



Universidad César Vallejo

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

**Utilización del cabello humano para la obtención de compost
aplicado al cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*), 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Jimenez Vasquez, Maria Mercedes (orcid.org/0000-0002-5394-7682)

ASESOR:

Dr.Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (orcid.org/0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos.

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

Dedicatoria

La investigación de este proyecto está dedicada a mis padres, por su apoyo incondicional. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora soy. También dedico este proyecto a mis hijos Zoe e Iker motivación de mi vida; y a mi esposo Edwin, compañero inseparable de cada jornada quien me dio aliento para continuar en momentos de decline y cansancio. A ellos este proyecto, que, sin ellos, no hubiese podido ser.

Agradecimiento

Gracias a Dios por bendecirnos cada día con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que más queremos.

Agradezco también a nuestro asesor de Tesis Dr. Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi, a quien le debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y por compartir sus experiencias transmitidas en cada clase y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad, la cual abrió abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
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.....	15
3.6. Método de análisis de datos.....	18
3.7. Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS.....	20
V. DISCUSIÓN.....	34
VI. CONCLUSIONES.....	38
VII. RECOMENDACIONES.....	39
REFERENCIAS.....	40
ANEXOS.....	45

Índice de tablas

Tabla 1. Datos básicos de los folículos capilares humanos.....	8
Tabla 2. Composición del cabello humano	10
Tabla 3. Parámetros de calidad para el compost.....	12
Tabla 4. Distribución de insumos en la compostera.....	17
Tabla 5. Condiciones para la compostera.....	20
Tabla 6. Monitoreo de la temperatura y pH durante el compostaje.....	21
Tabla 7. Parámetros de calidad de compost.....	24

Índice de figuras

Figura 1. Estructura de la fibra de cabello	9
Figura 2. Diagrama de flujo de procedimientos	16
Figura 3. Posición de los insumos en las capas de compostaje.....	18
Figura 4. Representación esquemática de la compostera.....	20
Figura 5. Excavación de la fosa y aplicación de arena.....	21
Figura 6. Evolución del pH durante el compostaje	22
Figura 7. Evolución de la temperatura durante el compostaje.....	22
Figura 8. Control de aireación y riego por temperatura	23
Figura 9. Macronutrientes en el compost (Nitrogeno y Fosforo).....	25
Figura 10. Micronutrientes en el compost (Boro y Cobre)	25
Figura 11. Conductividad eléctrica en el compost	26
Figura 12. Potencial de hidrógeno en el compost.....	26
Figura 13. Relación C/N en el compost	27
Figura 14. Materia Orgánica y Humedad en el compost	27
Figura 15. Coliformes Fecales en el compost.....	28
Figura 16. Cromo y Zinc en el compost.....	28
Figura 17. Molibdeno y Cadmio en el compost.....	29
Figura 18. Plomo y Níquel en el compost.....	29
Figura 19. Selenio, Arsénico y Mercurio en el compost.....	30
Figura 20. Peso del rabanito.....	31
Figura 21. Diámetro del rabanito	31
Figura 22. Largo del rabanito.....	32
Figura 23. Medida de la hoja rabanito	32
Figura 24. Número de hojas de rabanito	33

Resumen

La investigación tuvo como objetivo Evaluar la calidad del compost obtenido a partir de cabello humano para su aplicación en el cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*) en base a la Norma Chilena 2880. Por lo tanto, se aplicó una metodología de tipo aplicada y diseño experimental, para lo cual, la elaboración del compost se desarrolló en condiciones dimensiones de 0.50 m x 0.50 m x 0.50 m con materia prima que incluía 3.17 kg de cabello humano y 0.400 kg de estiércol de ganado vacuno, aserrín, tierra de bosque y ceniza en cada capa, a excepción de la primera capa que adicionó 0.200 kg de arena. Los resultados demostraron que el proceso de compostaje evidencio un máximo pH de 7.2 durante la fase de maduración, mientras que la temperatura máxima de 55.8 °C se presenció en la fase de termofílica tapando dicha compostera con plástico agrofílm. Por otro lado, el riego se realizó en cada cambio de fase, y el volteo se aplicó todas las semanas. Se concluye que el compost tiene mayor rendimiento según las características de peso, diámetro, largo, medida de la hoja y numero de hojas con la aplicación de una dosificación de 50% de compost en una maceta con capacidad de un kilo se sustrato. Además, la calidad del compost presenta rangos aceptables en la mayoría de los parámetros en base a la Norma Chilena 2880, sin embargo, en el caso de parámetros biológicos como coliformes fecales y metales pesados como Níquel y Mercurio se encuentra en rangos no aceptables.

Palabras clave: Compost, cabello humano, eficiencia, fitotoxicidad, calidad.

Abstract

The aim of the research was to determine the quality of compost obtained from human hair for application in the cultivation of radish (*Raphanus sativus*) based on Chilean Standard 2880. Therefore, an applied type methodology and experimental design was applied, for which, composting was developed under conditions dimensions of 50 m x 0.50 m x 0.50 m with raw material that included 3.17 kg of human hair and 0.400 kg of cattle manure, sawdust, woodland and ash in each layer, except for the first layer that added 0,200 kg of sand. The results showed that the composting process showed a maximum pH of 7.2 during the maturation phase, while the maximum temperature of 55.8 °C was present in the thermophilic phase. On the other hand, irrigation was carried out at each phase change, and the flip was applied every week. It is concluded that the compost has higher yield according to the characteristics of weight, diameter, length, leaf size and number of leaves with the application of a dosage of 50% compost in a pot with a capacity of one kilo is substrate. In addition, the quality of the compost presents acceptable ranges in most parameters based on Chilean Standard 2880, however, in the case of biological parameters such as fecal coliforms and heavy metals such as Nickel and Mercury is unacceptable ranges.

Keywords: compost, human hair, efficiency, phytotoxicity, quality

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo alrededor de 2,6 millones de toneladas de desechos de alimentos se gestionaron a través de procesos aeróbicos de compostaje en el año 2018 (Agencia de protección ambiental, 2018, p.25), es así que el compostaje se ha convertido en una opción preferible para el tratamiento de residuos orgánicos que permite obtener un producto final estable higienizado, el cual puede ser utilizado como enmienda orgánica (Sayara, et al.2020, p.1). Este producto resultado del compostaje eventualmente podrá mejorar la estructura, la textura y la aireación del suelo y mejorar la capacidad de retención de agua del suelo (Palaniveloo, et al. 2020, p.3), es por ello que el compostaje es ampliamente utilizado como un método económico y fácil de operar para manejar los desechos orgánicos (Wei, et al.2021,p.1).

Se ha reportado que anualmente se desperdician 1.300 billones de toneladas de alimentos en el mundo, lo que representa el 33% de la oferta de alimentos disponible para consumo humano, de los cuales el 50% son productos hortofrutícolas, 30% cereales y 20% productos pecuarios, alimentos que finalmente se convierten en residuos orgánicos, material que al no ser valorizado, disminuye su valor económico en el mercado comercial (Vargas y Torres, 2019, p.124), frente a la alta segregación de los desechos orgánicos se hace necesario establecer nuevas medidas que permitan aprovechar estos residuos de manera eficiente, reduciendo los índices de contaminación en el ambiente (Llenque,et al. 2020,p.24)

El cabello humano se considera un producto de desecho omnipresente y su acumulación puede causar problemas ambientales, pues cuando se desecha en la naturaleza se descompone lentamente durante varios años, en las áreas con alta densidad de población, obstruyendo los sistemas de drenaje, lo que plantea un problema multifacético (Worku y Nachippian, 2022,p.4). Por lo tanto, la búsqueda de alternativas que aprovechen estos residuos como nueva materia prima es de interés para contribuir de manera sostenible al planeta (Zhang, et al. 2020, p.2), para lo cual, una solución inmediata que permite reducir los índices de contaminación es utilizar el cabello humano en el proceso de compostaje (Kanwar y Paliyal, 2021, p.68).

En tanto, en el Perú se desperdician anualmente 12,8 millones de toneladas de residuos orgánicos, estas corrientes de residuos representan un gran porcentaje del total de residuos sólidos generados en el país, lo que a su vez representa el 3,51% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional (Cordova, et al. 2022, p.3), frente a la mala segregación de los residuos sólidos orgánicos se hace necesario utilizar este tipo de residuos por medio del compostaje, siendo una alternativa eficaz que permite reducir en gran medida los gases de efecto invernadero (Bottausci,et al. 2022,p.3).

En efecto el uso de cabello humano representa una buena alternativa en la elaboración de compost, se ha demostrado que el cabello humano se encuentra químicamente compuesta por 15.1% de nitrógeno y 5.2% de azufre elementos que mediante el proceso de compostaje pueden ser liberados en nutrientes asequibles para el desarrollo de las plantas (Jacome, 2015,p.139), en tal sentido el cabello humano en el Perú representa una buena alternativa para la elaboración de compost, ya que se ha evidenciado que este tipo de residuo termina arrojado en los diversos botaderos que existen a nivel nacional, siendo un grave riesgo para el ambiente lo cual trae consigo el aumento de los niveles de contaminación.

Como consecuencia del aumento de la contaminación ambiental por residuos sólidos orgánicos, en la presente investigación se busca utilizar el cabello humano en el proceso de compostaje, lo cual resulta ser una buena alternativa para elaborar compost, ya que en muchos de los casos los residuos de cabello humano terminan siendo desechados en diversos botaderos de basura, del mismo modo luego de obtenido el compost se plantea utilizarlo en un cultivo agrícola como el rábano (*Raphanus sativus*), esto con el objetivo de analizar la calidad del compost y si este muestra ser eficiente en el desarrollo del cultivo de rábano (*Raphanus sativus*).

En tal sentido en la presente investigación se plantea el siguiente **Problema general**: ¿De qué manera se evaluará la calidad del compost obtenido a partir de cabello humano para su aplicación en el cultivo de rabanito en base a la Norma Chilena 2880?; así mismo los **Problemas específicos**; **PE1**: ¿Cómo se elabora el compost a partir de cabello humano?; **PE2**: ¿Cuáles son las características físicas del proceso de compostaje?; **PE3**: ¿Cómo se comparará

la calidad del compost a partir de cabello humano de acuerdo a la Norma Chilena 2880?; **PE4:** ¿Cuál es el efecto de la aplicación del compost a base de cabello humano en el cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*)?

El estudio se justifica desde el punto de vista práctico, teórico, económico, social y ambiental, respecto a la parte práctica se justifica porque se generará aportes prácticos directos o indirectos relacionados a la utilización de cabello humano en el proceso de compostaje, es por ello que se pretende aplicar cabello humano con el objetivo de obtener un compost de mayor calidad. Mientras que la justificación teórica se sustenta en la generación de debate académico en torno a la utilización de cabello humano en el proceso de compostaje, analizando si el cabello humano permite obtener un compost mucho más eficiente que el compost tradicional.

Respecto a la parte económica, el estudio se justifica porque el empleo de cabello humano resulta económicamente viable debido a que carece de valor económico y presenta facilidad de obtención. Por otro lado, la justificación social se evidenciará en los beneficios a la población que pudiera involucrarse en actividades de compostaje y como usuarios de este producto, asimismo en el aumento de bienestar humano debido a la reducción de problemas que causa este residuo. Finalmente el estudio se justifica ambientalmente porque permitirá reducir la contaminación generada por los residuos provenientes de cabello humano.

Para dar cumplimiento a lo anteriormente descrito se plantea el siguiente **objetivo general**: Evaluar la calidad del compost obtenido a partir de cabello humano para su aplicación en el cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*) en base a la Norma Chilena 2880; así mismo los **objetivos específicos**; **OE1**:Explicar cómo se elabora el compost a partir de cabello humano; **OE2**:Determinar las características físicas del proceso de compostaje; **OE3**: Comparar la calidad del compost a partir de cabello humano de acuerdo a la Norma Chilena 2880; **OE4**: Determinar el efecto de la aplicación del compost a base de cabello humano en el cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*).

II. MARCO TEÓRICO

Diversos investigadores exploraron la utilización de cabello humano en el compostaje, por lo tanto, a nivel internacional se evidencian los siguientes estudios:

Choudhary et al. (2022) tuvo como objetivo evaluar el potencial de las técnicas de hidrólisis alcalina para valorizar el cabello humano residual y evaluar su impacto en el rendimiento del frijol mungo. La metodología fue experimental, para lo cual se hidrolizaron termoquímicamente con hidróxido de potasio y en combinación con hidróxido de calcio. Los resultados mostraron que la enmienda de 8 ml de solución de HKC (cabello y H₂O en una proporción de 1:10 a 7,5 pH) dio un rendimiento de grano y un contenido de proteína de frijol mungo de 9 y 20 % mayores respectivamente, por encima de la dosis recomendada de fertilizante nitrogenado. Se concluye que la hidrólisis alcalina podría considerarse como una técnica de valorización eficiente para el cabello humano residual.

Chen et al. (2021) tuvo como objetivo evaluar un fertilizante a base de queratina como recubrimiento para la urea de liberación lenta. La metodología fue experimental, para lo cual se llevó a cabo la extracción de queratina mediante reacción con AA (Ácido acrílico), MBA (N,N-metilenbisacrilamida) para formar un super absorbente a base de queratina (KSA). Los resultados demostraron que el KSA podría mejorar la retención de agua del suelo, asimismo la tasa de liberación de urea acumulada fue del 81,32 %. Por otro lado, se comprobó un efecto de remediación en el suelo contaminado que inhibió cerca del 90,80 % de Cr. Los experimentos de crecimiento mostraron que el fertilizante tuvo un papel positivo en el crecimiento del trigo. Se concluye que el fertilizante a base de queratina tiene amplias aplicaciones industriales y agrícolas verdes.

Forero et al. (2021) tuvo como objetivo evaluar el uso de abono orgánico con cabello humano. La metodología fue experimental, en donde obtuvo compost a partir de cabello humano y cáscaras de plátano deshidratadas para evidenciar su impacto en el crecimiento de diversas plantas ornamentales, las evaluaciones se realizaron con un monitoreo por 100 días. Los resultados demostraron que en 7 días hubo cambios en el crecimiento de una hoja nueva en *Cichorium intybus*, a diferencia de *Gamochaeta* que no presentó cambios hasta 50 días. Además

para *Celosia plumosa*, el abono no fue beneficioso en condiciones de exposición indirecta del sol, pues se presentó marchitamiento. Se concluye que las cáscaras de plátano deshidratadas influyeron positivamente en la capacidad nutritiva del compost, permitiendo obtener un abono efectivo para algunas plantas.

Unnikrishnan y Ramasamy (2020) tuvieron como objetivo analizar la extracción de queratina de cabello humano con producción de biofertilizante y su aplicación eficiente en el rendimiento de crecimiento de *Abelmoschus esculentus L.* La metodología fue experimental, donde se llevó a cabo una técnica de extracción utilizando urea 7 M, 6 g de SDS y 15 ml de 2-mercaptoetanol. En los resultados se obtuvo un rendimiento del 73% de aproximadamente 6,8 g de queratina a partir de 10 g de residuos de cabello humano y baja cristalinidad, asimismo se observa que la pérdida de nitrógeno es el inconveniente del fertilizante de <15%. Se concluye que la extracción de queratina del cabello humano tiene implicaciones para su uso como fertilizante orgánico.

Patil et al. (2020) tuvo como objetivo extraer los aminoácidos de cabello humano y utilizarlo como fertilizante natural. La metodología experimental consistió en disolver el cabello en HCl 0,05 N (20 ml) y luego agregar gota a gota una solución de NaOH 0,1 N hasta que el sólido se separa, el residuo se disolvió en 20 ml de etanol y se calentó durante 10 minutos y luego se filtra. En los resultados se evidencio que el cabello humano tuvo un contenido de nitrógeno (~16%), lo cual es un requerimiento para las plantas. Se concluye que el cabello es un biomaterial potencial como fertilizante debido a que está compuesto principalmente de proteínas, en particular alfa-queratina.

Rahman (2017) tuvo como objetivo analizar el fertilizante nitrogenado de liberación rápida de cabello humano. En la metodología experimental se compararon el hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de tetrametilamonio (TMAH) como disolventes para extraer nitrógeno. Asimismo, se investigó el rendimiento de los fertilizantes líquidos producidos en comparación con el fertilizante comercial NPK en el crecimiento y rendimiento de espinaca (*Spinacia oleracea L.*). Los resultados demostraron que el KOH era mejor para disolver el cabello en comparación con TMAH. Por otro lado, la espinaca presenta buen

rendimiento. Se concluye que los fertilizantes sintetizados de cabello humano residual como fuente de nitrógeno fueron mejor que el fertilizante NPK comercial.

Malepfane (2017) tuvo como objetivo investigar la composición elemental y el valor fertilizante del cabello africano, blanco e indio. La metodología experimental se llevó a cabo mediante la mezcla con 100 g de suelo a razón de 0, 200, 400 y 800 kg N/ha durante 84 días. También se estableció un experimento en macetas para evaluar el rendimiento y la absorción de nutrientes por parte de la espinaca (*Spinacia oleracea*). Los resultados evidenciaron que el cabello indio y el blanco tenían niveles similares de N y eran más altos, mientras que respecto a C como Ca y Fe como K presentaron mayores concentraciones en el cabello blanco y africano respectivamente. Se concluye que el cabello aumenta el rendimiento de espinacas y la absorción de nutrientes a tasas de aplicación más altas.

Dentro del ámbito nacional se percibieron los siguientes antecedentes:

Gonzales (2022) tuvo como objetivo identificar el efecto de vermicompost elaborado con cabello humano y harina de huesos en suelo salino (SS). Para ello, la metodología experimental se desarrolló en macetas con gras japonés en T1 (3% VC-97% SS), T2 (2,2% VC-97,8% SS), T3 (1,5% VC-98,5% SS), T4(3%VCM-97% SS), T5 (2,2% VCM-97,8% SS), T6 (1,5% VCM-98,5% SS) y T7 (1,4% SO₄Ca-98,6% SS), durante 30 días. Los resultados demostraron una CE inicial de 6.11 dS/m que indica una salinidad moderada, asimismo el contenido de materia orgánica fue 21,89%. Se concluye que el tratamiento y dosis más efectiva fue el T4, el cual disminuyó la salinidad del suelo hasta 1.37 dS/m.

Oviedo (2019) tuvo como objetivo analizar la extracción de queratina por hidrólisis de cabello humano proponiendo su utilización como fertilizante. En la metodología de análisis documental se evaluaron los métodos en base a factores como rendimiento, costo de reactivos y requerimiento energético. Los resultados indicaron una consistencia de proteína marrón cristalina con sulfuro de sodio, proteína blanquecina, esponjosa y ligera con ácido paracético, proteína en forma de escamas, color blanquecinas con ácido tioglicólico y proteína blanca en forma de escamas con urea. Se concluye que con sulfuro de sodio, urea y ácido tioglicólico se obtuvieron rendimientos superiores a 54%.

Torres (2017) tuvo como objetivo evaluar el compost de cabello humano utilizando microorganismos eficientes. La metodología experimental se llevó a cabo en tratamientos con dosis de 15%, 22% y 37% de cabello humano y 1Lt., 2 Lts. y 3 Lts de microorganismos respectivamente, en combinación con aserrín y residuos alimentarios. Los resultados demostraron que el T1 con 15%, 1 Lt, 10% y 75% de cabello, microorganismos, aserrín y desechos, presentó mayor concentración de macro nutrientes con valores de 0.22% de N, 0.056% de K y 0.0047% de P, materia orgánica de 6.81%, CE de 1.24 mS/cm y un rendimiento de 92.81%. En conclusión, se determinó que el cabello humano se degradó hasta 60%, por lo que la cantidad restante puede reutilizarse en la producción de abono.

Rivera (2017) tuvo como objetivo aprovechar los restos de cabello humano generados en los salones de bellezas y peluquerías a través de la técnica de compostaje para el crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum L.*). Por ello en la metodología experimental se manipuló tres tratamientos de compostaje con 0kg cabello, 34 kg rastrojo y 50 kg estiércol; 8kg cabello, 34 kg rastrojo y 50 kg estiércol; 16kg cabello, 34 kg rastrojo y 50 kg estiércol en T0, T1 y T2 respectivamente con duración de 84 días. Mientras que en el cultivo de albahaca se aplicaron cuatro tratamientos durante 42 días. Los resultados demostraron mayores concentraciones de nutrientes y una altura de 29 cm, nº hojas de 37, tamaño hojas de 12.6 cm y productividad de peso cosechado de 199.33 gr en el T2. Se concluye que el T2 fue el más adecuado para obtener macronutrientes y micronutrientes óptimos que permitió un mejor rendimiento de albahaca.

De esta manera se ha demostrado los aportes en la literatura científica sobre el tema de estudio, sin embargo, es indispensable también mencionar las bases teóricas que sustentan el compostaje del cabello humano y su utilización como abono para el crecimiento vegetativo de cultivos. De esta manera, se define al compost como un producto de la descomposición de residuos sólidos compuesto principalmente de materiales orgánicos en ambiente controlados, resultado de la transformación biológica de los hongos, bacterias y gusanos de origen vegetal, animal o residuos empleados en las viviendas (Buschiazzo, 2019,p.3).

Asimismo (González, 2018,p.2) indica que es un componente que contribuye significativamente en la conservación del suelo mediante el mejoramiento del contenido nutricional de las plantas, el cual deriva de actividades metabólicas de reacciones químicas complejas en condiciones controladas por un grupo de microorganismos aeróbicos que contribuyen a la descomposición del material orgánico. Por lo tanto, el compostaje se considera un proceso natural que facilita la descomposición de materia orgánica, siendo un método económicamente rentable que reutiliza residuos sólidos para la utilización en un estado estable libre de agentes patógenos y productos tóxicos que garanticen una producción de alta calidad (Castillo, 2020,p.5).

Por otro lado, el cabello humano se define como un sistema complejo integrado de varios componentes morfológicos que actúan como una unidad, donde la parte del cabello encima de la piel se denomina fibra capilar y, dentro de la piel, el folículo piloso es la parte viva del cabello a partir de la cual crece el cabello y donde se genera la fibra capilar (Cruz. et al. 2017,p.8). Asimismo menciona que el cabello humano es tejido laminar-fibroso y un producto de queratinización evolutivamente antiguo de los tricocitos del folículo, el cual se origina en los folículos pilosos en lo profundo de la dermis (Adav, 2018,p.21).

Tabla 1.

Datos básicos de los folículos capilares humanos.

Características	Descripción
Cuenta total	Casi 5.000.000
Recuento de pelo del cuero cabelludo	80,000–150,000
Proporciones del ciclo capilar del cabello del cuero cabelludo	Anágena: 85–90%
	Catágeno: 1%
	Telógeno: 10-15%
Duración de la fase del ciclo capilar	Anagen: 2-6 años
	Catágena: 2–3 semanas
	Telógeno: 3 meses
Tasa fisiológica de caída del cabello (cuero cabelludo)	~100–200/día
Tasa de producción del tallo del cabello (cuero cabelludo)	~0,35 mm/día, 1 cm/mes
Diámetro y longitud del tallo del cabello	Espesor: 0,06 mm; 1–2 mm
	Terminal: >0,06 mm; 1-50cm
Patrones de cabello	Cabello del cuero cabelludo

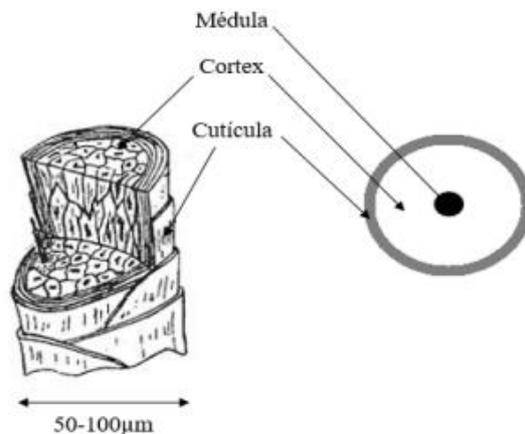
	Vello púbico y axilar
	Pelo de falange
Pigmentación del tallo del cabello	Cabello oscuro: predominio de eumelanina
	Cabello rubio/pelirrojo: predominio de feomelanina

Nota. Erdoğan, 2016.

Existen tres tipos principales de cabello georracial como africano, asiático y caucásico, con distintas características de forma de fibra capilar (diámetro, elipticidad y curvatura), en este sentido, la forma del cabello se define en el folículo piloso: los folículos pilosos grandes producen pelos "terminales" (cuero cabelludo), los folículos pequeños producen pelos finos "vellosos" (vello corporal), los folículos curvos producen pelo rizado en todas las etnias (Cruz et al. 2017,p.4).

La estructura del cabello, desde el exterior hacia el interior está compuesta por cutícula, corteza y médula, donde la cutícula está formada por escamas cubrientes que apuntan hacia la punta del cabello, formadas por células raramente queratinizadas, que enmarcan de 6 a 8 capas. La corteza ó cortex está sostenida de la capa protectora de la cutícula y la constituyen células corticales en forma de aguja, alineadas regularmente paralelas a la longitud del cabello. La médula es el canal central que recorre el cabello que puede cambiar el grado de modulación (Barba, 2017,p.8).

Figura 1. Estructura de la fibra de cabello



Nota. (Stahl y Suárez, 2017).

Las fibras capilares humanas están compuestas por diferentes componentes morfológicos y varias especies químicas diferentes, que actúan juntas, el componente principal es la proteína, que corresponde al 65%-95% del peso del cabello. Otros constituyentes son agua, lípidos, pigmentos y oligoelementos (Cruz et al. 2017,p.5). El análisis elemental ha demostrado que el cabello contiene aproximadamente un 5% en peso de azufre, que refleja la alta concentración de cisteína de las proteínas del cabello del cuero cabelludo, asimismo el calcio, el magnesio, el zinc y el cobre también son muy abundantes en el cabello del cuero cabelludo (Ha et al. 2019,p 1).

Tabla 2. Composición del cabello humano

Queratina	65-95%
Aminoácidos	$\begin{array}{c} \oplus \\ \text{NH}_3 - \text{CH} - \text{R} \\ \\ \text{CO}_2^- \end{array} \quad (\text{R: Grupo Funcional})$
Cistina	$\begin{array}{c} \oplus \\ \text{NH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{S} - \text{S} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{NH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{CO}_2^- \qquad \qquad \qquad \text{CO}_2^- \end{array}$
Lípidos	Estructural y libre
Ácido 18-metil eicosanoico (18-MEA)	$\text{H}_3\text{C} - \text{CH}(\text{CH}_3) - \text{C}_{16}\text{H}_{33} - \text{COOH}$
Agua	Hasta 30%
Pigmentos y traza de elementos	Melanina

Nota. (Stahl y Suárez, 2017).

El tremendo volumen de residuos de cabello humano, está creando un grave problema de residuos sólidos en muchos países y su gestión se lleva a cabo mediante métodos tradicionales de eliminación que incluyen la incineración, el vertido, el compostaje y la trituración mecánica, pero estas estrategias generan una enorme producción de gases nocivos y representan un riesgo para el medio ambiente . Por lo tanto, desde el punto de vista de la economía y la protección del medio ambiente, es muy deseable desarrollar un proceso eficaz y rentable para utilizar estos recursos (Unnikrishnan y Ramasamy, 2020,p.4).

De esta manera, se ha comprobado que al emplear el cabello humano como fertilizante se crea un aprovechamiento excelente y sin destruir lo que es el medio de cultivo, en este caso el suelo, además de que se reduce el daño de los campos de cultivo y se consigue aproximadamente la misma productividad (Gonzales, 2022,p.4). Asimismo (Mishra, 2017,p2) menciona que el cabello

humano contiene el 16% del nitrógeno, que es el material orgánico con mayor contenido de nitrógeno en la naturaleza, y también contiene carbono y un 20% de otros elementos esenciales para las plantas.

También se considera que el cabello humano contiene hasta un 80% de queratina, la cual a su vez comprende altas cantidades de proteínas con alto contenido de azufre y una cuarta parte de las cuales están compuestas por media cisteína (Chandrakant et al. 2018,p.5). Por otro lado, el cabello humano presenta un ritmo más lento en la atmósfera, pero en presencia de hongos queratinolíticos y la humedad presente en el suelo y los lodos de las aguas residuales pueden ayudar a descomponerlo en unos pocos meses, asimismo mediante la adición de cabello humano con estiércol de ganado se puede producir un vermicompost de buena calidad en dos o tres meses.

Durante el compostaje, se emplean bacterias y hongos que producen enzimas queratinolíticas para degradar la queratina contenida en el cabello humano, entre las bacterias, predomina el género *Bacillus*. En este sentido (Peng et al.2019,p.4), menciona bacterias de especies *Bacilluslicheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* como las más estudiadas, junto con *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas aeruginosa*, también incluye actinomicetos como *Streptomyces spp* y hongos *Dermatophyte* de especies *Trichophytonrubrum*, *Scopulariopsis brevicaulis*, *Microsporum gypseum* considerados los primeros microorganismos encontrados para degradar la biomasa residual de queratina.

En la tabla 4, se puede observar los parámetros de calidad para compost según diferentes instituciones fidedignas, donde se considera compost de clase A para aquel producto con altos niveles de calidad y libre de restricciones de utilización, en cambio, el compost de clase B se refiere a un producto con niveles medianos de calidad y su empleo conlleva ciertas restricciones.

Tabla 3. Parámetros de calidad para el compost

Parámetro	FAO	Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) - Iquitos	Norma Técnica Chilena 2880
CE (dS.m ⁻¹)	-	2-4	3 ^A , 8 ^B
pH	6.5-8.6	7.0-8.3	5.0-8.5
Materia orgánica (%)	>20	-	>=20
Humedad (%)	30-40	-	30-45
Nitrógeno total (%)	0.3-1.5	0.8-1.5	>=0.5
P ₂ O ₅ (%)	0.1-1.0	0.4-1.0	-
K ₂ O (%)	0.3-1.0	0.6-1.5	-
CaO (%)	0.3-1.0	0.6-1.5	-
MgO (%)	-	0.2-0.7	-
C:N	10:1-15:1	-	<=25 ^A , <=30 ^B
Cu (ppm)	-	-	100 ^A , 1000 ^B
Zn (ppm)	-	-	200 ^A , 2000 ^B
Pb (ppm)	-	-	100 ^A , 300 ^B
Cd (ppm)	-	-	2 ^A , 8 ^B
Cr (ppm)	-	-	120 ^A , 615000 ^B

A = Compost de clase A; B = Compost de clase B

Nota. Citado en (Castillo, 2020)

Otra manera de obtener fertilizantes a base de cabello humano es mediante el calentamiento de esta materia prima a una temperatura muy alta, alrededor de 400 a 500 °C hasta que se convierte en líquido, que luego se mezcla con agua para preparar la mezcla cruda de la solución de aminoácidos, el cual finalmente se mezcla con agua y se rocía sobre las plantas, donde el aminoácido actúa como un estimulante natural y el cabello tiene diferentes tipos de aminoácidos, incluida la lisina, que es muy buena para el crecimiento de las leguminosas y en plantas de horticultura (Menon et al.2020,p.7).

Este procedimiento se caracteriza porque el cabello se descompone mediante un proceso de hidrólisis química en unas pocas horas, lo que permite usarse como fertilizante líquido después de su neutralización (Mishra, 2017,p.5). También se ha informado que la aplicación directa de cabello humano al suelo proporciona los nutrientes necesarios para las plantas durante más de dos o tres temporadas de cultivo, incluso que actúan como acondicionadores del suelo debido al alto contenido de aminoácidos y proteínas que mejora el crecimiento

bacteriano y aumenta la flora del suelo hasta tres veces mayor que el observado en el suelo del campo agrícola no fertilizado (Menon et al., 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Para el desarrollo del presente estudio se estableció un tipo de investigación aplicada, por motivo que se basa en la búsqueda de información que permita sustentar la base de los resultados que representan una solución a una problemática (Ñaupas et al. 2018, p.35). En este sentido, se realizó la búsqueda minuciosa de información referente a la aplicación de cabello humano en la producción de compost, que permita comparar los resultados obtenidos con trabajos previos con la finalidad de aceptar o rechazar las hipótesis planteadas y adquirir nuevos conocimientos.

Mientras que el diseño de la investigación fue experimental de tipo pre experimental, que según (Sampieri 2018,p.34) presenta un grado de control mínimo y se emplea un grupo único de estudio, asimismo se observa el impacto de la variable autónoma sobre la variable subordinada, para lo cual se aplica una medición previa y posterior al estímulo para luego ser interpretadas en base a los datos. De esta manera, se llevo a cabo la evaluación de calidad del compost como variable dependiente y el aditivo de cabello humano como variable independiente en procesos experimentales.

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Cabello humano

El cabello humano es un sistema complejo integrado por diferentes componentes morfológicos y varias especies químicas diferentes, que actúan juntas, donde el componente principal es la proteína, que corresponde al 65%-95% del peso del cabello, asimismo contiene un 16% de nitrógeno y un 20% de otros elementos esenciales para las plantas (Cruz et al. 2017,p.8).

Variable dependiente: Compost

El compostaje permite obtener un producto fertilizante con propiedades beneficiosas que proporciona los nutrientes necesarios para el desarrollo vegetativo de las plantas como leguminosas y hortalizas, además reduce el daño

de los campos de cultivo y permite obtener aproximadamente la misma productividad que con fertilizantes convencionales (Gonzales, 2022).

3.3. Población, muestra y muestreo

La población es un compuesto de elementos que poseen peculiaridades que se pretenden estudiar, mientras que la muestra viene a ser un subgrupo de la población, de donde se toman la data, dicha muestra debe ser representativa (Ventura, 2017). En este sentido, tanto la población como la muestra estuvo comprendida por la misma cantidad de compost que se obtuvo en el procedimiento de investigación, es decir, 12 kilogramos de compost, donde cada kilogramo de compost representa la unidad de análisis. De esta manera, el muestreo se definió de manera no probabilística, pues intervienen los criterios del investigador con el fin de elegir las unidades muestrales en base a características que requiera la naturaleza del estudio (Ñaupas, et al. 2018,p.4).

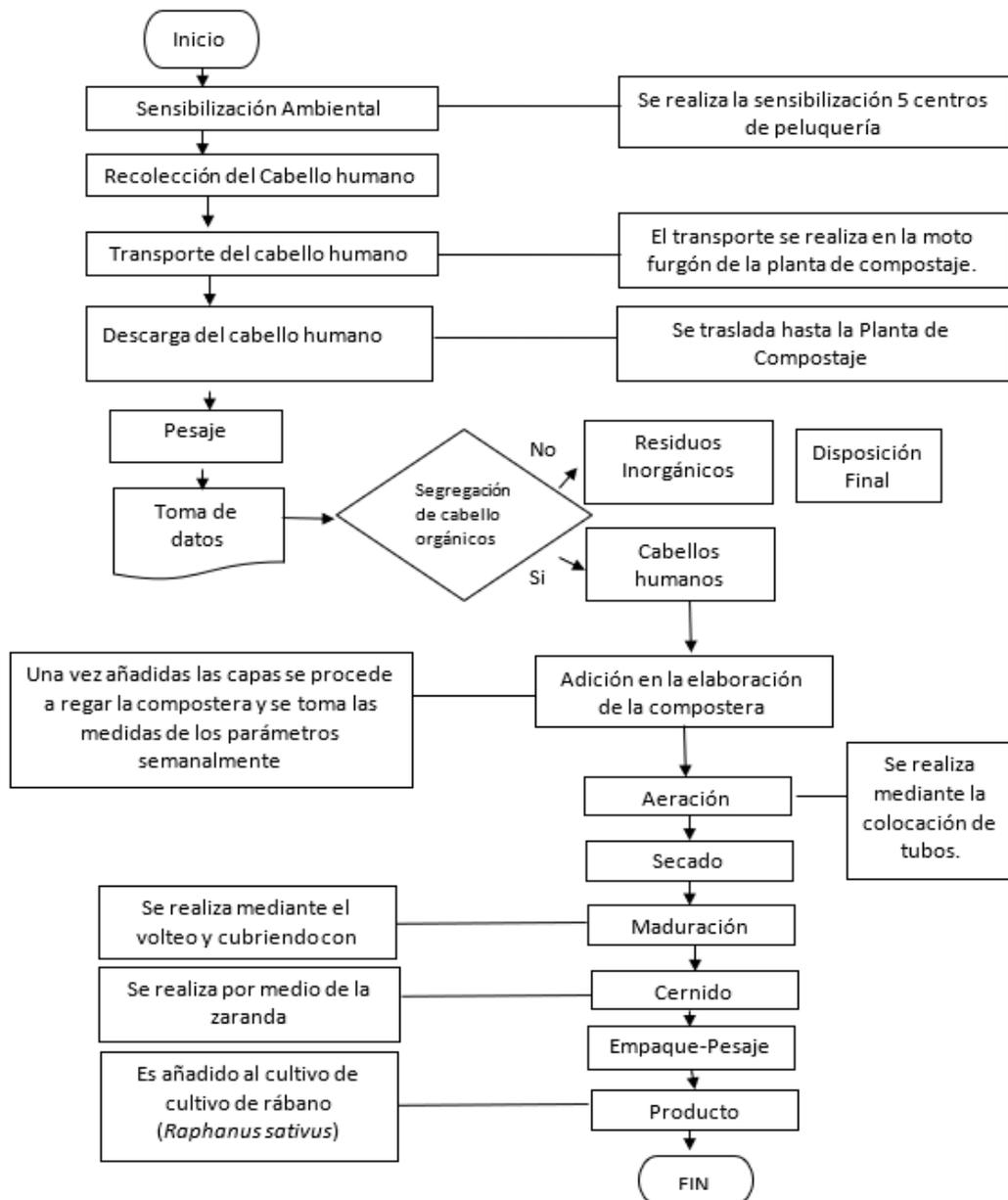
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se empleó la técnica de observación, en la cual consiste en un registro visual de lo que acontece en un tiempo determinado con la finalidad de conseguir una serie de información relacionada, para lo cual se requirió como instrumento de recolección de datos a una ficha de registro de datos, donde se establecieron los diferentes procesos de compostaje, tanto en la descomposición como maduración (**Ver anexo 2**).

3.5. Procedimientos

Los procedimientos incluyeron tres etapas referidas a la recolección de la materia prima, el procedimiento de compostaje y la evaluación de la calidad del compost obtenido. Para ello se llevó a cabo los pasos que se detallan en la figura 2.

Figura 2. Diagrama de flujo de procedimientos



Nota.Elaboración propia.

Fase 1:

Consiste en la recolección de la materia prima en salones de peluquería durante cuatro semanas, donde se aplicaron métodos de sensibilización de los trabajadores de dichos establecimientos. Posteriormente se trasladaron los residuos de cabello humano en una moto furgón hasta la planta de valorización de compostaje, donde los obreros municipales pesaron el material y se registró en un cuaderno de campo para mantener un control y a la vez monitorear la cantidad de residuos orgánicos dispuestos. Luego se realizó una segregación

para seleccionar los desechos de cabello humano y excluir otros residuos inorgánicos.

Fase 2:

Para la instalación de una pila de compostaje se aplicó en dimensiones de 0.5 m de ancho x 0.5 m de largo x 0.5m cm de altura, 0.5m profundidad con capacidad de 0.125 m³ que permite almacenar hasta 19.8125 kg de insumos en la compostera, la cual contendrá 12.68 kg de cabello humano y aditivos complementarios como 0.50 kg de arena en la base que se aplicará una sola vez, mientras que cantidades de 1.60 kg de estiércol de ganado vacuno, 1.60 kg de aserrín, 1.60 kg de tierra de bosque y 1.60 kg de ceniza fueron distribuidos en cuatro capas de la compostera, sumando una totalidad de 19.580 kg de materiales compostables.

Tabla 4. Distribución de insumos en la compostera

Insumos	Unidad	Peso				Peso total por insumo
		Primera capa	Segunda capa	Tercera capa	Cuarta capa	
Arena	kg	0.500	0.000	0.000	0.000	0.500
Cabello Humano	kg	3.170	3.170	3.170	3.170	12.680
Estiércol	kg	0.400	0.400	0.400	0.400	1.600
Aserrín	kg	0.400	0.400	0.400	0.400	1.600
Tierra de bosque	kg	0.400	0.400	0.400	0.400	1.600
Ceniza	kg	0.400	0.400	0.400	0.400	1.600
Peso por cada capa		5.270	4.770	4.770	4.770	19.580
Peso total de la compostera			19.580			

Nota. Elaboración propia.

El monitoreo del compostaje se realizó mediante volteo manual cada semana después de la etapa mesofílica durante 3 meses con la finalidad de homogenizar la mezcla y verificar el nivel de pH, la temperatura, para eliminar exceso de calor, controlar la humedad y mejorar la ventilación. Por lo tanto, se verificó la maduración mediante la textura del compost, su olor, y la toma de parámetros, mientras tanto, para el secado se cubrió con plástico para eliminar humedad.

Transcurrido el período de compostaje se realizó el cernido con una zaranda y palana para obtener el abono con textura más fina. El producto fue pesado y empaquetado, asimismo se recolectó un kilogramo de la compostera, con la finalidad de verificar su calidad mediante análisis en un laboratorio acreditado. La calidad del compost fue evaluado en base a los requisitos de la Norma Chilena Oficial NCh2880. Compost - Clasificación y requisitos.

Figura 3. Posición de los insumos en las capas de compostaje



Fuente:

Nota.Elaboración propia.

Fase 3:

En la tercera fase se evaluó la calidad de compost mediante un experimento en macetas para el crecimiento de rabano para lo cual se aplicaron tratamientos que incluían diez macetas con capacidad de un kilo en proporciones de 100%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20% y 10% a cada una respectivamente. Después de 35 días, se realizó las evaluaciones de crecimiento y desarrollo tales como peso (gr), diámetro del bulbo (cm), altura o largo (cm), medida de la hoja (cm) y número de hojas.

3.6. Método de análisis de datos

Para la presente investigación los datos de los resultados se analizaron mediante una estadística descriptiva empleando como herramienta el software de Excel

para el diseño de tablas y gráficos, lo cual permitirá un mejor procesamiento de la información para dar cumplimiento con los objetivos establecidos en el presente estudio.

3.7. Aspectos éticos

La presente investigación tiene sustento en tres aspectos éticos, en primer lugar se empleó información calificada como segura y verdadera referido a la autenticidad. Asimismo se mantuvo un papel autocrítico relacionado con la flexibilidad y finalmente, el respeto se evidenció mediante el citado correcto bajo el ISO 690, respetando los derechos de los autores, lo cual se verificó mediante la herramienta de Turnitin para evitar omisión y/o plagio de pensamientos, negligencia e incluso fraude en la investigación.

IV. RESULTADOS

4.1. Explicar cómo se elabora el compost a partir de cabello humano.

Para la elaboración de compost a partir de cabello humano en una pila de compostaje, se procedió a realizar los cálculos de las cantidades de materiales que debían colocarse en la compostera, asimismo se contemplaron los siguientes requerimientos.

Tabla 5.

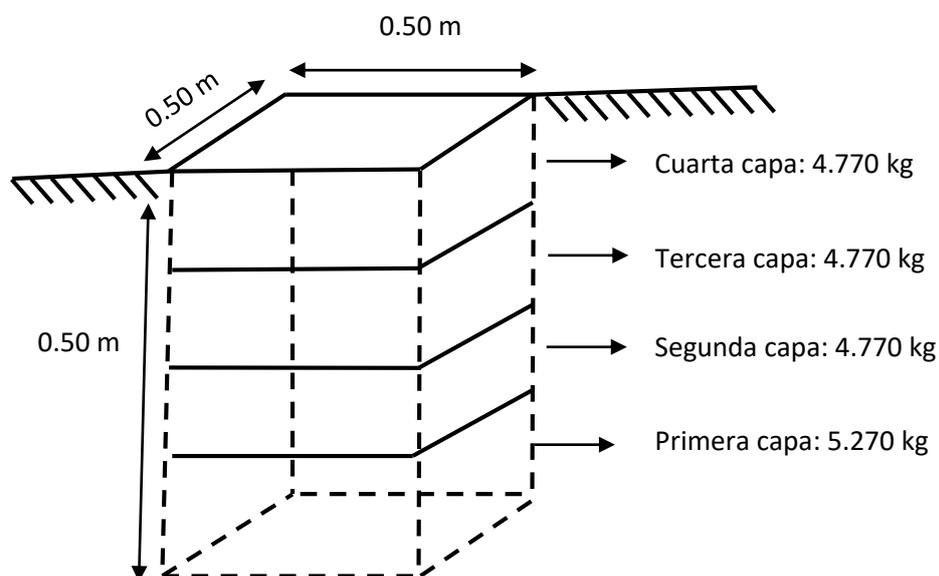
Condiciones para la compostera

Condición	Descripción
Dimensionamiento	El diseño de la pila compostera se realizó con dimensiones de 0.50 m de altura, 0.50 m largo y 0.50 m de ancho
Materia prima	Los insumos para el compostaje incluyeron arena, cabello humano, estiércol, aserrín, tierra de bosque, ceniza.
Instalación	La pila de compostaje estuvo conformada por cuatro capas, inicialmente se colocó una única capa con 0.200 kg de arena, seguido se adicionó 3.17 kg de cabello humano y 0.400 kg de estiércol de ganado vacuno, aserrín, tierra de bosque y ceniza en cada uno.

Nota.Elaboración propia

Figura 4.

Representación esquemática de la compostera



En la figura se puede observar el patrón de estratificación de la compostera que incluye una primera capa con 5.270 kg de materia prima y otras tres capas con 4.770 kg de materia prima, lo cual se debe a que inicialmente se colocó 0.200 kg de arena. Luego de agregar todos los materiales a la pila compostera, se procedió a tapar la pila con Agrofilm con el objetivo de aumentar la temperatura de la pila compostera y acelerar la obtención del compost como producto final.

Figura 5.

Excavación de la fosa y aplicación de arena



Nota. Elaboración propia

4.2. Determinar las características físicas del proceso de compostaje.

La lectura de temperatura y el pH en el compostaje se realizó una vez por semana durante dos meses del proceso donde se evidenciaron distintivamente las fases de mesófila, termófila, enfriamiento y maduración.

Tabla 6.

Monitoreo de la temperatura y pH durante el compostaje

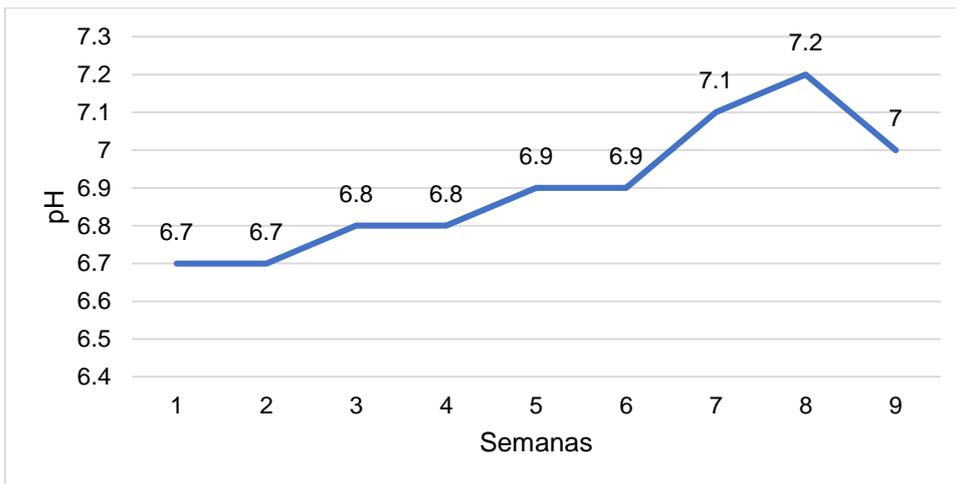
Fase	Fecha	pH	Temperatura
Mesofílica	20.08.2022	6.7	42.6
	27.08.2022	6.7	47.5
Termofílica	03.09.2022	6.8	55.8
	10.09.2022	6.8	40.9
Enfriamiento	17.09.2022	6.9	39.6
	24.09.2022	6.9	36.7

	01.10.2022	7.1	34.4
Maduración	8.10.2022	7.2	30.7
	15.10.2022	7.0	27.6

Nota.Elaboración Propia

Figura 6.

Evolución del pH durante el compostaje

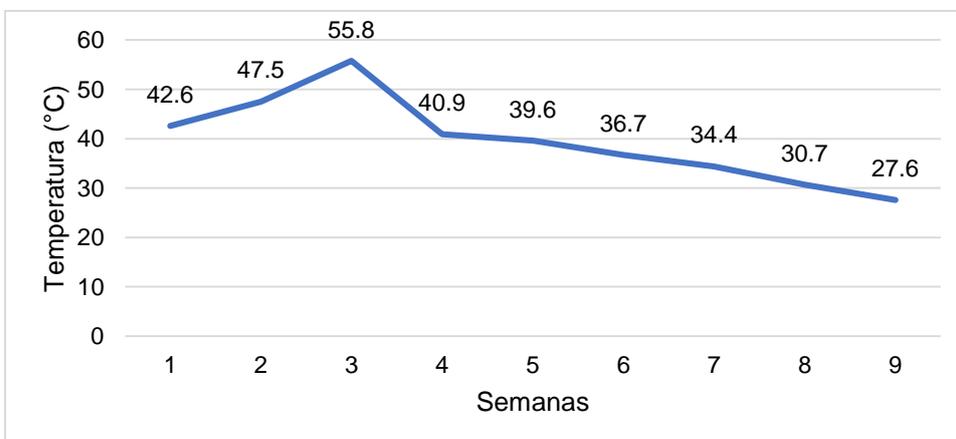


Nota. Elaboración propia

En la figura se puede observar que la composta presentó un pH mínimo de 6.7 en las primeras semanas, mientras que el pH máximo de 7.2 sucedió durante la fase de maduración en la octava semana, lo cual demuestra que existe una buena aireación que favorece a la proliferación de las bacterias y a la buena descomposición de la materia orgánica.

Figura 7.

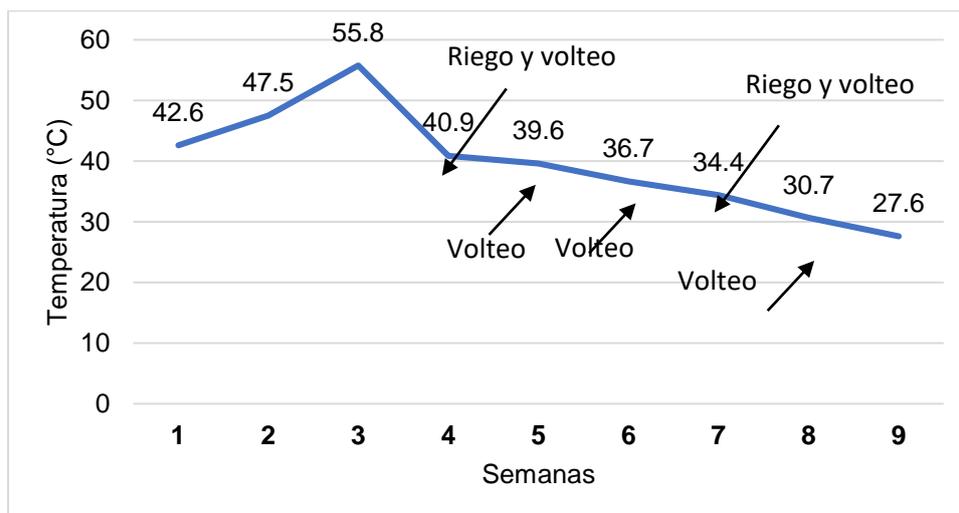
Evolución de la temperatura durante el compostaje



Nota.Elaboración propia

En la figura se puede observar que la composta presentó una temperatura mínima de 27.6 °C al finalizar proceso, mientras que en las primeras semanas se evidenciaron temperaturas superiores, particularmente en la fase de termofílica durante la tercera semana hubo una temperatura máxima de 55.8 °C, lo cual demuestra que el aumento de la temperatura está fuertemente ligado a la actividad microbiana.

Figura 8.Control de aireación y riego por temperatura



Nota. Elaboración propia

En la figura se puede observar los momentos donde se realizaron el riego en relación al cambio de cada fase, asimismo al inicio de etapa termofílica se recubrió la composta con agrofílm con la finalidad de aumentar la temperatura. Mientras que los volteos se realizaron después de la fase termofílica en cada semana hasta la maduración del compost que se obtuvo luego de nueve semanas de procesamiento.

4.3. Comparar la calidad del compost a partir de cabello humano de acuerdo a la Norma Chilena 2880

El análisis de la calidad del compost se realiza en función de macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio y la composición física del compost, asimismo de las propiedades físicas, químicas y biológicas como contenido de humedad, pH, contenido de materia orgánica y relación C:N Por otro lado, también se realizó la detección de contaminantes como metales pesados.

Tabla 7.

Parámetros de calidad de compost

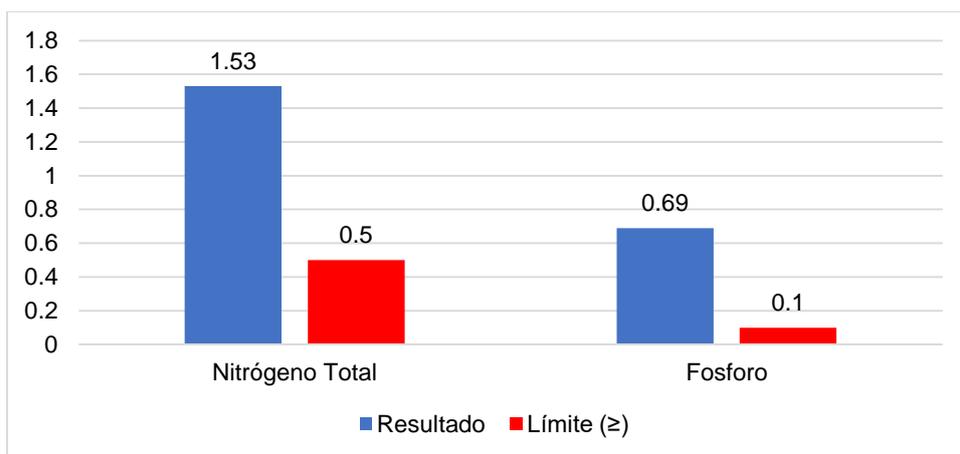
Condición	Parámetro	Unidad de medida	Resultados de los análisis	Valor establecido en NCH 2880	Observaciones
Macronutrientes y micronutrientes	Nitrógeno Total	%	1,53	≥ 0,5	Si cumple
	Fosforo	% P ₂ O ₅	0,69	≥ 0,1	Si cumple
	Boro	mg/Kg	<6,0	<200	Si cumple
	Cobre	mg/Kg	38,9	100	Si cumple
	Potasio	% K ₂ O	0,85	No indica	-
	Azufre	%	0,18	No indica	-
	Calcio	%	1,13	No indica	-
	Hierro	mg/Kg	37 397	No indica	-
	Magnesio	%	0,51	No indica	-
	Manganeso	mg/Kg	819	No indica	-
Propiedades físicas, químicas y biológicas	CE	mho/cm	0,003805	≤ 5	Si cumple
	pH	pH	5,15	5,0 – 7,5	Si cumple
	Humedad	%	25,5	≥25	Si cumple
	Relación C/N	-	11,2	10-25	Si cumple
	Materia Orgánica	%	28,81	≥ 45	Cumple para el compost clase B
	Coliformes Fecales	NMP/g	11 000,00	< 1000	No cumple
	Coliformes Totales	NMP/g	350 000,00	No indica	-
Metales pesados	Arsénico	mg/Kg	<0,10	15	Si cumple
	Cadmio	mg/Kg	<0.020	2	Si cumple
	Cromo	mg/Kg	98,95	120	Si cumple
	Mercurio	mg/Kg	11,64	1	No cumple
	Molibdeno	mg/Kg	<0,10	2	Si cumple
	Níquel	mg/Kg	25,35	20	No cumple
	Plomo	mg/Kg	2,82	100	Si cumple
	Selenio	mg/Kg	<0,20	12	Si cumple
Zinc	mg/Kg	143	200	Si cumple	

Nota. Elaboración propia

En la tabla se demuestra que el producto de compost tiene presencia de macro y micronutrientes, al igual que metales pesados, sin embargo, no existe unos valores establecidos en reglamentos normativos de la calidad del compost en NCH 2880 con respecto a Potasio, Azufre, Calcio, Hierro, Magnesio y Manganeso.

Figura 9.

Macronutrientes en el compost (Nitrogeno y Fosforo)

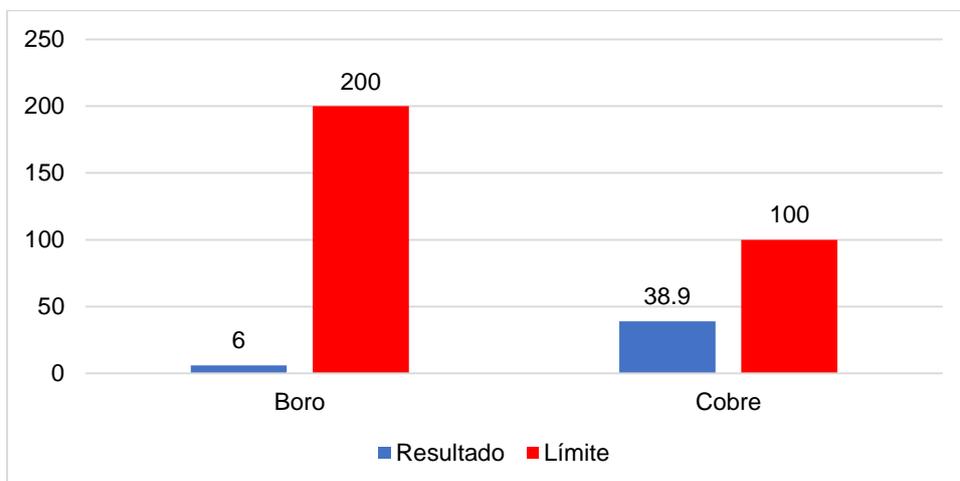


Nota. Elaboración propia

En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango aceptable por los requisitos de la NCH 2880 que establece un contenido de nitrógeno y fósforo superior o igual a 0,5% y 0,1% respectivamente.

Figura 10.

Micronutrientes en el compost (Boro y Cobre)

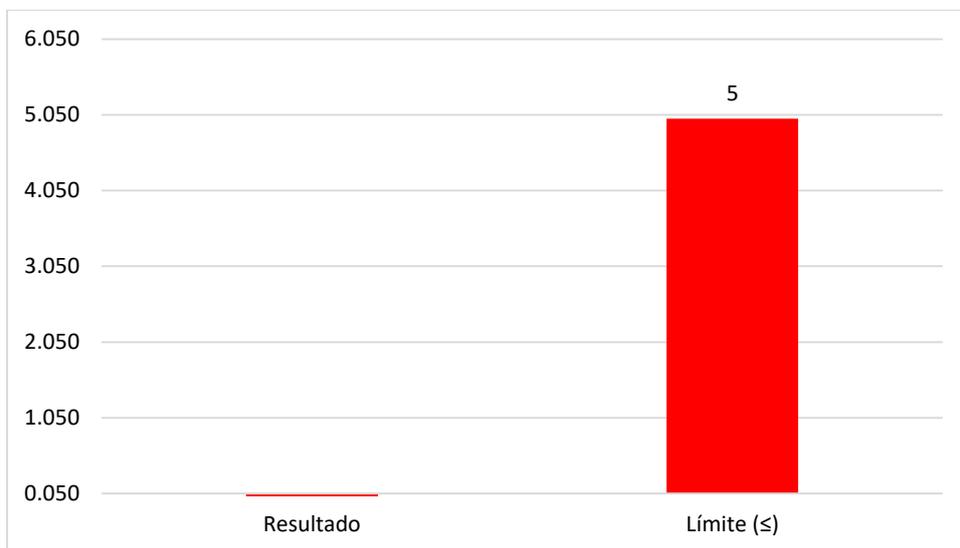


Nota. Elaboración propia

En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango aceptable por los requisitos de la NCH 2880 que establece un contenido de boro y cobre hasta 200 mg/Kg y 100 mg/Kg respectivamente.

Figura 11.

Conductividad eléctrica en el compost

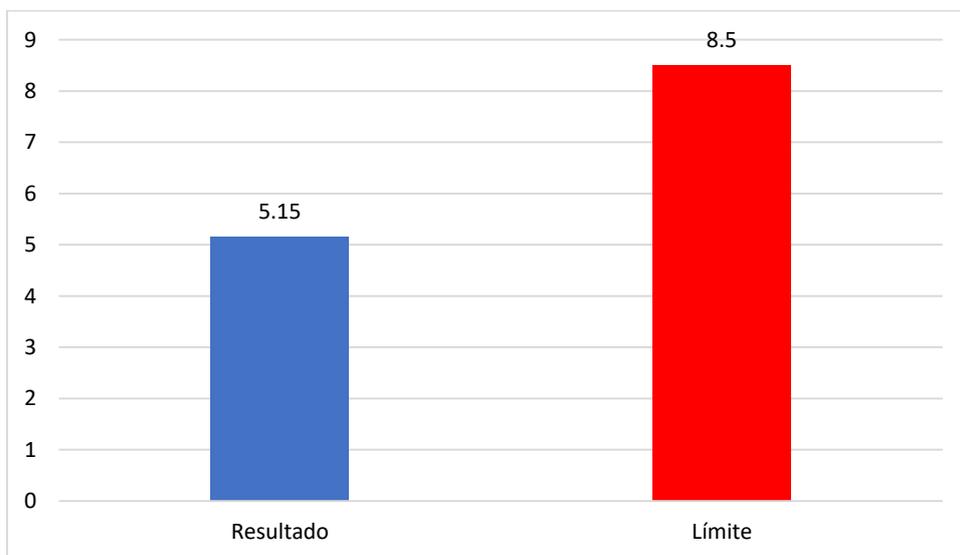


Nota. Elaboración propia

En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango de 0,003805 mho/cm el cual es aceptable por los requisitos de la NCH 2880 que establece una conductividad eléctrica inferior a 5 mho/cm.

Figura 12.

Potencial de hidrógeno en el compost

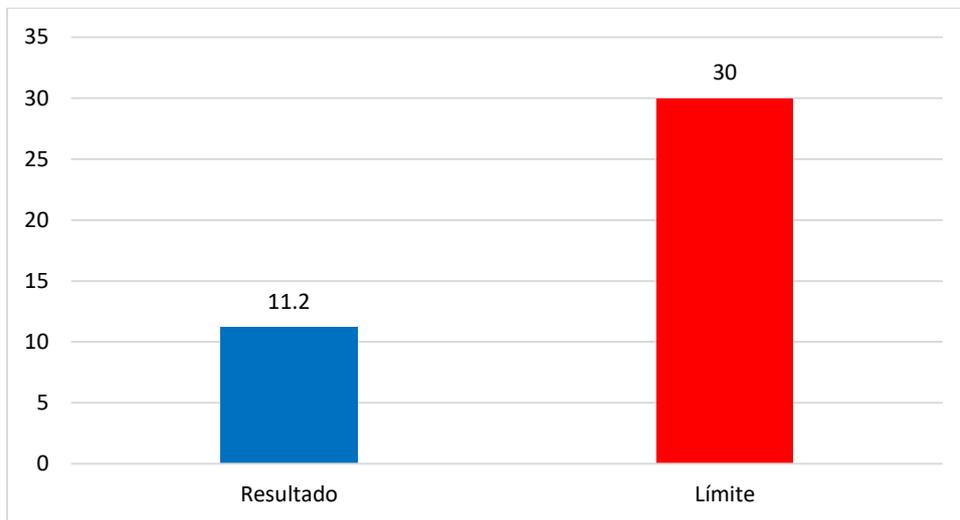


Nota. Elaboración propia

En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango aceptable por los requisitos de la NCH 2880 que establece un valor límite de 8,5 pH.

Figura 13.

Relación C/N en el compost

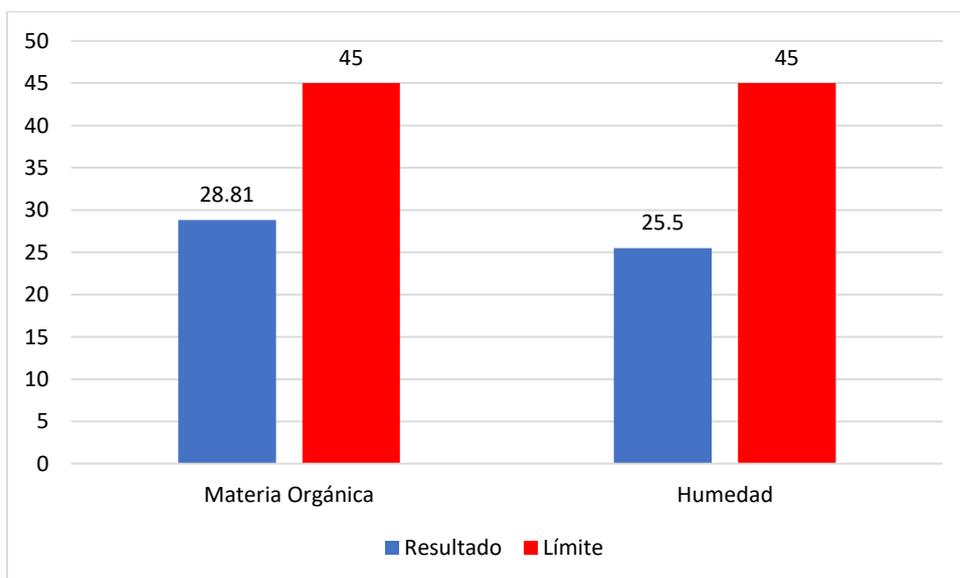


Nota. Elaboración propia

En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango aceptable por los requisitos de la NCH 2880 que establece una relación C/N inferior a 30.

Figura 14.

Materia Orgánica y Humedad en el compost

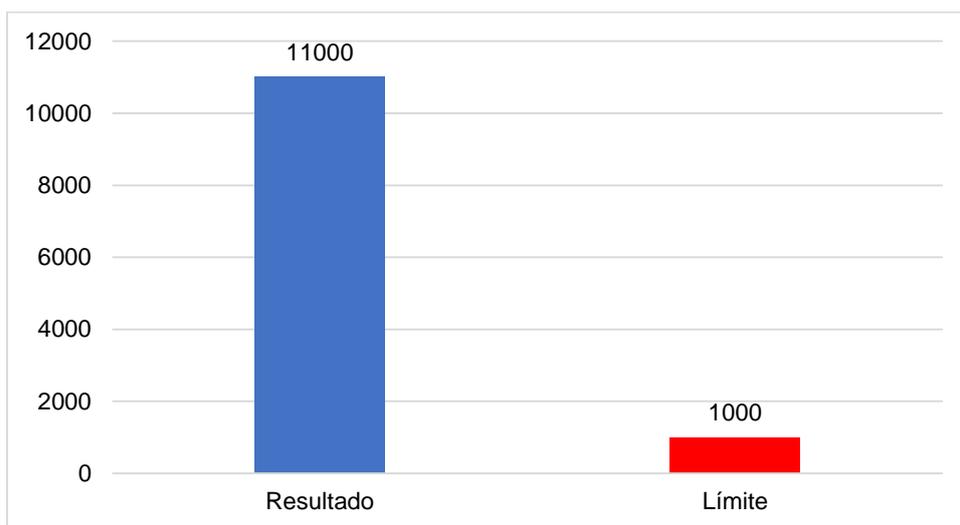


Nota. Elaboración propia

En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango aceptable por los requisitos de la NCH 2880 que establece un contenido de materia orgánica superior a 30% e inferior a 45% y un contenido de humedad superior a 20% e inferior a 45%.

Figura 15.

Coliformes Fecales en el compost

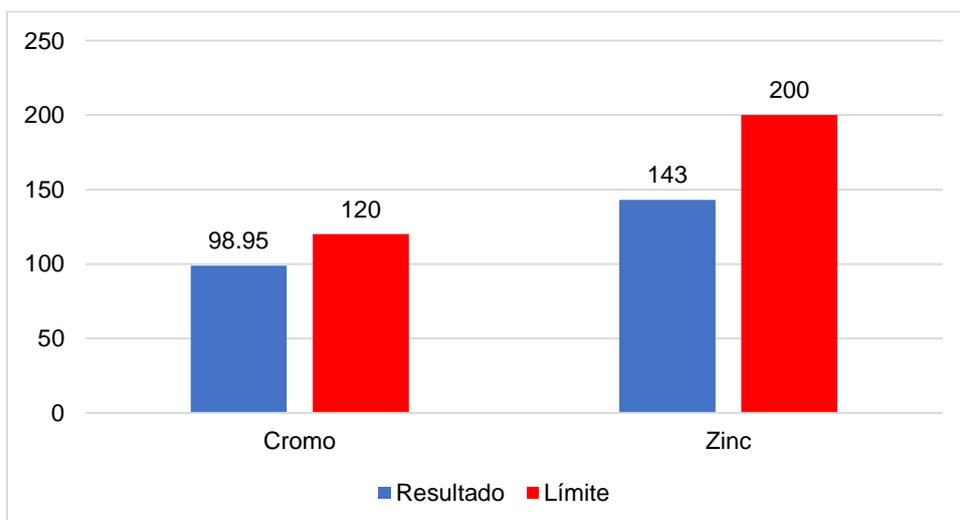


Nota. Elaboración propia

En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango no aceptable por los requisitos de la NCH 2880 que establece un contenido de coliformes fecales inferior a 1000 NMP/g.

Figura 16.

Cromo y Zinc en el compost

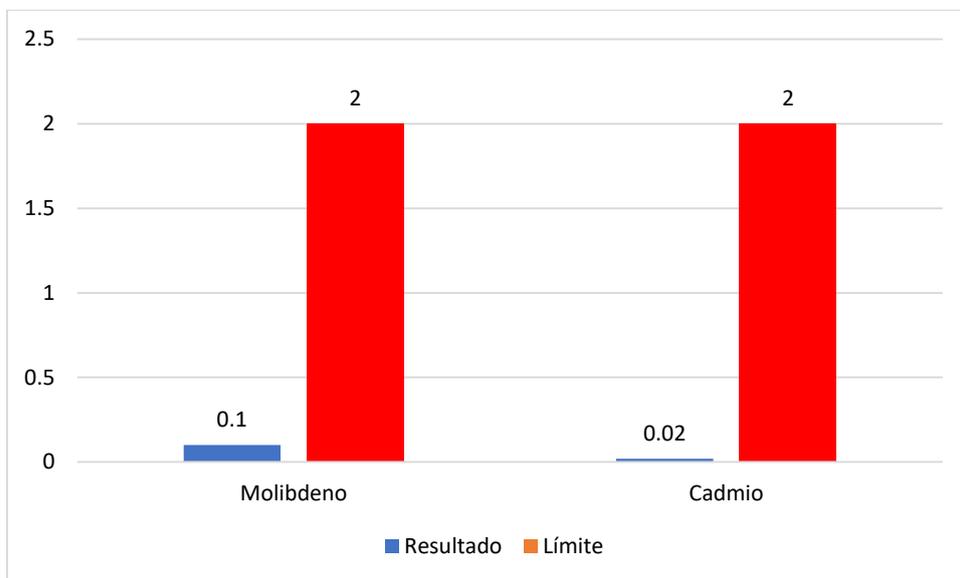


Nota. Elaboración propia

En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango aceptable por los requisitos de la NCH 2880 que establece un contenido de Cromo y Zinc hasta 120 mg/Kg y 200mg/Kg respectivamente.

Figura 17.

Molibdeno y Cadmio en el compost

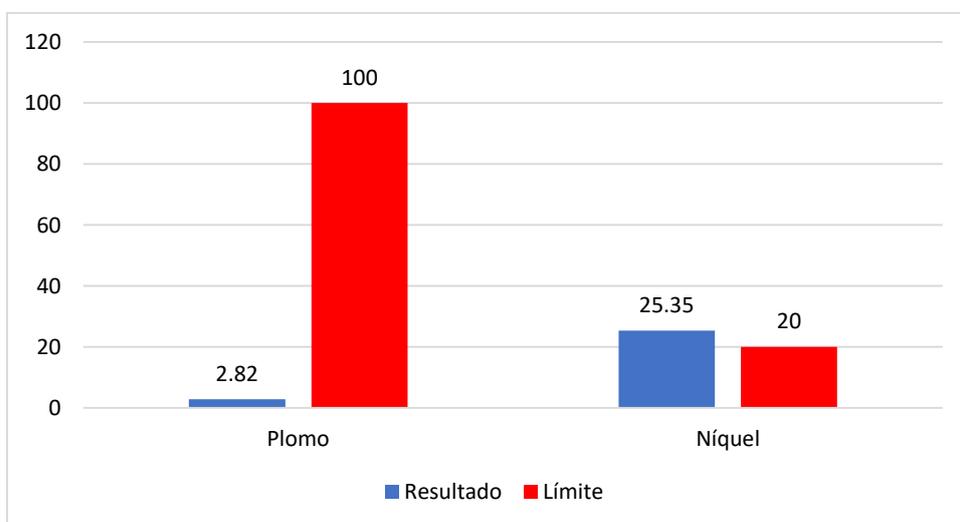


Nota. Elaboración propia

En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango aceptable por los requisitos de la NCH 2880 que establece un contenido de Molibdeno y Cadmio hasta 2 mg/Kg en cada metal.

Figura 18.

Plomo y Níquel en el compost

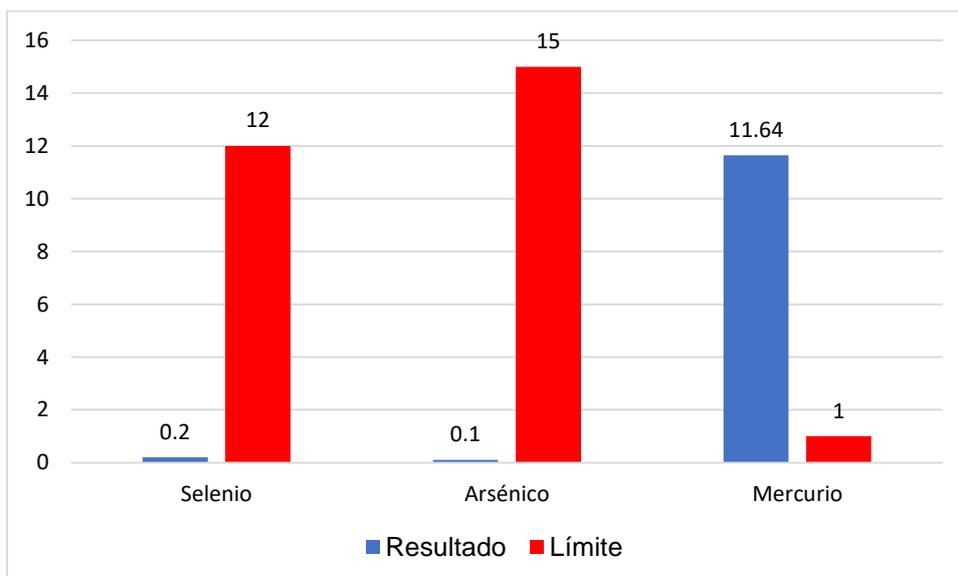


Nota. Elaboración propia.

En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango aceptable por los requisitos de la NCH 2880 en el caso del Plomo que establece un valor límite hasta 100 mg/Kg, por el contrario, el Níquel se encuentra en un rango no aceptable por los requisitos de la NCH 2880 debido a que se supera el valor límite de 20 mg/Kg.

Figura 19.

Selenio, Arsénico y Mercurio en el compost



Nota. Elaboración propia.

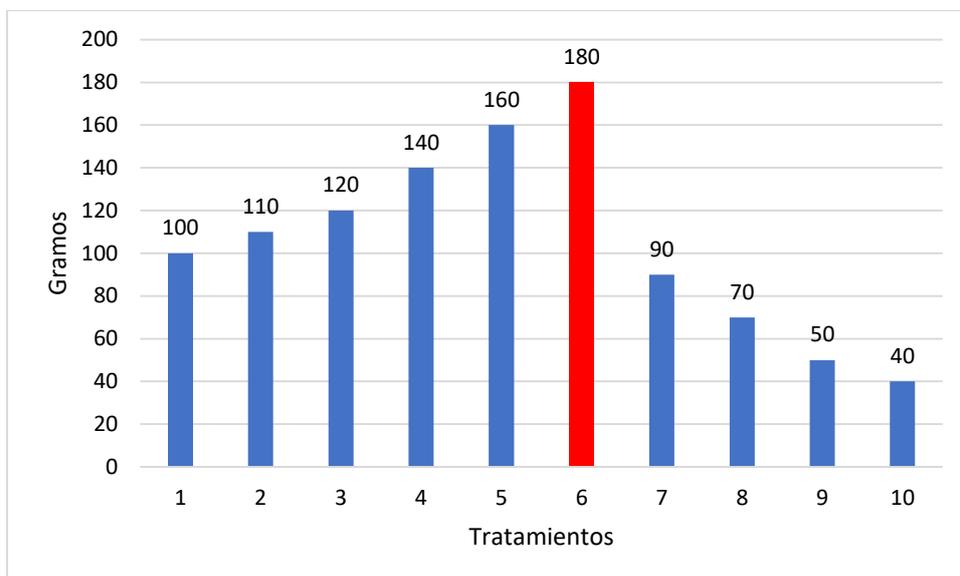
En la figura se observa que los valores resultantes de los análisis se encuentran en un rango aceptable por los requisitos de la NCH 2880 en el caso de Selenio y Arsénico que establece un valor límite hasta 12 mg/Kg y 15 mg/Kg respectivamente, por el contrario, el Mercurio se encuentra en un rango no aceptable por los requisitos de la NCH 2880 debido a que se supera el valor límite de 1 mg/Kg.

4.4. Determinar el efecto de la aplicación del compost a base de cabello humano en el cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*).

Los tratamientos incluían diez macetas con capacidad de un kilo en proporciones de 100%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20% y 10% a cada una respectivamente, en donde se realizaron mediciones de parámetros como peso, diámetro, largo, medida de hoja y número de hojas.

Figura 20.

Peso del rabanito

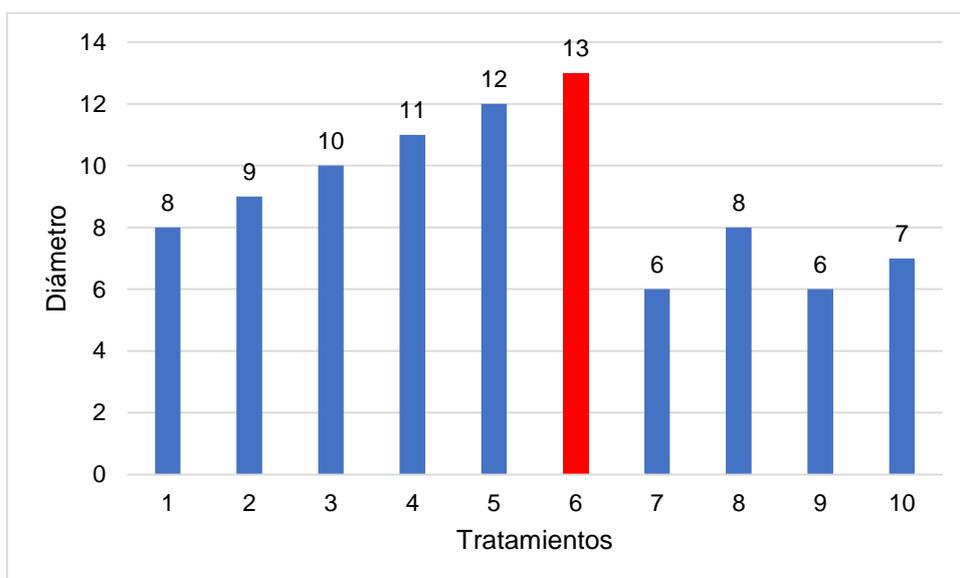


Nota. Elaboración propia.

En la figura se distingue que el sexto tratamiento con proporción de 50% de adición de compost obtenido a partir de cabello humano presentó la mayor cantidad de gramos con 180 g, mientras que el menor peso de 40 g se mostró en el décimo tratamiento con 10% de compost.

Figura 21.

Diámetro del rabanito

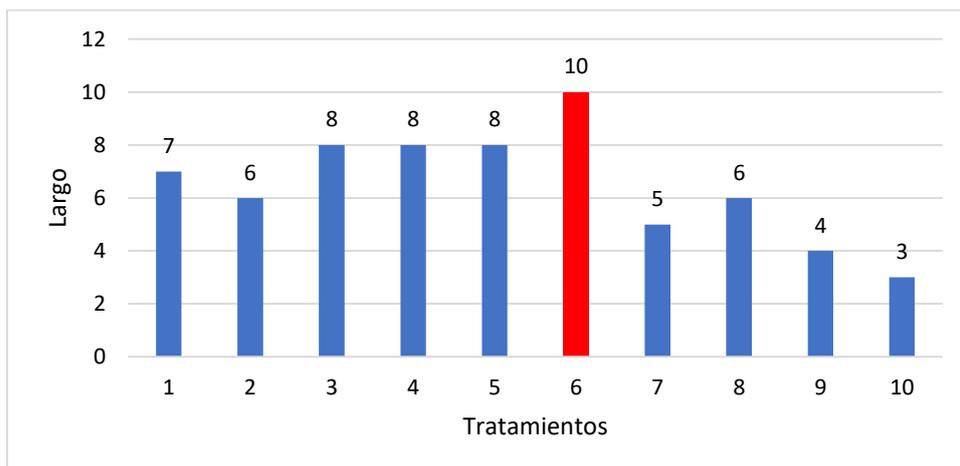


Nota. Elaboración propia.

En la figura se distingue que el sexto tratamiento con proporción de 50% de adición de compost obtenido a partir de cabello humano presentó el mayor diámetro con 13 cm, mientras que el menor diámetro de 6 cm se mostró en los tratamientos 7 y 9 con 40% y 20% de compost respectivamente.

Figura 22.

Largo del rabanito

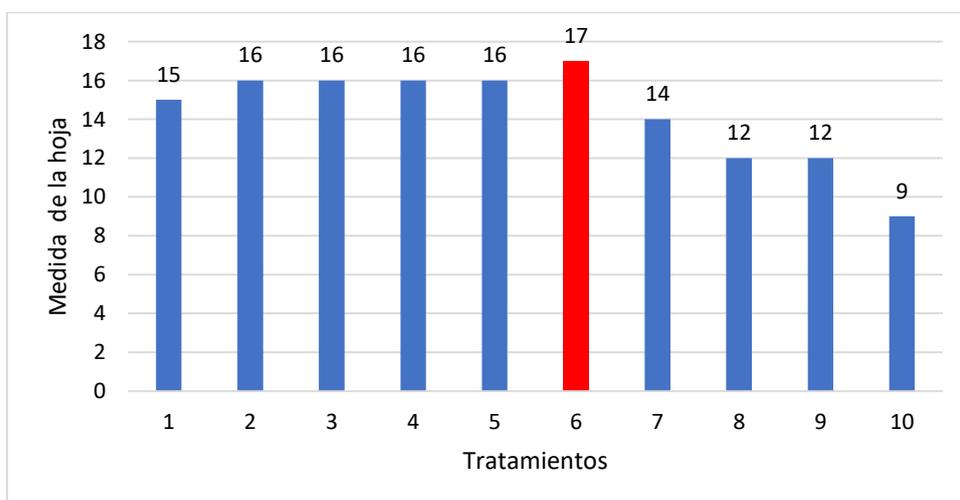


*Nota.*Elaboración propia.

En la figura se distingue que el sexto tratamiento con proporción de 50% de adición de compost obtenido a partir de cabello humano presentó el mayor parámetro de largo con 10 cm, mientras que el menor parámetro de largo de 3 cm se mostró en el décimo tratamiento con 10% de compost.

Figura 23.

Medida de la hoja rabanito

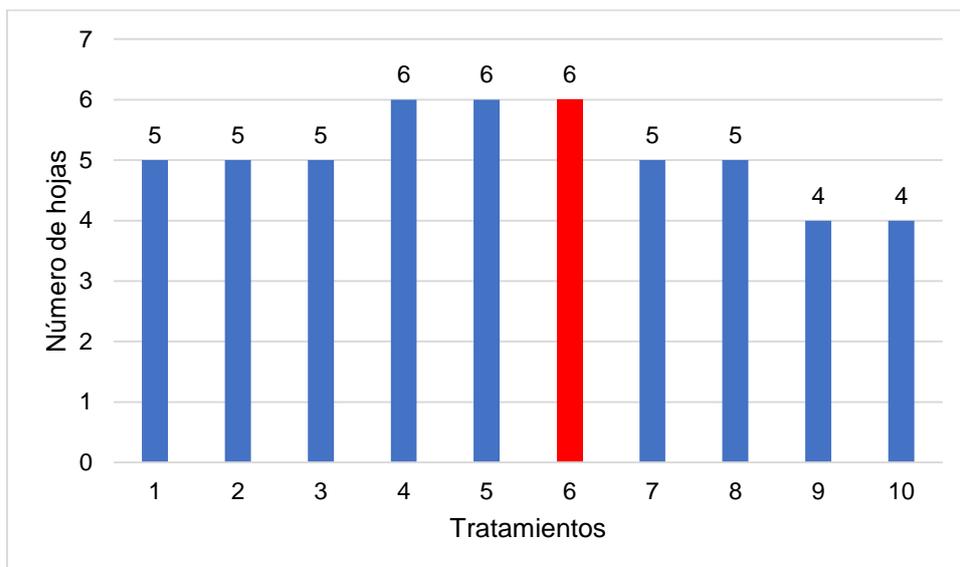


Nota. Elaboración propia.

En la figura se distingue que el sexto tratamiento con proporción de 50% de adición de compost obtenido a partir de cabello humano presentó el mayor tamaño en la medida de 17 cm, mientras que el menor tamaño de 9 cm se mostró en el décimo tratamiento con 10% de compost.

Figura 24.

Número de hojas de rabanito



Nota. Elaboración propia.

En la figura se distingue que los tratamientos 4, 5 y 6 con proporción de 70% y 60%, 50% respectivamente de adición de compost obtenido a partir de cabello humano presentó la mayor cantidad de número de hojas con 6 unidades, mientras que la menor cantidad de 4 hojas se mostró en los tratamientos 9 y 10 con 20% y 10% de compost respectivamente.

V. DISCUSIÓN

En la presente investigación se logró obtener compost de cabello humano en una compostera de 50 cm de altura, por 50 cm de largo y 50 cm de ancho, en ese sentido la pila de compostaje fue elaborada bajo cuatro capas, la cual estuvo conformada por 0,200 kg de arena, seguido se le adiciono 3,17 kg de cabello humano y 0,400 kg de estiércol de ganado vacuno, aserrín, tierra de bosque y ceniza en cada capa, de la misma manera Rivera (2017) elaboro compost con diversas concentraciones de materia prima y fueron las siguientes: 0 kg cabello, 34 kg rastrojo y 50 kg estiércol; 8kg cabello, 34 kg rastrojo y 50 kg estiércol; 16kg cabello, 34 kg rastrojo y 50 kg estiércol en T0, T1 y T2 respectivamente; con la aplicación de diversas concentraciones, de acuerdo a los diversos tratamientos de Rivera (2017) se ha determinado que a mayor cantidad de cabello humano aumenta la concentración de materia orgánica lo cual influye para que el compost logre almacenar más nutrientes en el suelo.

Por otro lado, Torres (2017) produjo compost con (1 Lt. Microorganismos eficientes + 15% cabello humano + 75% residuos domésticos + 10% aserrín) donde logro obtener los mejores resultados con una concentración de macro nutrientes con valores de 0.22% de N, 0.056% de K y 0.0047% de P, materia orgánica de 6.81% y CE de 1.24 mS/cm, mientras que la presente investigación tuvo un contenido de nutrientes de nitrógeno total en 1,53%, fosforo en 0,69 % P₂O₅, potasio en 0,85 % K₂O y una CE de 0,003805 mho/cm, visto de ese modo se logró determinar que el cabello humano resulta ser una buena materia orgánica para la producción de compost genera una mayor concentración de nitrógeno y materia orgánica en el suelo.

Respecto al proceso del compostaje, este se desarrolla en 4 fases y son las siguientes: mesofílica, termofílica, enfriamiento, maduración, los resultados de la temperatura en la fase mesófila fueron de 42.6 °C y el pH fue de 6.7; mientras que (Roman, et al. 2013) establece que en esta fase la temperatura debe aumentar hasta 45 °C ,este aumento de temperatura surge como consecuencia de la actividad microbiana que se desarrolla en la presente fase, con lo referente al pH (Roman, et al. 2013) asume que puede bajar hasta 4.0, esta fase se caracteriza por durar entre 2 a 8 días, se ha podido evidenciar que la

temperatura en esta fase se asemeja a lo que establece (Roman, et al. 2013) ya que la variación de la temperatura es debido a la materia prima utilizada durante el proceso de compostaje.

En la fase termófila la temperatura del compost fue de 47.5°C en el primer monitoreo, mientras que en el segundo monitoreo la temperatura siguió en aumento hasta un 55.8 °C esta idea se asemeja con lo establecido en el manual de compostaje del (Gobierno de España, 2009) donde establece que la temperatura máxima es de entre 45 y 60° C esto como consecuencia de la aparición de organismos termófilos (bacterias y hongos) los cuales se encargan de la degradación de la materia orgánica, en esta fase el compost garantiza la higienización y eliminación de gérmenes patógenos, larvas y semillas. Pasado este tiempo disminuye la actividad biológica y se estabiliza el medio, en ese sentido en la fase termófila el compost llega a una temperatura elevada lo cual permite la degradación de la materia orgánica presente.

En la etapa de enfriamiento la temperatura del compostaje fue de 40.9 °C, 39.6°C, 36.7°C durante los tres monitoreos realizados, se evidencia que la temperatura del compost iba en descenso de la misma manera se evidenció que el pH fue de 6.8, 6.9 y 6.9, esta etapa se caracteriza porque la temperatura va en descenso y los microorganismos continúan en descomposición, finalmente en la fase de maduración el compost ya se encuentra listo para su utilización, en esta etapa se logró medir los parámetros y se determinó que la temperatura fue de 34.4 °C, 30.67°C, 27.6°C, mientras que el pH fue de 7.1 7.2 7.0.

La aplicación del compost a partir de cabello humano ha permitido que el cultivo de rábano (*Raphanus Sativus*) muestre un mayor rendimiento con una relación de 50% de compost y 50% de tierra, donde el rendimiento en peso del rabanito fue de 180 g, el diámetro fue de 13 cm, el largo de 10 cm, la medida de la hoja de 17 cm y número de hojas de 6 unidades, esta idea se contrasta con los aportes de Rivera (2017) donde aplicó su compost al cultivo de albahaca y encontró las mayores concentraciones de nutrientes se evidenció con una altura de 29 cm, nº hojas 37, tamaño hojas 12.6 cm y productividad de peso cosechado de 199.33 gr, de la misma manera Choudhary et al. (2022) obtuvo un rendimiento de grano y un contenido de proteína de frijol mungo de 9 y 20 % mayores

respectivamente mediante la aplicación de técnicas de hidrólisis termoquímicamente con hidróxido de potasio y en combinación con hidróxido de calcio para valorizar el cabello humano residual.

De acuerdo a Forero et al. (2021) se enfocó en utilizar residuos de cabello como beneficio y principal abono en las plantas para satisfacer los nutrientes en la tierra, la descomposición del cabello humano puede ofrecer elementos básicos como carbono, el cual es considerado un elemento fundamental en la vida de la planta, además ofrece el nitrógeno el cual es considerado para el crecimiento foliar y pigmentación de la planta, esta idea permite contrastar con los aportes de la presente investigación en la cual se pudo evidenciar que hubo un crecimiento positivo del rabanito (*Raphanus sativus*) a raíz de utilización del cabello humano ya que apporto nutrientes como nitrógeno y carbono elementos fundamentales para la planta.

De acuerdo a Malepfane (2017) se enfocó en utilizar diversos tipos de cabello humano como micronutrientes para las plantas, en tal sentido se evidencio que el cabello indio y el cabello blanco tenían niveles similares de N, de la misma manera el cabello Africano se caracterizó por tener altas concentraciones de Ca, Fe, K; de igual forma en el presente estudio la concentración de nitrógeno fue de 1.53%, siendo un indicativo positivo sobre la calidad del compost el cual provee nutrientes a las plantas y el suelo se hace más saludable y produce plantas sanas.

Por otro lado luego del análisis del compost se encontró que en la mayoría de parámetros si cumplió con lo establecido en la norma Chilena 2880, donde parámetros como el nitrógeno total, fosforo, boro, cobre, conductividad eléctrica, pH, humedad, relación C/N, materia orgánica, arsénico, cadmio, cromo, molibdeno, plomo, selenio, zinc, si cumplía con lo establecido en la norma Chilena 2880 sobre la calidad del compost, mientras que los parámetros como coliformes fecales, mercurio, níquel no cumplía con lo establecido en la presente norma.

Tomando en cuenta la norma Chilena 2880, se logró establecer que el tipo de compost obtenido fue de tipo A el cual es un producto de alto nivel que cumple con las exigencias de la presente norma, este compost se caracteriza porque no

presenta restricciones de uso, el cual puede ser aplicado de manera directa sin ningún tipo de tratamiento o mezclado con otros materiales, en ese sentido el compost si cumple con las exigencias establecido en la norma lo cual es un buen indicativo para utilizar el cabello humano como una nueva alternativa para obtener compost.

El compost de cabello humano, resulta viable utilizar este tipo de materia prima para obtener compost, ya que en los resultados obtenidos y comparados con la norma si se encuentra apto para ser aplicado a cualquier tipo de cultivo o tierra, ya que los resultados obtenidos son óptimos y además permite la reutilización de este tipo de residuos para reducir la contaminación generado como consecuencia de un inadecuado tratamiento de los residuos sólidos.

VI. CONCLUSIONES

- La elaboración del compost a partir de residuos de cabello humano se desarrolló en condiciones con un dimensionamiento de 0.50 m de altura, 0.50 m largo y 0.50 m de ancho en el diseño de la pila de compostaje, la cual estuvo conformada por cuatro capas, que incluía una única capa inicial con 0.200 kg de arena, seguido se adicionó 3.17 kg de cabello humano y 0.400 kg de estiércol de ganado vacuno, aserrín, tierra de bosque y ceniza en cada capa.
- Las características físicas del proceso de compostaje evidenciaron un pH mínimo de 6.7 en las primeras semanas, mientras que el pH máximo de 7.2 sucedió durante la fase de maduración, mientras que la temperatura mínima de 27.6 °C sucedió al finalizar proceso y la temperatura máxima de 55.8 °C se presentó en la fase de termofílica. Por otro lado, el riego se realizó en cada cambio de fase, a diferencia del volteo que se aplicó todas las semanas.
- La calidad del compost obtenido a partir de cabello humano para su aplicación en el cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*) presenta rangos aceptables en la mayoría de los parámetros en base a la Norma Chilena 2880, que incluyen macro y micronutrientes como nitrógeno, fósforo, boro, cobre, asimismo en parámetros fisicoquímicos como conductividad eléctrica, pH, relación C/N, materia orgánica, humedad, y metales pesados como cromo, zinc, molibdeno, cadmio, plomo, selenio y arsénico. Sin embargo, parámetros biológicos como coliformes fecales y metales pesados como Níquel y Mercurio se encuentran en rangos no aceptables.
- El efecto de la aplicación del compost a base de cabello humano en el cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*) demostró un mayor rendimiento con una dosis de 50% de compost en relación con un peso de 180 g, diámetro de 13 cm, largo de 10 cm, medida de la hoja de 17 cm y número de hojas de 6 unidades. Asimismo, con la aplicación de dosis de 70% y 60% de compost también se presentó una mayor cantidad de hojas.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones sobre alternativas de procedimientos de mejoramiento de la calidad de compost mediante aditivos como microorganismos eficientes con la finalidad de eliminar contaminantes como coliformes fecales.
- Realizar investigaciones sobre disminución de metales pesados como Níquel y Mercurio con la finalidad de obtener un producto con niveles de concentración dentro de los rangos establecidos en la evaluación de calidad de compost.
- Elaborar una norma peruana con lineamientos específicos para la elaboración de compost, ya que en el Perú no se cuenta con una norma específica con este tipo de reglamentos para elaborar compost y resultaría importante contar con esta normativa para que los agricultores elaboren compost y puedan utilizarlos en diversos cultivos.
- Se sugiere aplicar el compost a otros cultivos agrícolas, con el objetivo de conocer cuál es el efecto de rendimiento en cada cultivo agrícola, ya que la variación de las proporciones, de la aplicación de compost de cabello humano puede variar de acuerdo a cada cultivo aplicado.

REFERENCIAS

- Adav, S. S. (2018). Studies on the Proteome of Human Hair - Identification of Histones and Deamidated Keratins. *Sci Rep*, 8. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-018-20041-9>
- Agencia de protección ambiental. (2018). *2018 wasted food report*. Estados Unidos.
- Barba, E. (2017). Determinación de la eficiencia del aceite de unguirahua (*Oenocarpus bataua*) en una formulación de crema de peinar para fortalecimiento del cabello. *Tesis de grado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5032>
- Bottausci, S., Midence, R., Serrano, F., & Bonoli, A. (2022). Organic Waste Management and Circular Bioeconomy: A Literature Review Comparison between Latin America and the European Union. *sustainability*, 14(3). Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1661/htm>
- Bueno, P., Díaz, M., & Cabrera, F. (2017). Factores Que Afectan Al Proceso de Compostaje. 29, 10. Universidad de Huelva.
- Buschiazzo, M. (21 de noviembre de 2019). *La importancia de producir compost*. Obtenido de Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria: <https://inta.gob.ar/noticias/la-importancia-de-producir-compost>
- Castillo, L. (2020). Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo. *Tesis de grado*. Universidad Continental. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8245>
- Castillo, L. (2020). Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019. *Tesis*. Perú: Universidad Continental. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8245>
- Chandrakant, R., Holkar, S. S., Jain, A. J., & Pinjari, D. V. (2018). Valorization of keratin based waste. *Process Safety and Environmental Protection*, 115, 85-98. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.045>
- Chen, Y., Li, W., & Zhang, S. (2021). A multifunctional eco-friendly fertilizer used keratin-based superabsorbent as coatings for slow-release urea and remediation of contaminated soil. *Progress in Organic Coatings*, 154. doi:<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106158>
- Choudhary, B., Raha, P., Kundu, A., & Rani, M. (2022). Replacement of Synthetic Nitrogenous Fertilizer by Human Hair Hydrolysates in Cultivation of Mung

- Bean (*Vigna radiata* L.). *Waste and Biomass Valorization*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-022-01737-6>
- Cordova, F., Paucar, A., Quispe, S., Rivera, A., Huerta, L., Valle, J., . . . Burrowes, T. (2022). Strengthening Collaborative Food Waste Prevention in Peru: Towards Responsible Consumption and Production. *sustainability*, 14(3), 1-17. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1050/htm>
- Cruz, C. F., Costa, C., A. C., Matamá, T., & Cavaco-Paulo, A. (2017). Human Hair and the Impact of Cosmetic Procedures: A Review on Cleansing and Shape-Modulating Cosmetics. *Cosmetics*, 3(3), 26. doi:<https://doi.org/10.3390/cosmetics3030026>
- Erdoğan, B. (2016). Anatomy and Physiology of Hair. *Hair and Scalp Disorders*. Obtenido de <https://www.intechopen.com/chapters/53880#T2>
- Forero, S., A., B. J., Zamudio, V., & Rodríguez, L. (2021). Análisis descriptivo sobre la incidencia del cabello humano en las plantas. *CITAS*, 7(1). doi:<https://doi.org/10.15332/24224529.6825>
- Gobierno de España. (2009). *Manual del compostaje*. España: Gobierno de España. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf
- Gonzales, Y. (2022). *Efecto de vermicompost elaborado con harina de huesos y cabello humano en el establecimiento de grass Japonés en suelo salino*. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30689/Gonzales%20Wong%2C%20Yasmin%20del%20Rosario.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, A. (26 de enero de 2018). *Los beneficios del compost*. Obtenido de Bioeconomía Noticias: <https://www.cajamar.es/es/agroalimentario/innovacion/investigacion/bioeconomia/noticias/los-beneficios-del-compost/>
- Gutiérrez, S., & Limón, G. (2018). *Estudiantes crean un abono orgánico con cabello humano*. Obtenido de <https://www.upb.edu.co/es/colegio/estudiantes-crearon-abono-organico-con-cabello-humano>
- Ha, B.-J., Ga Yun Lee, I.-H. C., & Park, S. (2019). Age- and sex-dependence of five major elements in the development of human scalp hair. *Biomaterials Research volume*, 23(29). doi:<https://doi.org/10.1186/s40824-019-0179-5>
- Instituto Nacional de Normalización . (2003). *Compost-Clasificación y requisitos. Proyecto de norma en consulta pública*. Chile. Obtenido de <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>
- Jacome, G. (2015). *Elaboración de compost utilizando cabello humano y aplicando dos fuentes de microorganismos: microorganismos eficientes*

- (EMS) y trichoderma spp, como agentes aceleradores del compostaje. *Tierra infinita ciencia y biodiversidad*, 1(1), 138-152. Obtenido de <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/tierrainfinita/article/view/86>
- Kanwar, K., & Paliyal, S. (2021). Recycling of Hair (Saloon Waste) by Vermicomposting Technology. *Diario de Krishi Vigyan*, 1(1), 65-68. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Manoj-Sharma-38/publication/350236725_Journal_of_Krishi_Vigyan_Vol_1_issue_1/links/6057215992851cd8ce573fa2/Journal-of-Krishi-Vigyan-Vol-1-issue-1.pdf#page=73
- Llenque, L., Quintana, A., Torres, L., & Segura, R. (2020). Produccion de bioetanol a partir de residuos organicos vegetales. *Revista de investigacion cientifica REBIOL*, 40(1), 21-29. Obtenido de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/facccbiol/article/view/2991/3319>
- Malepfane, N. M. (2017). Elemental composition and fertiliser value of different types of human hair in South Africa. *Tesis de grado*. University of KwaZulu-Natal. Obtenido de <https://researchspace.ukzn.ac.za/xmlui/handle/10413/13977?show=full>
- Menon Sruthi et al. (2020). Management and utilization of Keratin Waste– A review. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 6(3). Obtenido de <https://www.ijariit.com/manuscripts/v6i3/V6I3-1446.pdf>
- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2013). *Resolución Ministerial N°050-2013-TR*. Obtenido de http://www.trabajo.gob.pe/archivos/file/SNIL/normas/2013-03-15_050-2013-TR_2843.pdf
- Mishra, U. (2017). “Human Hair Fiber” A Discrete Fiber To Improve Soil Subgrade. *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies*, 4(3). Obtenido de https://www.ijiras.com/2017/Vol_4-Issue_3/paper_68.pdf
- MTPE. (2017). *Ley de seguridad y salud en el trabajo, su reglamento y modificatorias*. Lima. Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/349382/LEY_DE_SEGURIDAD_Y_SALUD_EN_EL_TRABAJO.pdf
- Ñaupas, H., Valdivia Dueñas, M., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). *Metodología de la Investigación Cuantitativa, Cualitativa y Redacción de tesis*. Bogotá. Retrieved from <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>
- Oviedo, C. (2019). ANÁLISIS DEL USO DE LA QUERATINA COMO BIOMATERIAL. *Tesis de grado*. Universidad Católica San Pablo. Obtenido de <https://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/20.500.12590/16565>

- Palaniveloo, K., Azri, M., Azeyanti, N., Mohamad, N., Peng, F., Hui, L., . . . Abdul, S. (2020). Food Waste Composting and Microbial Community Structure Profiling. *Processes*, 8(6), 1-30. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/6/723/htm>
- Patil, S., Shreya, K., & Kruti, S. (2020). Extraction of Amino acids from Human Hair" Waste" and Used as a Natural Fertilizer. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. Obtenido de <https://www.proquest.com/openview/37daae71ff85789d96c5b258227c35de/1?pq-origsite=gscholar&cbl=54977>
- Peng, Z., Zhang, J., Zhang, J., Du, G., & Chen, J. (2019). Keratin Waste Recycling Based on Microbial Degradation: Mechanisms and Prospects. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(11). doi:10.1021/acssuschemeng.9b01527
- Rahman, M., Kabir, K. B., Rahman, M., & Ferdous, Z. (2017). Quick Release Nitrogenous Fertilizer from Human Hair. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 14(2), 1-11. doi:10.9734/BJAST/2016/23454
- Rivera, A. (2017). Tesis de grado. *Producción de compost con diferentes concentraciones de cabello humano y su efecto en el cultivo de albahaca(Ocimum basilicum L.)*. Universidad César Vallej. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2988944>
- Roman, P., Martinez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i3388s/l3388S.pdf>
- Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación*. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1bRxJAfeCntCH_PoRy17B3wE6uniDg_g5/view
- Sayara, T., Basheer, R., Hawamde, F., & Sanchez, A. (2020). Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *agronomy*, 10(11), 1-23. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/11/1838/htm>
- Sharma, S., & Gupta, A. (2016). Sustainable Management of Keratin Waste Biomass: Applications and Future Perspectives. *Environmental Sciences*, 59. doi:<https://doi.org/10.1590/1678-4324-2016150684>
- Silbert, V., & Olivia, A. (2018). *MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS PARA PRODUCIR COMPOST HOGAREÑO*. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Obtenido de <https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/348>
- Sousa, A. G., Vieira, L., Gomes, J., Melo, A. d., Melo, J. d., Leal, Y., & Dias, T. (2018). Radish (*Raphanus sativus* L.) morphophysiology under salinity

- stress and ascorbic acid treatments. *Agronomía Colombiana*, 36(3). doi:<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n3.74149>
- Stahl, U., & Suárez, O. (2017). Obtención de Queratina a partir de cabello humano para la formulación de un producto cosmético. *Tesis de grado*. Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11528>
- Torres, O. (2017). Compostaje de cabello humano utilizando microorganismos eficientes en la Urbanización Canto Bello, San Juan de Lurigancho. *Tesis de grado*. Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/24609>
- Unnikrishnan, G., & Ramasamy, V. (2020). Extraction of Keratin from Human Hair with Production of Biofertilizer from Waste Liquid of Hair Extraction and its Efficient Application on Growth Yield of *Abelmoschus esculentus* L. *Asian Journal of Biological and Life Sciences*. Obtenido de https://www.ajbls.com/sites/default/files/AsianJBiolLifeSci-9-2-119_0.pdf
- Vargas, O. J., & Torres, M. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 2(23), 123-129. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092019000200123
- Ventura, J. (2017). *¿Población o muestra? Una diferencia necesaria*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662017000400014
- Wei, Y., Wang, N., Lin, Y., Zhan, Y., Ding, X., Liu, Y., . . . Li, J. (2021). Recycling of nutrients from organic waste by advanced compost technology- A case study. *Bioresource Technology*, 337(1), 1-8. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852421007513>
- Worku, T., & Nachippian, S. (2022). Development and Analysis of Human Hair Fiber and Chicken Feathers Reinforced Composite. *Research Square*, 1(1), 1-15. Obtenido de <https://assets.researchsquare.com/files/rs-1773566/v1/9f144276-b05d-4dab-83d5-3c41b1f06084.pdf?c=1656347835>
- Zhang, H., Carillo, F., Lopez, M., & Palet, C. (2020). Use of Chemically Treated Human Hair Wastes for the Removal of Heavy Metal Ions from Water. *water*, 12(5), 1-17. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1263/htm>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	
VID: Cabello humano	El cabello humano es un sistema complejo integrado por diferentes componentes morfológicos y varias especies químicas diferentes, que actúan juntas, donde el componente principal es la proteína, que corresponde al 65%-95% del peso del cabello, asimismo contiene un 16% de nitrógeno y un 20% de otros elementos esenciales para las plantas (Cruz, Costa, Andreia, Matamá, & Cavaco-Paulo, 2017).	Se recolectará cabello humano y se añadirá como aditivo en una compostera para obtener compost, el cual será llevado como muestra a laboratorio para el análisis de sus propiedades que determinan la calidad del producto.	Propiedades químicas	Conductividad eléctrica	S/cm	
				pH	pH	
				Materia orgánica	%	
				Fósforo	mg/L	
				Potasio	milimol/L	
				Calcio	milimol/L	
Propiedades físicas	Magnesio	mg/L				
	Temperatura	K				
	Humedad	g/m ³				
Tamaño de partículas	μ					
	VD: Compost	El compostaje de cabello permite obtener un producto fertilizante con propiedades beneficiosas que proporciona los nutrientes necesarios para el desarrollo vegetativo de las plantas como leguminosas y hortalizas, además reduce el daño de los campos de cultivo y permite obtener aproximadamente la misma productividad que con fertilizantes convencionales (Gonzales, 2022).	Se evaluará la calidad de compost mediante un experimento en macetas para el crecimiento de rábano con el producto de compostaje en diferentes dosificaciones, considerando un grupo sin aplicación de fertilizante.	Crecimiento vegetativo	Altura	cm
					Diámetro del bulbo	cm
					Masa fresca del bulbo	g
Rendimiento Agrícola					m ²	

Anexo 2. Ficha de recolección de datos

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS						
MATERIALES PARA EL COMPOST		PARÁMETROS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE			TOMA DE MUESTRA DEL COMPOST	
Tipos de materia prima		Fase Mesofílica	PH		Nombre del sitio de estudio	
			T°		Fecha y hora	
		Fase Termófila	PH		Cantidad de muestra	
			T°		Tipo de muestreo	
		Fase de enfriamiento	PH		Características organolépticas	
			T°		Instrumentos utilizados	
Fase de maduración	PH					
	T°					
Cantidad de materia Prima (Kg)						

Anexo 3. Resultados de los análisis de laboratorio del compost de cabello humano.



INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-18391

N° Id.: 0000062068

IV. RESULTADOS

ITEM	1			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-57506			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	COMPOST DE CABELLO HUMANO			
COORDENADAS:	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA			
PRODUCTO:	FERTILIZANTE			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	19-10-2022 10:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	19-10-2022			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Metales Totales - Fertil.				
Azufre (**)	%	0,01	0,03	0,18
Boro (**)	mg/Kg	2,0	6,0	<6,0
Calcio (**)	%	0,01	0,03	1,13
Cobre (**)	mg/Kg	2,0	6,0	38,9
Fosforo (**)	% P2O5	0,02	0,06	0,69
Hierro (**)	mg/Kg	2	6	37 397
Magnesio (**)	%	0,02	0,06	0,51
Manganeso (**)	mg/Kg	2	6	819
Potasio (**)	% K2O	0,01	0,03	0,85
Sodio (**)	mg/Kg	80	240	1 278
Zinc (**)	mg/Kg	2	6	143

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

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

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.3 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-18389

N° Id.: 0000062066

IV. RESULTADOS

ITEM	1			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-57503			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	COMPOST DE CABELLO HUMANO			
COORDENADAS:	NO APLICA			
UTM WGS 84:	NO APLICA			
PRODUCTO:	FERTILIZANTE			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	19-10-2022 10:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	19-10-2022			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) (**)	NMP/g	NA,	0,18	11 000,00
Coliformes Totales (NMP) (**)	NMP/g	NA,	0,18	350 000,00

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq " Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq " Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-18392

N° Id.: 0000062069

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-57507
CÓDIGO DEL CLIENTE:				COMPOST DE CABELLO HUMANO
COORDENADAS:				NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA
PRODUCTO:				FERTILIZANTE
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):				19-10-2022 10:00
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):				19-10-2022
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Conductividad Eléctrica (Extracto 1:10) (**)	uS/cm	26,60	80,00	3 805,00
Nitrógeno Total (**)	%	0,20	0,60	1,53
pH (Extracto 1:10) (**)	Unidad de pH	NA,	0,01	5,15
Humedad en FO (**)	%	0,1	0,2	25,5
Relación C/N en FO (**)	no unidad	NA,		11,2
Materia Orgánica (**)	%	0,05	0,10	28,81
Metales Totales ICP-MS				
Fertilizantes				
Aluminio (**)	mg/Kg	0,10	0,30	25 449,10
Antimonio (**)	mg/Kg	0,06	0,20	<0,20
Arsénico (**)	mg/Kg	0,02	0,10	<0,10
Bario (**)	mg/Kg	0,01	0,03	114,61
Berilio (**)	mg/Kg	0,01	0,03	0,80
Bismuto (**)	mg/Kg	0,06	0,20	17,05
Cadmio (**)	mg/Kg	0,005	0,020	<0,020
Cerio (**)	mg/Kg	0,04	0,10	7,20
Cobalto (**)	mg/Kg	0,05	0,20	16,34

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

 L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq " Menor que el L.C.M.

 L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq " Menor que el L.D.M.

SEDE PRINCIPAL
 Av. Guardia Chalaca 1877,
 Bellavista, Callao P (+511)
 7175810 / Anexo 112 Cel.:
 940 598 572
www.alab.com.pe
SEDE ZARUMILLA
 Prolongación Zarumilla Mz
 D2, Lt3 , Bellavista, Callao
 P (+511) 7130636
 Cel.: 932646460
www.alab.com.pe
SEDE AREQUIPA:
 Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
 P (+073) 616843
 Cel.: 932646642
www.alab.com.pe
SEDE PIURA:
 Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
 Miraflores II Etapa - Ref. Costado
 del colegio San Ignacio de Loyola. P
 (+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.3 de 5

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-18392

N° Id.: 000062069

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-57507
CÓDIGO DEL CLIENTE:				COMPOST DE CABELLO HUMANO
COORDENADAS:				NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA
PRODUCTO:				FERTILIZANTE
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):				19-10-2022 10:00
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):				19-10-2022
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Cromo (**)	mg/Kg	0,01	0,03	98,95
Estaño (**)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10
Estroncio (**)	mg/Kg	0,05	0,23	63,83
Litio (**)	mg/Kg	0,003	0,010	3,652
Mercurio (**)	mg/Kg	0,01	0,04	11,64
Molibdeno (**)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10
Niquel (**)	mg/Kg	0,01	0,04	25,35
Plata (**)	mg/Kg	0,03	0,10	22,75
Plomo (**)	mg/Kg	0,05	0,20	2,82
Selenio (**)	mg/Kg	0,05	0,20	<0,20
Silicio (**)	mg/Kg	0,02	0,07	621,68
Talio (**)	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04
Titanio (**)	mg/Kg	0,03	0,10	392,96

(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

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

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

SEDE PRINCIPAL
 Av. Guardia Chalaca 1877,
 Bellavista, Callao P (+511)
 7175810 / Anexo 112 Cel.:
 940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
 Prolongación Zarumilla Mz
 D2, Lt3, Bellavista, Callao
 P (+511) 7130636
 Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
 Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
 P (+073) 616843
 Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
 Calle Los Ebanos Mz G Lt 17 Urb.
 Miraflores II Etapa - Ref. Costado
 del colegio San Ignacio de Loyola. P
 (+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.4 de 5

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-18392

N° Id.: 0000062069

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-57507
CÓDIGO DEL CLIENTE:				COMPOST DE CABELLO HUMANO
COORDENADAS:				NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA
PRODUCTO:				FERTILIZANTE
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):				19-10-2022 10:00
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):				19-10-2022
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Uranio (**)	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03
Vanadio (**)	mg/Kg	0,01	0,04	123,56

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

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

L.D.M.: Limite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo 4. Aplicación del compost en el cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*)

MACETAS DE 1 KG										
TRATAMIENTOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CONTENIDO DE COMPOST	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
PESO DE RABANITO	100 g	110 g	120 g	140 g	160 g	180 g	90 g	70 g	50 g	40 g
DIAMETRO DEL RABANITO	8cm	9cm	10cm	11cm	12cm	13cm	6cm	8cm	6cm	7cm
LARGO DEL RABANITO	7cm	6cm	8cm	8cm	8cm	10cm	5cm	6cm	4cm	3cm
MEDIDA DE LA HOJA RABANITO	15cm	16cm	16cm	16cm	16cm	17cm	14cm	12cm	12cm	9cm
Nº HOJAS DE RABANITO	5	5	5	6	6	6	5	5	4	4

Anexo 6. Panel Fotográfico.



Figura 1. Elaboración de la compostera.



Figura 2. Pesado del cabello humano.



Figura 3. Adición de aditivos a la compostera



Figura 4: Medida del pH



Figura 5. Medida de la temperatura



Figura 6. Siembra del rabanito



Figura 7. crecimiento del rabanito.



Figura 8. Obtención del rabanito



Figura 9. Medida del rabanito



Figura 10. Medida de la hoja rabanito



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis Completa titulada: "Utilización del cabello humano para la obtención de compost aplicado al cultivo de rabanito (*Raphanus sativus*) ,2022", cuyo autor es JIMENEZ VASQUEZ MARIA MERCEDES, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 14.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 06 de Enero del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO DNI: 07268863 ORCID: 0000-0003-1485-5854	Firmado electrónicamente por: FSERNAQUEA el 06- 01-2023 15:19:36

Código documento Trilce: TRI - 0511479