectó la biomasa oriunda de los alrededores del río Rímac y de los alrededores de las zonas de cultivos de Cupiche esto será de la planta Quelite (*Amaranthus hybridus* L.), en el distrito de Ricardo Palma. Los residuos de biomasa que se recolectaron en el mes de Agosto, presentan menor cantidad de humedad, así mismo estos serán trasladados a zona de almacenamiento de Ñaña, en la cual se dejó expuesta al sol por 15 días, para mejorar sus características antes de proceso de pirolisis rápida a una temperatura de 350°C se midió con un termómetro digital, por aproximadamente tres horas y media, esto se controlara con cronometro.

Se determinó el contenido de humedad de las muestras, por diferencias de pesos, definido por % de humedad, a través de la siguiente formula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

II.2. Resultados de Biochar:

Con respecto a la humedad se realizó con una muestra de 5 gramos de biochar, el cual se dejó en el horno de secado a una temperatura de 105 ° C por 12 horas.

Cuadro N° 8. Resultados del porcentaje de humedad

$$\% \text{Humedad} = \frac{5.02 - 4.97}{5.02} \times 100$$

Peso inicial	5.02 gramos
Peso final	4.97 gramos
% Humedad	1%

III.3. Composición fisicoquímica del material precursor

Para el análisis de biochar se efectuó en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

III.4. Determinación de las concentraciones de cadmio

La determinación de las concentraciones de cadmio en el suelo y elaboración de tratamientos se realizaron en el laboratorio de biotecnología de la Universidad Cesar Vallejo.

III.4.1. Concentración de cadmio en el suelo

Se obtuvieron 6 concentraciones promedio de cadmio en el suelo, debido a estas muestras compuestas de obtuvieron de 6 puntos elegidos en límite de río Rímac y suelos agrícolas de Cupiche, Ricardo Palma.

Cuadro N° 9. Cantidad de muestras

N° Muestras	Cantidad de muestras
Muestra A	10 repeticiones
Muestra B	10 repeticiones
Muestra C	10 repeticiones
Muestra D	10 repeticiones
Muestra E	10 repeticiones
Muestra F	10 repeticiones

Fuente: Propia del autor

Se realizaron la caracterización de los suelos contaminado con cadmio en la cual se determinó las siguientes propiedades fisicoquímicas (Temperatura pH, conductividad eléctrica y materia orgánica).

Etapa II: Tratamiento de suelos contaminados por cadmio

Cuadro 10. Tratamientos para la inmovilización de cadmio

Tratamiento	Muestras de suelo contaminado	Concentración de biochar	
Muestra A	A1	10%	15%
	A2	10%	15%
	A 3	10%	15%
	A4	10%	15%
	A5	10%	15%
Muestra B	B 1	10%	15%

	B 2	10%	15%
	B 3	10%	15%
	B4	10%	15%
	B5	10%	15%
Muestra C	C 1	10%	15%
	C 2	10%	15%
	C 3	10%	15%
	C4	10%	15%
	C5	10%	15%
Muestra D	D 1	10%	15%
	D 2	10%	15%
	D 3	10%	15%
	D 4	10%	15%
	D 5	10%	15%
Muestra E	E 1	10%	15%
	E 2	10%	15%
	E 3	10%	15%
	E4	10%	15%
	E5	10%	15%
Muestra F	F 1	10%	15%
	F 2	10%	15%
	F3	10%	15%
	F4	10%	15%
	F5	10%	15%

Fuente: Propia del autor

Consta 60 muestras todas con concentraciones diferentes de biochar del 10% y 15%

Se mezclaron las diferentes concentraciones biochar en el suelo hasta tener una consistencia homogénea, luego se realizaron el análisis al suelo de (temperatura, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica). Finalmente se analizaron las

concentraciones de cadmio en el suelo a través del equipo espectrofotómetro de adsorción atómica siguiendo el Método EPA 3050B.

II.1 Criterios de Selección de puntos de muestreo

La elección de lugar de estudio de Cupiche en el Distrito de Ricardo Palma, debido a que en el año 2016 realizó había realizado una investigación con el título "Estudio de calidad de suelos agrícolas impactados por los pasivos ambientales en el cerro Tamboraque ubicado en la cuenca media del río Rímac, 2016", según los estudios de caracterización de suelos agrícolas ubicados cercanos a los puntos elegidos se encontró tres tipos de metales pesados, los cuales fueron plomo (569,8 ppm), cromo (8,08 ppm) y cadmio (37,64 ppm), debido a dicho antecedente se eligió suelos aleñados a la zona de Tamboraque, el cual fue el suelo agrícola de Cupiche, Distrito de Ricardo Palma, ya que se encuentra al margen derecho al río Rímac, el mismo que moviliza en su cauce pasivos ambientales, generando una externalidad negativa en la agricultura extensiva de dicho lugar.

Así mismo la cantidad de puntos tomados también fueron direccionados por la guía de muestreo de suelos contaminados del MINAM, el cual determinó que la cantidad de puntos por los números de hectáreas debido a este criterio se tomó 6 puntos.

Los puntos fueron posicionados por el criterio del investigador, ya que se encontró estratégicamente posicionado entre el margen derecho del río Rímac y los suelos agrícolas de Cupiche, Distrito de Ricardo Palma; por ello esta investigación se enfocó en determinar las diversas concentraciones de cadmio de cada punto, debido a que el río es una fuente movilización y desplazamiento de metales pesados en tiempos de estiaje o de venida en lo largo de su trayectoria.

Las concentraciones de biochar que se utilizó fue de 10 % y 15% por el criterio del investigador y por los antecedentes encontrados en artículos científicos de investigación de eficiencia de inmovilización de cadmio generados por la absorción de utilizando dos concentraciones de 10% y 15%, con resultados de 89 % de absorción de metales pesados mejorando la características físicas y químicas de suelos agrícolas.

Etapa III: Eficiencia de los tratamientos

Para determinar la eficiencia de cada tratamiento, a través de un porcentaje de inmovilización de cadmio en los suelos que presentan diferentes concentraciones de cadmio, la eficiencia de absorción se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\%E = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Dónde:

- ✓ %E= Es la eficiencia de inmovilización de cadmio en el suelo
- ✓ Co=Concentración inicial de cadmio en el suelo (mg/kg)
- ✓ Ce=Concentración final de cadmio en el suelo (mg/kg)

II.8. Método de análisis de datos

Para el análisis de los datos de la investigación, se realizó en:

Minitab: Los resultados que se obtuvieron desde la etapa inicial y final cuantitativa de la caracterización de suelos y eficiencia del biochar fueron ingresados para la elaboración de gráficos y tablas, así como el seguimiento y variación de los datos cuantitativos de la investigación.

Análisis de Varianza (ANOVA): Se realizó el análisis estadístico para conocer el nivel de significancia de los tratamientos de con diferentes concentraciones y se determinó una reducción significativa de cadmio en el suelo agrícola Cupiche, Ricardo Palma, a través del análisis de varianza ANOVA.

II.9. Aspectos éticos

Los aspectos éticos de esta investigación tiene como propósitos contribuir a brindar información verídica, auténtica y necesaria, que servirán para realizarse posteriores estudios o investigaciones como base o guía, con mayor detalle experimental.

III. RESULTADOS

III.1. Evaluación de la composición fisicoquímica del biochar

Cuadro N° 11. Resultados de la composición de los residuos de biomasa, Quelite (*Amaranthus hybridus* L.).

Parámetros	Cantidad	Unidades
Carbono	8.53	%
Nitrógeno	1.04	%
Materia orgánica	14.71	%
Humedad	1	%

Fuente: Propia del autor

Los resultados del análisis del biochar del Quelite indicó que el contenido de carbono es 8.53% y es mayor al contenido de nitrógeno 1.04% proveniente de la biomasa seca que fue sometida a una pirolisis rápida en la cual se volatizaron los nutrientes más inestables de los cuales hay menor proporción y lo más estables de mayor proporción como es el carbono y mejora la absorción de metales pesados por su composición porosa.

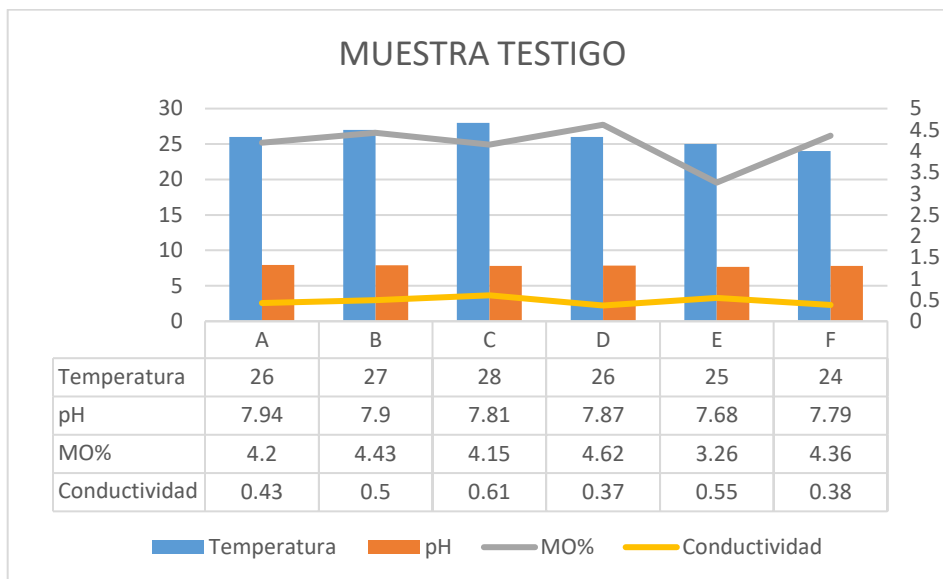
III.2. Evaluación de la composición física y química del suelo

Cuadro N° 12. Resultados de la composición del suelo con cadmio

Código(Testigo)	Temperatura	pH	MO%	Conductividad
A	26	7.94	4.2	0.43
B	27	7.90	4.43	0.5
C	28	7.81	4.15	0.61
D	26	7.87	4.62	0.37
E	25	7.68	3.26	0.55
F	24	7.79	4.36	0.38

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°1. Gráfico de los resultados de los parámetros físicos y químicos realizados al suelo contaminado con cadmio.



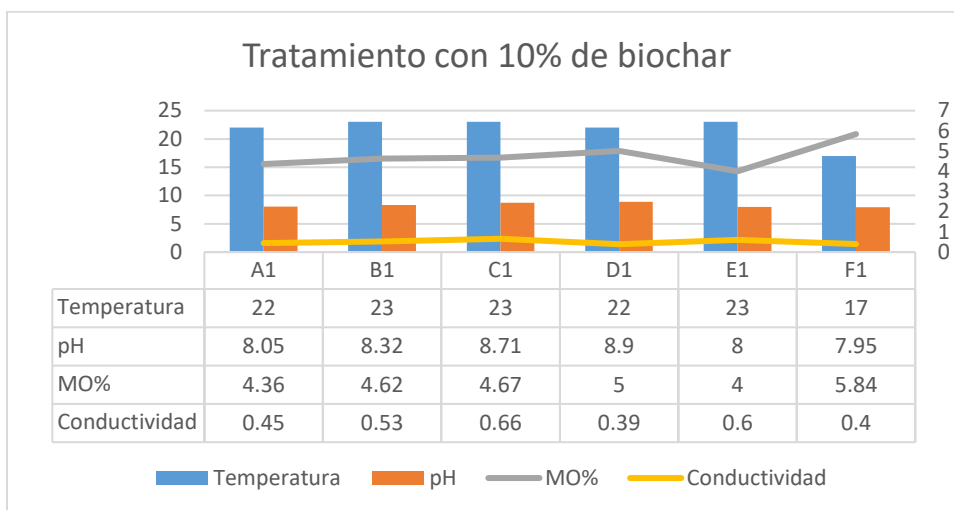
Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°13. Resultados de la composición del suelo con la adición de biochar al 10% tratamiento al suelo contaminado.

Código(T1)	Temperatura	pH	MO%	Conductividad
A1	22	8.05	4.36	0.45
B1	23	8.32	4.62	0.53
C1	23	8.71	4.67	0.66
D1	22	8.90	5.00	0.39
E1	23	8.00	4.00	0.6
F1	17	7.95	5.84	0.4

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°2. Gráfico de los resultados de los parámetros físicos y químicos realizados al suelo con el tratamiento 10% de biochar.



Fuente: propia del autor

Los resultados del análisis del suelo agrícola contaminado con cadmio, presentan un pH alcalino ya que oscila entre 7.79 a 7.94 lo cual permite la absorción de metales pesados y micronutrientes lo cual genera que la presencia de cadmio en la estructura foliar de las plantas. Los resultados del análisis de suelo del tratamiento con el 10% de biochar muestran que el suelo es alcalino ya que oscila de 8.05 a 8.90, el elevado potencial de hidrogeno en suelos agrícolas indica que el cadmio no sea absorbidos las capas inferiores del suelo y transferido a los raíces de las plantas, por lo que hay menos iones de hidrogeno solubles en el suelo agrícola. La materia orgánica tuvo una variación de 4% a 5.84% debido a la adición de biochar incrementó el porcentaje de materia orgánica, sin embargo debido a que presenta un pH alcalino este permite la disolución de cadmio en las capas inferiores y solo permite que se establezca en las capas superiores inmovilizando el cadmio y no permitiendo su desplazamiento.

Con respecto a la temperatura del suelo testigo es 26 °C, la temperatura mayor existe mayor absorción porque hay mayor velocidad de reacciones y mayor solubilidad del cadmio en el suelo, sin embargo después de la adición del 10% de biochar la temperatura disminuyó de 21.6 °C lo cual permite una menor absorción, velocidad de reacciones y menor solubilidad del cadmio en el suelo agrícola. Así mismo la conductividad eléctrica de las muestras de testigo

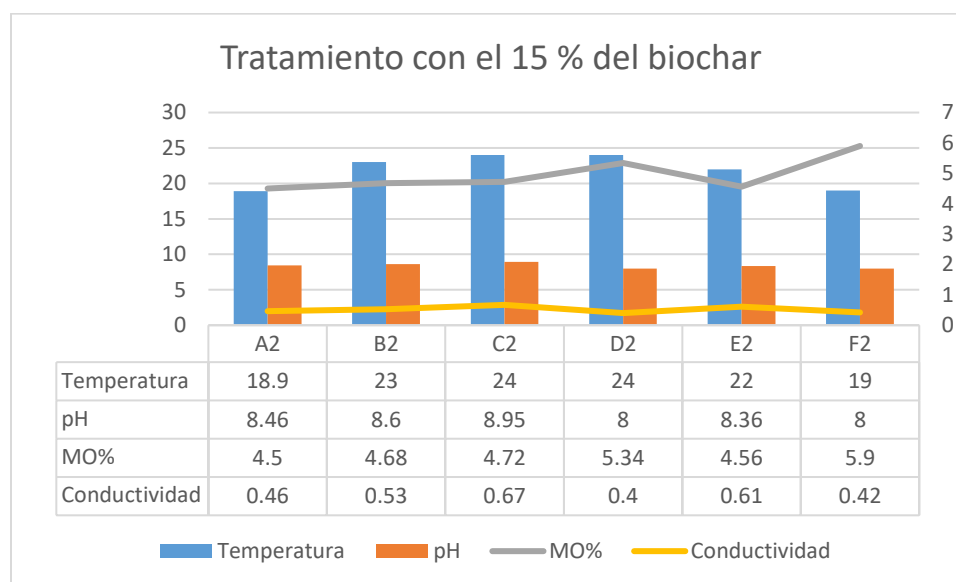
es de 0.47mS/cm, sin embargo con la adición del biochar incremento a 0.50 mS/cm lo cual indica el aumento sales solubles en el suelo esto debido al contenido de nitrógeno y carbono del biochar.

Cuadro N°14. Resultados de la composición del suelo con la adición de biochar al 15% tratamiento al suelo contaminado.

Código(T2)	Temperatura	pH	MO%	Conductividad
A2	18.90	8.46	4.50	0.46
B2	23	8.60	4.68	0.53
C2	24	8.95	4.72	0.67
D2	24	8.00	5.34	0.4
E2	22	8.36	4.56	0.61
F2	19	8.00	5.90	0.42

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3. Gráfico de los resultados de los parámetros físicos y químicos realizados al suelo con el tratamiento 15% de biochar.



Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis del suelo agrícola contaminado con cadmio, presentan un pH alcalino ya que oscila entre 7.79 a 7.94 lo cual permite la absorción de metales pesados y micronutrientes, lo cual genera que la presencia de cadmio en la estructura foliar de las plantas, sin embargo los resultados del análisis de suelo del tratamiento con el 15% de biochar muestran que el suelo es alcalino ya que oscila de 8 a 8.95, el elevado potencial de hidrogeno en suelos agrícolas indica que el cadmio no sea absorbidos las capas inferiores del suelo y

transferido a los raíces de las plantas, por lo que hay menos iones de hidrogeno solubles en el suelo agrícola. La materia orgánica tuvo una variación de 4.5% a 5.9 % debido a que la adición de biochar incrementó el porcentaje de materia orgánica, sin embargo debido a que presenta un pH alcalino este permitió la disolución de cadmio en las capas inferiores y solo permite que se establezca en las capas superiores inmovilizando el cadmio y no permitiendo su desplazamiento.

Con respecto a la temperatura del suelo testigo es 25 a 26 °C, la temperatura mayor existe mayor absorción porque hay mayor velocidad de reacciones y mayor solubilidad del cadmio en el suelo, sin embargo después de la adición del 15% de biochar la temperatura disminuyo de 21.8 °C lo cual permite una menor absorción, velocidad de reacciones y menor solubilidad del cadmio el suelo agrícola. Así mismo la conductividad eléctrica de las muestras de testigo es de 0.47mS/cm, sim embargo con la adición del biochar incremento a 0.51 mS/cm lo cual indica el aumento sales solubles en el suelo esto debido al contenido de nitrógeno y carbono del biochar.

III.3. Evaluación de la concentración de cadmio después del tratamiento de la adición de 10% y 15% de biochar en suelo contaminado

Cuadro N°15. Evaluación de la concentración del cadmio en el suelo después de la adición del 10% y 15% de biochar en el suelo contaminado.

	Muestra de suelo	Inicial testigo	Final del tratamiento 10%	Final del tratamiento 15%
A	SUELO A1	932.00	500	560
	SUELO A2	946.00	549	549
	SUELO A3	963.00	660	650
	SUELO A4	935.00	570	550.34
	SUELO A5	942	600	590
B	SUELO B1	830	412	420
	SUELO B2	826	429	435
	SUELO B3	834	417	423

	SUELO B4	831	410.5	414
	SUELO B5	829	414.5	417
C	SUELO C1	815.45	404.25	403.72
	SUELO C2	813.5	404.56	406.75
	SUELO C3	813	406.50	404.5
	SUELO C4	814.6	400.32	407.3
	SUELO C5	811.30	400.45	405.65
D	SUELO D1	750	370	375
	SUELO D2	747.6	373.8	378.9
	SUELO D3	749	372.3	375
	SUELO D4	767.05	378.25	380
	SUELO D5	748.3	370.56	380
E	SUELO E1	815.70	399.80	405
	SUELO E2	755.34	355	376
	SUELO E3	749.2	334	372
	SUELO E4	747	368.6	373.5
	SUELO E5	748.39	369	373.16
F	SUELO F1	758	368	378
	SUELO F2	754	367	377.86
	SUELO F3	748	369	371
	SUELO F4	746	360	369
	SUELO F5	743	371.5	372.27

Fuente: Elaboración propia

III.4. Eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio en el suelo

Cuadro N°16. Eficiencia de la inmovilización del cadmio en el suelo con el tratamiento del 10% de biochar

	Muestra de suelo	Eficiencia %	Eficiencia promedio %
A	SUELO A1	46.35	39
	SUELO A2	41.97	
	SUELO A3	31.46	
	SUELO A4	39.04	
	SUELO A5	36.31	
B	SUELO B1	50.36	59.89
	SUELO B2	48.06	
	SUELO B3	50.00	
	SUELO B4	50.60	
	SUELO B5	50.00	
C	SUELO C1	50.43	50.44
	SUELO C2	50.27	
	SUELO C3	50.00	
	SUELO C4	50.86	
	SUELO C5	50.64	
D	SUELO D1	50.67	50.43
	SUELO D2	50.00	
	SUELO D3	50.29	
	SUELO D4	50.69	

	SUELO D5	50.48	
E	SUELO E1	50.99	52.15
	SUELO E2	53.00	
	SUELO E3	55.42	
	SUELO E4	50.66	
	SUELO E5	50.69	
F	SUELO F1	51.45	51.04
	SUELO F2	51.33	
	SUELO F3	50.67	
	SUELO F4	51.74	
	SUELO F5	50.00	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados promedios de la eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio en el suelo con los tratamientos realizados a las muestras testigos(A, B, C, D, E, F) con diferentes concentraciones de cadmio, la aplicación de biochar a cada repetición fue de 10% de biochar, logrando eficiencias de 39%,59.89%,50.44%,50.43%, 52.15% y 51.04%.

El tratamiento testigo que se le adicionó el 10% obtuvo una mayor eficiencia es 59.89%, en la muestra compuesta con codificación B, lo cual indica que el biochar de la biomasa vegetal Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y el porcentaje de carbono que permite la inmovilización del cadmio en sus nanoporosidad, generando así que el cadmio no se movilice a las capas inferiores del suelo agrícola.

Cuadro N°17. Eficiencia de la inmovilización del cadmio en el suelo con el tratamiento del 15% de biochar.

	Muestra de suelo	Eficiencia %	Eficiencia promedio %
	SUELO A1	39.91	38.58

A	SUELO A2	41.97	
	SUELO A3	32.50	
	SUELO A4	41.14	
	SUELO A5	37.37	
B	SUELO B1	49.40	49.18
	SUELO B2	47.34	
	SUELO B3	49.28	
	SUELO B4	50.18	
	SUELO B5	49.70	
C	SUELO C1	50.49	50.15
	SUELO C2	50.00	
	SUELO C3	50.25	
	SUELO C4	50.00	
	SUELO C5	50.00	
D	SUELO D1	50.00	49.78
	SUELO D2	49.32	
	SUELO D3	49.93	
	SUELO D4	50.46	
	SUELO D5	49.22	
E	SUELO E1	50.35	50.21
	SUELO E2	50.22	
	SUELO E3	50.35	
	SUELO E4	50.00	
	SUELO E5	50.14	
F	SUELO F1	50.13	60%
	SUELO F2	49.89	

	SUELO F3	50.40	
	SUELO F4	50.40	
	SUELO F5	49.90	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados promedios de la eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio es en suelo, los tratamientos realizados a las muestras testigos(A, B, C, D, E, F) con diferentes concentraciones de cadmio, la aplicación de biochar a cada repetición fue de 15% de biochar, logrando eficiencias de 38.58%,49.18%,50.15%,49.78%, 50.21% y 60%.

El tratamiento testigo que se le adiciono el 15% obtuvo una mayor eficiencia es 60%, en la muestra compuesta con codificación B, lo cual indica que el biochar de la biomasa vegetal Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y el porcentaje de carbono que permite la inmovilización del cadmio en sus nanoporosidad, generando así que el cadmio no se movilice a las capas inferiores del suelo agrícola.

III.5. Evaluación de la concentración de cadmio en el agua intersticial

Cuadro N°15. Evaluación de la concentración de cadmio en el agua intersticial

Muestra de suelo	Concentración de cadmio (10%)	Concentración promedio de cadmio	Concentración de cadmio (15%)	Concentración promedio de cadmio
SUELO A1	0.60	0.54%	0.60	0.57%
SUELO A2	0.45		0.56	
SUELO A3	0.53		0.53	
SUELO A4	0.6		0.61	
SUELO A5	0.56		0.56	
SUELO B1	0.43	0.46%	0.58	0.54%
SUELO B2	0.51		0.45	
SUELO B3	0.41		0.53	

SUELO B4	0.45		0.6	
SUELO B5	0.50		0.56	
SUELO C1	0.52	0.47%	0.41	0.41%
SUELO C2	0.49		0.43	
SUELO C3	0.43		0.40	
SUELO C4	0.48		0.39	
SUELO C5	0.43		0.46	
SUELO D1	0.47		0.48%	
SUELO D2	0.45	0.56		
SUELO D3	0.51	0.51		
SUELO D4	0.56	0.50		
SUELO D5	0.45	0.61		
SUELO E1	0.41	0.42%	0.45	0.57%
SUELO E2	0.43		0.41	
SUELO E3	0.40		0.40	
SUELO E4	0.39		0.39	
SUELO E5	0.46		0.49	
SUELO F1	0.43	0.48%	0.42	0.42%
SUELO F2	0.48		0.40	
SUELO F3	0.52		0.45	
SUELO F4	0.49		0.41	
SUELO F5	0.47		0.45	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se aprecia que las concentraciones promedio de cadmio en el agua intersticial, para ello se realizaron el análisis de 45 días después de realizar la adición del biochar con concentración de 10% y 15% en las 6 muestras compuestas. Con respecto al tratamiento con 10 % se aprecia que el contenido de cadmio menor en el agua es de 0.42% debido a que el

biochar ha inmovilizado el cadmio y no permite que se disuelvan y sean absorbidos por las plantas; en el segundo tratamiento con 15% de biochar en el suelo contaminado, se obtuvo un porcentaje menor de 41% resultando más efectivo el poder de inmovilización de biochar Quelite (*Amaranthus hybridus* L.)

III.6. Análisis Estadísticos

Se realizaron la finalidad de conocer el nivel de significancia (p valor) de los tratamientos realizados para poder determinar si existente una reducción significativa del cadmio en el suelo a través de varianza Anova para dos factores en minitab.

Ho: La eficiencia del biochar no influye significativamente en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.

H1: La eficiencia del biochar influye significativamente en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola de Cupiche, Ricardo Palma, 2019.

Nivel de significancia=0.05

Factor Niveles Valores

Factor 3 Inicial testigo, Final del tratamiento 10%, Final del tratamiento 15%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	3023644	1511822	270.88	0.000
Error	87	485552	5581		
Total	89	3509196			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	(pred)
74.7065	86.16%	85.85%	85.19%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Inicial testigo	30	808.7	69.9	(781.6, 835.9)
Final del tratamiento 10%	30	416.8	78.6	(389.7, 443.9)
Final del tratamiento 15%	30	423.1	75.3	(396.0, 450.2)

Se determinó a través de Minitab el nivel de significancia es 0.00 es menor a $p < 0.05$ por lo que se acepta la hipótesis alterna, por lo tanto, hay una inmovilización significativa del cadmio en el suelo con la aplicación del 10 % y 15% del biochar de Quelite (*Amaranthus hybridus* L.).

IV.DISCUSIÓN

En la presente investigación está enfocada en la eficiencia del biochar obtenida de residuos de biomasa vegetal de Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) la cual fue sometida a una temperatura de 350°C por un periodo de tiempo de tres horas y media, esta biomasa se encontró ubicada en el margen izquierdo de las zonas agrícolas de Cupiche; a través del análisis del biochar, el análisis del agua intersticial.

La evaluación de la eficiencia del biochar a partir de biomasa vegetal de Quelite; en el suelo contaminado con cadmio se obtuvieron muestras compuestas, las cuales fueron destinadas a un tratamiento con una concentración de 10% y 15% de biochar en el suelo contaminado de Cupiche. Los resultados de los tratamientos fueron, eficiencia del biochar máxima para la inmovilización del cadmio en el suelo con tratamiento de 10% fue de 59.89%, el biochar obtenido de Quelite logró reducir e inmovilizar 59.89%; sin embargo en el segundo tratamiento con concentración de un 15% de biochar tuvo una eficiencia máxima de un 60% siendo este tratamiento más eficiente ya que inmovilizó las concentraciones de cadmio en el suelo agrícola.

Con respecto a la determinación de influencia de las características físicas para inmovilizar el cadmio en el suelo agrícola contaminado, de acuerdo a la elaboración de biochar a partir de Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) sometido a una pirolisis rápida, la cual presenta tamaño de 2mm, lo cual logró reducir la concentración del cadmio en el suelo en los tratamientos de 10% y 15%, siendo este último de mayor eficiencia de inmovilización de cadmio en el suelo contaminado. Además a la determinación de la influencia de las características químicas para inmovilizar el cadmio en el suelo. Los resultados del análisis del biochar indican que el contenido de carbono es 8.53% y es mayor al contenido de nitrógeno 1.04% proveniente de la biomasa en la cual se volatilizaron los nutrientes más inestables de los cuales hay menor proporción y los más estables de mayor proporción como es el carbono y mejora la absorción de cadmio por su estructura porosa. Además la adición de biochar en el suelo generó que el pH de las muestras sean débilmente alcalinas 8.90 y 8.95 en el tratamiento de 10% y 15% en los suelos, esto genera reducción de disolución y absorción del cadmio en el suelo, así mismo hubo un aumento de la conductividad eléctrica 0.66 a 0.67 lo cual indica que el suelo agrícola presenta grandes cantidades de sales solubles en el suelo; los resultados son semejantes a la

investigación de Noerpel, M. et al. (2019) quien realizó el trabajo de investigación "El biochar de paja de trigo reduce la biodisponibilidad ambiental del cadmio". Resultados: La adición de biochar de 10 y 15% (en peso) al suelo contaminado con cadmio redujo la concentración de Cd biodisponible en 53.4% a 87.9% durante el experimento de 90 días en comparación con el suelo de control ($p < 0.001$), hubo un aumento del pH 8 a 9 y la creación de precipitados de cadmio insolubles juegan un papel en la disminución de la biodisponibilidad de cadmio, probablemente debido a reacciones de precipitación.

V.CONCLUSIONES

Con respecto a la investigación realizada se concluye que la eficiencia del biochar elaborado de la biomasa vegetal Quelite (*Amaranthus hybridus* L.) obtenido a través de pirolisis rápida con una temperatura de 350°C por tres horas y media, tamaño de partículas de 2nm logro reducir la concentración de cadmio en el suelo.

La concentración de cadmio en el suelo agrícola de Cupiche se redujo con una máxima eficiencia del 59.89 % con la aplicación de un 10% de biochar, así mismo en el segundo tratamiento con un 15% de biochar se logró reducir el cadmio en el suelo con una eficiencia máxima de 60%, reduciendo la movilización de cadmio en los horizontes inferior del suelo agrícola.

Los resultados del análisis del biochar del Quelite indican que el contenido de carbono es 8.53% y es mayor al contenido de nitrógeno 1.04% proveniente de la biomasa seca que fue sometida a una pirolisis rápida en la cual se volatizaron los nutrientes más inestables de los cuales hay menor proporción y lo más estables de mayor proporción como es el carbono y mejora la absorción de cadmio por su estructura porosa. Además la adición de biochar en el suelo generó que el pH de la muestras sean débilmente alcalinas 8.90 y 8.95 en el tratamiento de 10% y 15% en los suelos, esto genera reducción disolución y absorción del cadmio en el suelo, así mismo hubo un aumento de la conductividad eléctrica 0.66 a 0.67 lo cual indica que el suelo agrícola presenta grandes cantidades de sales solubles en el suelo.

La temperatura en los tratamientos de 10% y 15% de biochar en el suelo han generado reducción (23°C y 21°C) de la temperatura genera menor absorción de cadmio y velocidad de reacciones y menor solubilidad.

VI.RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de diferentes tipos de biomasa vegetal para el aprovechamiento de residuos orgánicos y brindar una buena gestión ambiental, obteniendo una alternativa ecoamigable y brindarle una valorización de la materia prima.

Desarrollar alternativas ambientales de solución de corto plazo como es el uso de biochar para la reducción e inmovilización de metales pesados generados por acciones antropogénicas, de bajo costo como el uso de biochar en el suelo impactado.

Se recomienda equipo especializado de gases ya que al generar la pirolisis se generan gases que son emitidos a la atmosfera en la elaboración del biochar.

Recomienda un estudio previo de la biomasa a utilizar para la elaboración del biochar ya que es un factor determinante para la inmovilización de metales pesados en grandes concentraciones.

REFERENCIAS

GUERRA, P. (2015). Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. Lima, Perú.[en consulta: 03 de Mayo del 2019]. Disponible en: <file:///G:/articulos%20cientificos%20biochar/Q70.G84-T.pdf>. [40,43,44,45,46,48,60,61,62,63]

TORTOSA G. (2015) Biochar. [En consulta: 03 de Mayo del 2019]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2015/01/que-es-el-biochar/>.

OSÉS, A. (2013). Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas. [En consulta: 03 de Mayo del 2019]. Disponible en: <file:///G:/articulos%20cientificos%20biochar/perfecto-biochar.pdf>. [56,57,58,59],

Escalante, A. et al. Biochar: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. Revista mexicana de ciencia del suelo. 2016, n° 3. [Fecha de consulta: 13 de abril del 2019]. Disponible en: <file:///G:/articulos%20cientificos%20biochar/biocarbon.pdf>. ISSN: 2395-8030. [47,54]

Alvarez J. Et al .Respuesta fisiológica de las plantas cuando biochar y vermicompost son utilizados como sustituto parcial de la turba en la producción de planta ornamental.2016.[fecha de consulta : 16 de Abril del 2019]. Disponible en: file:///G:/articulos%20cientificos%20biochar/respuesta_fisiologica_plantas_VJorREC_2016.pdf.

Bejarano, L. Evaluación del biochar e hidrochar como medios para captura de carbono en el suelo. Bogota, Colombia.2017. [Fecha de consulta: 19 de Abril del 2019]. Disponible: file:///G:/articulos%20cientificos%20biochar/41121007_2017.pdf.

Lui, L. Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de *Romarinus officinales* L. en vivero profesional. Valencia, España. 2015 [Fecha de consulta: 21 de Abril del 2019]. Disponible en: <file:///G:/articulos%20cientificos%20biochar/LIU%20-%20Desarrollo%20de%20nuevos%20sustratos%20a%20base%20de%20compost%20y%20biochar%20para%20la%20propagación%20y%20producción.pdf>. [7]

GARCÍA, C. MARTÍNEZ, E. VIDALES y J. CONTRERAS. Bioadsorción de cristal violeta por carbón activado a partir de estiércol bovino y lodos de depuradora. México: Universidad Autónoma De Nuevo León, 2017, pp. 475. [48]

SERRANO, et al .Toxicidad del cadmio en plantas. España. 2008. [Fecha de consulta: 21 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/16362081.pdf> [71,72]

Obregón, Daniel. Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú Facultad De Ciencias E Ingeniería, 2013, pp. 109

García et al. Enmiendas orgánicas de nueva generación: biochar y otras biomoléculas. España: Red española de compostaje, 2014, pp. 142. ISBN: 9788484766926.[55]

MONTOYA, Jorge et al. Pirolisis rápida de biomasa [en línea]. Medellín: Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Minas, 2014 [fecha de consulta: 20 de noviembre 2017]. Disponible

en:<https://books.google.com.pe/books?id=GHYRAwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=pirolisis+rapida+de+biomasa&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjul1saiuPLaAhXEzFMKHQrAAn0Q6AEIJzAA#v=onepage&q&f=true>. [49,50,51,52,53]

De la cruz, L. (2018). Eficiencia del biochar a partir de residuos de poda para inmovilizar plomo en el suelo a nivel laboratorio UCV. Lima, Perú. [Fecha de consulta: 18 de Abril del 2019]. Disponible

en:
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/20520/DE%20LA%20CRUZ%20_CL.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [41]

ALVAREZ, M. Edafología. 1a ed. Caldas, Colombia: Espacio Gráfico Comunicaciones S.A.. 2015. p. 170. [Fecha de consulta: 25 de Abril del 2019] Disponible: <file:///G:/articulos%20cientificos%20biochar/edafologia-GUIA.pdf>.

López y Estrada. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Universidad Autónoma de Yucatán. México. [Fecha de consulta: 29 de Abril de 2019]. Disponible en:

<file:///G:/articulos%20cientificos%20biochar/BC%208.1%20Propiedades%20del%20suelo.GUIA%202.pdf>. [64,65,66,67,68,69]

Romero, John (2017). Eficiencia en la inmovilización de plomo en el suelo mediante la aplicación de cantidades de biochar en el distrito de San Mateo. Lima, Perú. [Fecha de consulta: 23 de Abril del 2019] Disponible en: <file:///G:/TESIS/modelo%20a%20seguir%20tesis.pdf>. [42]

BAUTISTA F. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. 1999, 109pp. [Fecha de consulta: 27 de Abril del 2019]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books/about/Introducci%C3%B3n_al_estudio_de_la_contamina.html?id=yE2Jq3z7ex4C&redir_esc=y. ISBN: 9687556811

Organización Panamericana de la salud. Manual de mantenimiento para equipo de laboratorio. 2005. 212pp. ISBN: 92 75 325901. [Fecha de consulta: 20 de Junio del 2019]. Disponible en: file:///E:/equipos%20-confiabilidad/manual_de_mantenimiento-teoria%20de%20equipos.pdf. [75,76]

Grupo docente. Instrumentos técnicos [en línea]. 2012 [fecha de consulta: 20 de Junio del 2019]. Disponible: https://tecnicasinstrumentals.files.wordpress.com/2012/10/www-ual-es_grupo_docente_quimfis2009_guiones_ana_conductimetro_conductimetro-crison.pdf [77,78]

Iquimicas. [En línea]. 2018 [fecha de consulta: 20 de Junio del 2019]. Disponible: <https://iquimicas.com/manuales-formulas-profesionales/>.

Xu Z., et al. .Contrastando impactos de envejecimiento pre y post aplicación de biochar en la inmovilización de cadmio en suelos contaminados. Revista china [En línea].2018, vol 242. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019].Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749118322061?via%3Dihub>. ISSN: 0269-7491

Santos, E. et al .Residuos orgánicos y biochar para inmovilizar elementos potencialmente tóxicos en el suelo de una mina de oro en el Amazonas .Revista Alemana. [En línea]. 2019, vol. 169. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019].Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651318311680?via%3Dihub>. ISSN: 0147-6513[5]

Lu H. et al. Uso de biochar magnéticos para la inmovilización de metales pesados en un suelo muticontaminado. Revista [En línea] 2018, vol. 622-623. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019].Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717334757?via%3Dihub>. ISSN: 0048-9697

Noerpel M. et al. Biochar de paja de trigo reduce la biodisponibilidad ambiental del cadmio. Revista China. [En línea] 2019, vol. 126 [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041201832926X>. ISSN: 0160-4120

Beesley y Marmioli. La inmovilización y retención de arsénico soluble, cadmio y zinc por biochar. Revista [En línea] 2011, vol. 159 [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749110004720>. ISSN: 0269-7491[11]

Khare P. El secuestro mediado por biochar de Pb y Cd a una productividad mejorada en *Mentha arvensis*. Revista [En línea] 2019, vol. 172. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651319301575>. ISSN: 0147-6513

Bashir S. et al. Eficiencia y caracterización de la superficie de diferentes biochar derivados de plantas para la movilidad de cadmio, bioaccesibilidad y biodisponibilidad para el repollo chino en suelos altamente contaminados. Revista china [En línea] 2018, vol. 211. . [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653518314334?via%3Dihub>. [13] ISSN: 0045-6535

Yan Y. Estabilidad térmica del biochar y sus efectos sobre la capacidad de absorción de cadmio. Revista [En línea] 2017, vol. 246. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417311276?via%3Dihub>. ISSN: 0960-8524

Parque J. Et al. El biochar reduce la biodisponibilidad y fitotoxicidad de los metales pesados. Revista [En línea] 2011, vol. 348. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en:<https://www.scopus.com/record/display.uri?Eid=2-s2.0-80053576012&origin=inward&txgid=32ee0ce60653028a99ea54a68dd90227>.

Ding C. Et al. Estabilidad de la remediación de la inmovilización de varias enmiendas en suelos contaminados con cadmio afectados por la acidificación simulada del suelo. Revista. [En línea] 2011, vol. 348. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en:<https://www.sciencedirect.com/journal/ecotoxicology-and-environmental-safety/about/editorial-board>. ISSN: 0147-6513

Tang J. et al. Características del biochar y su aplicación en la remediación de suelos contaminados. Revista Japonesa [En línea] 2013, n°6, vol. 116. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138917231300217X>. ISSN: 1389-1723[18]

Noerpel M. Et al. El biochar de paja de trigo reduce la biodisponibilidad ambiental del cadmio. Revista [En línea] 2019, vol.126. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041201832926X>. ISSN: 0160-4120[8,9,19]

Liu L. Et al. Efectos de la inoculación de micorrizas arbusculares y la enmienda de biochar sobre el crecimiento del maíz, la absorción de cadmio y la especiación de cadmio en suelos contaminados con cadmio. Revista [En línea] 2018, vol. 194. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517319860>. ISSN: 0045-6535[19]

Schreiter J. Et al. Producción y utilización de biochar a partir de desechos orgánicos para el control de contaminantes en sitios contaminados. Revista [En línea] 2016 [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128038376000056>. ISBN: 978-0-12-803837-6

Cui, L. Et al. Inmovilización continua de cadmio y plomo en suelo de arroz contaminado modificado con biochar: un experimento de campo de 5 años. Revista [En línea] 2016, vol.93. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857416302336?Via%3Dihub>. ISSN: 0925-8574[21]

Brassard P. Et al. Biochar para la enmienda del suelo. Revista [En línea] 2019. P. 506 [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128148938000043>. ISBN: 978-0-12-814893-8 [22]

Zhang, et al. Comparación de cadmio y sorción de plomo por el biochar de *Phyllostachys pubescens* producido en una atmosfera de pirolisis con bajo contenido de oxígeno. Revista [En línea]. 2017, p. 360 [Fecha de consulta: 10 de Mayo del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417305412>. ISSN: 0960-8524 [23]

Khang, et al. Los efectos del biochar y la cascara de arroz en la adsorción y desorción de cadmio en suelos con diferentes condiciones de agua (tierras altas y saturadas). Revista [En línea]. 2018, p. 1126. [Fecha de consulta: 10 de Mayo del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351731888X>. ISSN: 0045-6535 [24]

Bian, et al. Biochar DOM para la promoción de plantas pero no residual biochar para inmovilización de metales dependiente de la temperatura de pirolisis. Revista [En línea] 2019, p.580. [Fecha de consulta: 10 de Mayo del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719303080>. ISSN: 0048-9697 [25]

Oliveira, et al. Aplicación ambiental del biochar: Estado actual y perspectivas. Revista [En línea] 2017, p.122 [Fecha de consulta: 10 de Mayo del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417314360>. ISSN: 0960-8524 [26]

Ministerio del Ambiente. Guía para el muestreo de suelos. 1 era edi. Lima, Perú. 2014. p.72. [En línea] [Fecha de consulta: 10 de Mayo del 2019]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>

Sik Y. et al. Adsorción competitiva de metales pesados sobre biochar de paja de sésamo en soluciones acuosas. [En línea] 2016, vol.142. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653515005809?via%3Dihub>. ISSN: 0045-6535 [32]

Soudek, P. et al. Características de los diferentes tipos de biochar y efecto sobre la toxicidad de los metales pesados para germinar semillas de sorgo. [En línea] 2017, vol.182. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674216304642?via%3Dihub>. [28] ISSN: 0375-6742

Cui X. et al. Capacidad y mecanismos de absorción de amonio y cadmio en diferentes biochares derivados de plantas humedales. [En línea]. 2016, vol. 539. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715306811?via%3Dihub>. [27] ISSN: 0048-9697

Ahmad M. et al. El biochar como un sorbente para el manejo de contaminantes en el suelo y el agua. [En línea]. 2014, vol. 99. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del

2019]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513015051?via%3Dihub>. [29]

ISSN: 0045-6535

Huang H. et al. Efecto de la temperatura de pirólisis en la forma química, el comportamiento y el riesgo ambiental de zinc, plomo y cadmio en biochar producido a partir de residuos de fitorremediación. [En línea] 2018, vol.249. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019]. Disponible:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417318370?via%3Dihub>.

ISSN: 0960-8524 [30]

Brendova K. et al. Utilización de biochar y carbón activado para reducir la fitodisponibilidad y la fitotoxicidad de cadmio, plomo y zinc en las plantas. [En línea] 2016, vol.181. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019]. Disponible:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716304054?via%3Dihub>. [31]

ISSN: 0301-4797

Dong, et al. Efecto de los biochares ácidos y neutro sobre las propiedades y la retención de cadmio de los suelos. [En línea] 2017.vol 180. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517305374> ISSN: 0045-6535 [33]

Puga, et al. La aplicación de biochar en un suelo contaminado reduce la disponibilidad y la adsorción de zinc, plomo y cadmio en las plantas. [En línea] 2015.vol 159. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-environmental-management> .ISSN: 0301-4797 [34]

Huang, et al. Biochar facilito la fitorremediación de sedimentos contaminados con cadmio, comportamiento de metal, toxicidad de las plantas y actividad microbiana. [En línea] 2019.vol 666. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971930703X>. [35] ISSN: 0048-9697

Khalid, et al. Efecto del biochar sobre la disponibilidad de plomo, cadmio, cromo y el crecimiento del maíz en suelos contaminados artificiales. [36]

Muhammad, et al. La influencia de varias enmiendas orgánicas en la biodisponibilidad y la absorción de cadmio en las plantas presentes en suelos degradados por minas. [En línea] 2018.vol 636. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718314773?via%3Dihub>. [37]

ISSN: 0048-9697

Linbo, Q. et al. Eliminación efectiva de metales pesados por coloides de biochar a diferentes temperaturas de pirólisis. [En línea] 2016, vol. 206. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del

2019].Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416300414>. [38]

ISSN: 0960-8524

Khalid, et al. Efecto del biochar sobre la disponibilidad de plomo, cadmio, cromo y el crecimiento del maíz en suelos contaminados artificiales. [En línea] 2019. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019].Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0570178319300041#bbb0110>

ISSN: 0570-1783

Jun, et al .Inmovilización de cobre, plomo y cadmio mediante la adición de biochar derivad de la paja de arroz a un ultisol contaminado simulado. [En línea] 2012, vol. 230. [Fecha de consulta: 27 de Mayo del 2019].Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412005973>. [39]

ISSN: 0304-3894

ANEXOS

Anexo 1. Confiabilidad del agitador magnético



INFORME TECNICO : N° 10005 - 2017

EMPRESA : **UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.** FECHA : **10-oct 2017**
 LOCAL : Av. Del parque n 640 Urb canto grande S.J.L. lima TECNICO : **CHRISTIAN CONDORI**
 CONTACTO : **Ing LORGIO GILBERTO VALDIVIEZO GONZALES** REFERENCIA : **revisión , mantenimiento**

MARCA	MODELO	SERIE	CODIGO	ALCANCE	AREA DESIGNADA
SBS	TS F100	TS F100	NO INIDICA	100 C	LABORATORIO

CARACTERISTICAS DEL SERVICIO

- Desarmado de los equipo
- Limpieza interna de los componentes
- Resoldado de puntos criticos en los componentes internos
- Limpieza de partes moviles
- Proteccion de tarjetas electronicas con silicona IP 68
- Prueba de funcionamiento y rendimiento del equipo
- Prueba de alcance de eficiencia del equipo
- Puesta en marcha de equipo Operativo y protegido

MEDIDA DE VOLTAJE DE ENTRADA DE LA RESISTENCIA

VOLTAJE MINIMO
73.3 V DC OK
VOLTAJE MEDIANO
150 V DC OK
VOLTAJE ALTO
220V DC OK

DIAGNOSTICO

SE DEJA OPERATIVO EL EQUIPO EN TODA LA ESCALA DE VOLTAJE



Ing Christian Condori Velasquez
 Tel 983466251
 Asesor Comercial
www.presitecsac.com

Anexo 2. Confiabilidad del equipo conductímetro.



PRESITEC SAC

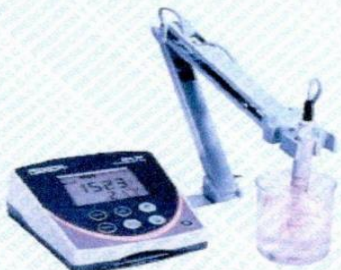
INFORME TECNICO : N° 10020 - 2017

EMPRESA : **UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.** FECHA : **10-oct 2017**
 LOCAL : **Av. Del parque n 640 Urb canto grande S.J.L. lima** TECNICO : **CHRISTIAN CONDOR VELASQUEZ**
 CONTACTO : **Ing LORGIO GILBERTO VALDIVIEZO GONZALES** REFERENCIA : **revisión , mantenimiento**

EQUIPO	MÓDELO	SERIE	CODIGO	ALCANCE	AREA DESIGNADA
CONDUCTIMETRO	OAKTON	700	NO INDICA	147	LABORATORIO

CARACTERISTICAS DEL SERVICIO

- Desarmado de los equipo
- Limpieza interna de los componentes
- Resoldado de puntos criticos en los componentes internos
- Limpieza de partes moviles
- Proteccion de tarjetas electronicas con silicona IP 68
- Prueba de funcionamiento y rendimiento del equipo
- Prueba de alcance de eficiencia del equipo
- Puesta en marcha de equipo Operativo y protegido



DIAGNOSTICO

SE DEJA OPERATIVO EL EQUIPO DENTRO DE TODO EL RANGO DE MEDICION CON LOS VALORES CORRECTOS
EQUIPO OPERATIVO



Ing Christian Condori Velasquez
 Tef 983466251
 Asesor Comercial
www.presitecsac.com

Anexo 3. Confiabilidad de la balanza analítica.



PRESITEC SAC

INFORME TECNICO : N° 10028 - 2017

EMPRESA : **UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.** FECHA : **10-oct 2017**
 LOCAL : **Av. Del parque n 640 Urb canto grande S.J.L. lima** TECNICO : **CHRISTIAN CONDOR MASQUEZ**
 CONTACTO : **Ing LORGIO GILBERTO VALDIVIEZO GONZALES** REFERENCIA : **revisión , mantenimiento**

EQUIPO	MODELO	SERIE	CODIGO	ALCANCE	AREA DESIGNADA
BALANZA ANALITICA	AES 200	658745	NO INIDICA	200G	LABORATORIO

CARACTERISTICAS DEL SERVICIO

- Desarmado de los equipo
- Limpieza interna de los componentes
- Resoldado de puntos criticos en los componentes internos
- Limpieza de partes moviles
- Proteccion de tarjetas electronicas con silicona IP 68
- Prueba de funcionamiento y rendimiento del equipo
- Prueba de alcance de eficiencia del equipo
- Puesta en marcha de equipo Operativo y protegido



DIAGNOSTICO

SE DEJA OPERATIVO EL EQUIPO DENTRO DE TODO EL RANGO DE MEDICION CON LOS VALORES CORRECTOS
EQUIPO OPERATIVO



Ing Christian Condor Masquez
 Tef 983466251
 Asesor Comercial
www.presitecsac.com

Anexo 4. Confiabilidad del equipo de pHmetro



PRESITEC SAC

INFORME TECNICO : N° 10010 - 2017

EMPRESA : **UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.** FECHA : **10-oct 2017**
 LOCAL : **Av. Del parque n 640 Urb canto grande S.J.L. lima** TECNICO : **CHRISTIAN CONDOR**
 CONTACTO : **Ing LORGIO GILBERTO VALDIVIEZO GONZALES** REFERENCIA : **revisión , mantenimiento**

EQUIPO	MÓDELO	SERIE	CODIGO	ALCANCE	AREA DESIGNADA
PH	HANNA	HANNA	NO INDICA	14 PH	LABORATORIO

CARACTERISTICAS DEL SERVICIO

- Desarmado de los equipo
- Limpieza interna de los componentes
- Resoldado de puntos criticos en los componentes internos
- Limpieza de partes moviles
- Proteccion de tarjetas electronicas con silicona IP 68
- Prueba de funcionamiento y rendimiento del equipo
- Prueba de alcance de eficiencia del equipo
- Puesta en marcha de equipo Operativo y protegido



DIAGNOSTICO

SE DEJA OPERATIVO EL EQUIPO DENTRO DE TODO EL RANGO
 DE MEDICION CON LOS VALORES DE BUFFER DENTRO DE LOS PUNTOS LINEALES
 DE MEDICION DE POTENCIAL DE HIDROGENO



Ing Christian Condori Velasquez
 Tef 983 467251 *
Asesor Comercial
www.presitecsac.com

Anexo 5. Confiabilidad de la estufa



PRESITEC SAC

INFORME TECNICO : N° 10009 - 2017

EMPRESA : **UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.** FECHA : **10-oct 2017**
 LOCAL : **Av. Del parque n 640 Urb canto grande S.J.L. lima** TECNICO : **CHRISTIAN CONDORI**
 CONTACTO : **Ing LORGIO GILBERTO VALDIVIEZO GONZALES** REFERENCIA : **revisión , mantenimiento**

EQUIPO	MODELO	SERIE	CODIGO	ALCANCE	AREA DESIGNADA
ESTUFA	DAF	43 LT	NO INDICA	250 C	LABORATORIO

CARACTERISTICAS DEL SERVICIO

Desarmado de los equipo
 Limpieza interna de los componentes
 Resoldado de puntos críticos en los componentes internos
 Limpieza de partes móviles
 Protección de tarjetas electrónicas con silicona IP 68
 Prueba de funcionamiento y rendimiento del equipo
 Prueba de alcance de eficiencia del equipo
 Puesta en marcha de equipo Operativo y protegido



DIAGNOSTICO

SE DEJA OPERATIVO EL EQUIPO DENTRO DE TODO EL RANGO DE MEDICION DENTRO DE LOS VALORES PERMITIDOS



Ing Christian Condori Velasquez
 Tef 983466251
 Asesor Comercial
www.presitecsac.com

Anexo 6. Informe de análisis especial de materia orgánica



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE
MATERIA ORGANICA**

SOLICITANTE : MISHHELL SHIRLEY ALDERETE QUISPE
PROCEDENCIA : LIMA
MUESTRA : BIOCHAR
REFERENCIA : H.R. 69386
BOLETA : 3331
FECHA : 13/08/19

N° LAB	CLAVES	C %	N %	M.O %
753		8.53	1.04	14.71



Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Anexo 7. Pirólisis rápida de biomasa Quelite, determinación de propiedades físicas y químicas del suelo contaminado con cadmio.

a) Pirolisis rápida de biomasa Quelite



b) Determinación de propiedades físicas



c) Determinación de propiedades químicas(método EPA 3050 E)

