



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“Biochar de biomasa residual por Pirólisis Lenta para la germinación y crecimiento de la semilla del *Prosopis limensis* en el distrito de Cieneguilla”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Loyola Saavedra, Isabel Rosario (ORCID: 0000-0002-7440-1187)

Ochoa Miguel, Juan Jesús (ORCID: 0000-0002-6721-4535)

ASESOR:

Dr. Ordoñez Galván, Juan Julio (ORCID: 0000-0002-3419-7361)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A mis padres, Dionisia y Félix
A mis hermanos, Katty, Patty, Johanna, Toño, y,
A mi hijo Fabio.

Loyola Saavedra, Isabel Rosario

Dedicado a mis abuelos, madre, hermanos
y quienes aconsejaron y aclararon mis decisiones
en cada proceso para cumplir mis metas.

A ellos, todo mi agradecimiento.

Ochoa Miguel, Juan Jesús

Agradecimiento

A nuestros padres, por ayudarnos en todo lo que estuvo en sus manos y motivarnos siempre para seguir adelante y no darnos por vencidos hasta culminar nuestros estudios y realizar nuestra tesis.

A nuestros hermanos por ayudarnos moral y económicamente hasta ver cumplidos nuestros sueños.

A mi hijo Fabio, por haberle quitado mucho tiempo al lado mío (Isabel).

A mi abuelo Mario, quien comparte su sabiduría para crecer como persona (Juan).

A los catedráticos Ing. Wilson Castañeda, Dr. Julio Ordoñez, Ing. Julio Malca, a la Municipalidad Distrital de Cieneguilla, por su colaboración en la contextualización de nuestra tesis y compartir con nosotros sus conocimientos y buenos consejos para poder culminarlo.

Índice de contenidos

Dedicatorias	ii
Agradecimientos	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de gráficos y figuras.....	viii
Resumen	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Variables y operacionalización	14
3.3. Población, muestra y muestreo	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	15
3.5. Procedimientos	17
3.6. Método de análisis de datos.....	39
3.7. Aspectos éticos.....	40
IV. RESULTADOS	41
4.1. Caracterización física y química de biomasa residual para elaboración del biochar	41
4.2. Caracterización físico química del biochar obtenido mediante la técnica de Pirólisis lenta	45
4.3. Características Fenológicas: Respuestas de las plantas de <i>Prosopis limensis</i> a la aplicación de biochar de biomasa residual por pirólisis lenta	48
4.4. Determinación de la concentración del biochar con mejores respuestas en <i>Prosopis limensis</i> :.....	61
4.5. Contenido de Carbono Orgánico en las unidades experimentales	62
V. DISCUSIÓN	67
VI. CONCLUSIONES.....	72
VII. RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	78
ANEXO N° 01. DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES...78	
ANEXO N° 02. DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....79	

ANEXO N° 03.	MATRIZ DE CONSISTENCIA	80
ANEXO N° 04.	MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	81
ANEXO N° 05.	INSTRUMENTOS DE VALIDACIÓN DE DATOS	82
ANEXO N° 06.	VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS	87
ANEXO N° 07.	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	102

Índice de tablas

Tabla 1: Técnicas e instrumentos para el Trabajo de investigación.....	16
Tabla 2: Expertos que validarán los instrumentos	16
Tabla 3: Validación de los instrumentos por cada experto	17
Tabla 4: Ubicación geográfica de la Planta de Valorización de Cieneguilla	18
Tabla 5: Descripción de los tratamientos y concentraciones utilizados:	30
Tabla 6: Distribución de los tratamientos en 105 unidades experimentales.....	31
Tabla 7: Cantidades de sustrato más biochar usado en cada tratamiento.....	33
Tabla 8: Datos de temperatura y humedad relativa en Cieneguilla, durante la etapa de pruebas de germinación de semillas de <i>Prosopis limensis</i>	35
Tabla 9: Distribución del riego durante las pruebas de germinación y crecimiento	36
Tabla 10: Caracterización de Biomasa residual que llega a la Planta de Valorización:	41
Tabla 11: Caracterización Física de biomasa residual no composable (leñosos delgados, medios y gruesos) para obtención de biochar.....	42
Tabla 12: Resultado de análisis físico químico realizado a las muestras de biomasa residual:	44
Tabla 13: Detalle de cargas realizadas en proceso de pirólisis lenta.....	45
Tabla 14: Rendimiento de la obtención de biochar.....	46
Tabla 15: Resultados de análisis físico químico realizado a las muestras de biochar:	47
Tabla 16: Número de semillas germinadas por tratamiento, por día.....	49
Tabla 17: Porcentaje de germinación por tratamiento, por repetición	51
Tabla 18: Altura (elongación) de las plántulas en cm (hasta los ápices caulinares) de <i>Prosopis limensis</i> a los 50 días de siembra.....	52
Tabla 19: Análisis de Varianza para altura de planta <i>Prosopis limensis</i> (Huarango)	53
Tabla 20: Prueba de comparación Tukey para altura media <i>Prosopis limensis</i>	53
Tabla 21: Número de nudos o pinnas de <i>Prosopis limensis</i> (huarango) a los 50 días después de la siembra.	54
Tabla 22: Análisis de Varianza para número de nudos o pinnas de <i>Prosopis</i> <i>limensis</i>	55

Tabla 23: Prueba de comparación Tukey para número de nudos en plantas de Prosopis limensis, a los 50 días después de la siembra.....	55
Tabla 24: Longitud de raíz (cm) en plántulas de Prosopis limensis a los 50 días después de la siembra	56
Tabla 25: Análisis de varianza para longitud de raíces de Prosopis limensis, a los 50 días después de la siembra.	58
Tabla 26: Prueba de comparación Tukey para longitud de raíces	58
Tabla 27: Resultados de respuestas fenológicas (desarrollo de plántulas) de huarango con biochar como producto de enmienda.....	58
Tabla 28: Análisis de correlación entre altura de plántula, número de nudos y longitud de raíz en Prosopis limensis (Huarango), a los 50 días después de siembra.	59
Tabla 29: Valores de significación para el análisis de correlación entre altura de plántula, número de nudos y longitud de raíz en Prosopis limensis (Huarango), a los 50 días después de siembra.....	59
Tabla 30: Resumen de resultados de variables estudiadas en el desarrollo de plántulas de huarango con aplicación de biochar como producto de enmienda del sustrato.	61
Tabla 31: Análisis de los sustratos al inicio del ensayo (sin biochar), y durante ensayo, con aplicación de biochar como producto de enmienda.....	63
Tabla 32: Cálculo de contenido de carbono orgánico en el sustrato (suelo) por etapas	65
Tabla 33: Cálculo del Incremento Total (ΔC) de Carbono en el sustrato durante el ensayo	66
Tabla 34: Determinación del Dióxido de Carbono equivalente secuestrado en el sustrato o suelo.....	66

Índice de gráficos y figuras

Figura 1: Diagrama general del Proyecto de Investigación	17
Figura 2: Ubicación de Planta de Valorización de Cieneguilla	18
Figura 3: Tipo de biomasa residual que llega a la Planta de Valorización	19
Figura 4: Biomasa residual de la Planta de Valorización	19
Figura 5: Labores de volteo y selección manual de biomasa no compostable	20
Figura 6: Diagrama de flujo general de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos Municipales de Cieneguilla	20
Figura 7: Caracterización de biomasa residual de la Planta de Valorización de Cieneguilla	21
Figura 8: Reactor pirolítico de la Planta de Valorización de Cieneguilla	22
Figura 9: Horno pirolítico con anillo protector a temperatura óptima de trabajo (650°C – 700°C).....	22
Figura 10: Plano del reactor pirolítico de la Planta de Valorización	23
Figura 11: Inicio del proceso de pirólisis.....	24
Figura 12: a) y b) Pesado de biomasa para pirólisis. c) Momento en que la capa superior de biomasa se cubre con ceniza blanquesina, es el momento propicio para agregar la siguiente carga. d) Se deja como mínimo 10 cm debajo del borde superior del horno pirolítico para una buena carbonización de la biomasa.	25
Figura 13: a) Retiro del anillo del horno. b) Volteado del horno para enfriar biochar. c) Enfriamiento de biochar. d) Biochar obtenido mediante la técnica de pirólisis lenta.	25
Figura 14: a) Biochar incorporado desde el principio del compostaje, Biochar activado biológicamente. b) Biochar añadido al sustrato de plantas forestales y ornamentales.	26
Figura 15: a) Muestra de biochar obtenido por pirólisis lenta. b) Muestra de biochar activado en pila de compostaje por 4 meses.	26
Figura 16: Obtención de semillas de <i>Prosopis limensis</i> , Parque Waldorf - Cieneguilla	27
Figura 17: a) Semillas de <i>Prosopis limensis</i> . b) Hidratación de semillas para acelerar la germinación.	28

Figura 18: a) Arena del Río Lurín. b) Tierra de chacra de la zona. c) Mezcla homogénea de tierra más arena para sustrato de ensayo experimental.	29
Figura 19: a) Preparación de tratamientos: Biochar recién obtenido. b) Biochar activado. c) Mezcla en sustrato para llenar en bolsas de almácigo	29
Figura 20: Muestra de sustrato (arena de río más tierra) para prueba en laboratorio	30
Figura 21: Montaje del diseño experimental en bolsas de almácigo con mezclas de sustrato y biochar para siembra de <i>Prosopis limensis</i>	32
Figura 22: a) Preparación de unidades experimentales por cada tratamiento. b) Siembra de semillas en bolsas de almácigo para prueba de germinación.	33
Figura 23: Colocación de semillas de <i>Prosopis limensis</i>	34
Figura 24: Riego de plántulas durante pruebas de germinación.....	36
Figura 25: Tipo de biomasa residual que llega a la Planta de Valorización	41
Figura 26: Caracterización Física de biomasa residual no compostable para obtención de biochar, especies de madera leñosa gruesa, mediana y delgada que entran al proceso de pirólisis lenta.	43
Figura 27: Visibles diferencias físicas entre biochar recién obtenido y biochar activado biológicamente.....	46
Figura 28: Porcentaje de germinación de semillas de huarango (<i>Prosopis limensis</i>) con siete tratamientos por 20 días.	50
Figura 29: Porcentaje de Germinación de semillas de huarango (<i>Prosopis limensis</i>) sometidas a 7 tratamientos.	51
Figura 30: Altura promedio de plantas de <i>Prosopis limensis</i> (Huarango) a los 50 días después de la siembra.	53
Figura 31: Número medio de nudos en plántulas de <i>Prosopis limensis</i> , a los 50 días después de la siembra.	54
Figura 32: Longitud alcanzada de raíz a los 50 días de siembra, gran presencia de nódulos activos.	56
Figura 33: Longitud de raíz en plantas de <i>Prosopis limensis</i> (Huarango) a los 50 días después de la siembra.	57
Figura 34: Evaluación de respuestas fenológicas de plántulas de <i>Prosopis limensis</i> a los 50 días de siembra.	59

Figura 35: Gráfico de dispersión que muestra la relación entre las alturas y el número de nudos de las plántulas de <i>Prosopis limensis</i> a los 50 días después de la siembra.	60
Figura 36: Gráfico de dispersión que muestra la relación entre las alturas y la longitud de las raíces de las plántulas de <i>Prosopis limensis</i> a los 50 días después de la siembra.	60
Figura 37: Gráfico de dispersión que muestra la relación entre el número de nudos y las longitudes de las raíces de <i>Prosopis limensis</i> a los 50 días después de la siembra.	60
Figura 38: Resultados del porcentaje de germinación de los distintos tratamientos hasta el día 20 de siembra.	61
Figura 39: Alturas medias obtenidas en los tratamientos a los 50 días de siembra de <i>Prosopis limensis</i>	61
Figura 40: Promemdio de número de pinnas, nudos o peciolos logrados por las plántulas de <i>Prosopis limensis</i> a los 50 días de siembra.....	62
Figura 41: Longitudes medias logradas por lás plántulas de <i>Prosopis limensis</i> a los 50 días de germinadas sus semillas.	62

Resumen

Se obtuvo biochar a partir de biomasa residual lignocelulósica proveniente del mantenimiento de áreas verdes públicas y privadas del distrito de Cieneguilla con la técnica de pirólisis lenta usando un reactor pirolítico de cortina de llamas, para evaluar su uso como producto de enmienda evaluamos con diferentes concentraciones en la germinación y características fenológicas de semillas de *Prosopis limensis* (huarango). Se caracterizaron física y químicamente las biombras originales y el biochar obtenido en laboratorio. Semillas de huarango fueron colocadas en sustratos con concentraciones de 0%, 10%, 20% y 30% en peso de biochar recién obtenido y biochar activado biológicamente y se colocaron en bolsas de almacigo de 2 kg en el vivero municipal. Se evaluaron variables de porcentaje de germinación, crecimiento de plántulas, número de pinnas y longitud de raíz. Se determinó que el biochar al 10% de concentración tuvo mejores respuestas en las plántulas de huarango hasta los 50 días de ensayo. La concentración de carbono orgánico en el sustrato se incrementó tras la incorporación de biochar como producto de enmienda, los análisis de laboratorio así lo demostraron, relacionándolo con el secuestro de CO₂.

Palabras clave: biochar, pirólisis lenta, *Prosopis limensis*

Abstract

Biochar was obtained from lignocellulosic residual biomass from the maintenance of public and private green areas of the Cieneguilla district with the slow pyrolysis technique using a flame curtain pyrolytic reactor, to evaluate its use as an amendment product we evaluated with different concentrations in germination and phenological characteristics of seeds of *Prosopis limensis* (huarango). The original biomass and biochar obtained in the laboratory were physically and chemically characterized. Huarango seeds were placed in substrates with concentrations of 0%, 10%, 20% and 30% by weight of freshly obtained biochar and biologically activated biochar and were placed in 2 kg storage bags in the municipal nursery. Variables of germination percentage, seedling growth, number of pinnae and root length were evaluated. It was determined that biochar at 10% concentration had better responses in huarango seedlings up to 50 days of trial. The concentration of organic carbon in the substrate increased after the incorporation of biochar as an amendment product, the laboratory analyzes demonstrated this, relating it to the sequestration of CO₂.

Keywords: biochar, slow pyrolysis, *Prosopis limensis*

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, según datos nacionales actualizados de la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos del Ministerio del Ambiente, anualmente generamos alrededor de 7 342 713 toneladas de residuos sólidos municipales, de esa cantidad el 57.69% (4 235 894 t) son residuos orgánicos que deberían ser valorizados; el 18.26% (1 341 094 t) conciernen a residuos inorgánicos; y el 24.06% (1 765 725 t) atañen a residuos no valorizables, de ellos solo el 1.05% de lo valorizable (77 621 t, orgánicos e inorgánicos) es gestionado por las municipalidades distritales. Tomando en cuenta solo lo correspondiente a valorización de residuos sólidos orgánicos, únicamente el 0.64% (27 450 t) son incluidos en la transformación y valorización con técnicas de compostaje, vermicompostaje, biochar, etc. («Residuos Sólidos Municipales» 2020). Si no hay un buen manejo y gestión integral de los residuos sólidos, las municipalidades se enfrentan a una problemática ambientalmente negativa por su inadecuada disposición y por su generación en mayores cantidades y volumen debido al aumento demográfico, la agrupación de la población en áreas urbanas, aumento de los hábitos de consumo, entre otros.

Los residuos sólidos orgánicos constituyen el mayor porcentaje en volumen que son generados anualmente por los habitantes del distrito de Cieneguilla, 56.62%, que representan unas 5 145 t/año aproximadas (Municipalidad Distrital de Cieneguilla 2019), además cuenta con una gran superficie de áreas verdes urbanas y áreas forestales, su importancia para la conservación de la fauna y flora en nuestro distrito es trascendental, estos lugares están creados y acondicionadas para ofrecer espacios de entretenimiento y relajación, pero que además requieren de esfuerzos constantes para mantener su belleza paisajística y que puedan cumplir su objetivo. Los residuos de maleza y poda generados a partir de las 214 213.06 m² de áreas verdes habilitadas (Gerencia de Servicios a La Ciudad y Medio Ambiente 2019) ubicadas en vergeles, óvalos, triángulos, bermas centrales y laterales, estadio municipal, y otros, sumado a los restos de maleza y poda generados de jardines privados, generan entre 10 a 30 toneladas mensuales de residuos vegetales (Municipalidad Distrital de Cieneguilla 2019). Esta biomasa residual es depositada en los

Puntos Temporales de Acopio de Maleza ubicados en puntos estratégicos del distrito y posteriormente llevados hasta la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales donde serán aprovechados para generar productos de gran valor como el compost, pero no todo es compostable hay un excedente acumulándose con troncos y ramas duras.

Frente a este problema y en consideración a que estas labores de mantenimiento de las áreas verdes (segar el grass, retiro de maleza, podas, etc.) generan grandes volúmenes de residuos orgánicos con alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina que llegan hasta la planta para ser tratados; pero que se hace insostenible e inmanejable compostar y valorizarlos, es que el presente plan de tesis busca desarrollar una alternativa de aprovechamiento en la gestión de esta biomasa residual a través, de la técnica de Pirólisis lenta, que permitirá la obtención de biochar (biocarbón) y podrá devolverse al suelo en forma directa como también puede ser incorporado en ciertos porcentajes en las pilas de compost, evitando así su desperdicio y más al contrario usarlo como producto de enmienda orgánica o mejorador de suelo y su cualidad para capturar carbono y almacenarlo en el suelo (Yadav et al. 2016), a través, de la preparación del sustrato para cultivo de plantas forestales y ornamentales en el Vivero Municipal.

En base a la problemática desarrollada sobre el título propuesto, se identificó el planteamiento del problema, para lo cual se ha definido el **problema general**: ¿Cómo el biochar de biomasa residual por pirolisis lenta sirve para la germinación y crecimiento del *Prosopis limensis* en el distrito de Cieneguilla?, además de haberse planteado los siguientes **problemas específicos**: ¿Cuál es la característica de la biomasa residual para la elaboración del biochar?; ¿Cuáles son las características físicas y químicas del biochar obtenido mediante la técnica de pirolisis lenta?; ¿Cuál es la concentración de biochar que genere la mejor respuesta en las plantas de *Prosopis limensis*?; ¿Cuáles son las características fenológicas de la germinación y crecimiento de las semillas de *Prosopis limensis* al biochar de biomasa residual por pirolisis lenta?; ¿Cuáles son los cambios en la concentración de carbono orgánico al inicio y al final de la siembra, relacionándolo con el secuestro de CO₂? .

Teniendo así que, la **justificación** de esta investigación es producir biochar de alta calidad a partir de residuos orgánicos y poder utilizarla como enmienda del suelo para mejorar la productividad de las plantaciones y siembras, especialmente en suelos contaminados y erosionados usando un cilindro cónico de fierro, simple pero ingenioso, que permitirá que cualquier persona en manejo de residuos sólidos municipales o en cualquier industria valore su biomasa residual produciendo biochar de alta calidad cerrando así el ciclo de producción y aplicando lo que se conoce como economía circular.

Por esta razón, se tiene que evaluar esta técnica de pirolisis lenta usando un horno cónico de techo abierto llamado Kon Tiki, es un horno de cortina de llama diseñado en Suiza en el año 2014, desde entonces se ha extendido su uso y conocimiento a nivel mundial para producir biochar (Schmidt y Taylor 2014a), este horno es de bajo costo a diferencia de los hornos tradicionales o de retorta por lo que puede ser implementado por cualquier municipalidad o agricultor que desee manejar sus residuos como una alternativa sustentable y limpia, ya que en los hornos de cortina de llama las emisiones de gases y aerosoles son relativamente bajas para el CO, NO_x, PIC (productos de combustión incompleta) y mayores cantidades de CO₂ (Cornelissen et al. 2016), analizando además su capacidad para el secuestro de carbono en el suelo, lo cual se relacionará con la reducción de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Con este proyecto ayudaremos a mitigar el impacto negativo generado por la inadecuada disposición de los residuos de maleza y poda, que si no son bien manejados darán paso a la formación de puntos críticos con enormes cúmulos de biomasa con alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina que tardarán mucho tiempo en degradarse, es por ello que con el aprovechamiento de estos residuos disminuirá los efectos negativos sobre el ambiente y se reincorporarán los nutrientes que aún conservan como productos de enmienda y fertilización del suelo, disminuyendo así el uso de fertilizantes químicos.

Por lo expuesto, se plantea el siguiente **objetivo general**: Evaluar el biochar de biomasa residual por pirolisis lenta para la germinación y crecimiento del *Prosopis limensis* en el distrito de Cieneguilla, los **objetivos específicos**: Evaluar las características de la biomasa residual en la elaboración del biochar;

analizar las características físicas y químicas del biochar obtenido mediante la técnica de pirólisis lenta; determinar la concentración de biochar que genere la mejor respuesta en las plantas de *Prosopis limensis*; determinar las características fenológicas de la germinación y crecimiento de las semillas de *Prosopis limensis* al biochar de biomasa residual por pirólisis lenta; evaluar el cambio en la concentración de carbono orgánico al inicio y al final de la siembra, relacionándolo con el secuestro de CO₂.

La **hipótesis general** de la investigación es: El biochar de biomasa residual por pirólisis lenta sirve para evaluar la germinación y crecimiento del *Prosopis limensis* en el distrito de Cieneguilla. Asimismo, las **hipótesis específicas** son: Las características de la biomasa residual permite la elaboración del biochar para la germinación y crecimiento del *Prosopis limensis*; las características físicas y químicas del biochar de biomasa residual por pirólisis lenta permite la germinación y crecimiento del *Prosopis limensis*; las concentraciones del biochar usado permiten establecer la mejor respuesta en las plantas de *Prosopis limensis*; las características fenológicas del *Prosopis limensis* permite la germinación y crecimiento de las semillas mediante el biochar de biomasa residual por pirólisis lenta; el cambio en la concentración de carbono orgánico al inicio y al final de la siembra permite relacionarlo con el secuestro de CO₂.

II. MARCO TEÓRICO

Para concretar este proyecto se tuvo que investigar trabajos de autores internacionales y nacionales para obtener un mayor conocimiento y entendimiento del título propuesto, que además nos permitió compararlos con los resultados que obtuvimos durante el presente estudio.

Para Escalante, A. *et al.* (2016), quienes realizaron la investigación: **“Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo”**, concluyen que la utilización del biochar es una técnica que ha confirmado da muchos beneficios al incorporarlo al suelo, como el aumento en su fertilidad debido a sus atributos de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, también tiene un alto potencial para coadyuvar a secuestrar carbono en el suelo. Lo más interesante es que se obtiene aprovechando los residuos de

labores agrícolas y cualquier otro tipo de biomasa residual, dándoles un valor agregado, por lo que su aplicación es muy económica y al contrario se obtiene mayor rentabilidad en las actividades agrícolas, semejante situación es con la retención de carbono y su mitigación de efectos negativos en el cambio climático y su viabilidad para obtener créditos de carbono.

En su artículo de investigación: **“Recent Insights into Lignocellulosic Biomass Pyrolysis: A Critical Review on Pretreatment, Characterization, and Products Upgrading”**, Echresh, Z.; Abdulkhani, A.; Aboelazayem, O. y Saha, B. (2020), explican como la técnica de pirólisis enfoca eficazmente la valorización de la biomasa residual, en especial de la lignocelulósica, obteniendo productos como bioaceites, que es la parte líquida que se obtiene de la pirólisis de biomasa residual. En este artículo nos comentan como esa biomasa residual lignocelulósica es un gran recurso con gran valor energético que se puede renovar y hacer sostenible para el Carbono que lo encontramos de libre disponibilidad en el ambiente. En esta investigación se hace un pretratamiento a la biomasa residual tanto físicos como químicos, y su influencia en la mejora de la obtención del producto. También explican los efectos sobre la eficiencia del proceso pirolítico, al usar como materia prima una biomasa bien caracterizada y así proporcionar bioaceites y biocarbones de alta calidad y de buen rendimiento.

En el trabajo de investigación: **“Vacuum pyrolysed biochar for soil amendment”**, Ashid, Y.; Khursheed, A.; Prithvi, S.; Vilas, G. y Aniruddha, P. (2016), con pasto Napier (*Pennisetum purpureum*) una biomasa lignocelulósica, concluyeron que el biochar obtenido de la pirolisis al vacío y añadido al suelo en sus ensayos con macetas aumentó el crecimiento de las plantas en términos de mayor peso de biomasa (en un 7% más alto con biochar al 0.1% p/p y 15% mayor con biochar al 0.25% p/p), con respecto al número de germinaciones de semillas resultó en un 35% más con adición de biochar al 0.1% p/p en comparación con el blanco y hasta 57% más al adicionar biochar al 0.25% p/p . En toda su investigación encontraron que las propiedades del biocarbón producido estaban acorde con las necesarias para que actúen como agente para la enmienda de suelos. El estudio también demostró que el

biocarbón de hierba Napier se puede aplicar a suelos ácidos para su enmienda y q es capaz de retener favorablemente nutrientes y agua debido a que el pH se elevó a 11.14 en comparación con el blanco.

Con respecto a la caracterización del biochar Pardavé, W.; Delvasto, P. y Sánchez, M. (2017) en su trabajo de investigación: **“Caracterización fisicoquímica y morfológica de dos muestras de biocarbón producidas mediante pirólisis de residuos de poda y jardinería”** encontraron diferencias significativas tanto morfológicas como fisicoquímicas al someter a Pirólisis dos muestras distintas de biomasa, pero del mismo lugar, provenientes de las áreas verdes de la Universidad de Santander, Colombia. La primera muestra con biomasa residual leñosa (poda de árboles) y la segunda con restos de gramíneas y hojarasca, ambos tipos de biocarbones fueron caracterizados mediante análisis próximo (% másico), encontrando que la Muestra 1 (3.26% humedad; 49.18% carbono fijo) tiene mayor porcentaje de humedad y carbono fijo que la muestra 2 (1.95%; 33.35%); el análisis químico último (CHN) determinó que la muestra 1 (67.66%) presenta mayor porcentaje másico de contenido de carbono fijo que la muestra 2 (55.40%). En relación a la cantidad de hidrógeno se evaluó que ambas muestras tienen cantidades similares de este elemento, alrededor del 3.5%. Para el contenido de nitrógeno los análisis muestran que el contenido de este elemento varía entre el 1 y 1.5% en peso, valores parecidos a los reportes de otros trabajos, siendo la primera muestra la que tiene la mayor cantidad. El análisis micro químico de las partículas de cenizas se hizo con microscopía electrónica de barrido acoplada con microanálisis químico por espectroscopia de energías dispersas de rayos X, encontrándose que el biochar de la primera muestra presenta más micronutrientes tales como Ca, Mg y P, mientras que la segunda muestra de biochar presenta mayor contenido de Si y Al que están presentes en biomásas de gramíneas, en cuanto a los contenidos de potasio, micronutriente importante para el suelo, muestran contenidos típicos cercanos al 3%. Por lo que, concluyen que el biochar obtenido con residuos leñosos (muestra 1) tuvo mayores proporciones de carbono fijo y cualidades más propicias para aplicarlas en fertilización de suelos ácidos con baja capacidad de retención de agua. El biochar obtenido con biomasa residual de hojas y gramíneas (muestra

2), mostró mayor contenido de cenizas estabilizadoras para los suelos y más cantidad de materia lábil, siendo más apropiado su aplicación para remediación de suelos afectados por la industria.

El biochar o biocarbón es un producto carbonoso estable que puede mezclarse con el suelo obtenido mediante técnicas de pirolisis. Hay diversas tecnologías de hornos para pirolisis, las tradicionales que normalmente producen carbón vegetal, son lentas y sin tratamiento de los gases, generando emisiones principalmente de metano y monóxido de carbono, además de aerosoles tóxicos q contribuyen con el aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera; y los hornos de retorta donde los gases de pirolisis son devueltos a una cámara de combustión, reduciendo las emisiones significativamente, pero son costosos y consumen una cantidad considerable de material de ignición para la puesta en marcha del horno. Para superar estos problemas es que Cornelissen, G. et al. (2016) en su investigación: ***“Emissions and Char Quality of Flame-Curtain “Kon Tiki” Kilns for Farmer-Scale Charcoal/Biochar Production”***, proponen un nuevo tipo de tecnología para superar estos inconvenientes, la pirolisis de cortina de llama Kon-Tiki, produciendo un biochar de buena calidad con alto contenido de C($76 \pm 9\%$ en peso), área superficial promedio de 11 a $215 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, alta Capacidad de Intercambio Catiónico de 43 a $217 \text{ cmol}_c/\text{kg}$, que está dentro del promedio para biocarbones de arbustos leñosos, los hornos de cortina de llama emitieron cantidades significativamente menores de CO, productos de combustión incompleta PIC (excepto CO_2) y NO_x que los hornos de retorta y tradicionales, pero mayores cantidades de CO_2 . La temperatura de pirolisis en estos hornos de cortina de llama promedia los 700°C , son más altas que las de tecnologías tradicionales o de retorta ($400 - 500^\circ\text{C}$) dando como resultado un biocarbón más poroso y condensado, por lo que, a mayor porosidad implica una inmovilización de contaminantes más fuerte y probablemente también una mayor retención de nutrientes. Concluyendo que, la pirolisis de cortina de llama Kon- Tiki es un nuevo tipo de tecnología de producción de biocarbón de bajo costo, es un horno que puede ser construido y utilizado fácilmente por cualquier persona, demostraron que la calidad del biocarbón producido a partir de diversas materias primas cumple con los estándares internacionales de calidad.

Adicionalmente demostraron que las emisiones de gases y aerosoles fueron muy bajas en comparación con todos los demás dispositivos tradicionales y de retorta.

Iglesias, S. (2018) en su tesis doctoral: ***“Aplicación de biochar a partir de biomasa residual de eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano”*** tenía por objetivo establecer la viabilidad del uso del biochar a través de dos métodos de pirolisis (lenta y rápida) validándolo con la producción de la siembra de maíz y los efectos que se da en el suelo como mejorador de sustrato y secuestrador de carbono, luego de determinar en laboratorio las características físicas y químicas de las dos clases de biochar, pruebas de germinación en semillas de maíz para determinar la dosis de aplicación en la siembra de maíz. Luego aplicó el biochar al suelo en forma de enmienda para determinar si el suelo era potencialmente más productivo, de forma general pudo concluir que encontró incremento en el rendimiento del maíz usando el biochar obtenido a partir de residuos de eucalipto. El mayor porcentaje de germinación lo logró con una dosis media de disolución de biochar agua, la dosis más elevada bajó el pH, lo que no resultó favorable para la germinación de las semillas, y el biochar solo produjo acidez a las muestras lo cual fue desfavorable para la germinación.

Con respecto a los macro elementos esenciales como fósforo y potasio requeridos por las plantas, los análisis de laboratorio indicaron que el porcentaje es mayor en la biomasa pirolizada, al igual que los micro elementos como el zinc, manganeso, hierro, boro y cobre. El porcentaje de carbono fue similar tanto para la biomasa pirolizada como para la biomasa sin pirolizar. En todos los análisis dio como resultado que los tratamientos con pirolisis rápida fueron mejor para el rendimiento de grano seco y su porcentaje de proteína, el índice de área foliar y en cuanto a la altura y diámetro de la planta. En cambio, la reserva y disponibilidad de nitrógeno en el suelo se incrementó en los tratamientos que se adicionó biochar obtenido de pirolisis lenta.

En referencia al pH del suelo, este se incrementó con la adición de biochar, lo cual demuestra que ayuda a compensar la acidez del suelo. El secuestro de carbono en el suelo se incrementó en todos los tratamientos con biochar en

comparación con los testigos. La variación en cuanto a la densidad aparente y porosidad del suelo también fue bastante notoria en el biochar obtenido a partir de pirolisis lenta de ramas.

También, Díaz, C. (2017) en su tesis de grado Magister en Gestión Ambiental **“Uso de biochar de acícula de pino (*Pinus pátula*) como enmienda de suelo negro andino (Andosol)”**, evaluó la cantidad necesaria de biochar para potenciar suelos para cultivo, utilizando acícula de *Pinus pátula* mediante el proceso de pirolisis lenta; se realizaron pruebas en 120 macetas por cada tratamiento, a los cuales se adicionó biochar en 2 y 4 gramos por cada 100 gr de suelo negro andino, los cuales fueron aplicados en especies vegetales de rápido crecimiento como el Cebollín (*Allium schoenoprasum*) que requiere suelos con pH 6 – 6.8, crecimiento máximo de 45 a 60 días y Nabo Repollo (*Brassica campestris*) que requiere suelos con pH 5.5 – 6.5 con crecimiento máximo de 70 – 90 días, resultando que el biochar obtenido tenía un pH alcalino de 8.9 por su composición orgánica y química estructural altamente resistente a la descomposición, por lo que recomienda su utilidad para retener carbono, además de su capacidad de retención hídrica y CIC entre otras cualidades que aportan mejoras fisicoquímicas del suelo. Por otro lado, el biochar incorporado a los Andosoles para formar diferentes sustratos no disminuyó la acidez del suelo, por el contrario, bajó de 4.9 a 4.4 y 4.5 de acuerdo a las concentraciones de biochar utilizado. Concluyendo que no toda materia seleccionada para la elaboración de biochar mejora la productividad agrícola.

Referente a la productividad del cultivo de Nabo, de acuerdo a los tratamientos establecidos (100+2.00gr – 100+4.00gr – C) los resultados indicaron que a los 30 y 45 días presentan un desarrollo similar en los diferentes tratamientos, a los 60 días hasta su madurez fisiológica el tratamiento de control presenta mayor desarrollo. De la productividad en el cultivo de cebollín, resultó que la mayor producción se obtuvo en la muestra de andosol 100gr+2gr (andosol+biochar), seguido de la muestra de 100gr+4.00gr (andosol+biochar) y con menor producción en el tratamiento control, concluyendo que los cultivos responden de forma muy variable al incorporarles biochar.

Como nos mencionan Forero, D. y Navarro, J. (2017), en su tesis de investigación: ***“Implementación de alternativa de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el proceso de pirolisis lenta para la obtención de materiales de uso agrícola”***, lograron consolidar un método alternativo para aprovechar los residuos orgánicos de una finca con la técnica de pirolisis lenta para obtener biochar (350 °C a 450 °C de Temperatura y 3 horas de tiempo de residencia) y usarlo como producto de enmienda, el cual fue evaluado a nivel fisicoquímico al igual que los suelos utilizados, incorporándolo como sustrato a cultivos de espinaca en una relación del 5% de biochar en referencia a la masa de la parcela utilizada. Según sus resultados obtenidos la producción de la siembra con biochar (0.73 Lb/m²) fue mayor en relación al área cultivada sin biochar (0.59 Lb/m²), es decir un 20% en el aumento en peso del cultivo, al igual que las plantas sembradas con biochar tenían mayor cantidad de hojas y de mejor color y tallos más cortos.

De esta manera se concluye que el uso del biochar como mejorador orgánico de suelo tiene múltiples variaciones en los nutrientes presentes en el suelo, formando los escenarios óptimos para el crecimiento de los cultivos, en el aspecto económico los ingresos por producción serán mayores. En cuanto a los impactos ambientales se registró el descenso en la generación de residuos sólidos. En cuanto al carbono orgánico los análisis físico químicos del suelo tras la aplicación de biochar, dieron como resultado el incremento entre un 2.94% a 4,48%, es decir la capacidad de adsorción y retención de carbono en el suelo aumentó, estos cambios se reflejaron en el cambio de textura del suelo que pasó de Franco a Limoso.

También, Herrera, E. et al. (2018), en su investigación sobre: ***“Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de Capparis scabrida (Sapote)”***, produjeron biocarbones a partir de tres diferentes biomásas residuales: exoesqueleto de langostino, coronta de maíz y cáscara de café, para estudiar su efectos en diferentes concentraciones (15% y 30% del peso del contenido en bolsas de 2 Kg) en pruebas de germinación y crecimiento de semillas de sapote, luego de caracterizar los biocarbones obtenidos determinaron que sus áreas

superficiales específicas variaban entre 81 a 569 m²/g, los biocarbones de coronta de maíz y café tenía una estructura micro mesoporosa, mientras que el obtenido de exoesqueleto de langostino manifestó estructura mesoporosa. Los biocarbones obtenidos de los tres tipos solo tuvieron influencia en el período de germinación, mientras que la concentración tuvo influencia en el aumento de masa de la parte aérea durante el desarrollo de las plántulas.

De igual forma, Huerta, A. (2019) en su tesis: ***“Influencia del biocarbón elaborado con residuos sólidos orgánicos sobre la calidad y producción del cultivo de la papa en el centro experimental ecológico de Tuyu Ruri, noviembre 2018 a abril 2019”***, en su investigación elaboró biocarbón en un horno pirolítico artesanal a partir de los desechos orgánicos domiciliarios, biomasa residual de eucalipto y estiércol de bovino, obteniendo así un biocarbón con una CIC ligeramente alta de 28.6 meq/100 gr, con una relación C/N del 24%, alta si la comparamos con otras investigaciones, para potenciar sus efectos el biocarbón fue activado química y biológicamente con H₃PO₄ y compost respectivamente, obteniendo así efectos muy benéficos en el cultivo de la papa al aplicar concentraciones al 5%, 10% y 15% en peso de los tratamientos, lo que se pudo evidenciar en distintos indicadores como la altura, diámetro de los tallos y estado fitosanitario de las plantas de papa en comparación con el cultivo sin tratamiento siendo más resistentes a enfermedades e incluso a la recuperación de las plantas a las plagas.

Como conclusión final encontraron que el porcentaje adecuado de biocarbón para optimizar la calidad y rendimiento del cultivo de papas fue del 10%, debido a los resultados obtenidos en cuanto al conteo y pesaje de papas obtenidas.

Mendoza, A. (2019) en su trabajo de tesis ***“Compost y biochar en la producción y calidad de vainita (Phaseolus vulgaris L.) cv. Jade en La Molina”***, evaluaron el efecto de sembrar con la aplicación de biocarbón, composta, mezcla de composta más biocarbón y el tratamiento control, en áreas diseñadas para la investigación con cuatro repeticiones y distribuidas al azar, resultando que con la proporción de floración, calidad del rendimiento del cultivo (características de la vainita como su diámetro y largo), materia seca (hojas, tallos y fruto) y las características del suelo como la conductividad

eléctrica y densidad aparente, no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos. En tanto que la calidad de producción el cual muestra el número de vainitas por kilo cosechado, mostró mejores resultados con el tratamiento de biochar, pero a la vez los frutos resultaron ser más pequeños. Con respecto al rendimiento total del cultivo fue el tratamiento con compost el que presentó menor rendimiento (6,2 Mg/ha) y el tratamiento con mejor rendimiento fue el que contenía biochar más compost con 10,1 Mg/ha.

Con respecto a las características del suelo, fue el pH el que tuvo sobresalientes diferencias significativas, donde se evidenció que el tratamiento con biochar afectó los valores hallados entre 7.35 y 8.34 de pH, lo cual era obvio debido a las cualidades físico químicas del biochar.

En conclusión, no hubo incremento en el rendimiento del cultivo con respecto a los tratamientos realizados comparados con el testigo. Tampoco las concentraciones y mezclas realizadas con biochar, compost y compost más biochar mejoraron la calidad de producción de las vainitas. Del mismo modo, las propiedades del suelo no mostraron diferencias significativas con el uso de los tratamientos y concentraciones propuestas.

Para nuestra investigación elegimos el Huarango (*Prosopis limensis*), una de las especies del género *Prosopis*, porque constituye un recurso forestal importante para los bosques secos del Perú y las zonas áridas de la costa peruana. Los bosques secos han sabido adaptar su existencia al aprovechamiento de las aguas subterráneas y la humedad atmosférica, entre ellos los “huarangales”. El árbol del huarango tiene un papel sociocultural y económico para la población costeña del sur del país, porque de su fruto se obtiene productos altamente nutritivos como harinas, café de huarango, huranguina, miel de abeja, las hojas sirven como forraje para crianza de animales, su madera dura es empleada para construcción y actualmente es convertido en carbón para todo tipo de restaurantes, especialmente las pollerías, así como también para la destilación del pisco (Whaley y Orellana 2010). El Huarango puede vivir hasta 1000 años, como por ejemplo el “Huarango Milenario” de Santa Cruz que se ha calculado tiene 1100 años de edad.

Según(Casana y Mathez-Stiefel 2011), en un artículo de revista de agroecología: **“Reforestando los bosques de huarango: una contribución a la restauración del paisaje cultural y natural de la costa peruana”**, el Huarango crece hasta 20 m de altura, el grosor de su tronco puede llegar a medir 2 m de diámetro, su raíz pivotante pueden medir hasta 70 m para obtener agua del subsuelo y sus raíces secundarias o superficiales capturan el agua de la niebla y sus ramas captan cada gota de rocío, a medida que envejece se va reclinando y engrosando su tronco y cuando las ramas llegan al suelo se entierran y brotan del suelo nuevos árboles, es por eso que la población le dice: el árbol que camina, y efectivamente así ha sido por miles de años, los árboles madres han sido destruidos y sus hijos, los nuevos arbolitos sobreviven con sus propios sistemas de raíces, como si crecieran por encima del suelo.

Actualmente la mayor parte de los bosques de huarango han sido deforestados, por lo que es urgente restaurarlos, solo quedan pequeños relictos que se mantienen por regeneración natural o cuando hay eventos naturales como el fenómeno de El Niño, por lo que se encuentra categorizada como especie **En Peligro**, de acuerdo al **Decreto Supremo N° 043-2006-AG: Aprueban Categorización de Especies Amenazadas de Flora Silvestre**, en el que se clasifica a aquellas especies amenazadas de la flora silvestre.

Es por ello que, como una contribución de nuestro proyecto de investigación a la conservación del huarango es obtener biochar a partir de residuos de maleza y poda, y evaluar con distintas concentraciones en sustratos la mejor respuesta para su germinación y calidad de plántulas de esta especie forestal en peligro crítico y así poder recuperar su población.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Esta investigación es del tipo cuantitativo debido a que recogimos y anotamos los resultados de manera secuencial y probatorio para demostrar las hipótesis, determinar variables, analizar las mediciones obtenidas con métodos estadísticos, para luego formar conclusiones con respecto a las hipótesis planteadas (Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, y Pilar Baptista Lucio 2010, p. 4).

El diseño de nuestra investigación es del tipo experimental porque manipulamos intencionalmente las variables independientes y medimos las dependientes para los que conformamos grupos con las variables elegidas al azar (Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, y Pilar Baptista Lucio 2010).

3.2. Variables y operacionalización

Las variables de la investigación están detalladas en el Anexo 3, donde también se muestra su operacionalización.

Variables:

Independiente: Biochar de biomasa residual

El biochar, es un carbón vegetal, por lo mismo, también se le llama biocarbón, y la finalidad de su obtención es optimizar las propiedades físicas y químicas del suelo (Lehmann y Joseph 2009). La enmienda del suelo con biochar nace como un enfoque para mitigar el cambio climático (Woolf et al. 2010) y mejorar la producción de cultivos (Glaser, Lehmann y Zech 2002). Cuando se mezcla con el suelo, el biochar puede ser capaz de mejorar el crecimiento de las plantas y alterar las propiedades del suelo (Githinji 2013) (Herath, Camps-Arbestain y Hedley 2013) como también la disponibilidad de nutrientes.

Dependiente: Germinación y crecimiento de semillas de *Prosopis limensis*.

La germinación comienza cuando la semilla seca es hidratada, llamada embebecimiento y culmina cuando el eje embrionario o la radícula atraviesan

la membrana que los envuelve, llamada emergencia(Matilla 2008, p. 15), luego la semilla se transforma en plántula donde ya será capaz de sobrevivir por sí misma (Suárez y Melgarejo 2010).

Operacionalización (véase en el Anexo 4)

- **Variable Independiente:** Biochar
- **Variable Dependiente:** Germinación y crecimiento de semillas

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

La población fue toda la biomasa residual de maleza y poda que resulta de los trabajos de mantención de las áreas verdes del distrito de Cieneguilla.

Muestra

La muestra fue recolectada de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos Municipales del distrito de Cieneguilla, que se encuentra ubicado entre la Calle Puente y la Av. Malecón Lurín.

Muestreo

Para el muestreo primero se tuvo que obtener una muestra representativa de la biomasa residual de la Planta de Valorización y mediante el proceso de pirolisis lenta obtuvimos el biochar que usaremos como producto de enmienda en la investigación.

Unidad muestral:

La unidad muestral fue de 1 kg de biochar para el estudio de sus características física y químicas. Y de 45 kg para añadirlo al sustrato en sus diferentes concentraciones y tratamientos.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Utilizamos más de una técnica e instrumento para recolectar nuestros datos, que nos ayudó a establecer la validez de los resultados, las que detallamos en la Tabla 1:

Tabla 1: Técnicas e instrumentos para el Trabajo de investigación

Etapa / Actividad	Medio	Técnica	Instrumento	Resultado
Recolección de muestras de biomasa residual (maleza y poda)	Planta de Valorización de Residuos Orgánicos de Cieneguilla	Observación	Ficha de caracterización física y química de biomasa residual	Determinación física y química de los residuos de maleza y poda.
Obtención del biochar	Reactor pirolítico Métodos de análisis del laboratorio.	Observación	Ficha de caracterización física y química de biochar	Determinación de características físicas y químicas del biochar
Recolección de semillas de <i>Prosopis limensis</i> (huarango) Elaboración de sustrato y siembra de semillas forestales Pruebas de germinación y desarrollo de plántulas	Parque Ecológico Waldorf de Cieneguilla Vivero Municipal de Cieneguilla	Observación	Ficha Fenológica de Germinación y Crecimiento de Semillas de <i>Prosopis limensis</i> con aplicación de biochar	Obtención de semillas en buen estado para su germinación Obtención de unidades experimentales Porcentaje de germinación y crecimiento de plántulas
Evaluación de carbono orgánico en el suelo	Vivero Municipal	Observación	Ficha de contenido orgánico del suelo (antes, durante y después de la siembra)	Contenido de Carbono orgánico en el suelo

Fuente: Elaboración de los autores

A continuación, en la Tabla 2, presentamos a los tres expertos analistas, investigadores de la propuesta del problema del proyecto de investigación, quienes dieron validez y confiabilidad de los instrumentos. Se adjuntan fichas en Anexo 5.

Tabla 2: Expertos que validarán los instrumentos

N°	Expertos	Especialidad	C.I.P.
1	Ordoñez Gálvez, Juan Julio	Hidrólogo Ambiental	89972
2	Castañeda Rodríguez, Wilson	Ing. Químico	34417
3	Baltazar Vela, Oscar	Ing. Forestal	135177

Fuente: Elaboración de los autores

La Tabla 3, muestra la calificación en porcentaje a la validación de los instrumentos de investigación de cada experto. Con más detalle en Anexo 6:

Tabla 3: Validación de los instrumentos por cada experto

N°	Instrumento	Expertos		
		Porcentaje de Validación %		
		Ordoñez Gálvez, Juan Julio	Castañeda Rodríguez, Wilson	Baltazar Vela, Oscar
1	Ficha de ubicación	90.00	92.1	87.6
2	Ficha de caracterización física y química de biomasa residual			
3	Ficha de caracterización física y química de biochar			
4	Ficha Fenológica de Germinación y Crecimiento de Semillas de <i>Prosopis limensis</i> con aplicación de biochar			
5	Ficha de contenido orgánico del suelo			
Promedio Total de validación		89.9		

Fuente: Elaboración de los autores

3.5. Procedimientos

El proyecto de investigación se realizó en seis etapas que se indica en la Figura 1:

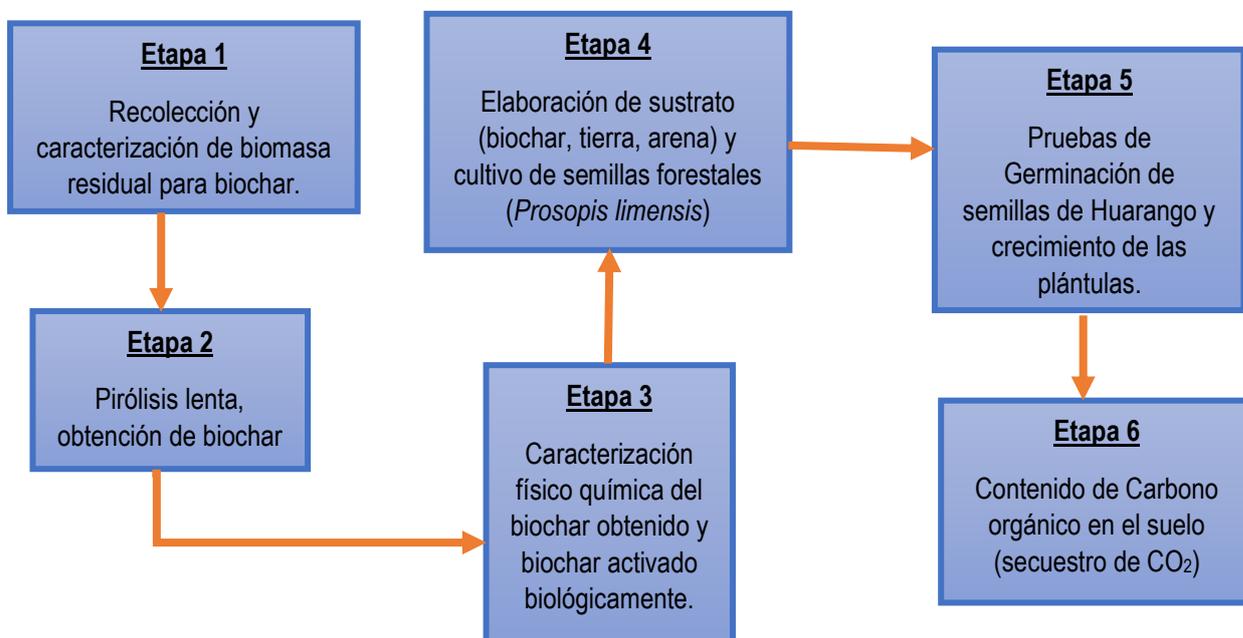


Figura 1: Diagrama general del Proyecto de Investigación

3.5.1. Etapa 1: Recolección y caracterización de biomasa residual

Las muestras de biomasa residual se obtuvieron de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos Municipales del distrito de Cieneguilla, provincia y departamento de Lima (Figura 2 y Tabla 4), en el valle costero de la Cuenca del Río Lurín y que colinda con el Vivero Municipal:



Fuente: Imagen Satelital obtenida de Google Earth 2018

Figura 2: Ubicación de Planta de Valorización de Cieneguilla

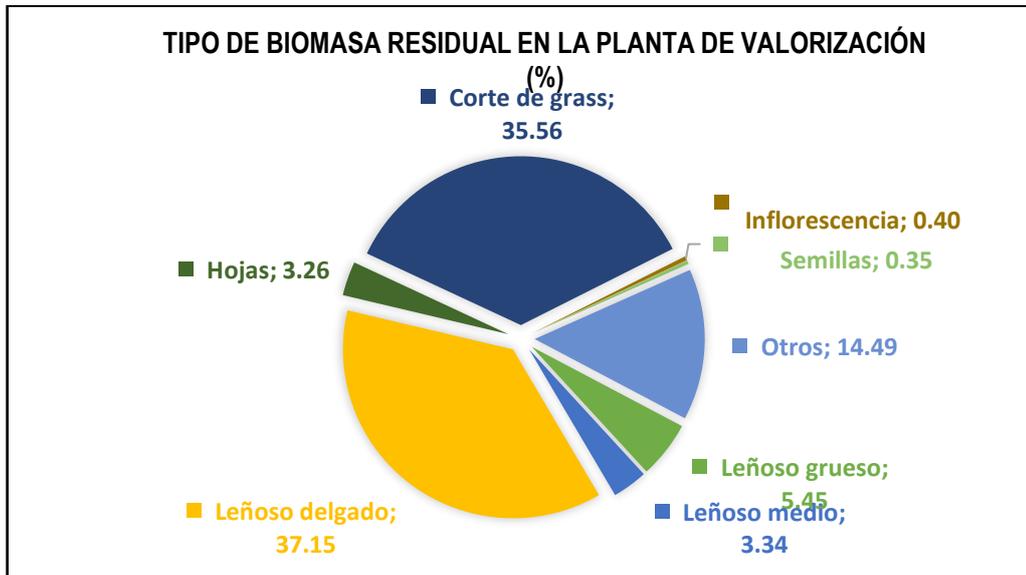
Tabla 4: Ubicación geográfica de la Planta de Valorización de Cieneguilla

Nombre	Coordenadas UTM		Altitud m.s.n.m.	Referencia
	Este	Norte		
Planta de Valorización de Residuos Orgánicos Municipales de Cieneguilla	302152	8658666	245	Vivero Municipal (entre Calle Puente y Av. Malecón Lurín)

Fuente: Elaboración de los autores

Del mantenimiento y gestión de las áreas verdes públicas y privadas se generan restos de poda y maleza los que son depositados en los puntos temporales de acopio de maleza designados por la Municipalidad, para luego ser trasladados a la Planta de Valorización, mensualmente se reciben entre 10 a 30 toneladas de biomasa residual (Municipalidad Distrital de Cieneguilla 2020). La Figura 3, muestra la clasificación por tipo de biomasa residual que llega hasta la Planta de

Valorización de Residuos Orgánicos Municipales, como producto del trabajo y cuidado de las áreas verdes del distrito:



Fuente: Gerencia de Servicios a La Ciudad y Medio Ambiente: Reporte de Control de Recolección de Residuos Sólidos Orgánicos - Actividad 2, Meta 3, P.I. Municipales, 2020

Figura 3: Tipo de biomasa residual que llega a la Planta de Valorización

Con esta biomasa (Figura 4), se conforman pilas de compostaje, cada pila está conformada aproximadamente por 8 toneladas de biomasa que tardarán unos 4 meses en degradarse y transformarse en un compost maduro y listo para ser usado como mejorador de suelo en las áreas verdes y vivero municipal del distrito.



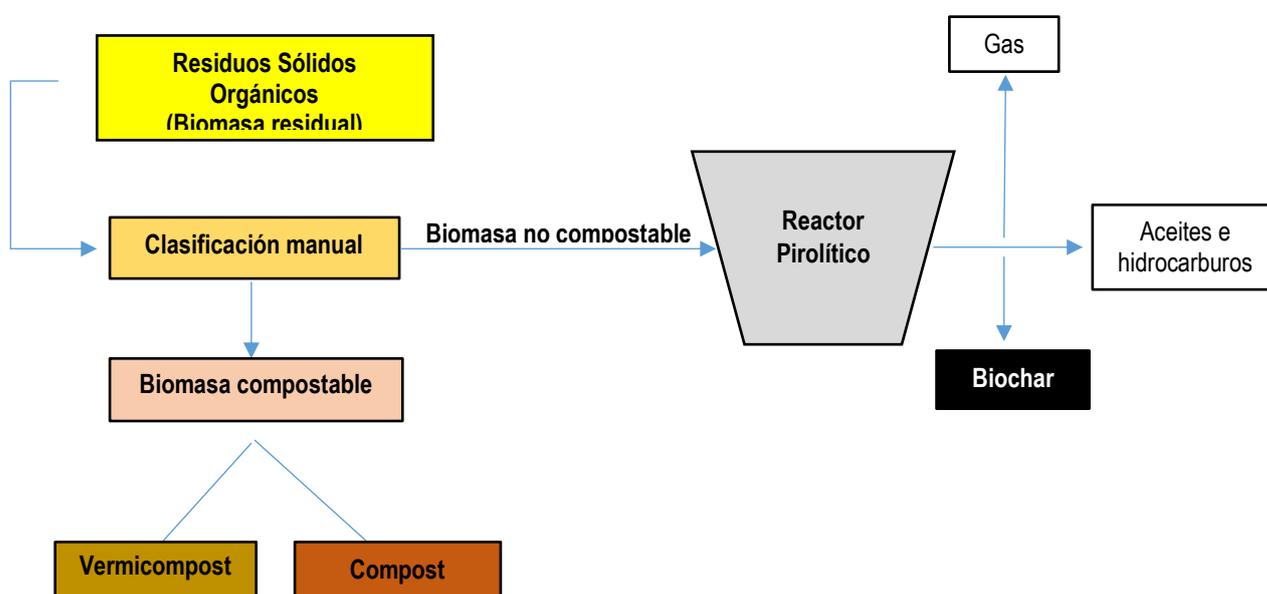
Figura 4: Biomasa residual de la Planta de Valorización

El sistema de compostaje que se realiza es totalmente manual con la colaboración de tres a cuatro operarios por día para las labores de selección, formación, volteo, humedecimiento y cosecha de las pilas de compost, además de compartir sus labores con las tareas propias de un Vivero Municipal. En ese sentido, hay un gran excedente en volumen de ramas (leñoso medio y delgado), troncos (leñoso grueso) y otras partes duras con alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina que llegan hasta la planta como se muestra en la Figura 5:



Figura 5: Labores de volteo y selección manual de biomasa no compostable

A continuación, en la Figura 6, mostramos el esquema de la implementación de la alternativa de valorización de biomasa residual no compostable, a través de la técnica de pirólisis lenta para obtener biochar:



Fuente: Elaboración de los autores

Figura 6: Diagrama de flujo general de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos Municipales de Cieneguilla

La caracterización de la biomasa residual no compostable para la producción del biochar, se realizó con una muestra representativa a la que se le pesó, se clasificó por especies, cada sub grupo se pesó para obtener el valor en porcentaje que representa en la Planta de Valorización (Figura 7).



Figura 7: Caracterización de biomasa residual de la Planta de Valorización de Cieneguilla

3.5.2. Etapa 2: Pirólisis Lenta: Obtención de biochar

El proceso para la producción y obtención de biochar en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos de Cieneguilla, es con un reactor pirolítico de techo abierto, de forma cónica, conocido también como la técnica de pirolisis lenta de cortina de llama, que produce un biochar de buena calidad, en cantidades grandes, poco tiempo y a poco costo. Este prototipo de reactor pirolítico (Figura 8) de oxígeno controlado es un modelo simple, barato y se puede adecuar a cualquier lugar y proyecto, está fabricado de una plancha de fierro de 3 mm, utiliza la biomasa para producir su propia energía y así generar la combustión. Se tiene que mencionar que en este reactor no se puede controlar la temperatura de forma automática, ya que como se indicó este horno no necesita un agente externo para la combustión. Su capacidad para pirolizar es de hasta 300 kg por vez, en 3 horas aproximadas.



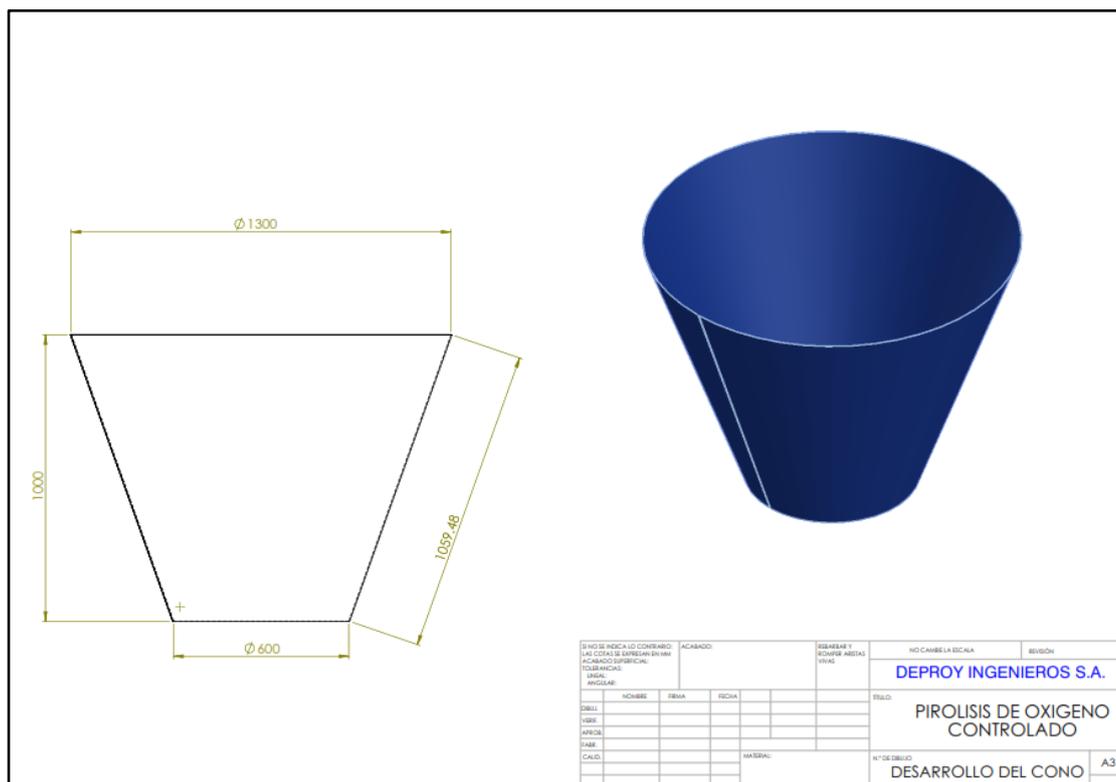
Figura 8: Reactor pirolítico de la Planta de Valorización de Cieneguilla

En la Figura 9, se aprecia cuando el horno alcanza su temperatura óptima de trabajo, entre 650 °C a 700 °C, casi no se ven humos y la combustión se hace estable, el anillo protector que se agrega al horno y que sobrepasa al borde del horno en unos 10 cm evita que el aire frío del ambiente entre directamente al horno, al contrario, el anillo proporciona un precalentamiento del aire evitando que los humos y el fuego salgan por los laterales del reactor, también evita que las paredes del horno se enfríen con viento exterior y por último el anillo evita que el personal a cargo del pirolizado sufra de quemaduras, ya que el anillo no calienta a más de 60°C.



Figura 9: Horno pirolítico con anillo protector a temperatura óptima de trabajo (650°C – 700°C).

El horno tiene un diámetro mayor de 1,30 m, diámetro menor de 0,60 m, altura de 1,00 m y un ángulo de inclinación de 63° (Figura 10), su forma cónica hace que el biochar resultante se compacte y forme esa cortina de llama consistente en la parte superior del horno y como consecuencia poca presencia de oxígeno, las paredes de hierro irradian el calor de la pirólisis y como consecuencia la distribución uniforme de la temperatura en todo el horno, dando como resultado un biochar homogéneo y de buena calidad.



Fuente: **DEPROY INGENIEROS S.A.**

Figura 10: Plano del reactor pirólítico de la Planta de Valorización

El proceso comienza encendiendo un poco de maleza fina y seca como ichu y ramitas delgadas en el fondo del horno, con el fuego ardiendo se genera un flujo de aire que se eleva por las paredes inclinadas del horno, en ese momento y cuando se forma una llama constante se agrega la primera carga regular de biomasa, entonces formamos una primera capa pareja en el fondo del reactor, pero no muy gruesa, después de uno 10 minutos la biomasa se recubre con ceniza blanca, indicándonos que el material para biochar ha logrado la temperatura para pirólisis (Figura 11).



Figura 11: Inicio del proceso de pirólisis

Con la primera capa recubierta de ceniza blanca (Figura 12c), se agrega la segunda carga de biomasa asegurando así la llama constante sobre lo que se debe pirolizar consumiendo oxígeno por convección y quemando los humos, cuidando así el carbón y realizando una quema limpia. Repetimos este proceso cada diez minutos en promedio hasta unos 10 cm debajo del borde del horno (Figura 12d), para asegurar una carbonización homogénea, para la última capa procuramos echar ramas delgadas y pequeñas de lo contrario la biomasa final no será carbonizada en forma completa y puede generar exceso de cenizas.



Figura 12: a) y b) Pesado de biomasa para Pirólisis. c) Momento en que la capa superior de biomasa se cubre con ceniza blanquecina, es el momento propicio para agregar la siguiente carga. d) Se deja como mínimo 10 cm debajo del borde superior del horno pirolítico para una buena carbonización de la biomasa.

Con este tipo de horno pirolítico se requiere el trabajo de al menos una persona para incorporar manualmente las cargas de biomasa al reactor, la cual no necesita que sea de un mismo tamaño o especie, puede ingresar biomasa gruesa sin picar de hasta 1.20 m de largo, poda fresca, leño verde, pero eso sí, el tiempo de carbonización se alarga en comparación si usamos biomasa seca y de pequeño tamaño. Para finalizar la pirólisis, se retira el anillo del cilindro (Figura 13a) y se voltea para retirar el biochar obtenido (Figura 13b), el enfriamiento lo hacemos con agua que fluye por una manguera que en contacto con el biochar produce vapor de agua (Figura 13c), el enfriamiento es lento y hasta observar que no haya brasa viva o carbón incandescente, luego se pesa para ver el rendimiento del proceso y la cantidad de biochar obtenido (Figura 13d).



Figura 13: a) Retiro del anillo del horno. b) Volteo del horno para enfriar biochar. c) Enfriamiento de biochar. d) Biochar obtenido mediante la técnica de pirólisis lenta.

Como resultado obtuvimos un biochar aparentemente de buena calidad y con alta temperatura, siendo adecuado para incorporarlo a las pilas de compostaje (Figura 14a), como sustrato en el Vivero Municipal (Figura 14b) y en las unidades experimentales de nuestra tesis.

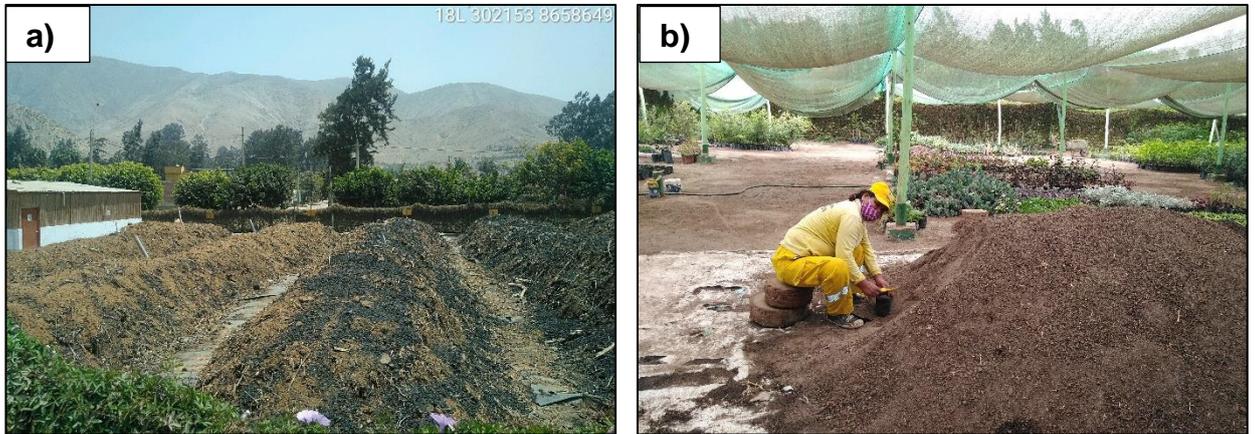


Figura 14: a) Biochar incorporado desde el principio del compostaje, Biochar activado biológicamente. b) Biochar añadido al sustrato de plantas forestales y ornamentales.

3.5.3. Etapa 3: Caracterización físico química del biochar obtenido.

El biochar que se obtuvo por pirólisis lenta (Figura 15a) y el biochar activado (Figura 15b), se caracterizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Agraria La Molina, los parámetros analizados fueron: Conductividad eléctrica, pH, Humedad (%), Capacidad de Intercambio Catiónico, Carbono Orgánico (%), N, P, K, Ca, Mg, Na, He, Cu, Zn, Mn, B, Pb, Cd, Cr, entre otros.



Figura 15: a) Muestra de biochar obtenido por pirólisis lenta. b) Muestra de biochar activado en pila de compostaje por 4 meses.

3.5.4. Etapa 4: Elaboración del sustrato y cultivo de semillas forestales

a.- Recolección de semillas de *Prosopis limensis*:

Las semillas de *Prosopis limensis* se obtuvieron de los frutos secos caídos al suelo de los árboles de Huarango del Parque Waldorf, ubicado en la Tercera Etapa del Distrito de Cieneguilla (Figura 16). Los frutos son una legumbre (vaina) de color amarillo parduzco, de forma semicurvada, de 8 cm de largo por 1 cm de ancho en promedio, cada fruto o vaina alberga de 10 a 12 semillitas de color pardo de 0.5 cm de diámetro en promedio y de tegumento duro.



Figura 16: Obtención de semillas de *Prosopis limensis*, Parque Waldorf - Cieneguilla

La extracción de semillitas se hizo de forma manual, evitando causarles daño (Figura 17a), se separó en un recipiente y se remojaron con agua a temperatura ambiente por 24 horas antes de sembrarlas (Figura 17b), este método ancestral de hidratación de las semillas asegura y acelera

un mayor porcentaje de germinación, ya que ablanda la cutícula de la semilla y lavamos algunas sustancias que puedan inhibir la germinación. Las semillas que quedaron flotando después del remojo se descartaron, ya que estas no dan buenas plantas o no germinan. Antes del ensayo de experimentación se realizó una prueba de viabilidad de germinación con algunas semillas en las camas de almácigo del Vivero Municipal, resultando que germinaron en un promedio de 5 días, por lo que se procedió con el diseño experimental de la tesis al considerarlas viables.

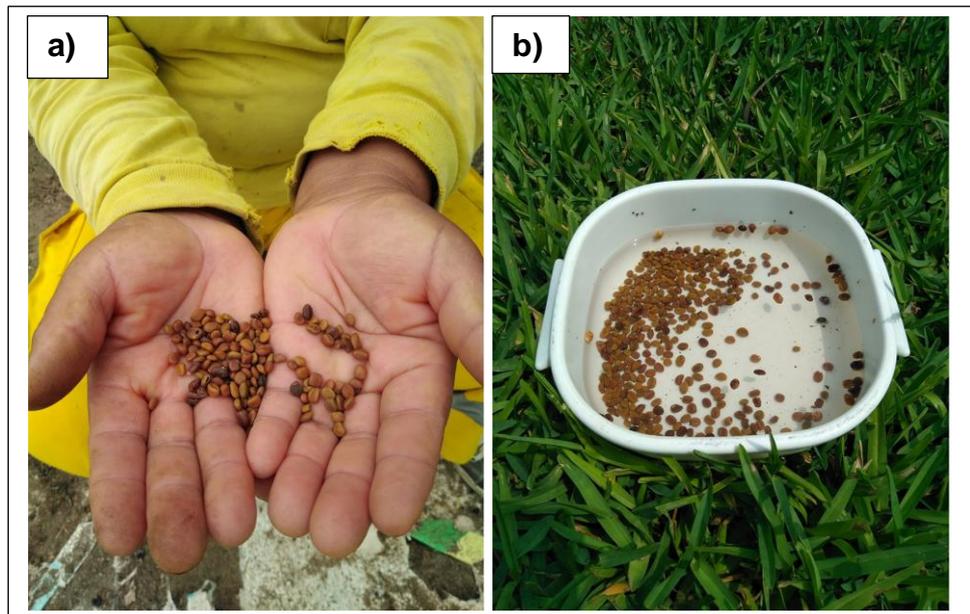


Figura 17: a) Semillas de *Prosopis limensis*. b) Hidratación de semillas para acelerar la germinación.

b.- Preparación del sustrato:

El sustrato se elaboró a base de arena del río Lurín (Figura 18a) más tierra de chacra de la zona (Figura 18b), se homogeneizó una mezcla de 210 kg de sustrato, con proporciones de 2 de tierra por 1 de arena, es decir, utilizamos 140 kg de tierra (67%) y 70 kg de arena (33%) (Figura 18c), con esta mezcla se prepararon los tratamientos: sustrato solo como control y mezclas volumétricas de sustrato más biochar recién obtenido (Figura 19a) y sustrato más biochar activado biológicamente en pilas de compostaje (Figura 19b). Luego llenamos estos tratamientos en bolsas negras de almácigo de 20 x 15 cm (Figura 19c).



Figura 18: a) Arena del Río Lurín. b) Tierra de chacra de la zona. c) Mezcla homogénea de tierra más arena para sustrato de ensayo experimental.



Figura 19: a) Preparación de tratamientos: Biochar recién obtenido. b) Biochar activado. c) Mezcla en sustrato para llenar en bolsas de almácigo

Previo a las pruebas de germinación se tomó una muestra de 1 kg del sustrato solo (Figura 20), usado como control para mandarlo al laboratorio y realizarle los análisis físicos y químicos, sobre todo la de evaluación de carbono orgánico en el suelo.



Figura 20: Muestra de sustrato (arena de río más tierra) para prueba en laboratorio

c.- Tratamientos utilizados

Partiendo del sustrato preparado para la prueba de germinación utilizamos tres tratamientos, como se muestra en la Tabla 5. Los tratamientos fueron sustrato más biochar, sustrato más biochar activado y sustrato solo usado como tratamiento control. Las concentraciones de biochar recién obtenido y biochar activado fueron al 0%_{wt}, 10%_{wt}, 20%_{wt}, 30%_{wt}, con 15 repeticiones por cada tratamiento.

Tabla 5: Descripción de los tratamientos y concentraciones utilizados:

Tratamientos	Abreviatura	Concent. de biochar en el sustrato %w	Código	Nro. Repet.
Sustrato (tierra + arena)	C	0%	T1	15
Sustrato + biochar	S+B	10%	T2	15
		20%	T3	15
		30%	T4	15
Sustrato + biochar activado	S+BA	10%	T5	15
		20%	T6	15
		30%	T7	15

Elaboración: propia de los autores

d.- Diseño experimental

Realizamos siete tratamientos y quince repeticiones por cada tratamiento, formando en total de 105 unidades experimentales (Figura 21). Las unidades experimentales fueron distribuidas siguiendo un diseño completamente al azar con 7 tratamientos y 15 repeticiones.

La Tabla 6 representa el diseño completamente al azar que aplicamos para la siembra de semillas de Huarango (*Prosopis limensis*). Con los tratamientos listos, se echaron en bolsas negras de almácigo, señaladas con un código, por tipo de tratamiento y concentración porcentual de biochar.

Tabla 6: Distribución de los tratamientos en 105 unidades experimentales

Diseño experimental para siembra de <i>Prosopis limensis</i>						
Ubicación de los tratamientos						
T3 R3	T1 R1	T5 R1	T3 R1	T6 R1	T4 R1	T7 R1
T4 R2	T2 R2	T5 R2	T3 R2	T6 R2	T1 R2	T7 R2
T2 R1	T6 R3	T1 R3	T5 R3	T2 R3	T4 R3	T7 R3
T1 R4	T2 R4	T5 R4	T3 R4	T6 R4	T7 R4	T4 R4
T7 R5	T2 R5	T5 R5	T3 R5	T6 R5	T4 R5	T1 R5
T3 R6	T6 R6	T2 R6	T7 R6	T1 R9	T5 R6	T4 R6
T1 R6	T6 R7	T4 R7	T7 R7	T2 R7	T5 R7	T3 R7
T3 R8	T2 R8	T1 R7	T7 R8	T7 R8	T5 R8	T4 R8
T3 R9	T6 R9	T4 R9	T1 R8	T2 R9	T5 R9	T7 R9
T3 R10	T6 R10	T4 R10	T7 R10	T2 R10	T1 R10	T5 R10
T7 R11	T2 R11	T6 R11	T3 R11	T4 R11	T1 R11	T6 R15
T7 R12	T1 R12	T6 R12	T3 R12	T4 R12	T5 R12	T2 R12
T7 R13	T2 R13	T6 R13	T1 R13	T4 R13	T5 R13	T3 R13
T3 R14	T2 R14	T1 R14	T7 R14	T4 R14	T5 R14	T6 R14
T7 R15	T2 R15	T5 R11	T3 R15	T1 R15	T5 R15	T4 R15

Elaboración: propia de los autores



Figura 21: Montaje del diseño experimental en bolsas de almácigo con mezclas de sustrato y biochar para siembra de *Prosopis limensis*.

e.- Montaje del diseño experimental

La prueba de experimentación antes de la siembra comenzó la última semana de diciembre del 2020 en el Vivero Municipal de Cieneguilla.

El procedimiento fue así: Primero pesamos la cantidad necesaria de sustrato para cada tipo de tratamiento y se echó dentro de una carretilla. A continuación, se añadió a la carretilla la cantidad de tipo de biochar correspondiente a cada tratamiento, y para conseguir una buena mezcla, homogénea, se voltearon varias veces (Figura 22a).

Finalmente, el 31 de diciembre del 2020, en cada bolsa de almácigo se depositaron dos semillas de *Prosopis limensis* con 2 000 gramos de la mezcla a cada uno de las 105 unidades experimentales (Figura 22b). Las bolsas se colocaron al azar sobre el suelo y sin cubierta, las que permanecieron en condiciones ambientales.



Figura 22: a) Preparación de unidades experimentales por cada tratamiento. b) Siembra de semillas en bolsas de almácigo para prueba de germinación.

En la Tabla 7, se describe la cantidad de sustrato y biochar usado en cada tratamiento:

Tabla 7: Cantidades de sustrato más biochar usado en cada tratamiento

Tratamientos	Cantidad en el sustrato %w	Peso sustrato g	Peso biochar g	Código	Repet.	Cant. Total de Sustrato g	Cant. Total de Biochar g
Sustrato (tierra + arena)	0%	2 000	0	T1	15	30 000	0
Sustrato + biochar	10%	1 800	200	T2	15	27 000	3 000
	20%	1 600	400	T3	15	24 000	6 000
	30%	1 400	600	T4	15	21 000	9 000
Sustrato + biochar activado	10%	1 800	200	T5	15	27 000	3 000
	20%	1 600	400	T6	15	24 000	6 000
	30%	1 400	600	T7	15	21 000	9 000
Total						174 000	36 000

Elaboración: propia de los autores

3.5.5. Etapa 5: Pruebas de Germinación de semillas de Huarango y crecimiento de las plántulas

Estas pruebas las realizamos en el Vivero Municipal, donde se evaluaron las respuestas de las semillas ante el biochar obtenido por pirólisis lenta,

el objetivo de estas pruebas de germinación fue determinar su efecto ante la adición de biochar recién obtenido y biochar activado biológicamente, para establecer la concentración más adecuada para la producción de plántones de Huarango.

Los parámetros que medimos para evaluar la germinación de semillas de la especie *Prosopis limensis*, fueron el número de días hasta el inicio de la germinación y el porcentaje de germinación. Se evaluó también su crecimiento a través de la longitud y materia seca.

a.- Semillas utilizadas

Para este ensayo, se emplearon semillas de *Prosopis limensis* (Huarango) obtenidas de los frutos caídos al suelo de los árboles ubicados en el Parque Waldorf de Cieneguilla. Utilizamos la cantidad de 210 semillas en total, 2 por unidad experimental.

Las semillas se colocaron manualmente en las bolsas de almácigo, a una profundidad de siembra de 3,5 cm (Figura 23).



Figura 23: Colocación de semillas de *Prosopis limensis*.

b.- Pruebas de viabilidad de germinación

Realizamos una prueba de viabilidad de germinación con algunas semillas en las camas de almácigo del Vivero Municipal sin ningún

tratamiento, solo los hidratamos con agua del vivero por 24 horas, resultando que germinaron en un promedio de 5 días, por lo que se procedió con el diseño experimental de la tesis al considerarlas viables.

c.- Condiciones climáticas durante la investigación

Durante el tiempo que se realizó la investigación, Cieneguilla registró temperaturas promedio de 23 °C, según datos obtenidos de la Estación Von Humboldt de la web de SENAMHI. De igual forma, la humedad relativa promedio fue de 71.3 %.

La etapa de pruebas de germinación y crecimiento de semillas de *Prosopis limensis* tuvo una duración de 50 días, comprendido desde el 31 de diciembre del 2020 hasta el 19 de febrero del 2021. La Tabla 8 muestra los datos meteorológicos de temperatura y humedad resumidos por semana durante esta etapa.

Tabla 8: Datos de temperatura y humedad relativa en Cieneguilla, durante la etapa de pruebas de germinación de semillas de *Prosopis limensis*.

Mes	Semana	Tem. Media °C	Tem. Max. °C	Tem. Min °C	Humedad Relativa (%)
Enero	1	22.7	26.8	18.7	74.8
	2	22.9	27.2	18.5	75.6
	3	22.3	26.6	18.0	76.0
	4	23.2	27.7	18.6	72.8
	5	23.5	28.9	18.0	68.3
Febrero	6	22.9	27.9	17.9	63.0
	7	22.9	27.5	18.3	71.8
	8	23.8	29.7	17.9	68.0

Fuente: Estación Meteorológica Automática Von Humboldt (Lima, Lima, La Molina)
 Lat.12°4'55.95" S Long. 76°56'21.52" O. Alt. 247 msnm.
 SENAMHI

d.- Germinación de semillas y variables tomadas

Se sembró las semillas de huarango el día 31 de diciembre del 2020, ese mismo día se realizó el primer riego hasta alcanzar su capacidad de campo. Se pusieron dos semillas por bolsa, y, a los 15 días se realizó el raleo, dejando en la bolsa la que germinó primero y embolsando en otra

bolsa (fuera del estudio) de almácigo la otra para que siga desarrollándose el plantoncito de *Prosopis limensis*.

A todas las unidades experimentales se les proporcionó la misma cantidad de agua de pozo subterráneo que se usa en el Vivero Municipal, de acuerdo a la capacidad de campo de las bolsas de almácigo, según mostramos en la Tabla 9 y Figura 24.

Tabla 9: Distribución del riego durante las pruebas de germinación y crecimiento

Fecha	N° de riego	Volumen (ml)
31-12-20	1er. riego	750
06-01-21	2do. riego	600
11-01-21	3er. riego	500
16-01-21	4to. riego	500
21-01-21	5to. riego	500
26-01-21	6to. riego	500
30-01-21	7mo. riego	500
03-02-21	8vo. riego	500
08-02-21	9no. riego	500
12-02-21	10mo. riego	500
17-02-21	11vo. riego	500

Fuente: Elaboración propia



Figura 24: Riego de plántulas durante pruebas de germinación

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

- **Porcentaje de germinación**

Se consideró semilla germinada cuando la radícula alcanzó una emergencia de 2 mm de longitud. Luego de hacer un conteo visual se anotó el número de plántulas germinadas en cada unidad experimental.

Se anotó diariamente desde el siguiente día de la siembra hasta el último día de obtención de datos finales de germinación (30 días después de la siembra).

- **Altura (elongación) de planta (cm)**

Se tomaron datos de la altura de las plántulas al último día (a los cincuenta días) del experimento, desde el cuello del tallo hasta la altura (cm) de la pinna mayor, sin extenderlas.

- **Longitud de raíz (cm)**

Se tomó el dato el día final del experimento (cincuenta días) a las raíces de los plantones por cada tratamiento.

- **Cantidad de pinnas o peciolo**

Se tomó el dato el día final del experimento (cincuenta días) a la cantidad de pinnas, peciolo o nudos de los plantones por cada tratamiento.

3.5.6. Etapa 6: Contenido de Carbono orgánico en el suelo (adsorción de CO₂)

a.- Caracterización del sustrato al inicio del sembrado:

Se tomaron muestras del sustrato antes de la siembra de las semillas de *Prosopis limensis* siguiendo la metodología descrita en “**Guía para la determinación de Carbono en pequeñas propiedades rurales**”, (Rügnitz, Chacón y Porro 2009, p. 44-48), en la que indican que la profundidad mínima de la toma de muestra debe ser de 15 cm y 1 kg en peso para realizar los análisis físico químicos.

Los análisis que se realizaron fueron: pH, Conductividad eléctrica, Textura, Nitratos, Cu, Mn, Fe, Zn, K, Ca, Mg, Na, S, B, P, Saturación de humedad, Densidad aparente, Materia orgánica y Carbono orgánico. Los parámetros fueron evaluados en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Agraria La Molina.

b.- Caracterización del sustrato durante la germinación y al finalizar el ensayo:

Durante la siembra y germinación de las semillas de *Prosopis limensis*, y al finalizar el ensayo, también se tomaron muestras adicionales, una al mes de la siembra y la otra al finalizar el ensayo, donde nos enfocamos en la medición de Carbono Orgánico, de esta forma los resultados se pudieron relacionar con la disminución de CO₂, que fue equivalente a medir el aumento de captura de carbono del suelo. Según la Guía para la determinación de Carbono en pequeñas propiedades rurales (Rügnitz, Chacón y Porro 2009), tuvimos en cuenta lo siguiente:

- Para la profundidad de toma de muestra, se recomienda medir el contenido de carbono en el sustrato a una profundidad 15 cm como mínimo, ya que las concentraciones de carbono orgánico son mayores en las primeras capas y disminuyen drásticamente según aumenta la profundidad del suelo.
- Según condiciones del laboratorio debimos sacar por lo menos 1000 g de muestra en una bolsa de plástico, lo cual hicimos de las unidades experimentales que no germinaron.

Los parámetros físicos y químicos se evaluaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Agraria La Molina.

c.- Contenido de Carbono Orgánico del suelo:

Este parámetro fue calculado teniendo en cuenta la metodología explicada en la “Guía para la determinación de Carbono en pequeñas propiedades rurales” (Rügnitz, Chacón y Porro 2009, p. 49-50) y con los datos obtenidos de los análisis físico químico de las muestras de sustrato.

Cálculo del carbono almacenado en el suelo:

$$COS = [COS] * densidad\ aparente * profundidad * (1 - frag) * 10 \quad (1)$$

Donde:

COS= Contenido de carbono orgánico en el suelo (tc/ha).

[COS]: Concentración de carbono orgánico del suelo en una determinada masa de suelo, la que se obtendrá de los resultados de ensayos del laboratorio (gC/kg de suelo).

Densidad aparente= masa de suelo por volumen de muestra (t de suelo/m³).

Profundidad=profundidad del horizonte o espesor de la capa de suelo, en metros (m).

frag= Volumen porcentual de fragmentos gruesos/100, sin dimensiones.

Observación= Utilizaremos el factor por 10 para convertir las unidades a tC/ha.

Las cantidades de carbono presentes en las diferentes etapas de la investigación, las calculamos mediante la siguiente ecuación:

$$Incremento\ de\ carbono = COS_2 - COS_1 \quad (2)$$

Donde:

COS₂=Cantidad de carbono orgánico final de la muestra trabajada (Tc/ha)

COS₁= Cantidad de carbono orgánico inicial de la muestra trabajada (Tc/ha)

Por último, se procede a calcular el CO₂e, considerando que:

$$1\ tC = 3.67\ tCO_2e/ha$$

3.6. Método de análisis de datos

Para almacenar datos recolectados durante el desarrollo experimental de la investigación usamos Microsoft Excel.

Para analizar los resultados obtenidos de las variables usamos el análisis estadístico de varianza (ANDEVA), con un nivel del 0.05, con el que se pudo aceptar o rechazar las hipótesis planteadas.

Con la finalidad de determinar que tratamiento fue mejor utilizamos la prueba de comparación múltiple Tukey, con una significación del 5%.

3.7. Aspectos éticos

Nuestro proyecto de investigación respetó las normas establecidas en la Resolución del Consejo Universitario N° 0126/UCV Trujillo - del 23 de mayo del 2017, en ese marco y de acuerdo al Art. 15°, nos comprometimos a respetar la propiedad intelectual, citando las fuentes y autores de trabajos relacionados a nuestra investigación.

De acuerdo también con el Capítulo III, Art. 13, donde nos comprometemos por la protección del ambiente y la biodiversidad de nuestra nación.

La revisión para detectar posibles plagios se dió con el programa llamado TURNITIN, el cual tiene por fin dar el servicio de prevención de plagio, siendo nuestro compromiso como alumnos e investigadores que la investigación sea original.

IV. RESULTADOS

Según los objetivos planteados, obtuvimos los siguientes resultados:

4.1. Caracterización física y química de biomasa residual para elaboración del biochar

En primer lugar, se sacó una muestra representativa de 250 kg (250 000 gramos) de biomasa residual para determinar la composición de los tipos de residuos sólidos que llega hasta la Planta de Valorización, previamente hicimos tres cuarteos para no perder las características verdaderas de la biomasa residual, siguiendo la Metodología del Cuarteo de Montoya, A. (Montoya 2012) los resultados se dan a conocer en la Tabla 10, Figura 25 :

Tabla 10: Caracterización de Biomasa residual que llega a la Planta de Valorización:

Biomasa Residual	Peso (g)	Porcentaje (%)
Corte de grass	88 900	35.56
Inflorescencia	1 000	0.4
Semillas	900	0.36
Hojas	8 200	3.28
Leñoso delgado	92 800	37.12
Leñoso medio	8 400	3.36
Leñoso grueso	13 600	5.44
Otros	36 200	14.48
Total	250 000	100.00

Elaboración: propia de los autores

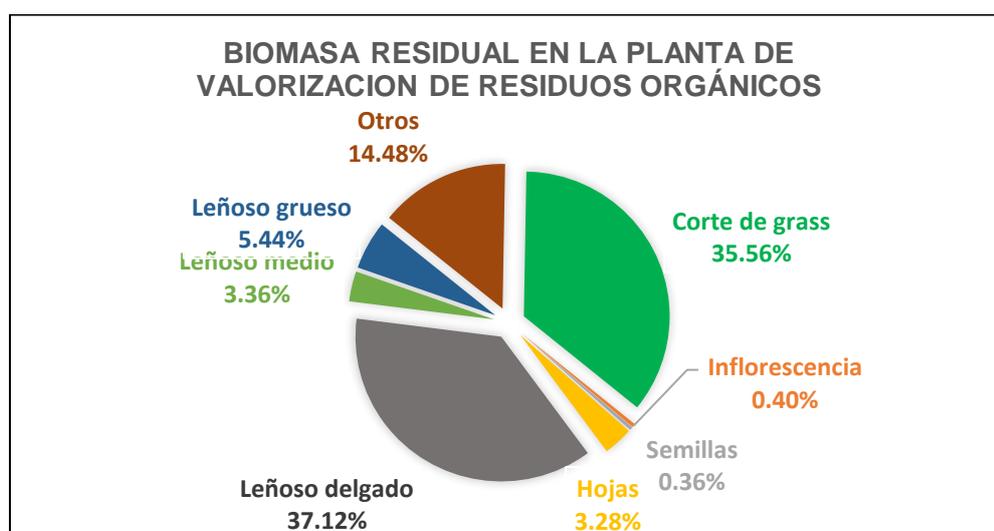


Figura 25: Tipo de biomasa residual que llega a la Planta de Valorización

La caracterización física de la biomasa residual no compostable (leñoso delgado, medio y grueso) para la producción del biochar, se realizó con una muestra representativa salida de la formación de pilas de compostaje y de la zona donde se recepcionan los restos de maleza y poda en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos.

Toda la muestra de biomasa residual no compostable: leñoso delgado, leñoso medio y leñoso grueso, se dividió por especies y cada grupo de especies fue pesado (gramos), la sumatoria de los grupos por especies dio el total y cada peso grupal dio como resultado el valor en porcentaje de biomasa residual no compostable para obtención de biochar que representa en la Planta de Valorización. Los resultados de la caracterización realizado el día 29 de diciembre del 2020 se presentan en la Tabla 11 y Figura 26.

Tabla 11: Caracterización Física de biomasa residual no compostable (leñosos delgados, medios y gruesos) para obtención de biochar

Espece residual	Peso (g)	Porcentaje (%)
Palmeras Arecáceas (familia Arecaceae)	17 200	16.05
Ficus (<i>Ficus benjamina</i>)	18 100	16.89
Molle (<i>Schinus molle</i>)	13 400	12.50
Huarango (<i>Prosopis limensis</i>)	11 200	10.45
Carrizo (<i>Phragmites australis</i>)	1 700	1.59
Pino (Genero <i>Pinus</i>)	10 900	10.17
Buganvilla o bugambilia (género <i>Bougainvillea</i>)	900	0.84
Eucalipto (<i>Eucaliptus glóbulus</i>)	2 400	2.24
Croton (Género <i>Codiaeum</i>)	680	0.63
Ichu (<i>Stipa ichu</i>)	900	0.84
Chilco (<i>Fuchsia magellanica</i>)	2 400	2.24
Lantana (<i>Lantana sp</i>)	800	0.75
Casuarina (<i>Casuarina sp</i>)	5 200	4.85
Granada (<i>Punica granatum</i>)	2 800	2.61
Bambú (sub familia Bambusoideae)	7 400	6.90
Huaranguillo (<i>Acacia horrida</i>)	1 300	1.21
Otros	9 900	9.24
Total	107 180	100.00

Elaboración: propia de los autores

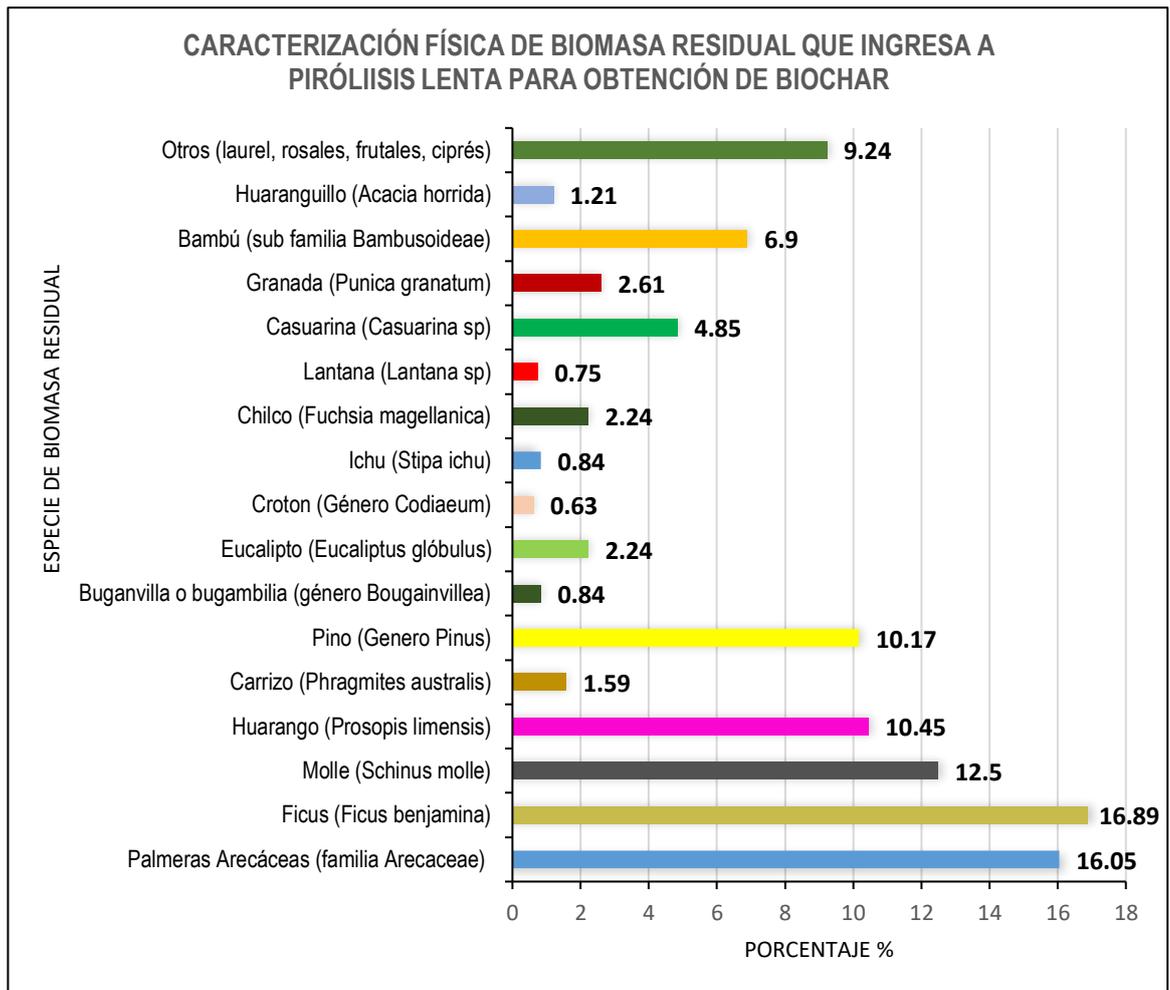


Figura 26: Caracterización Física de biomasa residual no compostable para obtención de biochar, especies de madera leñosa gruesa, mediana y delgada que entran al proceso de pirólisis lenta.

Según lo mencionado por Echresh, Z. et al. (2020), la biomasa residual de la planta de valorización, es una biomasa lignocelulósica por su procedencia (restos de poda de árboles y arbustos provenientes de áreas públicas y privadas), el contenido típico en peso de celulosa es alrededor de 40-50%, entre 20-40% en peso de hemicelulosa y del 10-40% en peso de lignina. Además, los árboles por lo general tienen más lignina pero menos cenizas que el ichu o el grass (Maia, Madari y Novotny 2011)

A la Planta de Valorización llegan biomasa residual de maderas duras (dicotiledóneas) como: casuarina, eucalipto, bugambilla, huarango, ficus, molle, croton, chilco, granada, huranguillo, que presentan menos cantidad de lignina en comparación con la biomasa residual de maderas blandas (coníferas) como: pino, casuarina, ciprés, lantana (Maia, Madari y Novotny

2011) ; en cambio el ichu tiende a poseer más hemicelulosa y cenizas, pero la lignina y celulosa en menor cantidad que las maderas blandas (Warren, 2012), al igual que las palmeras, los carrizos y los bambúes que son monocotiledóneas.

De acuerdo con Wang, S. et al. (2011), citado por Palacios, R. (2019), la biomasa residual con altos contenidos de lignina (que es la que otorga la dureza) tendrá un mayor rendimiento en la obtención de biochar con la técnica de pirólisis lenta, que concuerda con los resultados obtenidos en la Tabla 14, un rendimiento del 45.5%.

Posterior a la caracterización la biomasa residual lignocelulósica fue llevado hasta un determinado lugar para continuar con su secado y posterior ingreso al proceso de pirólisis lenta para obtención de biochar.

La caracterización química de la biomasa residual se realizó en el laboratorio Pacific Control, Calidad y Medio Ambiente Laboratorios y Certificaciones SAC, con el objetivo de conocer la transformación que va a sufrir con el proceso de pirólisis lenta, el tipo de biomasa que entrará al proceso de combustión y el tipo de subproducto (en este caso biochar) que se va generar. Estos resultados se muestran en la Tabla 12:

Tabla 12: Resultado de análisis físico químico realizado a las muestras de biomasa residual:

Muestra	pH	CO	CIC	CE	Cenizas	Humedad	Densidad Aparente
	-	%w	meq/100g	dS/m	%	%	g/c ³
Biomasa residual	7.20	16.91	15.20	5.33	11.49	13.74	0.141

Fuente: Laboratorio Pacific Control, Calidad y Medio Ambiente Laboratorios y Certificaciones SAC.

Elaboración: propia de los autores

Los resultados del laboratorio de biomasa residual sin pirolizar, con troncos, ramas, hojas secas, raíces, cortezas y otros, mostraron valores de pH casi neutros, lo cual es favorable para el suelo y para su uso en la obtención de biochar. La humedad de 13.74% en peso nos muestra una biomasa casi seca, lo que indica que está apta para el proceso de pirólisis, el alto contenido de cenizas posiblemente se deba al lugar de origen de donde son acopiados y luego acumulados en la Planta de Valorización, donde se contamina con

restos de polvo, arena, trazas de minerales, esquirlas de vidrio y metal, pero que sin embargo no afectaron en su combustión en el proceso de pirólisis lenta.

4.2. Caracterización físico química del biochar obtenido mediante la técnica de Pirólisis lenta

Realizamos el procedimiento tal cual se describió en la metodología descrita anteriormente. Se obtuvo 133.80 kg de biochar a partir de 294.30 kg de biomasa residual mediante la técnica de pirólisis lenta usando un reactor pirolítico de cortina de llama, es decir, con un 45.5% de rendimiento, en un tiempo aproximado de 3 horas con 18 minutos, con temperaturas que alcanzaron los 650 °C - 700 °C (Schmidt, H.; Taylor, P. ,2014), cuyo detalle del peso de las cargas de biomasa residual y tiempo de duración de pirólisis lenta se detallan en las Tablas 13 y 14:

Tabla 13: Detalle de cargas realizadas en proceso de pirólisis lenta

Nro. de Carga	Peso (kg)	Tiempo Transcurrido (min)	Nro. de Carga	Peso (kg)	Tiempo Transcurrido (min)
1 Carga inicial (encendido del horno)	1	0	16	11.6	117
2	9.5	10	17	16.2	125
3	10.5	19	18	11.7	133
4	9.7	27	19	11.1	141
5	10.3	36	20	11.5	149
6	9.3	44	21	6.9	154
7	9.2	52	22	4.4	158
8	11.1	59	23	9.4	165
9	11.8	67	24	10.7	172
10	11.4	74	25	10.5	178
11	10.6	82	26	10.2	184
12	8.4	88	27	10.1	189
13	10.5	96	28	10.6	193
14	12.1	103	29 Carga final	10.2	198
15	13.8	111	TOTAL	294.30	3 horas con 18 minutos

Elaboración: propia de los autores

La relación entre el peso del biochar obtenido y la biomasa residual que entró al proceso de pirólisis, es decir, el rendimiento se muestra en la Tabla 14:

Tabla 14: Rendimiento de la obtención de biochar

Hora de inicio	Hora de término	Tiempo total hh/mm	biomasa res. pirolizada kg	biochar obtenida kg	Rendimiento %
09:27	12:45	3 h 18 m	294.3	133.8	45.5

Elaboración: propia de los autores

Para finalizar el proceso de obtención de biochar se templó con agua, de lo contrario el oxígeno seguiría con la combustión provocando que el biochar se convierta en ceniza, lo cual no es deseable.

Se obtuvo un biochar completamente pirolizado, con 45.5% de rendimiento de producción, para un contenido de humedad de la biomasa inicial del 13.74%, demostrando que el reactor pirólítico usado es altamente eficiente para producir biochar a un bajo costo y de fácil obtención.

Obtención de biochar activado biológicamente:

Este biochar activado biológicamente lo obtuvimos de una cosecha anterior de las pilas de compostaje de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos Municipales de Cieneguilla, en las que desde el inicio de formación de las pilas de compost se incorporó biomasa residual de restos de maleza y poda, estiércol de caballo y **biochar** obtenido mediante pirólisis lenta. De esta forma el **biochar activado** que ha pasado todo un ciclo de compostaje en la Planta de Valorización, alrededor de 4 meses, adquiere otras características físicas en cuanto a color se refiere (un color no tan negro, más bien un tanto marrón) y menor peso (Figura 27); sus características químicas se dan a conocer en la Tabla 15, este biochar ha compartido alrededor de 120 días junto con la dinámica de los microorganismos, el humedecimiento de las pilas y la aireación en el volteo manual de las pilas.



Figura 27: Visibles diferencias físicas entre biochar recién obtenido y biochar activado biológicamente.

A continuación, en la Tabla 15 presentamos los resultados de la caracterización físico química de las muestras de biochar obtenidas en la presente investigación, enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Tabla 15: Resultados de análisis físico químico realizado a las muestras de biochar:

Muestra	pH	C.E. dS/m	M.O. %	CIC Meq/100g	Max. ret. humedad %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
Biochar	10.32	36.50	24.62	5.20	44.00	0.59	0.90	4.95	2.52	1.51	39.16	0.37
Biochar Activado	7.67	8.43	20.46	12.00	44.18	0.68	0.52	1.45	3.64	0.59	19.96	0.48
Muestra	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm				
Biochar	10 190	39	45	166	77	27.55	1.83	10.52				
Biochar Activado	1426	17	25	69	47	16.03	1.65	13.75				

Fuente: Laboratorio de Análisis de suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes. LASPAF-UNALM
Elaboración: propia de los autores

El valor del Potencial de Hidrógeno (**pH**) en el biochar fue de 10.32, fuertemente alcalino, lo cual es favorable para tratamiento en suelos y aguas ácidas. Diferente del valor del **pH** del biochar activado, con un valor de 7.67, un valor más neutral, ligeramente alcalino, pero un tanto mayor que el de la biomasa residual inicial (7.20). Cuando se obtiene biochar a partir de una biomasa residual con alta cantidad de cenizas (11.49%) tienen esa tendencia a valores altos del pH (Lehmann y Joseph 2009), siendo buenos para disminuir la acidez del suelo y aumentar su fertilidad.

En cuanto a la **Conductividad Eléctrica (C.E.)**, se halló un valor muy fuertemente salino (36.50 dS/m) para el biochar, y fuertemente salino (8.43 dS/m) para el biochar activado. Estos altos valores de C.E., serían causantes del incremento de salinidad del suelo, ocasionando efectos negativos sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas (Tag et al. 2016). Por lo que no se recomienda su aplicación en suelos salinos.

La **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)** del biochar, es menor que el biochar activado, y a su vez ambos, en menor valor que la biomasa residual inicial, con valores de 5.20; 12.00 y 15.20 meq/100g respectivamente, esto se explica a la cantidad de materia orgánica existente en la biomasa residual. Por

otro lado, podemos advertir el CIC del biochar activado biológicamente es mayor con respecto al biochar recién obtenido, lo que sugiere que la CIC del biochar aumenta con el tiempo, bajo las condiciones de humedad y temperatura que sufren al permanecer en las pilas de compostaje durante al menos 4 meses.

Los porcentajes de **Nitrógeno (%)** en este ensayo, fueron de 0.59% para biochar recién obtenido y 0.68% para biochar activado, siendo este último el que obtuvo un mejor nivel, pero que sin embargo ambos productos añadidos al sustrato contribuirán al desarrollo microbiano del suelo, y por ende en su recuperación.

Los niveles de **Fósforo (%)** presentes en el biochar recién obtenido fue de 0.90% y la del biochar activado de 0.52%, son porcentajes aceptables siempre y cuando no entren en contacto con medios más acuosos, ya que podrían eutrofizar su entorno.

El contenido de **Potasio (%)** encontrados en este ensayo fue de 4.95% para biochar recién obtenido y 1.45% para biochar activado, estos valores están en relación con otros ensayos con biochar de biomasa residual.

Los resultados de caracterización química en el laboratorio de los **Elementos disponibles:** Fe, Cu, Zn, Mn, B, Pb y Cr en ppm_s, muestran cantidades más altas para el biochar recién obtenido que para el biochar activado, pero ambos, aportarán al sustrato o suelo elementos disponibles para las plantas (Ariadna Escalante Rebolledo et al. 2016).

4.3. Características Fenológicas: Respuestas de las plantas de *Prosopis limensis* a la aplicación de biochar de biomasa residual por pirólisis lenta

4.3.1. Pruebas de Germinación de semillas de *Prosopis limensis* (Huarango)

Como se muestra en la Tabla 16, el inicio de la germinación comenzó al quinto día de sembrada la semilla con el tratamiento T1 (tratamiento control: tierra más arena), lo cual concuerda con lo mencionado por Casana, R. y Mathez, S. (2011), en que las semillitas de huarango germinan rápidamente si

encuentran las condiciones necesarias para ello. Entre el quinto y sexto día no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, siendo el séptimo día donde se alcanzó el mayor porcentaje de germinación. Las semillas germinaron hasta el 14 día de iniciado la siembra, en total germinaron 55 semillas y las semillas sin germinar fueron 50.

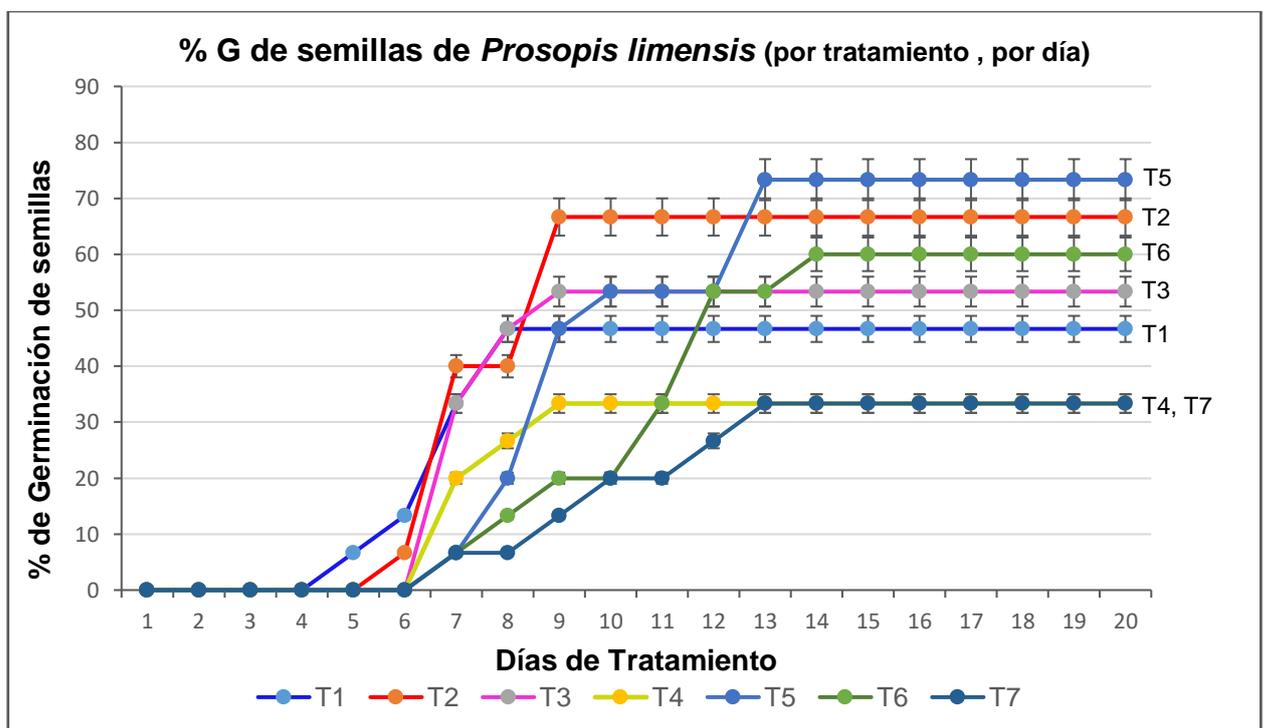
Tabla 16: Número de semillas germinadas por tratamiento, por día

Fecha	Día	SEMILLAS GERMINADAS							Total semillas germinadas
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
31/12/2020	1	0	0	0	0	0	0	0	0
01/01/2021	2	0	0	0	0	0	0	0	0
02/01/2021	3	0	0	0	0	0	0	0	0
03/01/2021	4	0	0	0	0	0	0	0	0
04/01/2021	5	1	0	0	0	0	0	0	1
05/01/2021	6	1	1	0	0	0	0	0	2
06/01/2021	7	3	5	5	3	1	1	1	19
07/01/2021	8	2	0	2	1	2	1	0	8
08/01/2021	9	0	4	1	1	4	1	1	12
09/01/2021	10	0	0	0	0	1	0	1	2
10/01/2021	11	0	0	0	0	0	2	0	2
11/01/2021	12	0	0	0	0	0	3	1	4
12/01/2021	13	0	0	0	0	3	0	1	4
13/01/2021	14	0	0	0	0	0	1	0	1
14/01/2021	15	0	0	0	0	0	0	0	0
15/01/2021	16	0	0	0	0	0	0	0	0
16/01/2021	17	0	0	0	0	0	0	0	0
17/01/2021	18	0	0	0	0	0	0	0	0
18/01/2021	19	0	0	0	0	0	0	0	0
19/01/2021	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Total semillas germinadas		7	10	8	5	11	9	5	55
% de Germinación		46.7	66.7	53.3	33.3	73.3	60.0	33.3	

Elaboración: propia de los autores

La Figura 28, muestra el progreso de germinación de las semillas de *Prosopis limensis* durante los 20 primeros días, como se aprecia los tratamientos T5 (sustrato + biochar activado al 10%) y T2 (sustrato + biochar al 10%), son los que lograron los más altos porcentajes (73.3% y 66.7%, respectivamente) de emergencia de semillas, todo lo contrario, ocurrió con los tratamientos T4 (sustrato + biochar al 30%) y T7 (sustrato +

biochar activado al 30%), los que mostraron una reducción en el número de semillas emergidas (33%). Estos resultados concuerdan con estudios anteriores, donde se reporta que concentraciones excesivas de biochar pueden presentar efectos negativos sobre las semillas y plántulas. En otros estudios se encontró que algunos compuestos producidos durante el proceso de pirólisis de biomasa residual, tienen un efecto de toxicidad sobre la plantas, en consecuencia a mayor concentración de biochar en un sustrato, mayor será la probabilidad de los efectos fitotóxicos sobre ellas (Buss y Mašek 2014)



Fuente: Elaboración propia

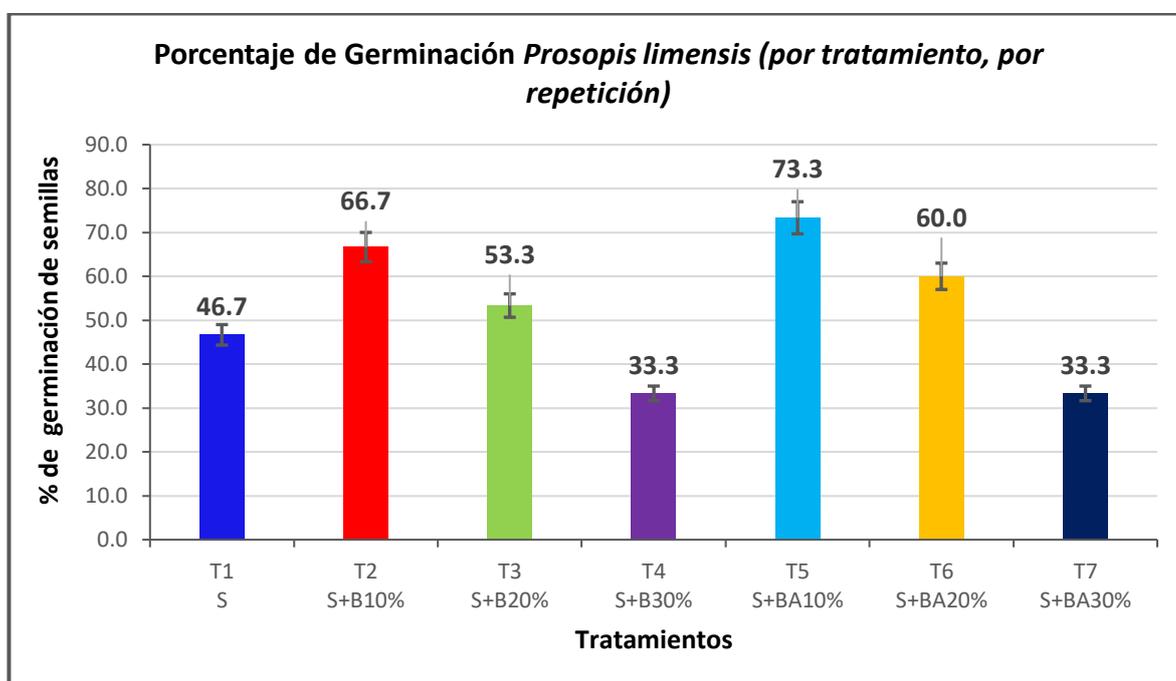
Figura 28: Porcentaje de germinación de semillas de huarango (*Prosopis limensis*) con siete tratamientos por 20 días.

Con respecto al porcentaje de germinación, la Tabla 17, Figura 29, nos muestra que fue el tratamiento T5 (sustrato + biochar activado al 10%) el que obtuvo mejores resultados con 73.3%, seguido del T2 (sustrato + biochar al 10%) con 66.7 %G, los tratamientos T4 (sustrato + biochar al 30%) y T7 (sustrato + biochar activado al 30%) obtuvieron los menores porcentajes de germinación con 33.3%; el tratamiento T1 (sin biochar), mostró un porcentaje de germinación menor al 50%

Tabla 17: Porcentaje de germinación por tratamiento, por repetición

Trat.	Repeticiones															Total	%G
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15		
T1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	7	46.7
T2	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	10	66.7
T3	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	8	53.3
T4	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5	33.3
T5	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	11	73.3
T6	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	9	60.0
T7	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	5	33.3
Total Semillas Germinadas																55	52.4

Elaboración: Propia de los autores



Fuente: Elaboración propia

Figura 29: Porcentaje de Germinación de semillas de huarango (*Prosopis limensis*) sometidas a 7 tratamientos.

Se observa que los tratamientos con mayor contenido de biochar usado como enmienda de suelo son los que lograron menor porcentaje de germinación, es muy probable que la C.E. hallada en la caracterización química del biochar, 36.5 dS/m para biochar recién obtenido y 8.43 dS/m para biochar activado, haya afectado la salinidad del sustrato inhibiendo la emergencia de las semillas, como lo menciona Reyes, J. (2014), en su investigación con cultivos de albahaca, conforme se incrementa el valor de la C.E. del suelo o sustrato, la germinación disminuye, debido a las altas concentraciones e NaCl.

4.3.2. Efectos de la aplicación de biochar en el desarrollo de las plántulas de *Prosopis limensis* (Huarango):

Altura de las plántulas (cm)

La Tabla 18, muestra las alturas logradas de las plántulas de huarango y su desviación estándar para los distintos tratamientos:

Tabla 18: Altura (elongación) de las plántulas en cm (hasta los ápices caulinares) de *Prosopis limensis* a los 50 días de siembra.

Trat.	Repeticiones															Media	Sin Germ.	Muertos
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15			
T1	SG	SG	SG	SG	25	22	23	SG	SG	SG	23	29	25	24.5	SG	24.5	8	0
T2	SG	13	SG	SG	M	23	SG	SG	7	11	21	19	23	26.5	21	18.3	5	1
T3	10	M	SG	11	SG	SG	10	SG	14	SG	SG	17	SG	21	12	13.6	7	1
T4	SG	14	13	SG	SG	M	SG	SG	SG	SG	M	SG	SG	SG	M	13.5	10	3
T5	SG	24	23	24.5	22	SG	22	22	19	20	SG	22.5	25	23	SG	22.5	4	0
T6	3	25	SG	24	SG	25	16.5	SG	27	SG	SG	SG	22	17.5	19	19.9	6	0
T7	SG	7	SG	SG	25	SG	SG	SG	SG	SG	7.8	M	SG	SG	M	13.3	10	2
Total																	50	7

Elaboración: Propia de los autores

Con respecto al efecto de los tratamientos sobre el crecimiento (elongación) de las plántulas (hasta los ápices caulinares), los resultados que figuran en la Tabla 18, mostraron que, a los 50 días después de la siembra, las plántulas alcanzaron alturas entre los 3 cm (T6) y 29 cm (T1). Al igual que en la emergencia de las semillas, las plántulas con mayor concentración de biochar, mostraron menor altura promedio, 13.3 cm (T7) y 13.5 cm (T4). También se observa que el tratamiento control (T1), presentó mayor promedio de altura con respecto a los demás tratamientos. Al parecer la enmienda con biochar no tuvo efecto significativo sobre el crecimiento al inicio de vida de las plántulas. Con respecto a estos resultados, sucedería igual que con la germinación de las semillas, por el alto contenido de sales en el biochar y la inhibición en su desarrollo.

En la Figura 30, se muestra la altura media que alcanzaron las plantas y como se puede apreciar existe variación de altura por efecto de los tratamientos. Estas diferencias fueron corroboradas por el análisis de varianza (ANVA).

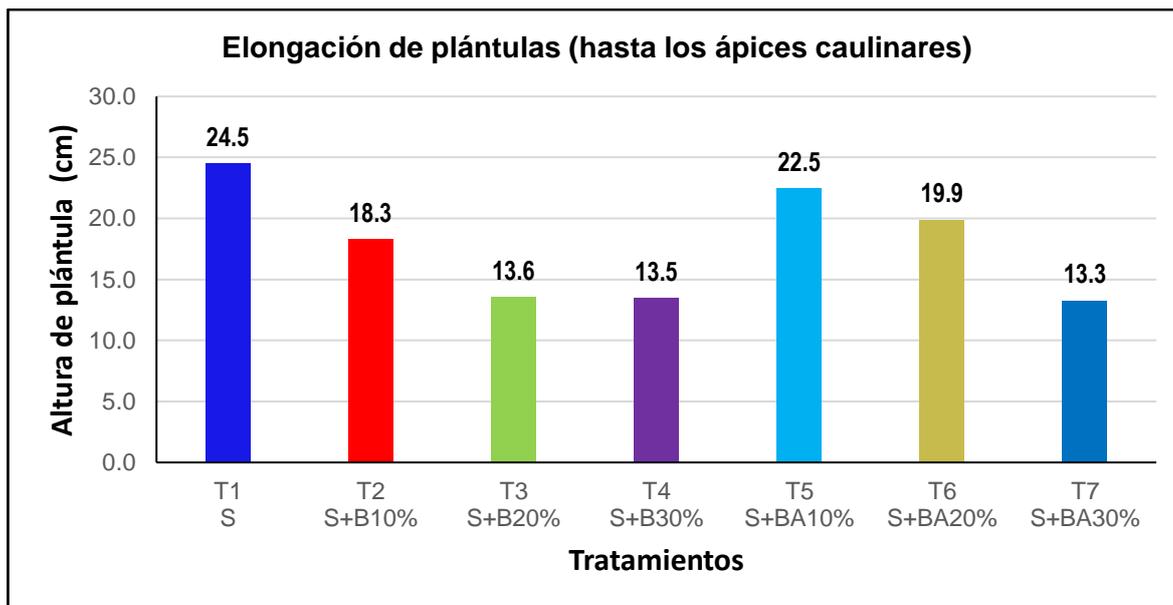


Figura 30: Altura promedio de plantas de *Prosopis limensis* (Huarango) a los 50 días después de la siembra.

El ANVA para altura de planta (Tabla 19) arroja diferencias altamente significativas ($P= 0,0022$) entre tratamientos.

Tabla 19: Análisis de Varianza para altura de planta *Prosopis limensis* (Huarango)

Fuente	GDL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamientos	6	696.2598	116.0433	4.1892	0.0022
Error	41	1135.7127	27.7003		
Total	47	1831.9725			

En la Tabla 20 se presenta la comparación de múltiple de Tukey, la cual muestra que los tratamientos T1 (sin biochar) y T5 (S+BA10%) superan al resto de tratamientos, aunque estadísticamente son iguales a los tratamientos T6 (S+BA20%), T2 (S+B10%) y T4(S+B30%).

Tabla 20: Prueba de comparación Tukey para altura media *Prosopis limensis*

Categoría	Media estimada	Grupos
T1	24.5000	A
T5	22.4545	A
T6	19.8889	A B
T2	18.2778	A B
T4	14.5000	A B
T3	13.5714	B
T7	13.2667	B

Cantidad de nudos o pinnas

En la Tabla 21 se muestran los resultados del número de nudos, que también equivale decir al número de pinnas o peciolos que desarrollaron las plántulas de huarango a los 50 días después de la siembra. Este número varió entre 3 y 17 nudos, ambas cifras para el tratamiento T6.

Tabla 21: Número de nudos o pinnas de *Prosopis limensis* (huarango) a los 50 días después de la siembra.

Trat.	Repeticiones															Media
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	
T1	SG	SG	SG	SG	13	13	12	SG	SG	SG	14	14	12	12	SG	12.9
T2	SG	12	SG	SG	M	11	SG	SG	11	8	10	11	10	12	9	10.4
T3	5	M	SG	9	SG	SG	6	SG	9	SG	SG	9	SG	11	8	8.1
T4	SG	6	9	SG	SG	M	SG	SG	SG	SG	M	SG	SG	SG	M	7.5
T5	SG	13	12	16	11	SG	12	12	11	13	SG	15	14	13	SG	12.9
T6	3	14	SG	12	SG	13	11	SG	17	SG	SG	SG	13	9	10	11.3
T7	SG	6	SG	SG	14	SG	SG	SG	SG	SG	6	M	SG	SG	M	8.7

Elaboración: Propia de los autores

En la Figura 31, se puede apreciar los valores medios comprendidos entre 8 nudos (T3) y 13 nudos para los tratamientos T1 y T5. El número de nudos es consecuencia directa de la altura de plántulas, y que para el presente ensayo mostraron una relación altamente significativa, $r=0.8313$ (Tablas 27 y 28).

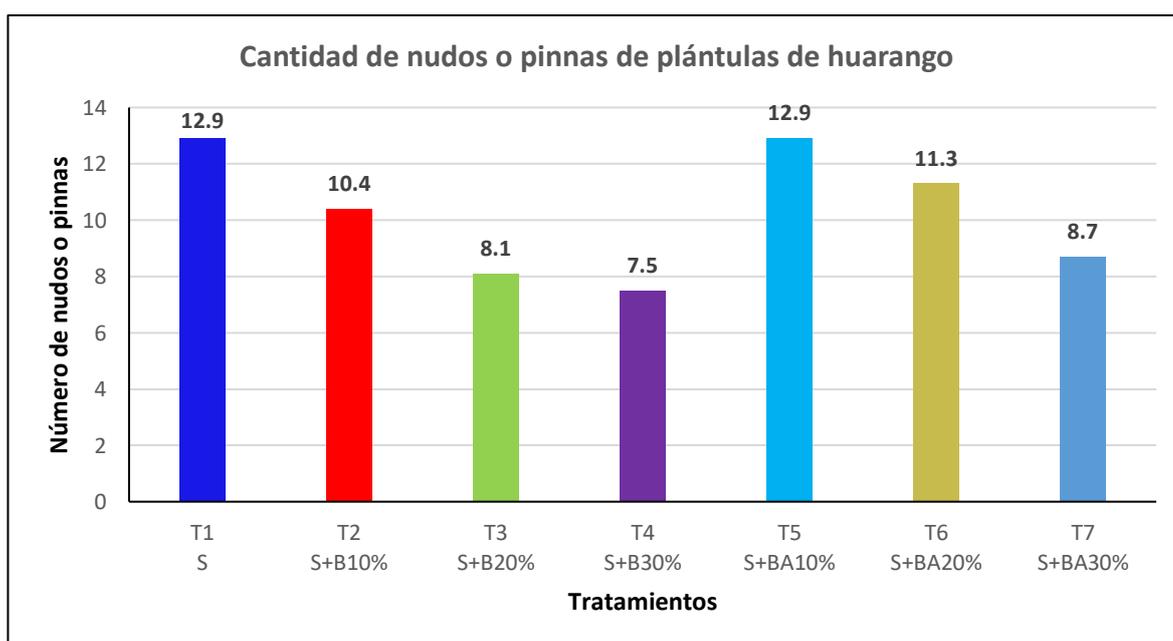


Figura 31: Número medio de nudos en plántulas de *Prosopis limensis*, a los 50 días después de la siembra.

El ANVA para el número de nudos o pinnas, se muestra en la Tabla 22, muestra diferencias altamente significativas ($p=0.0009$) entre tratamientos.

Tabla 22: Análisis de Varianza para número de nudos o pinnas de *Prosopis limensis*

Fuente	GDL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamientos	6	165.9044	27.6507	4.7631	0.0009
Error	41	238.0123	5.8052		
Total	47	403.9167			

La Tabla 23, muestra los resultados de la comparación múltiple de Tukey, los tratamientos T5 (sustrato + biochar activado al 10%) y T1 (control) superan a los otros, aunque su efecto es estadísticamente similar a los tratamientos T6 (sustrato + biochar activado al 20%), T2 (sustrato + biochar al 10%) y T7 (sustrato + biochar activado al 30%).

Tabla 23: Prueba de comparación Tukey para número de nudos en plantas de *Prosopis limensis*, a los 50 días después de la siembra.

Categoría	Media estimada	Grupos
T5	12.9091	A
T1	12.8571	A
T6	11.3333	A B
T2	10.4444	A B
T7	8.6667	A B
T3	8.1429	B
T4	7.5000	B

Esta prueba de comparación, lo que indica es que la adición de biochar al 10% no incrementa significativamente el proceso de ramificación de las plántulas, futuros árboles de huarango, ya que estadísticamente es igual al tratamiento en blanco.

Longitud de raíz (cm)

Con respecto a la longitud de la raíz de las plántulas de huarango, los datos de la Tabla 24 registran gran variabilidad, incluso dentro del mismo tratamiento, alcanzando longitudes entre 6 cm (T6) y 64 cm también para el tratamiento T6, Figura 32. Las raíces más largas se encontraron en el tratamiento T6 con una media de 35.7 cm, seguidos por los tratamientos T5 y

T7 con medias de 31.7 cm y 30.7 cm respectivamente. El tratamiento control T1 presentó la menor longitud media de la raíz con 24.9 cm.

Tabla 24: Longitud de raíz (cm) en plántulas de *Prosopis limensis* a los 50 días después de la siembra

Trat.	Repeticiones															Media
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	
T1	SG	SG	SG	SG	22	19	28	SG	SG	SG	34	26	21	24	SG	24.9
T2	SG	22	SG	SG	M	25	SG	SG	22	21	53	24	36	33	31	29.7
T3	16	M	SG	16	SG	SG	24	SG	29	SG	SG	41	SG	30	30	26.6
T4	SG	28	24	SG	SG	M	SG	SG	SG	SG	M	SG	SG	SG	M	26.0
T5	SG	32	33	35	28	SG	23	30	36	28	SG	39	32	33	SG	31.7
T6	6	43	SG	26	SG	30	38	SG	61	SG	SG	SG	64	24	29	35.7
T7	SG	27	SG	SG	36	SG	SG	SG	SG	SG	29	M	SG	SG	M	30.7

Elaboración: Propia de los autores



Figura 32: Longitud alcanzada de raíz a los 50 días de siembra, gran presencia de nódulos activos.

En la Figura 33, se muestra la longitud media de las raíces en los tratamientos a los 50 días después de la siembra, resultados que indican que la aplicación de biochar estimula el crecimiento radicular, superando en todos los casos al tratamiento sin la enmienda de biochar. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Gonzáles, I. *et al.* (2020), quien a su vez cita a Xiang, Y. *et al.* (2017), quienes efectuaron un meta análisis a 136 artículos científicos para evaluar los efectos y sus respuestas que causaron en la raíz 13 variables con aplicación de biochar como enmienda. Este meta análisis concluyó que el biochar había aumentado la masa de las raíces hasta en un 32%, el volumen en un 29%, el área superficial de la raíz en aprox. 39%, el número de puntas radiculares en 17%, el diámetro de la raíz principal en 9.9% y las longitudes de las raíces aumentaron hasta en un 52%. Refieren que estos resultados se deben a que el uso del biochar como enmienda contribuye al desarrollo morfológico de la raíz frente a las deficiencias de nutrientes y agua de la planta, a cambio del desarrollo de biomasa. La aplicación de biochar también contribuye al aumento significativo del número de nódulos debido al efecto que causa en los microorganismos radiculares, aunque también este efecto depende principalmente de la biodisponibilidad del N en el sustrato o suelo de las plantas.

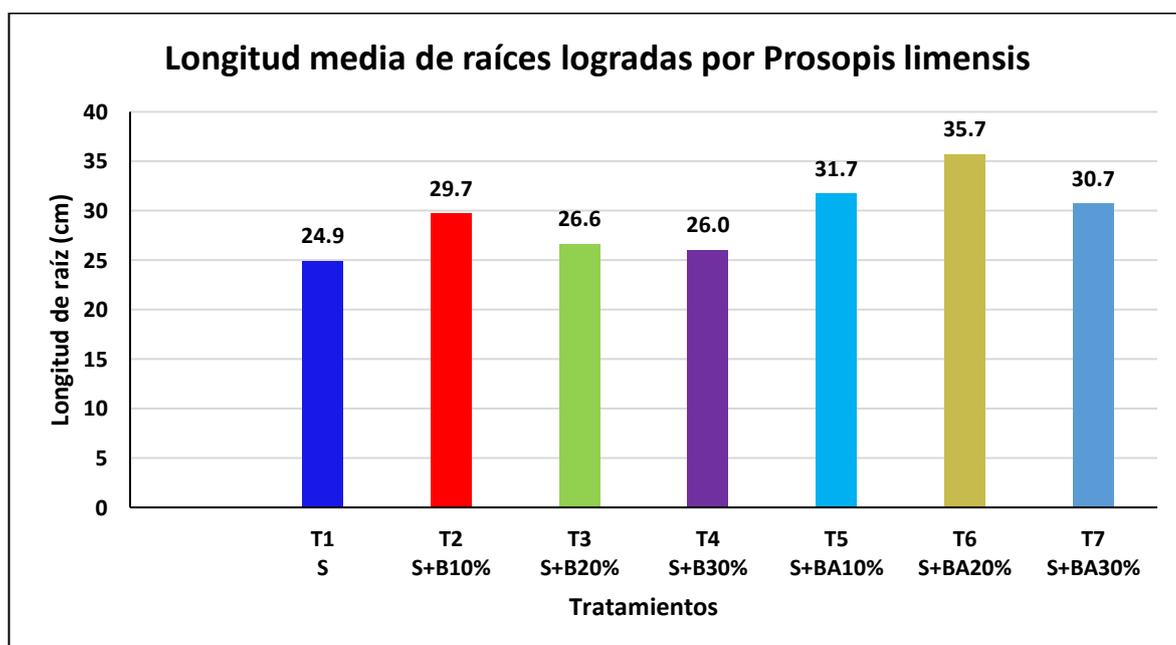


Figura 33: Longitud de raíz en plantas de *Prosopis limensis* (Huarango) a los 50 días después de la siembra.

En cuanto a la longitud de la raíz de las plántulas, en la Tabla 25, el ANVA no muestra diferencias significativas por efecto de tratamientos. Resultados que son corroborados por la prueba Tukey en la Tabla 26.

Tabla 25: Análisis de varianza para longitud de raíces de *Prosopis limensis*, a los 50 días después de la siembra.

Fuente	GDL	SC	CM	F	Pr > F
Modelo	6	629.7148	104.9525	0.9636	0.4620
Error	40	4356.7532	108.9188		
Total	46	4986.4681			

Tabla 26: Prueba de comparación Tukey para longitud de raíces

Categoría	Media estimada	Grupos
T6	35.6667	A
T5	31.7273	A
T2	29.6667	A
T7	28.0000	A
T3	26.5714	A
T4	26.0000	A
T1	24.8571	A

Relación entre altura de plántulas, número de nudos y longitud de raíz

Los resultados de las respuestas fenológicas de las plantas de *Prosopis limensis* a los distintos tratamientos propuestos en este ensayo se muestran en la Tabla 27 y Figura 34:

Tabla 27: Resultados de respuestas fenológicas (desarrollo de plántulas) de huarango con biochar como producto de enmienda

Tratamiento	Descripción	Altura cm	Cant. Pinnas N°	Long. de raíz cm
T1	S	24.5	12.9	24.9
T2	S+B,10%	18.3	10.4	29.7
T3	S+B,20%	13.6	8.1	26.6
T4	S+B,30%	14.5	7.5	26.0
T5	S+BA,10%	22.5	12.9	31.7
T6	S+BA,20%	19.9	11.3	35.7
T7	S+BA,30%	13.3	8.7	30.7

Elaboración: Propia de los autores



Figura 34: Evaluación de respuestas fenológicas de plántulas de *Prosopis limensis* a los 50 días de siembra.

El análisis de correlación entre las variables en estudio muestra relación moderada y altamente significativa ($p < 0.000$) entre altura de planta y número de nudos (Figura 35). De otro lado existe una relación media, altamente significativa entre longitud de raíz y altura de planta ($p = 0.0021$), (Figura 36). La relación entre número de nudos y longitud de raíz es moderada y altamente significativa ($p = 0.0008$) (Figura 37).

Tabla 28: Análisis de correlación entre altura de plántula, número de nudos y longitud de raíz en *Prosopis limensis* (Huarango), a los 50 días después de siembra.

Variabes	Altura de plántula	Número de nudos	Longitud de raíz
Altura de planta	1	0.8313	0.4369
Número de nudos	0.8313	1	0.4723
Longitud de raíz	0.4369	0.4723	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha = 0.05$

Tabla 29: Valores de significación para el análisis de correlación entre altura de plántula, número de nudos y longitud de raíz en *Prosopis limensis* (Huarango), a los 50 días después de siembra.

Variabes	Altura de plántulas	Número de nudos	Longitud de raíz
Altura de planta	0	0.0000	0.0021
Número de nudos	< 0.0001	0	0.0008
Longitud de raíz	0.0021	0.0008	0

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha = 0.05$

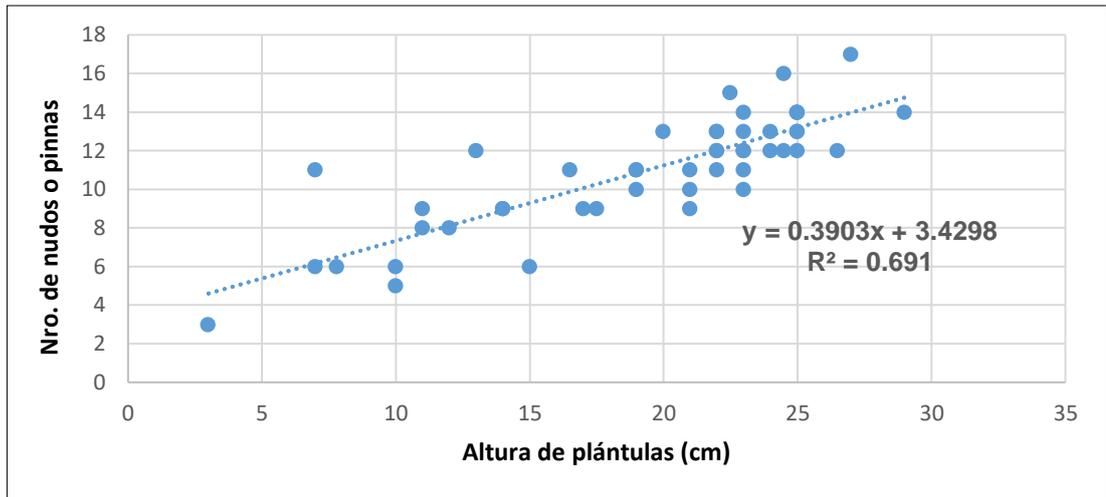


Figura 35: Gráfico de dispersión que muestra la relación entre las alturas y el número de nudos de las plántulas de *Prosopis limensis* a los 50 días después de la siembra.

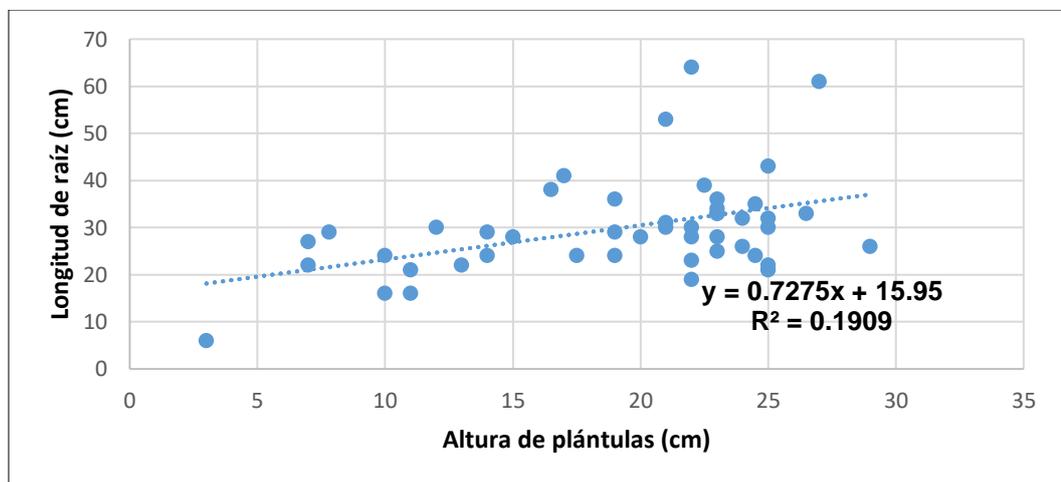


Figura 36: Gráfico de dispersión que muestra la relación entre las alturas y la longitud de las raíces de las plántulas de *Prosopis limensis* a los 50 días después de la siembra.

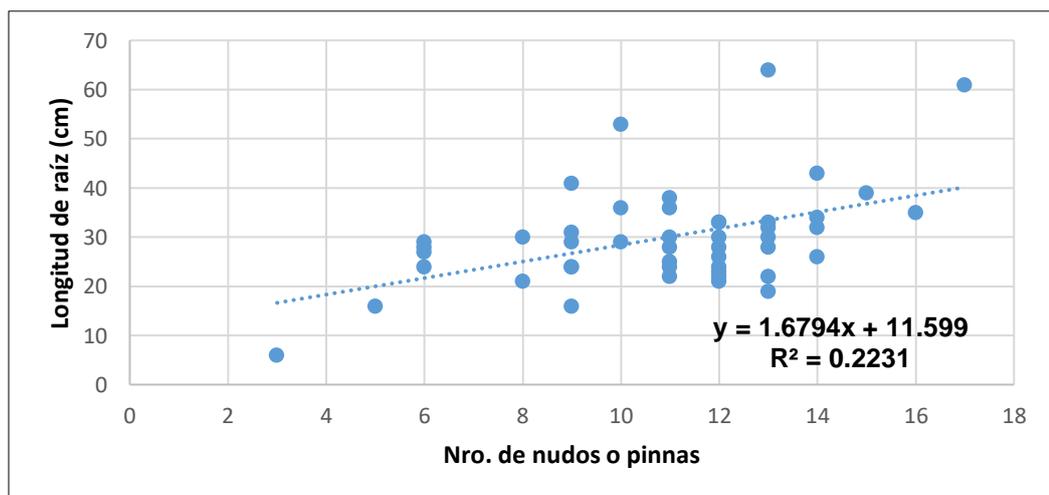


Figura 37: Gráfico de dispersión que muestra la relación entre el número de nudos y las longitudes de las raíces de *Prosopis limensis* a los 50 días después de la siembra.

4.4. Determinación de la concentración del biochar con mejores respuestas en *Prosopis limensis*:

Mediante la observación, el análisis de los resultados y una valoración simple de los indicadores con diagramas de Pareto entre el porcentaje de germinación (Figura 38), altura de plántulas (Figura 39), número de nudos (Figura 40) y longitud de raíz (Figura 41), se determinó la concentración de biochar que nos permitió obtener los mejores efectos positivos en la germinación y características fenológicas de *Prosopis limensis* (huarango).

Resultados que fueron corroborados mediante pruebas de comparación de Tukey (de los análisis de varianza ANVA).

La Tabla 30, muestra un resumen de los resultados obtenidos de las variables estudiadas en este ensayo, el desarrollo fenológico de las plántulas de huarango con aplicación de biochar como producto de enmienda del sustrato donde se colocaron las semillas.

Tabla 30: Resumen de resultados de variables estudiadas en el desarrollo de plántulas de huarango con aplicación de biochar como producto de enmienda del sustrato.

Tratamiento	Descripción	% G	Altura cm	Cant. Pinnas N°	Long. de raíz cm
T1	S	46.7	24.5	12.9	24.9
T2	S+B,10%	66.7	18.3	10.4	29.7
T3	S+B,20%	53.3	13.6	8.1	26.6
T4	S+B,30%	33.3	14.5	7.5	26.0
T5	S+BA,10%	73.3	22.5	12.9	31.7
T6	S+BA,20%	60.0	19.9	11.3	35.7
T7	S+BA,30%	33.3	13.3	8.7	30.7

Elaboración: Propia de los autores

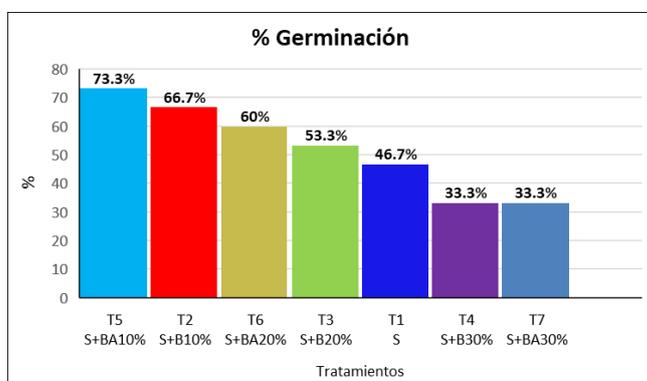


Figura 38: Resultados del porcentaje de germinación de los distintos tratamientos hasta el día 20 de siembra.

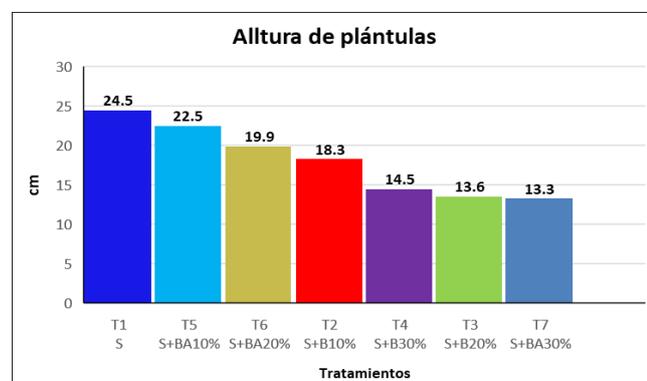


Figura 39: Alturas medias obtenidas en los tratamientos a los 50 días de siembra de *Prosopis limensis*.



Figura 40: Promedio de número de pinnas, nudos o peciolo logrados por las plántulas de *Prosopis limensis* a los 50 días de siembra.

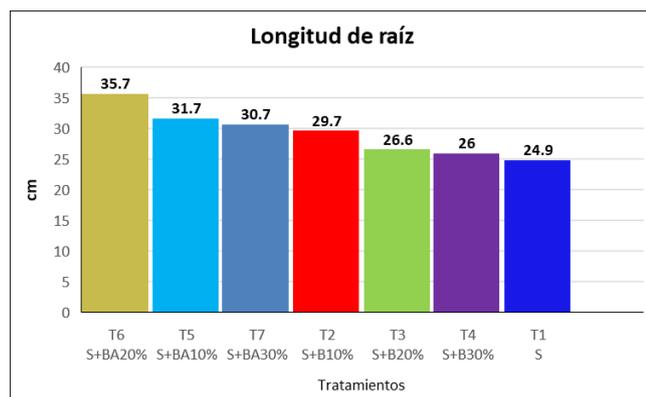


Figura 41: Longitudes medias logradas por las plántulas de *Prosopis limensis* a los 50 días de germinadas sus semillas.

De acuerdo al análisis de la Tabla 30, de las Figuras 38, 39, 40 y 41, y, las pruebas de comparación de Tukey (ANVA), pudimos establecer que el sustrato donde se aplicó biochar activado al 10% como producto de enmienda, fue la que generó las mejores respuestas de las plantas de *Prosopis limensis* en las variables de porcentaje de germinación, altura de plántulas, cantidad de pinnas o nudos y de longitud de raíces.

4.5. Contenido de Carbono Orgánico en las unidades experimentales

Para hallar el contenido de carbono orgánico en el suelo, que para este ensayo vienen siendo las unidades experimentales, es decir, las bolsas negras de almácigo con las plántulas de huarango, tomamos tres muestras (al inicio, durante y final del ensayo) conforme lo indicamos en la metodología, las que enviamos al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

4.5.1. Análisis del sustrato:

Antes de iniciar con la siembra de semillas tomamos una muestra de 1 kg del sustrato en una bolsa de plástico para llevarlo a laboratorio. A los 30 días de iniciado el proceso del ensayo tomamos la segunda muestra, y la última muestra, el día 15 de febrero a los 43 días de iniciado el ensayo. Los resultados del laboratorio se muestran en la Tabla 31. Una evaluación general de los efectos de los tratamientos al sustrato nos muestra el incremento en la cantidad de materia orgánica hasta en un 112% después

de la aplicación de biochar como producto de enmienda. El valor del **pH** en general aumentó con la adición de biochar. La conductividad eléctrica del sustrato también fue mayor luego de la aplicación del biochar (Tabla 31). Estos análisis no se pudieron corroborar estadísticamente por no tener suficientes muestras.

Tabla 31: Análisis de los sustratos al inicio del ensayo (sin biochar), y durante ensayo, con aplicación de biochar como producto de enmienda.

Parámetro	pH	C.E.	CaCO ₃	M.O.	P	K	Análisis Mecánico			Clase Textural
							Arena	Limo	Arcilla	
Unidades	-	ds/m	%	g/Kg	ppm	ppm	%	%	%	
Inicio (31-12-20)	7.57	0.65	0.38	8.30	11.4	126	76	16	8	Fr. A.
Durante (02-02-21)	8.15	3.80	1.24	17.60	56.8	1629	73	17	10	Fr. A.
Final (15-02-21)	8.24	2.88	1.14	14.80	31.1	723	79	15	6	Fr. A.

Parámetro	CIC	Cationes Cambiables					B	Cu	Fe	Mn	Zn	C	D.A.
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺							
Unidades		meq/100g					ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	g/kg	g/cc
Inicio (31-12-20)	5.92	4.00	1.08	0.29	0.55	0.00	2.19	2.00	27.92	3.52	1.36	4.80	1.45
Durante (02-02-21)	10.08	6.06	1.25	1.95	0.83	0.00	3.58	2.52	1.33	0.27	0.29	10.20	1.52
Final (15-02-21)	10.56	6.05	1.27	2.53	0.71	0.00	5.14	2.30	16.01	3.42	2.35	8.59	1.58

Fuente: Laboratorio de Análisis de suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes. LASPAF-UNALM
Elaboración: Propia de los autores

Según los resultados de caracterización físico química del laboratorio, el sustrato de la siembra de semillas es de textura Franco Arenosa, su pH al inicio del ensayo fue de 7.57, ligeramente alcalino. Está demostrado que normalmente el biochar obtenido mediante pirólisis aumenta el pH del suelo o sustrato al que se le incorpora debido a su relación directa con el carbono orgánico (Ariadna Escalante Rebolledo et al. 2016).

La **Conductividad Eléctrica** del sustrato inicial se halló algo salino (C.E.=0.65ds/m), con la adición de biochar en el segundo análisis de laboratorio este valor se había incrementado a 3.80 ds/m, este parámetro mide la concentración de sales solubles en un sustrato o suelo, el cual se incrementa cuando la materia orgánica se mineraliza, también cuando hay pérdidas en los lixiviados luego del riego de las plantas, o porque el biochar debido a su micro

porosidad, macro porosidad y área superficial también puede absorber nutrientes (Lehmann y Joseph 2009).

Como se observa, el valor de la **CIC** del sustrato inicial fue de 5.92 meq/100g, pero al adicionarle el biochar, en el segundo análisis, a los 30 días, la CIC se incrementó a 10.08 meq/100g, El sustrato con la mezcla de biochar mostró un incremento de los cationes intercambiables como el Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ y Na^+ , destacando el catión intercambiable de Ca, pues aumentó en 2.06 meq/100g de CIC, este valor podría ser debido a que el Ca normalmente lo encontramos disuelto como CaCO_3 , siendo más disponible para las plantas (Herath, Camps-Arbestain y Hedley 2013), pues como vemos en los resultados de laboratorio este valor también se incrementó de 0.38 a 1.24%.

Inicialmente el sustrato franco arenoso con el trabajamos tenía una baja cantidad de **materia orgánica**, pero con el segundo análisis en laboratorio a los 30 días del ensayo y al incorporar el biochar el porcentaje de materia orgánica aumentó de 8.30 a 17.60 g/kg, es decir, se incrementó en 112%. Por lo que el biochar producido en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos de Cieneguilla podría ayudar a mejorar la materia orgánica de los suelos y como consecuencia, mejorar la retención de nutrientes en los suelos donde se utilice.

En este ensayo la aplicación de biochar al sustrato franco arenoso, según los resultados del laboratorio, hizo que la densidad aparente (**D.A.**) tuviera un ligero incremento de 1.45 a 1.52 g/cc, a los 30 días de su aplicación, es decir, aumentó en 0.07 g/cc. Aunque lo normal es que la incorporación del biochar a los suelos disminuya su densidad aparente, debido al incremento de su porosidad y aireación, lo que haría que las plantas tengan efectos positivos en su crecimiento y buen enraizamiento, además de mejorar la micro fauna del suelo (Lehmann y Joseph 2009). Estos resultados de ligero incremento de la D.A. se explicaría porque el sustrato más el biochar se fue compactando debido a su asentamiento en las bolsas de almácigo más los riegos continuos hasta el final del ensayo.

4.5.2. Cálculo del contenido de carbono orgánico en el sustrato (gC/kg):

Calculamos el carbono acumulado en el sustrato de las unidades experimentales en tres periodos distintos del ensayo, al inicio, durante y al final, como lo indica la Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (Rügnitz, Chacón y Porro 2009). En este ensayo, para el uso de la Fórmula (1), no se tuvieron en cuenta los fragmentos gruesos porque las muestras de sustrato no lo tenían. Los valores de Carbono Orgánico (**COS**) en unidades de gC/Kg y densidad aparente (D.A.) en g/cc, fueron los que el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina nos entregó como resultados. El valor de profundidad de toma de muestra del sustrato fue de 0.15 m, como se explicó en la metodología.

$$COS \left(\frac{tC}{ha} \right) = [COS] * D.A.* profundidad * (1 - frag) * 10 \dots \text{Fórmula (1)}$$

En la Tabla 32, se muestra los resultados obtenidos para las tres etapas del proceso del cálculo de contenido de Carbono Orgánico (COS) en el sustrato.

Tabla 32: Cálculo de contenido de carbono orgánico en el sustrato (suelo) por etapas

Etapa del proceso de siembra	[COS] concentración de C.O. gC/kg	D.A. t/m ³	Profundidad toma de muestra m	Factor de conversión	COS (contenido de C.O. en el sustrato/suelo) tC/ha
Inicio	4.80	1.45	0.15	10	10.44
Durante	10.20	1.52	0.15	10	23.26
Final	8.59	1.58	0.15	10	20.36

Elaboración: Propia de los autores

De la Tabla 32, podemos deducir entonces que la cantidad de carbono orgánico del sustrato aumentó con la aplicación de biochar de 10.44 tC/ha a 20.36 tC/ha, lo que permite que el proceso de mineralización se acelere por acción de la actividad microbiana del suelo (Githinji 2013).

La Tabla 33, muestra el cálculo del incremento del carbono orgánico total en el sustrato (suelo) durante las tres etapas del proceso del ensayo: siembra, germinación y crecimiento del *Prosopis limensis*, con la ecuación, mediante la Fórmula (2):

$$\text{Incremento de Carbono } (\Delta C) = COS_n - COS_{n-1} \dots \text{Fórmula (2)}$$

Tabla 33: Cálculo del Incremento Total (ΔC) de Carbono en el sustrato durante el ensayo

Etapa del proceso de siembra	COS tC/ha	Incremento de Carbono (ΔC) tC/ha $COS_n - COS_{n-1}$		ΔC Total tC/ha ($\Delta C_1 - \Delta C_2$)
Inicio (COS_1)	10.44			
Durante (COS_2)	23.26	12.82	ΔC_1	
Final (COS_3)	20.36	-2.90	ΔC_2	9.92

Elaboración: Propia de los autores

Por lo tanto, como se aprecia en la Tabla 33, para el presente ensayo el incremento total de carbono fue de 9.92 tC/ha, que es el valor que quedará secuestrado en el suelo como un carbono recalcitrante durante muchos años. (Ariadna Escalante Rebolledo et al. 2016)

La Tabla 34, la usamos para determinar a cuanto de CO_2 , equivale el contenido de carbono orgánico que hallamos en el sustrato, se calcula con la siguiente equivalencia:

1 tC = 3.67 tCO ₂ e/ha

Tabla 34: Determinación del Dióxido de Carbono equivalente secuestrado en el sustrato o suelo

Concentración de C.O. en el sustrato tC/ha	Factor de conversión	Valor equivalente en CO ₂ tCO ₂ e/ha
9.92	1 tC = 3.67 tCO ₂ e/ha	36.4

Elaboración: Propia de los autores

La Tabla 34, lo que hace es relacionar la cantidad de carbono orgánico capturado en el suelo o sustrato con el CO_2 , y que al multiplicarlo por su factor de conversión o equivalente en función de sus pesos moleculares (Rügnitz, Chacón y Porro 2009), obtuvimos 36.4 tCO₂e/ha, que quedarán almacenados en el suelo.

V. DISCUSIÓN

El presente estudio, se realizó con biochar obtenido de residuos de maleza y poda de los puntos de acopio temporal autorizados por la Municipalidad de Cieneguilla, a donde llegan diversas especies de biomasa lignocelulósica de áreas públicas y privadas, la implementación de la técnica de pirólisis lenta para la obtención de biochar se convirtió en una gran alternativa para manejar toda la biomasa acumulada en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos Municipales que no podía ser compostada, y como lo indica el nombre de la planta, se dio valor a un producto que para muchos era inmanejable y sin utilidad alguna, lo cual concuerda con lo expresado por varios autores Lehmann y Joseph 2009, Ariadna Escalante Rebolledo et al. 2016, Ippolito, Laird y Busscher 2012 que opinan que entre los objetivos del uso del biochar como producto de enmienda, están el manejo de residuos sólidos, mitigación del efecto de los GEI, por ende del cambio climático, producción de bioenergía, mejoramiento de los suelos y también lo dicho por González-Marquetti et al. 2021, que hacen una reseña de su utilidad como mejorador de la fertilidad de suelos, a partir de residuos orgánicos, mejorando la productividad de las plantas como se demostró al utilizarlo como producto de enmienda en un sustrato con tierra y arena para germinar semillas de *Prosopis limensis* en el Vivero Municipal de Cieneguilla.

Las características de la diversidad de especies de biomasa residual lignocelulósica que llegan a la Planta de Valorización permiten elaborar un biochar de buena calidad y a bajos costos, por ejemplo, solo necesitamos secarlas al sol por unos 15 días para obtener una humedad adecuada, 13% aproximadamente, es una biomasa de pH casi neutra, con alto contenido de cenizas debido a que en el lugar de donde son traídos también encontramos alto contenido de sustancias inertes como tierra, arena, trazas de vidrio y metal, pero que no impiden pirolizarlos, tal y como lo menciona Zadeh et al. 2020, permitiendo su valorización de forma sostenible, obteniendo carbono de fácil disposición en el ambiente.

El biochar fue producido en un horno de forma cónica truncada, un reactor pirolítico de cortina de llamas, con la técnica de pirólisis lenta, muy económico

hecho de fierro, que permite que la biomasa pueda ingresar a pirólisis sin ser homogeneizada, con ramas y otras partes de la especie vegetal de hasta 1 m aproximados, sin generar humos contaminantes, al igual que el horno llamado Kon-Tiki por sus creadores Schmidt y Taylor 2014, el reactor utilizado, nos permitió pirolizar 294.30 kg de biomasa en 3 h 18', con temperaturas entre los 600-700 °C, con un personal, el enfriamiento o temple del carbón se hace con agua. Obtuvimos 133.80 kg de biochar, es decir, 45.5% de rendimiento, Ariadna Escalante Rebolledo et al. 2016, señala una buena pirólisis, con tecnologías eficientes puede alcanzar rendimientos entre 30 – 50%. Pero no solo depende de la temperatura de pirolización, también depende del tipo de biomasa, Rosario Natividad Palacios Hugo 2019, en su tesis con biomasa residual lignocelulósica de la UNALM, obtuvo un rendimiento promedio de 39.03%, de igual forma Iglesias Abad 2018, obtuvo un rendimiento de 30.8% en su investigación de pirólisis rápida con ramas de eucalipto, también está los resultados de Catalina Monserrat Diaz Granada y Gustavo Chacón Vintimilla 2017, quien trabajó con biochar de acícula de pino obteniendo 30% de rendimiento. Tag et al. 2016 indican que cuando se trata de residuos lignocelulósicos tendrán altos porcentajes de rendimiento.

De acuerdo a los resultados del laboratorio el biochar recién obtenido y el biochar activado tienen pH alcalino 10.32 y 7.67 respectivamente, en concordancia con Cornelissen et al. 2016, quienes indican que casi todos los biochars obtenidos con horno de cortina de llamas Kon Tiki son alcalinos, lo que favorecería para el tratamiento en suelos ácidos. En su trabajo de tesis Patricia Amelia Guerra Laura 2015, obtuvieron biochars de residuos agroforestales de la Amazonía peruana mediante pirólisis lenta, sus resultados de pH varió entre 7.14 a 10.74, siendo ideales para su aplicación como enmienda de suelo y como secuestrante de carbono. En ese mismo trabajo Patricia Amelia Guerra Laura 2015, encontró 6.91 dS/m en la C.E., con residuos agroforestales, que difiere del biochar de biomasa lignocelulósica de nuestro trabajo con un valor mayor (8.43 dS/m) relacionado por el contenido de cenizas de inertes hallados en la investigación.

En cuanto a los valores de N (0.59-0.68%), P(0.90-0.52%) y K(4.95-1.45%) de nuestro estudio, son similares a los obtenidos por Iglesias Abad 2018 Patricia Amelia Guerra Laura 2015 en sus investigaciones con biochar de biomasa lignocelulósica. Los micro elementos resultantes del análisis de laboratorio como Fe, Cu, Zn, Mn y B fueron mayores en biochar recién obtenido que el biochar activado biológicamente en pila de compostaje, pero aun así estas cantidades serán aprovechadas por las plantas (Ariadna Escalante Rebolledo et al. 2016), encontrándose mejorías en la calidad de los suelos con aplicación de enmienda de biochar.

Para evaluar los beneficios o efectos del biochar obtenido en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos de Cieneguilla, es que evaluamos su adición como producto de enmienda en el sustrato que usamos en el Vivero Municipal, es decir, tierra más arena, evaluando ciertos parámetros del sustrato más biochar al usarlo para germinar semillas de *Prosopis limensis* y evaluar algunas características como su altura y longitud de raíz hasta los 50 días después de su emergencia, para ello preparamos siete tratamientos, tres con biochar recién obtenido al 10, 20 y 30% de concentración en peso y biochar activado en los mismos porcentajes, en bolsas de almacigo de 2 kg de sustrato.

La adición del biochar al sustrato en sus diferentes concentraciones no alteró la alcalinidad del sustrato, tuvo un incremento de 7.57 al inicio del ensayo a 8.24 de pH a los 45 días del uso del biochar como enmienda, corroborando lo mencionado por Ariadna Escalante Rebolledo et al. 2016, Glaser, Lehmann y Zech 2002, que manifiestan que el uso del biochar incrementa el pH del suelo.

La emergencia de los cotiledones de las semillas de huarango (*Prosopis limensis*) se observó entre el quinto y séptimo día de la siembra, extendiéndose el proceso hasta los 14 días, bajo los tratamientos con 10% de biochar se obtuvieron los mayores porcentajes de emergencia, 73.3% y 66.7 para los tratamientos T5 (S+BA) y T2(S+B), el tratamiento sin biochar o blanco mostró emergencia menor al 50% y con los tratamientos T4 (S+B al 30%) y T7 (S+BA al 30%) se obtuvieron los menores porcentajes de germinación o emergencia: 33%, en general en cuanto al promedio de germinación entre

tratamientos, estadísticamente no hubo diferencias significativas en cuanto al tipo de biochar, ni con respecto a las concentraciones, por lo que el uso del biochar no presentó efectos sobre la germinación del huarango. Semejantes resultados obtuvo Mendoza y Gabriela 2019, en su investigación con producción y calidad de vainitas, donde las dosis utilizadas no mejoró ni el porcentaje de germinación, ni el rendimiento del cultivo.

Analizando el comportamiento de elongación o crecimiento de las plantas durante los 50 días de ensayo del huarango, las plántulas con mayor porcentaje de biochar, T3 y T7 son las que mostraron menor altura, las plántulas con el tratamiento sin biochar, T1, son las que lograron mayor elongación. Estos resultados son parecidos a los reportados por Herrera et al. 2018, en el que determinaron que con dosis del 30% de biochar lograron menor parte aérea en el desarrollo de su investigación con semillas de sapote, comprobando lo manifestado por Buss y Mašek 2014 que indican que altas cantidades de biochar pueden tener efecto fitotóxico sobre el desarrollo de las plántulas.

En cuanto a la longitud de la raíz, mostraron una gran variabilidad, incluso dentro del tratamiento, alcanzando longitudes entre 6 y 64 cm en el T6, lo cual demuestra que la aplicación de biochar estimula el crecimiento radicular, superando en todos los casos al tratamiento sin biochar, estos resultados concuerdan con González-Marquetti et al. 2021 Xiang et al. 2017, al parecer el biochar aporta ciertos nutrientes al sustrato para ser aprovechado por las plantas.

La acción de pirolizar la biomasa residual lignocelulósica hizo que un gran porcentaje, más del 20% de carbono que lo contenía se convierta en un carbono recalcitrante, mineralizado, haciéndolo resistente a la descomposición, funcionando, como un almacén o secuestrador de carbono al aplicarlo en el sustrato como producto de enmienda Yadav et al. 2016, los resultados de laboratorio nos permitieron hacer los cálculos de cuanto carbono orgánico puede quedar retenido en el suelo por mucho tiempo, haciendo que no se transforme en dióxido de carbono, en nuestro ensayo pudimos calcular el incremento total de carbono en 9.92 tC/ha secuestrado en

el suelo, lo que equivale decir 36.4 tCO_{2e}/ha, otros resultados como los de Forero Gutierrez y Muñoz 2017 determinaron un incremento de carbono en 0.04 tC/ha, durante el desarrollo de su investigación con cultivos de espinaca y biochar de residuos orgánicos domiciliarios, logrando secuestrar en el suelo un equivalente a 0.15 tCO_{2e}/ha; o como el resultado de (Iglesias Abad 2018), que con biochar por pirólisis lenta de cortezas y ramas de eucalipto obtuvo 52.3 tC/ha de carbono retenido en el suelo, pero no calculó el incremento, ya el carbono retenido fue un parámetro dado por el laboratorio, pero en todos los casos lo que se quiso demostrar es que la aplicación de biochar en suelo como producto de enmienda hace que el carbono sea de lenta liberación y no se transforme en CO₂, lo que contribuye en la disminución de este gas en la atmósfera, mitigando los efectos del cambio climático Herath, Camps-Arbestain y Hedley 2013, estos cálculos son importantes para usar el biochar como herramienta en la gestión ambiental y no solo como producto mejorador de suelos en agricultura o reforestación.

VI. CONCLUSIONES

La obtención del biochar a partir de biomasa residual de restos de maleza y poda de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos Municipales del distrito de Cieneguilla, mediante la técnica de pirólisis lenta, nos ayudó a implementar una alternativa de valorización y aprovechamiento de estos residuos, y para probar su efectividad como producto de enmienda evaluamos su uso en la germinación y crecimiento del *Prosopis limensis* (huarango) en el Vivero Municipal de Cieneguilla.

Las características de la biomasa residual que no se pudo compostar nos permitieron elaborar un biochar de buena calidad, con alto contenido lignocelulósico, secado al aire libre con una humedad cercana al 13% y de pH casi neutro (7.20), lo que se demostró al obtener un rendimiento del 45.5% en peso.

El biochar producido en la Planta de Valorización de Cieneguilla se obtiene en un reactor pirolítico de forma cónica truncada, hecha de lámina de hierro de 3 mm de espesor, muy económica, que nos permite pirolizar hasta 300 kg de biomasa residual en 3 horas con 18 minutos aproximados, con características apropiadas para poder usarlo en el sustrato para su evaluación en *Prosopis limensis* o en cualquier planta del Vivero Municipal, con mejores características que la biomasa original, aunque los resultados de micronutrientes no fueron muy altos, pero el contenido de materia orgánica si lo fue, con pH alcalino, pero con elevada conductividad eléctrica, por lo que se puede usar para mejorar la calidad del sustrato en el vivero municipal, pero no en agricultura por contener también metales pesados como plomo, cromo y cadmio.

El sustrato donde se aplicó biochar activado al 10% de concentración, como producto de enmienda, fue la que generó las mejores respuestas de las plantas de *Prosopis limensis* en las variables de porcentaje de germinación, altura de plántulas, cantidad de pinnas o nudos y de longitud de raíces.

Las características fenológicas del *Prosopis limensis* permitió su experimentación de germinación, elongación y enraizamiento con los

distintos porcentajes de concentración de biochar (0%, 10%, 20% y 30%) dentro del sustrato franco arenoso que se usa en el vivero municipal, además el biochar añadido como enmienda tuvo un efecto positivo en las características del sustrato y desarrollo del huarango, sobre todo en la altura de la planta y la longitud de sus raíces en comparación con el control.

Los análisis de laboratorio del contenido de carbono orgánico del sustrato al inicio, durante y al final del ensayo, tras la incorporación de biochar como producto de enmienda, nos permitió demostrar el incremento de su concentración de 4.80 gC/kg a 8.59 gC/kg, esta variación demuestra que el biochar secuestra el carbono orgánico en el suelo como un carbono recalcitrante con un incremento total de 9.92 tC/ha.

VII. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar la caracterización química del agua de riego para ver si es un factor influyente sobre el incremento de C.E. de la biomasa residual inicial versus el biochar recién obtenido, pues para este ensayo su valor se elevó de 5.33 a 36.50 dS/m, afectando en los procesos de germinación y crecimiento de las plántulas de huarango.

Continuar o ampliar el período de tiempo del estudio para observar mejor los efectos del biochar sobre los arbolitos de *Prosopis limensis*, y como producto de enmienda del suelo. También si varía el contenido de carbono orgánico del suelo.

Medir la temperatura durante el proceso de obtención de biochar.

Considerar los resultados de análisis del biochar en el laboratorio, que muestran presencia de metales pesados, por lo que no debería usarse en prácticas agrícolas, solo como hasta ahora se viene haciendo en cultivos de plantas forestales y ornamentales y como secuestrante de carbono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIADNA ESCALANTE REBOLLEDO, GUADALUPE PÉREZ LÓPEZ, CLAUDIA HIDALGO MORENO, JORGE LÓPEZ COLLADO, JULIO CAMPO ALVES, ESTEBAN VALTIERRA PACHECO, y JORGE D. ETCHEVERS BARRA, 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, vol. 34, no. 3, pp. 367-382. ISSN , 2395-8030.
- BUSS, W. y MAŠEK, O., 2014. Mobile organic compounds in biochar – A potential source of contamination – Phytotoxic effects on cress seed (*Lepidium sativum*) germination. *Journal of Environmental Management*, vol. 137, pp. 111-119. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/j.jenvman.2014.01.045.
- CASANA, R. y MATHEZ-STIEFEL, S.-L., 2011. Reforestando los bosques de huarango: una contribución a la restauración del paisaje cultural y natural de la costa peruana. *LEISA Revista de Agroecología*, vol. 27, pp. 19-20.
- CATALINA MONSERRAT DIAZ GRANADA y GUSTAVO CHACÓN VINTIMILLA, 2017. Uso de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) como enmienda de suelo negro andino (Andosol). En: Accepted: 2017-03-21T23:42:53Z [en línea], [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6828>.
- CORNELISSEN, G., PANDIT, N.R., TAYLOR, P., PANDIT, B.H., SPARREVIK, M. y SCHMIDT, H.P., 2016. Emissions and Char Quality of Flame-Curtain «Kon Tiki» Kilns for Farmer-Scale Charcoal/Biochar Production. *PLOS ONE*, vol. 11, no. 5, pp. e0154617. ISSN 1932-6203. DOI 10.1371/journal.pone.0154617.
- FORERO GUTIERREZ, D. y MUÑOZ, J.N., 2017. Implementación de alternativa de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el proceso de pirólisis lenta para la obtención de materiales de uso agrícola. *Ingeniería Ambiental y Sanitaria* [en línea], Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/364.
- GERENCIA DE SERVICIOS A LA CIUDAD Y MEDIO AMBIENTE, 2019. Inventario Distrital de Areas Verdes 2019 de Cieneguilla. . Lima, Perú: Municipalidad Distrital de Cieneguilla.
- GITHINJI, L., 2013. Effect of biochar application rate on physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science*, vol. 60. DOI 10.1080/03650340.2013.821698.
- GLASER, B., LEHMANN, J. y ZECH, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 35, no. 4, pp. 219-230. ISSN 1432-0789. DOI 10.1007/s00374-002-0466-4.

- GONZÁLEZ-MARQUETTI, I., RODRIGUEZ, M., DELGADO-ORAMAS, B. y SCHMIDT, H.-P., 2021. Artículo Reseña Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas Biochar and its contribution to plant nutrition, growth and defense. , pp. 2224-4697.
- HERATH, H.M.S.K., CAMPS-ARBESTAIN, M. y HEDLEY, M., 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, vol. 209-210, pp. 188-197. ISSN 0016-7061. DOI 10.1016/j.geoderma.2013.06.016.
- HERRERA, E.L., FEIJOO, C.Y., ALFARO, R., SOLÍS, J.L., GÓMEZ, M.M., KEISKI, R.L. y CRUZ, G.J.F., 2018. Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* (Sapote). *Scientia Agropecuaria*, vol. 9, no. 4, pp. 569-577. ISSN 2077-9917. DOI 10.17268/sci.agropecu.2018.04.13.
- IGLESIAS ABAD, S.F., 2018. TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES. , pp. 145.
- IPPOLITO, J.A., LAIRD, D.A. y BUSSCHER, W.J., 2012. Environmental Benefits of Biochar. *Journal of Environmental Quality*, vol. 41, no. 4, pp. 967-972. ISSN 1537-2537. DOI <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0151>.
- LEHMANN, J. y JOSEPH, S., 2009. *Biochar for environmental management: science and technology*. London ; Sterling, VA: Earthscan. ISBN 978-1-84407-658-1. TP331 .B56 2009
- MAIA, C.M.B.F., MADARI, B.E. y NOVOTNY, E.H., 2011. Advances in Biochar Research in Brazil. , pp. 53-57.
- MATILLA, A., 2008. Desarrollo y germinación de las semillas. . S.l.: s.n., pp. 537-558. ISBN 978-84-481-5168-3.
- MENDOZA, T. y GABRIELA, A., 2019. Compost y biochar en la producción y calidad de Vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Jade en La Molina. En: Accepted: 2019-10-18T16:35:01Z, *Universidad Nacional Agraria La Molina* [en línea], [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4140>.
- MONTOYA, A.F., 2012. Caracterización de Residuos Sólidos. *Cuaderno Activa*, vol. 4, pp. 67-72. ISSN 2619-5232.
- MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CIENEGUILLA, 2019a. Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales 2019 del Distrito de Cieneguilla - Gerencia de Servicios a la Ciudad y Medio Ambiente. . Lima, Perú: Municipalidad Distrital de Cieneguilla.
- MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CIENEGUILLA, 2019b. Reporte de Control de Recolección de Residuos Sólidos Orgánicos - Actividad 2 de la Meta 3 del

Programa de Incentivos Municipales. (2020). . Lima, Perú: Municipalidad Distrital de Cieneguilla.

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CIENEGUILLA, 2020. Reporte de Control de Recolección de Residuos Sólidos Orgánicos - Actividad 2 de la Meta 3 del Programa de Incentivos Municipales. (2020). . Lima, Perú: Municipalidad Distrital de Cieneguilla.

PATRICIA AMELIA GUERRA LAURA, 2015. Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. [en línea], Disponible en:
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1895/Q70.G84-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Residuos Sólidos Municipales. [en línea], 2020. [Consulta: 9 marzo 2021].
Disponible en:
<https://sites.google.com/minam.gob.pe/dggrs/coordinaciones/residuos-s%C3%B3lidos-municipales?authuser=3>.

ROBERTO HERNÁNDEZ SAMPIERI, CARLOS FERNÁNDEZ COLLADO, y PILAR BAPTISTA LUCIO, 2010. *Metodología de la investigación Quinta Edición* [en línea]. Quinta edición. México D.F.: Mc Graw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V. Disponible en:
https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf.

ROSARIO NATIVIDAD PALACIOS HUGO, 2019. TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL. , pp. 118.

RÜGNITZ, M., CHACÓN, M. y PORRO, R., 2009. *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. S.l.: s.n.

SCHMIDT, H.-P. y TAYLOR, P., 2014a. Kon-Tiki flame cap pyrolysis for the democratization of biochar production. *Ithaka Journal for biochar materials, ecosystems & agriculture*, vol. 1, pp. 338-348.

SCHMIDT, H.-P. y TAYLOR, P., 2014b. Kon-Tiki flame cap pyrolysis for the democratization of biochar production. *Ithaka Journal for biochar materials, ecosystems & agriculture*, vol. 1, pp. 338-348.

SUÁREZ, D. y MELGAREJO, L.M., 2010. *BIOLOGÍA Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS*. . S.l.: s.n., pp. 13-24. ISBN 978-958-719-668-9.

TAG, A.T., DUMAN, G., UCAR, S. y YANIK, J., 2016. Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 120, pp. 200-206. ISSN 0165-2370. DOI 10.1016/j.jaap.2016.05.006.

- WHALEY, O. y ORELLANA, A., 2010. *Plantas y vegetación de Ica, Perú: un recurso para su restauración y conservación. Icamanta Yurakuna Qurakuna*. 1. ed. Lima, Perú: s.n. ISBN 978-1-84246-426-7.
- WOOLF, D., AMONETTE, J.E., STREET-PERROTT, F.A., LEHMANN, J. y JOSEPH, S., 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, vol. 1, no. 1, pp. 56. ISSN 2041-1723. DOI 10.1038/ncomms1053.
- XIANG, Y., DENG, Q., DUAN, H. y GUO, Y., 2017. Effects of biochar application on root traits: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*, vol. 9, no. 10, pp. 1563-1572. ISSN 1757-1707. DOI <https://doi.org/10.1111/gcbb.12449>.
- YADAV, A., ANSARI, K.B., SIMHA, P., GAIKAR, V.G. y PANDIT, A.B., 2016. Vacuum pyrolysed biochar for soil amendment. *Resource-Efficient Technologies*, vol. 2, pp. S177-S185. ISSN 2405-6537. DOI 10.1016/j.reffit.2016.11.004.
- ZADEH, Z.E., ABDULKHANI, A., ABOELAZAYEM, O. y SAHA, B., 2020. Recent Insights into Lignocellulosic Biomass Pyrolysis: A Critical Review on Pretreatment, Characterization, and Products Upgrading. *Processes*, vol. 8, no. 7, pp. 799. DOI 10.3390/pr8070799.

ANEXO N° 03. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
<p>Problema General ¿Cómo el biochar de biomasa residual por pirolisis lenta servirá para la germinación y crecimiento del <i>Prosopis limensis</i> en el distrito de Cieneguilla?</p>	<p>Evaluar el biochar de biomasa residual por pirolisis lenta para la germinación y crecimiento del <i>Prosopis limensis</i> en el distrito de Cieneguilla.</p>	<p>El biochar de biomas residual por pirolisis lenta servirá para evaluar la germinación y crecimiento del <i>Prosopis limensis</i> en el distrito de Cieneguilla.</p>	<p>Variables Dependientes: Germinación y crecimiento de semillas de <i>Prosopis limensis</i></p>	<p>Características fenológicas de las semillas</p>
<p>Problema Específico N° 1 ¿Cuál será la característica de la biomasa residual para la elaboración del biochar?</p>	<p>Evaluar las características de la biomasa residual en la elaboración del biochar.</p>	<p>Las características de la biomasa residual permitirá la elaboración del biochar para la germinación y crecimiento del <i>Prosopis limensis</i></p>	<p>Variable Independiente: Biochar de biomasa residual</p>	<p>Contenido de Carbono orgánico</p>
<p>Problema Específico N° 2 ¿Cuáles serán las características físicas y químicas del biochar obtenido mediante la técnica de pirolisis lenta?</p>	<p>Analizar las características físicas y químicas del biochar obtenido mediante la técnica de pirolisis lenta.</p>	<p>Las características físicas y químicas del biochar de biomasa residual por pirolisis lenta permitirá la germinación y crecimiento del <i>Prosopis limensis</i>.</p>		<p>Caracterización de biomasa residual</p>
<p>Problema Específico N° 3 ¿Cuál será la concentración de biochar que genere la mejor respuesta en las plantas de <i>Prosopis limensis</i>?</p>	<p>Determinar la concentración de biochar que genere la mejor respuesta en las plantas de <i>Prosopis limensis</i>.</p>	<p>Las concentraciones del biochar usado permitirán establecer la mejor respuesta en las plantas de <i>Prosopis limensis</i>.</p>		<p>Caracterización del biochar</p>
<p>Problema Específico N° 4 ¿Cuáles serán las características fenológicas de la germinación y crecimiento de las semillas de <i>Prosopis limensis</i> al biochar de biomasa residual por pirólisis lenta?</p>	<p>Determinar las características fenológicas de la germinación y crecimiento de las semillas de <i>Prosopis limensis</i> al biochar de biomasa residual por pirólisis lenta.</p>	<p>Las características fenológicas del <i>Prosopos limensis</i>, permitirá la germinación y crecimiento de las semillas mediante el biochar de biomasa residual por pirólisis lenta.</p>		<p>Concentración del biochar</p>
<p>Problema Específico N° 5 ¿Cuál es el cambio en la concentración de carbono orgánico al inicio y al final de la siembra, relacionándolo con el secuestro de CO₂?</p>	<p>Evaluar el cambio en la concentración de carbono orgánico al inicio y al final de la siembra, relacionándolo con el secuestro de CO₂.</p>	<p>El cambio en la concentración de carbono orgánico al inicio y al final de la siembra permitirá relacionarlo con el secuestro de CO₂.</p>		

ANEXO N° 04. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA/UNIDAD DE MEDICIÓN
<p><u>Variable Independiente:</u></p> <p>Biochar de biomasa residual</p>	<p>El biochar, es un carbón vegetal, por lo mismo, también se le llama biocarbón, y la finalidad de su obtención es mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo (Lehmann & Joseph, 2009). La enmienda del suelo con biochar nace como un enfoque para mitigar el cambio climático (Woolf, Amonette, Street-Perrot, & Joseph, 2010) y mejorar la producción de cultivos (Glaser, Lehmann, & Zech, 2002). Cuando se mezcla con el suelo, el biochar puede influir en el crecimiento de las plantas y alterar las propiedades del suelo (Githinji, 2014) (Herath, Camps, & Hedley, 2013) como también la disponibilidad de nutrientes.</p>	<p>La obtención del biochar será mediante la técnica de pirólisis lenta y se evaluará mediante sus características físicas y químicas</p>	Característica de la biomasa residual	Especie	%
				Cenizas	% wt
				Humedad	% wt
				pH	-
				C.E.	dS/m
				C.I.C.	meq/100g
			Característica de biochar obtenido	C Orgánico	% wt
				Cenizas	% wt
				Humedad	% wt
				pH	-
				C.E.	dS/m
				C.I.C.	meq/100g
			Concentración del biochar	C Orgánico	% wt
<p><u>Variables Dependientes:</u></p> <p>Germinación y crecimiento de semillas de <i>Prosopis limensis</i></p>	<p>La germinación comienza con la toma de agua de una semilla seca, llamada imbibición y termina cuando el eje embrionario o la radícula atraviesan la membrana que los envuelve, llamada emergencia (Matilla, 2016, pág. 15), luego la semilla se transforma en plántula donde ya será capaz de sobrevivir por sí misma (Suárez & Melgarejo, 2010).</p> <p>El carbono orgánico del suelo (COS) es el C que permanece en el suelo luego de la descomposición de cualquier materia orgánica. Es un componente importante del ciclo global del C entre la atmósfera, vegetación, suelo, ríos y océanos (FAO, 2017).</p>	<p>La germinación se evaluará en función de las semillas que emerjan del suelo.</p> <p>El COS se calculará en base a las diferencias en peso de las muestras tomadas antes, durante y después de la siembra.</p>	Características fenológicas de las semillas	Cantidad de emergencias de plántulas (germinación)	%
				Altura de plántulas (elongación)	cm
				Longitud de raíz	cm
				Cantidad de pinnas	-
			Contenido de Carbono orgánico	CO ₂ almacenado en suelo	tc/ha

ANEXO N° 05. INSTRUMENTOS DE VALIDACIÓN DE DATOS



Anexo 3: Instrumentos

INSTRUMENTO N° 1 - FICHA DE UBICACIÓN	
TÍTULO	*Biochar de biomasa residual por Pirólisis Lenta para la germinación y crecimiento de la semilla de <i>Prosopis limensis</i> en el distrito de Cieneguilla*
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Tratamiento y Gestión de los Residuos
FACULTAD	Ingeniería Ambiental
REALIZADO POR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Loyola Saavedra, Isabel Rosario (ORCID: 0000-0002-7440-1187) ▪ Ochoa Miguel, Juan Jesús (ORCID: 0000-0002-6721-4535)
ASESOR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dr. Ordoñez Galván, Juan Julio (ORCID: 0000-0002-3419-7361)

UBICACIÓN	
DIRECCIÓN	Av. Malecón Lurín con Calle Puente
DISTRITO	Cieneguilla
PROVINCIA	Lima
DEPARTAMENTO	Lima


 Juan Julio Ordoñez Galván
 DNI: 08447308


 Oscar Baltazar
 Ing. OSCAR BALTAZAR
 Reg. No. de Matrícula: 1111111111


 Wilson Castañeda Rodríguez
 DNI : 17628411



INSTRUMENTO N°2 - FICHA DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA y QUÍMICA DE BIOMASA RESIDUAL

TÍTULO	"Biochar de biomasa residual por Pirólisis Lenta para la germinación y crecimiento de la semilla de <i>Prosopis limensis</i> en el distrito de Cieneguilla"
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Tratamiento y Gestión de los Residuos
FACULTAD	Ingeniería Ambiental
REALIZADO POR	<ul style="list-style-type: none"> Loyola Saavedra, Isabel Rosario (ORCID: 0000-0002-7440-1187) Ochoa Miguel, Juan Jesús (ORCID: 0000-0002-6721-4535)
ASESOR	<ul style="list-style-type: none"> Dr. Ordoñez Galván, Juan Julio (ORCID: 0000-0002-3419-7361)
LUGAR	Planta de Valorización de Residuos Orgánicos Municipales de Cieneguilla

FECHA	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE BIOMASA RESIDUAL PARA OBTENCIÓN DE BIOCHAR		
	ESPECIE DEL RESIDUO	Peso (g)	Porcentaje (%)
	TOTAL		100 %

FECHA	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE BIOMASA RESIDUAL						
	pH	CO	CIC	CE	Cenizas	Humedad	Densidad Aparente
	-	%w	meq/100g	dS/m	% wt	% wt	g/c ³

Juan Julio Ordoñez Galván

DNI: 06447308

Municipalidad Distrital de Cieneguilla
 Ing. OSCAR BA, TAZ 2011
 Subgerente de Medio Ambiente

Wilson Castañeda Rodríguez
 DNI : 17628411



INSTRUMENTO N° 3 - FICHA DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL BIOCHAR

TÍTULO	"Biochar de biomasa residual por Pirólisis Lenta para la germinación y crecimiento de la semilla de <i>Prosopis limensis</i> en el distrito de Cieneguilla"
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Tratamiento y Gestión de los Residuos
FACULTAD	Ingeniería Ambiental
REALIZADO POR	<ul style="list-style-type: none"> Loyola Saavedra, Isabel Rosario (ORCID: 0000-0002-7440-1187) Ochoa Miguel, Juan Jesús (ORCID: 0000-0002-6721-4535)
ASESOR	<ul style="list-style-type: none"> Dr. Ordoñez Galván, Juan Julio (ORCID: 0000-0002-3419-7361)
LUGAR	Planta de Valorización de Residuos Orgánicos Municipales de Cieneguilla

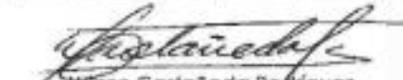
FECHA	PIRÓLISIS LENTA DE BIOMASA RESIDUAL					
	Hora de inicio hh:mm	Hora de termino hh:mm	Tiempo total	Biomasa pirolizada kg	Biomasa obtenida kg	Rendimiento %
CARGAS REALIZADAS EN PROCESO DE PIRÓLISIS LENTA						
Nro. de Carga			Peso (kg)		Tiempo Transcurrido (min)	
TOTAL						

FECHA	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE BIOCHAR Y BIOCHAR ACTIVADO BIOLÓGICAMENTE																			
	pH	C.E.	M.O.	CIC	Max. Ret. Humedad	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Hd	Na	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Pb	Cd	Cr
	-	dS/m	%	meq/100g	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm							

Juan Julio Ordoñez Galván

DNI: 06447308


 Municipalidad Distrital de Cieneguilla
 Ing. OSCAR BALTAZAR ROSA
 Gerente General de Medio Ambiente


 Wilson Castañeda Rodríguez
 DNI : 17628411



INSTRUMENTO N°5. FICHA DE CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

TÍTULO	"Biochar de biomasa residual por Pirólisis Lenta para la germinación y crecimiento de la semilla de <i>Prosopis limensis</i> en el distrito de Cieneguilla"
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Tratamiento y Gestión de los Residuos
FACULTAD	Ingeniería Ambiental
REALIZADO POR	<ul style="list-style-type: none"> Loyola Saavedra, Isabel Rosario (ORCID: 0000-0002-7440-1187) Ochoa Miguel, Juan Jesús (ORCID: 0000-0002-6721-4535)
ASESOR	<ul style="list-style-type: none"> Dr. Ordoñez Galván, Juan Julio (ORCID: 0000-0002-3419-7361)
LUGAR	Vivero Municipal de Cieneguilla

FECHA	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DE LA SIEMBRA DE SEMILLAS DE HUARANGO (LABORATORIO)																										
	Parámetro	pH	C.E.	CaCO ₃	M.O.	P	K	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					B	Cu	Fe	Mn	Zn	C	D.A.			
	Unidades		ds/m	%	g/Kg	ppm	ppm	Arena	Limo	Arcilla			%	%	%	Ca ⁺²	Mg ⁺²								K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺
Inicio																											
Durante																											
Final																											

FECHA	CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO/ CO ₂ ALMACENADO EN SUELO								
	Etapa del proceso de siembra	[COS] (concentración de C.O.) gC/kg	Densidad aparente t/m ³	profundidad de toma de muestra del suelo m	Factor que convierte unidades a tC/ha	COS (contenido de C.O. en el suelo) tC/ha	Incremento Δ de Carbono en suelo tC/ha	Δ Total tC/ha	CO ₂ e tCO ₂ e/ha 1tC=3.67tCO ₂ e/ha
Inicio									
Durante	alentamente								
Final									

Juan Julio Ordoñez Galván
DNI: 08447308

Municipalidad Distrital de Cieneguilla
Ing. CÉSAR BALTAZAR VELA
Coordinador de Medio Ambiente

Wilson Castañeda Rodríguez
DNI : 17628411

ANEXO N° 06. VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Validación de instrumentos N° 01 (Ing. Doc. Ordoñez Gálvez, Juan Julio)



Validación de instrumentos N°01

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y nombres: Ordoñez Gálvez, Juan Julio
- 1.2. Cargo e Institución donde labora: Docente de la UCV
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de ubicación
- 1.4. Autor del instrumento: Loyola Saavedra, Isabel Rosario (ORCID: 0000-0002-7440-1187)
Ochoa Miguel, Juan Jesús (ORCID: 0000-0002-6721-4535)

II. ASPECTOS DE EVALUACION

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible												X	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las Leyes y principios científicos												X	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico												X	

III. OPINION DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los Requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACION

90%

Afirmación:

 Juan Julio Ordoñez Gálvez
 DNI: 08447308

Validación de instrumentos N° 02 (Ing. Doc. Ordoñez Gálvez, Juan Julio)



Validación de instrumentos N°02

V. DATOS GENERALES

- 5.1. Apellidos y nombres: Ordoñez Gálvez, Juan Julio
 5.2. Cargo e Institución donde labora: Docente de la UCV
 5.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de caracterización físico química
 1.4 Autor del instrumento: Loyola Saavedra, Isabel Rosario (ORCID: 0000-0002-7440-1187)
 Ochoa Miguel, Juan Jesús (ORCID: 0000-0002-6721-4535)

VI. ASPECTOS DE EVALUACION

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible											X		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las Leyes y principios científicos											X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico											X		

VII. OPINION DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los Requisitos para su aplicación

SI

VIII. PROMEDIO DE VALORACION

90%

Atentamente,



Juan Julio Ordoñez Gálvez

DNI: 08447308

Validación de instrumentos N° 03 (Ing. Doc. Ordoñez Gálvez, Juan Julio)



Validación de instrumentos N°03

IX. DATOS GENERALES

- 9.1. Apellidos y nombres: Ordoñez Gálvez, Juan Julio
 9.2. Cargo e Institución donde labora: Docente de la UCV
 9.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de caracterización de biochar
 1.4 Autor del instrumento: Loyola Saavedra, Isabel Rosario (ORCID: 0000-0002-7440-1187)
 Ochoa Miguel, Juan Jesús (ORCID: 0000-0002-6721-4535)

X. ASPECTOS DE EVALUACION

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible											X		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las Leyes y principios científicos											X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación											X		
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico											X		

XI. OPINION DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los Requisitos para su aplicación

SI

XII. PROMEDIO DE VALORACION

90%

Atentamente,

 Juan Julio Ordoñez Gálvez
 DNI: 08447308

Validación de instrumentos N° 04 (Ing. Doc. Ordoñez Gálvez, Juan Julio)



Validación de instrumentos N°04

XIII. DATOS GENERALES

- 13.1. Apellidos y nombres: Ordoñez Gálvez, Juan Julio
 13.2. Cargo e Institución donde labora: Docente de la UCV
 13.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha fenológica
 1.4 Autor del instrumento: Loyola Saavedra, Isabel Rosario (ORCID: 0000-0002-7440-1187)
 Ochoa Miguel, Juan Jesús (ORCID: 0000-0002-6721-4535)

XIV. ASPECTOS DE EVALUACION

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible											X		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las Leyes y principios científicos											X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación											X		
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico											X		

XV. OPINION DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los Requisitos para su aplicación

SI

XVI. PROMEDIO DE VALORACION

90%

Atentamente,

 Juan Julio Ordoñez Gálvez
 DNI: 08447308

Validación de instrumentos N° 05 (Ing. Doc. Ordoñez Gálvez, Juan Julio)



Validación de instrumentos N°05

XVII. DATOS GENERALES

- 17.1. Apellidos y nombres: Ordoñez Gálvez, Juan Julio
 17.2. Cargo e Institución donde labora: Docente de la UCV
 17.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de carbono en el suelo
 1.4 Autor del instrumento: Loyola Saavedra, Isabel Rosario (ORCID: 0000-0002-7440-1187)
 Ochoa Miguel, Juan Jesús (ORCID: 0000-0002-6721-4535)

XVIII. ASPECTOS DE EVALUACION

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible												X	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las Leyes y principios científicos												X	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												X	
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico												X	

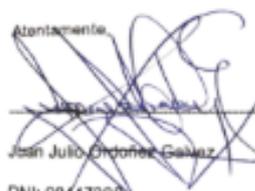
XIX. OPINION DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los Requisitos para su aplicación

SI

XX. PROMEDIO DE VALORACION

90%

Atentamente,

 Juan Julio Ordoñez Gálvez
 DNI: 08447308

Validación de instrumentos N° 01 (Ing. Baltazar vela, Oscar)



Validación de instrumentos N°01

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Baltazar Vela, Oscar
 1.2. Cargo e institución donde labora: Subdirector Medio Ambiente - Minre Casagallo
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión Ambiental
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de ubicación
 1.5. Autores de instrumento: Isabel Loyola y Juan Ochoa

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
—

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90%

Lima, 24 de febrero de 2021

Municipalidad Distrital de Casagallo
 ING. OSCAR BALTAZAR VELA
 Subdirector de Medio Ambiente

Validación de instrumentos N° 02 (Ing. Baltazar vela, Oscar)



Validación de instrumentos N° 02

V. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Baltazar Vela, Oscar
 1.2. Cargo e institución donde labora: Sub. Gerente de Medio Ambiente - Huaria Cieneguilla
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión Ambiental
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Caracterización físico - químico M
 1.5. Autores de Instrumento: Isabel Loyola y Juan Ochoa

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN

86.57.

Lima, 24 de febrero de 2021


 Universidad Distrital de Cieneguilla
 Ing. OSCAR BALTAZAR VELA
 Subgerente de Medio Ambiente

Validación de instrumentos N° 03 (Ing. Baltazar vela, Oscar)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Validación de instrumentos N°03

IX. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Baltazar Vela Oscar
 1.2. Cargo e institución donde labora: Sub Gerente Hdo Am'ante Hun. Cieneguilla
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión Ambiental
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Caracterización físico - químico B
 1.5. Autores de Instrumento: Isabel Loyola y Juan Ochoa

X. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

XI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
—

XII. PROMEDIO DE VALORACIÓN

86.57.

Lima, 24 de febrero de 2021

Municipalidad Distrital de Cieneguilla

 ING. OSCAR BALTAZAR VELA
 Sub Gerente de Hdo. Am'ante

Validación de instrumentos N° 04 (Ing. Baltazar vela, Oscar)



Validación de instrumentos N° 04

XIII. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Baltazar Vela Oscar
 1.2. Cargo e institución donde labora: Sub Gerente de Medio Ambiente - Huac. Cenequillo
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión Ambiental
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Fenología de Germinación
 1.5. Autores de Instrumento: Isabel Loyola y Juan Ochoa

XIV. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

XV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

Si
X

XVI. PROMEDIO DE VALORACIÓN

87%

Lima, 24 de febrero de 2021

M. Oscar Baltazar Vela
 Sub Gerente de Medio Ambiente

Validación de instrumentos N° 05 (Ing. Baltazar vela, Oscar)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Validación de instrumentos N° 05

XVII. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Baltazar Vela Oscar
 1.2. Cargo e institución donde labora: Sub Gerente de Medio Ambiente - Mun. Cieneguilla
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión Ambiental
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Contenido de carbón en el suelo
 1.5. Autores de Instrumento: Isabel Loyola y Juan Ochoa

XVIII. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

XIX. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

XX. PROMEDIO DE VALORACIÓN

88 %

Lima, 24 de febrero de 2021

Municipalidad Distrital de Cieneguilla

 Ing. OSCAR BALTAZAR VELA
 Sub Gerente de Medio Ambiente

Validación de instrumentos N° 01 (Ing. Mgs. Castañeda Rodríguez, Wilson)



Validación de instrumentos N° 01

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: ...WILSON CASTAÑEDA RODRÍGUEZ
 1.2. Cargo e institución donde labora: Asistente de Investigación – CEMTRAR - UNALM
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Valorización de residuos sólidos - BIOCHAR
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de ubicación**
 1.5. Autores de Instrumento: **Isabel Loyola y Juan Ochoa**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la Investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la Investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

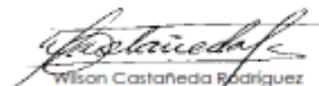
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X
X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90.5

Lima, 23 de febrero de 2021


 Wilson Castañeda Rodríguez
 DNI : 17628411

Validación de instrumentos N° 02 (Ing. Mgs. Castañeda Rodríguez, Wilson)



Validación de instrumentos N° 02

V. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: WILSON CASTAÑEDA RODRÍGUEZ
 1.6. Cargo e institución donde labora: Asistente de Investigación – CEMTRAR - UNALM.
 1.2. Especialidad o línea de investigación: Valorización de residuos sólidos - BIOCHAR.
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Caracterización físico – químico M**
 1.4. Autores de Instrumento: **Isabel Loyola y Juan Ochoa**

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la Investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la Investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X
X

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90

Lima, 23 de febrero de 2021


 Wilson Castañeda Rodríguez
 DNI : 17628411

Validación de instrumentos N° 03 (Ing. Mgs. Castañeda Rodríguez, Wilson)



Validación de instrumentos N° 03

IX. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: WILSON CASTAÑEDA RODRÍGUEZ.
 1.2. Cargo e institución donde labora: Asistente de Investigación – CEMTRAR - UNALM.
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Valorización de residuos sólidos - BIOCHAR.
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Caracterización físico – químico B**
 1.5. Autores de Instrumento: **Isabel Loyola y Juan Ochoa**

X. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la Investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la Investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

XI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

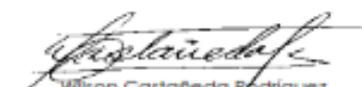
x

x

XII. PROMEDIO DE VALORACIÓN

95

Lima, 23 de febrero de 2021


 Wilson Castañeda Rodríguez
 DNI : 17628411

Validación de instrumentos N° 04 (Ing. Mgs. Castañeda Rodríguez, Wilson)



Validación de instrumentos N° 04

XIII. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: WILSON CASTAÑEDA RODRÍGUEZ.
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Asistente de Investigación – CEMTRAR - UNALM.
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Valorización de residuos sólidos - BIOCHAR.
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Fenología de Germinación**
- 1.5. Autores de Instrumento: **Isabel Loyola y Juan Ochoa**

XIV. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la Investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la Investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

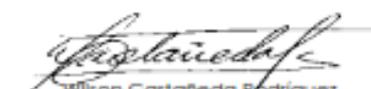
XV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X
X

XVI. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90


 Wilson Castañeda Rodríguez
 DNI : 17628411

Lima, 23 de febrero de 2021

Validación de instrumentos N° 05 (Ing. Mgs. Castañeda Rodríguez, Wilson)



Validación de instrumentos N° 05

XVII. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: WILSON CASTAÑEDA RODRÍGUEZ.
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Asistente de Investigación – CEMTRAR - UNALM.
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Valorización de residuos sólidos - BIOCHAR.
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Contenido de carbón en el suelo**
- 1.5. Autores de Instrumento: **Isabel Loyola y Juan Ochoa**

XVIII. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las Necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la Investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

XIX. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x
x

XX. PROMEDIO DE VALORACIÓN

95


 Wilson Castañeda Rodríguez
 DNI : 17628411

Lima, 23 de febrero de 2021

ANEXO N° 07. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

ANÁLISIS DE LABORATORIO – CARACTERIZACIÓN DE SUELOS N° 01



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JUAN JESÚS OCHOA MIGUEL

Departamento : LIMA
 Distrito : CIENEGUILLA
 Referencia : H.R. 73625-004C-21

Bolt.: 4404

Provincia : LIMA
 Predio :
 Fecha : 26/01/2021

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. g/kg	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
								%	%	%										
115		7.57	0.65	0.38	8.30	11.4	126	76	16	8	Fr.A.	5.92	4.00	1.08	0.29	0.55	0.00	5.92	5.92	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		B ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	C g/kg	D.A. g/cc
Lab	Claves							
115		2.19	2.00	27.92	3.52	1.36	4.80	1.45



B. Brulio La Torre Martínez
Ing. Brulio La Torre Martínez
 Jefe del Laboratorio

INFORME DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA (BIOCHAR)



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



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : JUAN JESÚS OCHOA MIGUEL
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ CIENEGUILLA
MUESTRA DE : BIOCHAR
REFERENCIA : H.R. 73627
BOLETA : 4404
FECHA : 27/01/2021

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
017	-	10.32	36.50	24.62	0.59	0.90	4.95

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
017	-	2.52	1.51	39.18	0.37

Nº LAB	CLAVES	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm
017	-	10190	39	45	166	77

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm	CIC meq/100g	Máx. ret. humedad %
017	-	27.55	1.83	10.52	5.20	44.00



B. La Torre
Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

INFORME DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA (BIOCHAR ACTIVADO)



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



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : JUAN JESÚS OCHOA MIGUEL
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ CIENEGUILLA
MUESTRA DE : BIOCHAR ACTIVADO
REFERENCIA : H.R. 73626
BOLETA : 4404
FECHA : 27/01/2021

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
016	-	7.67	8.43	20.46	0.68	0.52	1.45

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
016	-	3.64	0.59	19.96	0.48

Nº LAB	CLAVES	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm
016	-	1426	17	25	69	47

Nº LAB	CLAVES	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm	CIC meq/100g	Máx. ret. humedad %
016	-	16.03	1.65	13.75	12.00	44.18



Braulio La Torre Martínez
Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

INFORME DE ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL



INFORME DE ENSAYO N° 210000814/2021

Razón social: Juan Jesus Ochoa Miguel

RUC: DNI: 47950569

Domicilio legal: Jr. Jose Maria Arguedas 108 - amarilis - Huánuco

CMA: CMA215/2021

Producto declarado: BIOMASA RESIDUAL
 Número de Muestras: 01
 Presentación: Envase sellado / Una (01) unidad de 1.6kg aprox.
 Procedencia: PLANTA DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES CIENEGUILLA
 Condición de la muestra: Temperatura Ambiente
 Muestreado por: El cliente
 Procedimiento de muestreo: No Aplica
 Plan de muestreo: No Aplica
 Fecha y hora de muestreo: No Aplica
 Coordenadas: No Aplica
 Punto de muestreo: No Aplica
 Fecha de recepción de la muestra: 01/02/2021
 Código de Laboratorio: 210000814
 Fecha de inicio de análisis: 02/02/2021
 Fecha de término de análisis: 09/02/2021
 Fecha de emisión: 17/02/2021

Página 1 de 2

Físico Químicos			
Análisis	LCM	Unidad	Resultados
Humedad	0,01	%	13,74
Cenizas	0,01	%	11,49
pH	0,01	Unidad de pH	7,20
Conductividad Eléctrica (C.E.)	0,01	dS/m	5,33
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	0,2	meq/100g	15,2
Densidad Aparente.	---	g/cm3	0,141
Carbono orgánico	0,01	%	16,91

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE UN DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de PACIFIC CONTROL CMA S.A.C. Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado de sistemas de calidad de la entidad que lo produce.
 PR-13-15-01 / VS2, 2020.10.10

TIC Council is an international association representing independent testing, inspection and certification companies.



Pacific Control, Calidad y Medio ambiente

Laboratorios y certificaciones Panamericana Sur Km 23.5- Santa Rosa de Llanavilla Mz Q Lote 07 y 08 - Villa el Salvador
 Phone central: (+511) 660 2323

JE/CYPI/CYP

Our general term and conditions are available in full www.pacificcontrol.us or at your request Offices, Resident Inspectors, Joint Ventureships, and Representative throughout on the world

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

Tipo de análisis	Norma de Referencia
Humedad	AOAC 972.20 19th Ed. 2012
Cenizas	NORMA MEXICANA NMX-AA-18-1984. Determinación de cenizas de los residuos sólidos municipales.
pH	EPA Method 9045 D. Rev. 4 2004 Soil and Waste pH
Conductividad Eléctrica (C.E.)	ISO 11265: SOIL QUALITY: DETERMINATION OF THE SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTIVITY. 1994
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.12. método AS-12 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables del suelo, con acetato de amonio.
Densidad Aparente.	Método de Parafina
Carbono orgánico	Determinación del porcentaje de carbono orgánico mediante el método de Walkley and Black

Observaciones

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió




Quim. Celino Yahuana Palacios
 Gerente de Laboratorio
 PACIFIC CONTROL CMA SAC



FIN DE DOCUMENTO

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE UN DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de PACIFIC CONTROL CMA S.A.C. Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado de sistemas de calidad de la entidad que lo produce.
 RR-13-15-01 / V82, 2020.10.10

Our general term and conditions are available in full www.pacificcontrol.us or at your request
 Offices, Resident Inspectors, Joint Ventureships, and Representatives throughout the world

TIC Council is an international association representing independent testing, inspection and certification companies.



Pacific Control, Calidad y Medio ambiente

Laboratorios y certificaciones
 Panamericana Sur Km 23.5- Santa Rosa de Llanavilla Mz Q Lote 07 y 08 - Villa el Salvador

Phone central: (+511) 660 2323

JE/CYPI/CYP

ANÁLISIS DE LABORATORIO – CARACTERIZACIÓN DE SUELOS N° 02



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JUAN JESÚS OCHOA MIGUEL

Departamento : LIMA

Distrito : CIENEGUILLA

Referencia : H.R. 73785-011C-21

Bolt: 4451

Provincia : LIMA

Predio :

Fecha : 15/02/2021

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. g/kg	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena					Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
								%	%	%										
453		8.15	3.80	1.24	17.60	56.8	1629	73	17	10	Fr.A.	10.08	6.06	1.25	1.95	0.83	0.00	10.08	10.08	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		B ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm
Lab.	Claves					
453		3.58	2.52	1.33	0.27	0.29

C	D.A.
g/kg	g/cc
10.20	1.52



B. La Torre Martínez
Ing. Braulio La Torre Martínez
 Jefe del Laboratorio

ANÁLISIS DE LABORATORIO – CARACTERIZACIÓN DE SUELOS N° 03



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JUAN JESÚS OCHOA MIGUEL

Departamento : LIMA
 Distrito : CIENEGUILLA

Provincia : LIMA
 Predio : VIVERO MUNICIPAL DE
 CIENEGUILLA

Referencia : H.R. 73841-014C-21

Bolt: 4463

Fecha : 03/03/2021

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. g/kg	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
517		8.24	2.88	1.14	14.80	31.1	723	79	15	6	A.Fr.	10.56	6.05	1.27	2.53	0.71	0.00	10.56	10.56	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		B	Cu	Fe	Mn	Zn	C		D.A.
Lab	Claves	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	g/kg	g/cc	
517		5.14	2.30	16.01	3.42	2.35	8.59	1.58	



Br. Brulio La Torre Martínez
Ing. Brulio La Torre Martínez
 Jefe del Laboratorio

MÉTODO DE SEGUIMIENTO EN EL ANÁLISIS DE SUELO

MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS

1. Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación(es).
3. PH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 ó en suspensión suelo: KCl N, relación 1:2.5.
4. Calcareo total (CaCO₃): método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.
5. Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono Orgánico con dicromato de potasio. %M.O. = %Cx1.724.
6. Nitrógeno total: método del micro-Kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO₃-0.5M, pH 8.5.
8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄)N, pH 7.0.
9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH₃ - COOCH₃)N; pH 7.0.
10. Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ cambiabiles: reemplazamiento con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄)N; pH 7.0 cuantificación por fotometria de llama y/o absorción atómica.
11. Al³⁺+ H⁺: método de Yuan, Extracción con KCl, N
12. Iones solubles:
 - a) Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ solubles: fotometria de llama y/o absorción atómica
 - b) Cl, Co²⁺, HCO₃⁻, NO₃⁻ solubles: volumetria y colorimetria. SO₄²⁻ turbidimetria con cloruro de Bario.
 - c) Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
 - d) Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

Equivalencias:

- 1 ppm=1 mg/kilogramo
- 1 milimho (mmho/cm) = 1 deciSiemens/metro
- 1 miliequivalente / 100 g = 1 cmol(+)/kg
- Sales solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 540 x CE(es)
- CE (1 : 1) mmho/cm x 2 = CE(es) mmho/cm

TABLA DE INTERPRETACION

Salinidad		Materia Orgánica	Fósforo disponible	Potasio disponible	Relaciones Catiónicas			
Clasificación del Suelo	CE(es)	CLASIFICACIÓN	%	ppm P	ppm K	Clasificación	K/Mg	Ca/Mg
*muy ligeramente salino	<2	*bajo	<2.0	<7.0	<100	*Normal	0.2 - 0.3	5 - 9
*ligeramente salino	2 - 4	*medio	2 - 4	7.0 - 14.0	100 - 240	*defc. Mg	>0.5	
*moderadamente salino	4 - 8	*alto	>4.0	>14.0	>240	*defc. K	>0.2	
*fuertemente salino	>8					*defc. Mg		>10

Reacción o pH		CLASES TEXTURALES				Distribución de Cationes %					
Clasificación del Suelo	pH	A	A.Fr	Fr.A	Fr.	Fr.L	L	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
*fuertemente ácido	<5.5	= arena	= franco arcillo arenoso					=	=	=	=
*moderadamente ácido	5.6 - 6.0	= arena franca	= franco arcilloso					=	=	=	=
*ligeramente ácido	6.1 - 6.5	= franco arenoso	= franco arcilloso limoso					=	=	=	=
*neutro	6.6 - 7.0	= franco	= arcilloso arenoso					=	=	=	=
*ligeramente alcalino	7.1 - 7.8	= franco limoso	= arcilloso limoso					=	=	=	=
*moderadamente alcalino	7.9 - 8.4	= limoso	= arcilloso					=	=	=	=
*fuertemente alcalino	>8.5							=	=	=	=