



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Lodos residuales generados en la planta de tratamiento  
de agua potable para la obtención de ladrillos  
combustibles, Universidad Nacional de Piura, 2023**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**AUTOR:**

Carmen Cruz, Cesar Andres ([orcid.org/0009-0003-9695-297X](https://orcid.org/0009-0003-9695-297X))

**ASESOR:**

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio ([orcid.org/0000-0003-1485-5854](https://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

**CHICLAYO - PERÚ**

**2024**

## Dedicatoria

Dedico esta investigación a mis padres Cesar Augusto Carmen Sosa y Marita del Pilar Cruz Márquez, por su apoyo incondicional y amor que me han brindado a lo largo de mi vida y mi carrera, a mi novia María Dilma Chasquero Herrera por la paciencia y dedicación de siempre estar conmigo apoyándome, a mis abuelas Nelly Márquez Bermejo y Juana Sosa De Carmen por brindarme siempre sus consejos y a mis abuelos Ramón Cruz Vilela y César Carmen Noblecilla que interceden guiándome desde el cielo.

## **Agradecimiento**

Agradecer a Dios por darme la vida y permitirme estar con bien e iluminar mi camino, agradezco a la universidad César Vallejo por brindarme la oportunidad de culminar mi carrera y así poder seguir desarrollándome como profesional, a mi asesor de tesis el Dr. Sernaque Auccahuasi Fernando Antonio, por su orientación, consejos y dedicación a lo largo de la investigación.



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 - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Lodos residuales generados en la planta de tratamiento de agua potable para la obtención de ladrillos combustibles, Universidad Nacional de Piura, 2023", cuyo autor es CARMEN CRUZ CESAR ANDRES, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, 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 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.

CHICLAYO, 21 de Febrero del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
FERNANDO ANTONIO SERNAQUE AUCCAHUASI DNI: 07234567 ORCID: 0000-0003-1485-5854	Firmado electrónicamente por: FSERNAQUEA el 12- 04-2024 16:28:16

Código documento Trilce: TRI – 0738602



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

**Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, CARMEN CRUZ CESAR ANDRES estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Lodos residuales generados en la planta de tratamiento de agua potable para la obtención de ladrillos combustibles, Universidad Nacional de Piura, 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
CESAR ANDRES CARMEN CRUZ <b>DNI:</b> 70929154 <b>ORCID:</b> 0009-0003-9695-297X	Firmado electrónicamente por: CECARMENCR el 21-02-2024 06:11:21

Código documento Trilce: TRI – 0738601

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor.....	iv
Declaratoria de Originalidad del Autor.....	v
Índice de contenidos .....	vi
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras .....	viii
Resumen .....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	12
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	12
3.2. Variables y operacionalización.....	12
3.3. Población, muestra y muestreo .....	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
3.5. Procedimientos .....	17
3.6. Método de análisis de datos.....	22
3.7. Aspectos éticos .....	22
IV. RESULTADOS .....	23
V. DISCUSIÓN.....	29
VI. CONCLUSIONES .....	33
VII. RECOMENDACIONES.....	34
REFERENCIAS.....	35
ANEXOS .....	40

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Matriz de operacionalización.....	13
<b>Tabla 2.</b> <i>Instrumentos de recolección de datos</i> .....	17
<b>Tabla 3 :</b> <i>Cuantificación de agregados</i> .....	20
<b>Tabla 4:</b> <i>Resultados de los parámetros físicos, químicos y metales del lodo</i> .....	24
<b>Tabla 5:</b> <i>Resistencia a compresión</i> .....	25
<b>Tabla 6:</b> <i>Resultados del poder calorífico y la eficiencia</i> .....	26
<b>Tabla 7:</b> <i>Análisis de varianza de los tratamientos</i> .....	27
<b>Tabla 8:</b> <i>Costo en la elaboración de los ladrillos combustibles</i> .....	28

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Reservorio de los residuales</i> de la Universidad Nacional de Piura.....	15
<b>Figura 2.</b> <i>Lodo residual</i> .....	16
<b>Figura 3.</b> Diagrama de elaboración de ladrillos combustibles.....	18
<b>Figura 4.</b> Materiales para la elaboración de lodos .....	19
<b>Figura 5.</b> Elaboración de ladrillos combustibles.....	23

## Resumen

Los ladrillos combustibles son fabricados por diferentes insumos, que permiten ser una fuente renovable de energía, para la combustión, en ese sentido se utilizó los lodos residuales. Por lo tanto, la presente investigación plantea como objetivo elaborar ladrillos combustibles a base de lodos residuales en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), Universidad Nacional de Piura, 2023. La metodología fue de tipo aplicada, nivel correlacional, diseño experimental, para elaborar ladrillos, para lo cual se elaboraron pruebas de laboratorio de análisis físico, químico de lodos, además de la cuantificación de los materiales como fue el puño de árbol, guano de vaca, taralla y chancho, se combinaron el lodo con los materiales. Los resultados mostraron que las propiedades de los lodos residuales están dentro del rango para poder elaborar ladrillos, además no todos los ladrillos presentaron poder calorífico ni eficiencia, además con el análisis de varianza el ladrillo de lodo con puño de árbol tiene la media mayor a los otros ladrillos, con un valor de 0, 298. Se concluye que, si se puede obtener ladrillos combustibles en base a lodos residuales de la Planta de tratamiento de agua potable de la UNP, siendo los de puño de árbol y taralla que generaron mayor poder calorífico y eficiencia, con un tratamiento de 15 repeticiones.

**Palabras clave:** Ladrillos combustibles, lodos residuales, compresión, poder calorífico

## **Abstract**

Fuel bricks are manufactured using different inputs, which allow them to be a renewable source of energy for combustion, in that sense residual sludge is used. Therefore, the objective of this research is to produce fuel bricks based on residual sludge in the drinking water treatment plant (PTAP), National University of Piura, 2023. The methodology was applied, correlational level, experimental design, to make bricks, for which laboratory tests of physical, chemical and biological analysis of sludge were carried out, in addition to the quantification of materials such as tree fist, cow guano, taralla and pig, the sludge was combined with the materials. The results showed that the properties of the waste sludge are within the range to be able to make bricks, and not all bricks had calorific value or efficiency. It is concluded that the fuel bricks based on residual sludge from the UNP Drinking Water Treatment Plant, being the ones made from tree fist and slag, generated greater calorific value and efficiency, with a treatment of 15 repetitions

**Keywords:** Fuel bricks, waste sludge, compression, heating value

## I. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población, el desarrollo económico, generan más productos y servicios a los ciudadanos y participan en el comercio e intercambio mundial, enfrentándose a una mayor cantidad de residuos que se deben gestionar a través de un tratamiento y eliminación de residuos. (Carcasi y Vilchez, 2022).

Por otro lado, si no se adoptan medidas de forma rápida, para el 2050 los residuos se incrementarán un 70% con referencia a los niveles actuales. Los países desarrollados, generan alrededor de un tercio (34%) de los desechos del mundo, Asia oriental y el Pacífico genera un cuarto (23%) del total (Banco Mundial, 2018)

Los residuos sólidos, suelen estar presentes en los tratamientos de agua potable, donde para volverla potabilizable se emplean productos químicos como el cloro, quienes generan lodos, que está compuesto por sólidos e impurezas provenientes del agua a tratar (Carcasi y Vilchez, 2022).

Se indica que los lodos de potabilización se pueden procesar para que su impacto en el ambiente sea menor. Se pueden emplear para la elaboración de compost, ladrillos, cemento, cerámicas, que son sometidos a diferente tratamiento como secado y acidificación (Espinoza, 2022).

Al respecto se explica que los lodos residuales en América Latina se están incrementando de forma exponencial, donde México y Brasil fortalecieron sus normas, reglamentos y leyes para detener el crecimiento de los lodos originado del tratamiento de agua, dando resultados no esperados ya que no se cumplieron con la normativa como deben ser (Garzón, 2019)

A nivel nacional, la problemática de los lodos residuales ha sido una constante a lo largo del tiempo, no solo por ser un material que varía las condiciones ambientales, ocasionando efectos negativos al medio ambiente, sino también porque no posee una adecuada infraestructura en los rellenos sanitarios, según el Ministerio del Ambiente (2019) existe un déficit de 246

rellenos sanitarios en el Perú y los que están en funcionamiento carecen de capacidad para decepcionar lodo residual (Espinoza et al., 2020).

Por otro lado, otro problema que se presenta en Perú es la inadecuada disposición de lodos residuales que provienen de plantas de tratamiento de agua potable, la que se ven afectadas por botaderos informales que permiten la propagación de focos infecciosos (Ministerio del Ambiente, 2019).

Esta realidad está presente en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de la Universidad Nacional de Piura (UNP), debido a que sus procesos de tratamiento dejan como resultado una elevada producción de lodos residuales. Por lo cual, se pretende brindar una posible alternativa de solución a la problemática de los lodos residuales a través de la elaboración de ladrillos combustibles, mediante la revisión de literatura para una mayor profundidad, para entender el proceso de elaboración que permitan emplearse en diferentes contextos en beneficio de la población.

Teniendo como contexto lo mencionado, se tiene como pregunta de investigación: ¿Cómo los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) se obtienen ladrillos combustibles, Universidad Nacional de Piura, 2023? Se establecieron como problemas específicos: ¿Cuáles son las características físico-químicas y metales pesados de los lodos de la PTAP de la UNP?, ¿Cuál es la carga máxima y compresión de los ladrillos combustibles a base de lodos de la PTAP de la UNP?, ¿Cuál de los diferentes ladrillos combustibles elaborados de lodos residuales produce mejor poder calorífico y eficiencia?, ¿Cuál es el costo de la elaboración de ladrillos combustible en Piura?

La justificación teórica brinda principios teóricos desarrollados de estudios sobre la elaboración de ladrillos combustibles en función a los lodos residuales, además permite tener que se puede disminuir el impacto ambiental de los lodos a través de tratamientos variados que beneficie a la sociedad. Por otro lado, se es fundamenta de forma metodológica porque se muestran los métodos que se aplican para la elaboración de ladrillos combustibles. Se justifica de forma ambiental porque permite disminuir la contaminación del medio ambiente.

Finalmente, la contribución social del estudio, es iniciar un nuevo método de energía calorífica como sustituto del carbón, leña, beneficiando a la población y la comunidad investigadora en general.

En base a la pregunta de investigación, se planteó como objetivo general: Analizar los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) para obtener ladrillos combustibles, Universidad Nacional de Piura, 2023; además que los objetivos específicos, analizar las características físico-químicas y metales pesados de los lodos de la PTAP de la UNP, analizar la carga máxima y compresión de los ladrillos combustibles a base de lodos de la PTAP de la UNP , analizar los diferentes ladrillos combustibles elaborados de lodos residuales y quien produce mejor poder calorífico y eficiencia, determinar el costo de la elaboración de ladrillos combustibles en Piura.

Para temas de la investigación, se considera como hipótesis general, la utilización de lodos residuales de la planta de tratamiento de agua (PTAP) de la UNP de Piura sirven como materia prima para la obtención de ladrillos combustibles. Las hipótesis específicas: Los lodos residuales de la PTAP poseen características físico-químicas y metales pesados adecuados para posibilitar la elaboración de ladrillos combustibles, existe una alta carga máxima y compresión de los ladrillos combustibles a base de lodos de la PTAP de la UNP, los tratamientos de lodos residuales producen un adecuado poder calorífico y eficiencia en la elaboración de ladrillos combustibles.

## II. MARCO TEÓRICO

En esta sección se describirán los antecedentes de la investigación que son trabajos que respaldan el estado del arte, en un contexto a nivel internacional y nacional, relacionando las variables desde un enfoque asociativo como independiente. Se redacta los antecedentes a nivel internacional.

Sarabia et al (2020) realizaron una investigación cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la incorporación de los lodos residuales como sustituto parcial de materiales arcillosos en la elaboración de ladrillos refractarios en Cúcuta, Colombia. La metodología empleada fue experimental a través del uso de la técnica de Fluorescencia de Rayos X en la materia prima. Los resultados muestran que la adición de un 10% de lodo de la planta de tratamiento de aguas industriales contribuye a elevar el punto de reblandecimiento de la arcilla obteniendo un ladrillo refractario de soportar temperatura de 1430° C. Concluyeron que la adición de lodos en materiales arcillosos permite obtener ladrillos de en función a los parámetros de la NTC 623, que pueden ser utilizados en la industria de cerámica en Santander.

Limami et al (2021), su investigación tuvo como finalidad analizar las propiedades mecánicas, fisicoquímicas y térmicas de los ladrillos del tipo crudo. La metodología fue de enfoque experimental, a través de ensayos de difracción de rayos x (XRD) y Fluorescencia de Rayos x (XRF) que permitió observar las propiedades químicas y físicas del tratamiento de aguas residuales. Los resultados mostraron un incremento en el nivel de porosidad de los ladrillos con una cantidad de lodo del 20% siendo la porosidad del 14,03%, infiriendo que se crea más espacio entre capas del ladrillo. Concluyeron que el proceso de fabricación de ladrillo siguió protocolo de producción más limpio ahorrando energía y reduciendo las emisiones de carbono.

Sakthivel et al (2019), estableció como objetivo comprobar la viabilidad de los lodos como material en la elaboración de ladrillos. La metodología empleada fue de tipo experimental considerando los lodos como el material principal, además se empleó diferentes métodos para su preparación como el mezclado, moldeado y secado. Los resultados muestran que en las pruebas de compresión la mezcla que

reemplaza el 5% de la cantidad de ladrillo convencional proporciona una compresión de 3,13 N/nm<sup>2</sup>, cuando se reemplaza al 10% genera 2,70 N/mm<sup>2</sup> y al 15% de reemplazo genera 1,89 N/nm<sup>2</sup> inferior al estándar mínimo de compresión. Se concluye que es viable elaborar ladrillos combustibles con lodos porque cumplen con los estándares establecidos según normativa.

Subashi et al (2021), la finalidad fue analizar los efectos de los residuos de la ceniza de cáscara de arroz (RHA) en el horno para la generación de ladrillos. La metodología empleada fue de diseño experimental donde se cambió el cemento en el montero por 0%, 5%, 10% y 20% de RHA residual. Los resultados mostraron que se alcanzó un índice de resistencia del 95% y 85% para mortero de RHA residual al 5% y 10%. Concluyeron que con una muestra de RHA residual del 5% se forman elevados recuentos de CSH, convirtiéndose en una estructura compacta, favorable para mejorar los rendimientos de durabilidad y resistencia.

Mohamed et al (2020) cuyo objetivo fue investigar los efectos de los residuos agrícolas (paja de arroz, bagazo de caña de azúcar y trigo, cenizas de paja) en ladrillos de arcilla. La metodología empleada fue de diseño experimental, con composición típica de arcilla que varían en proporciones minerales, donde las composiciones químicas se identifican utilizando un espectrómetro de fluorescencia de rayos X, preparándose diez mezclas de ladrillos de arcilla, la proporción de la mezcla de ladrillos de arcilla se dividieron en tres grupos, con 5%, 10% y 15%. Los resultados mostraron que los ladrillos de arcilla que contienen ceniza de paja de arroz, bagazo de caña de azúcar, ceniza de paja de trigo, tenía mayor resistencia a la compresión. Concluyeron que el 5% de ceniza de bagazo de cañaza de azúcar, ceniza de paja de trigo, ceniza de paja de arroz, es la mejor combinación para obtener el mejor rendimiento en la industria de ladrillos.

Subashi y Perera (2018) establecieron como objetivo indagar el efecto de los residuos de ceniza de cascarilla de arroz (RHA) sobre las propiedades estructurales, el desempeño térmico y acústico de ladrillos de arcillas en una planta a escala industrial. La metodología fue a través de la selección de materiales, fabricación de ladrillos de arcilla y la realización de experimentos en laboratorio, donde se incluyeron prueba de gravedad específica, prueba de límite de Atterberg,

prueba de análisis de tamiz, prueba de fluorescencia de rayos X, para caracterizar de materias primas y mezclas de arcilla. Los resultados indican que un ladrillo de arcilla se puede reemplazar por residuos de RHA, además el grado de mezcla de RHA con arcilla es alto mostrando mucha eficiencia. Concluyeron que los mejores rendimientos térmicos de los ladrillos de arcilla se mejoran con la incorporación del 4% con la mezcla de la ceniza de cáscara de arroz, siendo útiles para la producción de ladrillos de arcilla.

Mogollón y Carrillo (2016) estableció como objetivo general evaluar la producción de ladrillos cerámicos del aprovechamiento de lodos fisicoquímicos como biosólidos que se generan en la PTAR industriales. La metodología fue experimental, con la finalidad de evaluar las potencialidades de los lodos fisicoquímicos para producir ladrillos. Los resultados mostraron los ladrillos con proporciones de 40% y 50% de lodo, no lograron soportar a los cambios de temperatura, no se presentaron microorganismos de riesgo biológico como huevos de helminto, salmonella y coliformes y en base a los costos fijos resulta factible fabricar ladrillos cerámicos con 10% de lodo y 90% de arcilla.

Tene y Zambrano (2023) su investigación tuvo como finalidad emplear lodos residuales de la PT de Villa la Unión, como medio para fabricar ladrillos artesanales. La metodología empleada fue de tipo experimental de enfoque cuantitativo, para recolectar los datos se empleó la revisión de registros a través de muestras, ensayos, observación de resultados, clasificación y conclusiones. Los resultados mostraron que todas las dosificaciones; excepto la dosificación 2 (Adición 20 % de lodo residual), dosificación 10 (adición 5 % de lodo residual - Adición 12 % de polvo de mármol) y dosificación 11 (adición 10 % de lodo residual - adición 12 % de polvo de mármol), cumplieron con la resistencia mínima a compresión establecida en la NEC- SE-VIVIENDA (2 MPa).

Con referencia a los antecedentes nacionales, se considera la investigación Soto (2019), cuya finalidad fue elaborar ladrillos refractarios de alúmina con características adecuadas para el empleo de la industria de la construcción, a partir de lodos residuales minerales. La metodología fue de diseño cuasi experimental, considerando una población de ladrillos con lodos de alúmina con la cantidad de 60

unidades de entre 2.9 y 3.0 kilogramos que depende del dimensionamiento comercial. Los resultados mostraron que los ladrillos refractarios de alúmina, es viable la aplicación del lodo residual mineral en reemplazo de la arcilla. Concluyó que se generó un Bloque NP-Refractario.

Lozano (2021), su investigación tuvo como finalidad elaborar ladrillos cerámicos artesanales empleando lodos sedimentados generados en lagunas de estabilización de Epsel de San José en la construcción de muros de tabiquería. La metodología fue de diseño experimental, con una población de 180 unidades divididas en ladrillos tradicionales comunes, ladrillos patrón y ladrillos artesanales con incorporación de lodos secos de agua residual. Los resultados mostraron que al elaborar ladrillos cerámicos artesanales empleando lodos sedimentados en las lagunas de estabilización de Epsel de San José-Lambayeque si se mejoran la resistencia a la compresión como material de construcción no estructural como muros de cercos e incluso se puede utilizar como unidad de albañilería. Concluyo que los lodos presentan características similares a las componentes de arcillas, lo que facilita su compatibilidad para realizar mezclas.

Rojas (2019), en su investigación estableció como objetivo elaborar ladrillos ecológicos a través de biosólidos de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) domésticas de Ancón. La metodología empleada fue de diseño experimental, de tipo aplicada de nivel explicativa, la muestra estuvo representada por 60 kg de biosólidos, distribuyéndose de forma proporcional en tres grupos a razón de elaborar 3 ladrillos en cada uno, llevándose a un laboratorio para un análisis de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Los resultados mostraron que los parámetros microbiológicos presentes en los biosólidos de la PTAR, están por debajo de la norma, estos se mantienen estables luego de la elaboración de los ladrillos. Concluyó que la carga máxima y resistencia a la compresión de los ladrillos fabricados con biosólidos se relacionan de forma inversa proporcional, al material muy fino.

Huamán y Huamán (2019), su estudio tuvo como finalidad analizar lodos residuales de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Cajabamba para conseguir compost y ladrillos combustibles. La metodología empleada fue de

diseño experimental, de tipo explicativa, utilizo métodos de información primaria y secundaria donde determino los parámetros de los sólidos y el caudal de las aguas residuales. Los resultados mostraron el mejor método el aserrín siendo el más factible y accesible para el lugar. Concluyen que el ladrillo combustible con mayor poder calorífico y eficiencia fue el aserrín, como lo muestran los resultados de poder calorífico con 77.5 kcal con una eficiencia de 16 minutos.

Arce (2022), establece como objetivo estudiar la factibilidad y económica para el uso de distintos porcentajes del lodo residual en la fabricación de ladrillos. La metodología empleada fue de tipo experimental, donde se analizó la factibilidad de lodos negros que provienen de plantas de tratamiento de aguas servidas para la fabricación de ladrillos. Los resultados mostraron que los lodos residuales ayudan a formar fácilmente la pasta del ladrillo con la arcilla, y otros materiales, lo que hace que estos cumplen con la forma, tamaño y consistencia necesaria para ser comparados con ladrillos artesanales.

Lodo residual es el producto de las operaciones y actividades que generan las industrias entre las que destacan las estaciones de tratamiento de agua para el consumo humano. Según el tipo de fuente se producen diferentes lodos, dentro de los que podemos encontrar son los de partículas naturales o las que provienen de procesos físico- químicos, asimismo encontramos material de origen mineral no biodegradables del tratamiento de materia orgánica disuelta (Soto, 2019)

Otro concepto del lodo residual es biosólido, este se llega a formar a partir de subproductos de partículas orgánicas y mineral que no se retienen en los tratamientos biológicos y/ o físicos del agua, acabe resaltar que se les considera como desechos dañinos, dado que su contenido está lleno de microorganismos patógenos y metales pesados (Lopez et al, 2018)

Con respecto a los tipos de lodos se tiene los siguientes: A) lodos primarios estos se crean a partir de la sedimentación primaria, predominando los químicos más que el lodo, B) lodos activados son relevantes en el funcionamiento de las plantas de tratamiento biológico, está formada por lo general de flóculos en los que se encuentra biomasa tanto viva como muerta, además de partículas de minerales, C) lodos secundarios se desarrolla a partir de los tratamientos biológicos y D) lodos

terciarios producidos a través de tratamientos avanzados de aguas residuales, entre los que destaca la filtración y la precipitación química (Cagnat, 2021).

Por otro lado, el lodo residual se clasifica de acuerdo a sus características, así como por su naturaleza por lo que va desde sólido, líquido y semisólidos. Estas variaciones se originan en base al tratamiento a los cuales fueron sometidos, alguno de ellos llega a tener un olor putrefacto lo que los convierte en un problema si es que estos son gestionados de manera poco eficaz (Israel, 2020)

La temperatura es un factor importante ya que se le considera como un parámetro fundamental dentro del tratamiento de aguas residuales debido a que este es capaz de modificar la característica del agua, por lo que se va haber una alteración en la vida acuática, reacción química, concentración de oxígeno, y baja actividad bacteriana, teniendo como temperatura adecuada entre los 35° y 20° grados centígrados (Ramírez, 2021).

La humedad es agua contenida dentro de un material, se puede medir a través del volumen métrico del agua con la división del volumen de esta sobre su total siendo la adición del volumen del agua, espacio y suelo contenido en el mismo material. Cabe resaltar que esta se encuentra presente dentro de los lodos residuales en combinación de grasa y aceites, lo cual hace que posea propiedades inflamatorias, siendo altamente volátil (Leòn & Lòpez, 2020).

Las cenizas originarias de plantas en las que tratan aguas residuales son también conocidas como subproductos de estas, se llegan a formar por la ignición de lodos residuales, no obstante, estas se pueden generar por la quema de residuos de los procesos de una central termoeléctrica las cuales usan carbón como principal fuente de combustible (De Lemos, y otros, 2019).

Las cenizas se obtienen a través de la quema de los procesos de una central termoeléctrica en la que generalmente utilizan como fuente principal de combustible el carbón, estas partículas también se puede obtener por medio de las precipitaciones mecánicas, las plantas que tratan aguas residuales son las que originan las cenizas, por lo cual se le llegan a conocer como subproductos de este proceso (Pacheco & Utria, 2019)

Se le considera como carbón fijo a una masa sólida, siendo esta el resultado de la combustión de la biomasa, quedando después de la eliminación de una materia volátil, no se va a tomar en cuenta la humedad ni las cenizas, para obtener un carbón con mayor volatilidad es preciso asegurarse que se tenga una buena transferencia de calor y de la cantidad de carbón (Zavala, Pretell, Verastegui, & Ramirez, 2021)

El potencial redox puede ser considerado como potencióstato, siendo utilizado para configurar los fenómenos químicos, el funcionamiento de este de basa en el mantenimiento del potencial de los electrodos, debido a lo cual el potencial redox se convierte en un factor importante, ya que este ayudar a determinar la transformación bioquímica y estabilidad de una materia orgánica. (Suárez et al., 2021)

La conductividad eléctrica se toma como una unidad de medida con la que las propiedades que disponen algunas mezclas acuosas para poder ser buenas conductas de corriente eléctrica, esto depende de las cantidades de iones que posean, movilidad, concentración, temperatura y valencia, por lo que la presencia de todos esos elementos las hace buenas conductoras eléctricas de los agregados inorgánicos (Calderon & Pulgar, 2023).

Los metales pesados son un conjunto de compuestos que se encuentran presente en la naturaleza, los cuales poseen un peso molecular alto y una densidad en relación al agua, los lodos residuales de plantas de procesamiento tienen en su composición un bajo nivel de metales pesados entre los que destaca el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el arsénico (As), para el uso de estos agregados metálicos debe tener un riguroso cuidado por los efectos tóxicos que poseen (Sánchez, 2023).

Los ladrillos combustibles son fabricados usualmente con cáscara de trigo y aserrín, estos llegan a tener una oxidación rápida, se utiliza como una fuente renovable de energía, para la combustión es necesario la presencia de ciertos elementos dentro del material de tal modo que, al entrar en contacto con el oxígeno, así como con otras sustancias como el azufre, hidrogeno y carbono estos lleguen a emanar calor (Huamán & Huamán, 2019).

La bioenergía hace referencia aquella materia de origen industrial como el lodo residual, siendo fundamental para el uso de energía renovable, por lo que es importante poder identificar cuál de los residuos son viables al momento de querer usarlo, en virtud a esto se debe realizar un análisis físico como químico, donde el poder calorífico será un parámetro indicador de la cantidad de energía que emana la bioenergía a utilizar, quedando como la principal proveedora de energía alternativa (Nicolae & Dallemand, 2019)

Las dimensiones de los pellets se ha tomado en cuenta los siguientes elementos: A) contenido de humedad es la cantidad de agua en el combustible determinando la energía por medio de la combustión, B) densidad es la unidad de volumen de un material sólido, C) durabilidad y friabilidad es la capacidad de permanecer intacto ante choques teniendo influencia la materia prima a utilizar, E) poder calórico es el nivel superior en la combustión superior a 25°C , además se da cuando el agua está en estado condensado a estado líquido ( Avilés, 2020).

Por otra parte, se considera para la reutilización de los lodos residuales la Resolución Ministerial N.º 128-2017-Vivienda, donde se regula las condiciones mínimas para el manejo de lodos en las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), estableciendo que los lodos de los estanques se deben almacenar dentro de su propia estructura y deben retirarse de forma periódica para restituir la capacidad de regulación.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

La investigación fue tipo aplicada, cuya finalidad es buscar conocimiento cubriendo una necesidad de manera específica (Castro, 2018). En se sentido, la investigación busca ver el análisis de lodos residuales que se generan en la PTAP para la obtención de ladrillos combustibles, Piura 2023, en ese aspecto la investigación pretende mantener el conocimiento científico, protocolos, metodologías y tecnologías, cubriendo una necesidad específica y reconocida

El estudio es de diseño experimental, se considera este diseño como una asignación aleatoria probabilística de los individuos en el grupo de control y experimental, de esta forma, las distintas formas no controladas por el autor, se distribuye de forma aleatoria en ambos grupos, disminuyendo la probabilidad de su influencia en los resultados, manipulándose las variables (Ramos, 2021).

La investigación fue experimental porque se manipularon las variables de investigación para estudios de la investigación de los lodos residuales, además existe un control de las variables externas como el guano de vaca, chanco, puño de árbol y taralla, una asignación aleatoria, donde se midieron y registraron los datos durante la mezcla del lodo residual con las variables externas, también hubo replicación de experimento porque se realizó en otros ambientes donde exista ventilación para que se puedan secar los ladrillos. En esta oportunidad los lodos residuales generaron ladrillos combustibles, cambiando de un estado al otro.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

**Tabla 1: Matriz de operacionalización**

**Tabla 1. Matriz de operacionalización**

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Lodos residuales	Soto Cahuanca, (2019) define a lodo residual como el producto de las operaciones y actividades que generan las industrias entre las que destacan las estaciones de tratamiento de agua para el consumo humano. Según el tipo de fuente se producen diferentes lodos, dentro de los que podemos encontrar son los de partículas naturales o las que provienen de procesos físico- químicos, asimismo encontramos a los de material de origen mineral no biodegradables y los microorganismos del	Son sustancias que se obtienen del tratamiento de una planta de agua potable, que por sus propiedades presenta una gran variedad de material residual	Propiedades físicas del lodo	Temperatura	C°
				Humedad	%
				Ceniza	%
			Propiedades químicas	Carbón fijo	%
				pH	Ácido-base
				Potencial Redox	uS/cm
Conductividad eléctrica	%				

	tratamiento de materia orgánica disuelta		Metales pesados	Plomo	Mg/kg
				Arsénico	Mg/kg
				Cadmio	Mg/kg
				Cobre	Mg/kg
				Cromo	Mg/kg
				Níquel	Mg/kg
Ladrillos combustibles	Los ladrillos combustibles o también llamados como ladrillos pellets, son fabricados usualmente con cáscara de trigo y aserrín, estos llegan a tener una oxidación rápida, puede ser utilizado como una fuente de energía	Se fabricarán a base de lodos residuales con otros aditivos como guano de vaca, chancho, taralla y puño de árbol	Propiedades físicas	Contenido De Humedad	%
				Densidad	g/cm <sup>3</sup>
				Friabilidad	H
				Poder calórico	C°
			Proporción optima del ladrillo	Cantidad de lodo	g/Kg
				Cantidad de puño	g/Kg
				Cantidad de Taralla	g/Kg
				Cantidad de guano de vaca y cerdo	g/Kg

### 3.3. Población, muestra y muestreo

Con referencia a la población Lerma (2018) indica que la población es una combinación de elementos dentro de un ambiente que poseen iguales características. El estudio está conformado por la población de lodos residuales en la PTAP de la universidad Nacional de Piura.

**Figura 1.** Reservorio de los lodos residuales de la Universidad Nacional de Piura



Nota. La figura representa el reservorio de la planta de lodos residuales de la UNP

Por otra parte, López y Fachelli (2015) conceptualiza a la muestra como la representación de la población, que se selecciona de forma probabilística, que es sometida a una observación científica con el fin de obtener resultados válidos para la población total investigada. Para la investigación se empleó la muestra de 16 litros de lodo residual.

**Figura 2.** Lodo residual



Nota. La figura representa el reservorio con lodo residual

El muestro establecido en la investigación es no probabilístico porque se realiza por conveniencia, en ese sentido la muestra elegida fue escogida a conveniencia del investigador, permitiendo elegir de manera aleatoria lo que se iba a utilizar en la investigación (Hernández, 2021).

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica para la recolección de datos en la investigación fue la comprobación experimental. Fabbri (Fabbri, 2020, p.2) define a esta técnica como la recolección de la información sobre el objeto de estudio, el cual va a sufrir variaciones durante todo el proceso porque se va a manipular cada variable para ver cambios en el comportamiento en la elaboración de los ladrillos combustibles.

Los instrumentos para la recolección de datos fueron fichas de registro que permitieron apuntar el comportamiento de las variables durante el experimento. (Anexos 1,2,3, 4). Además de otros materiales como:

**Tabla 2.** Instrumentos de recolección de datos

Instrumento de recolección de datos			
Instrumento	Marca	Definición	Etapa
pH metro	Fession	Se considera como un sensor que se utiliza para medir el pH (Aragon, 2023)	Se utilizó para medir el pH del lodo en el proceso de conversión de ladrillos
Sensor TDR	Fieldscout	Mide la humedad del suelo y la tierra (Kalsteinm, 2023)	Se utilizó para medir la humedad, temperatura.

Nota. Esta tabla muestra los instrumentos de recolección de datos

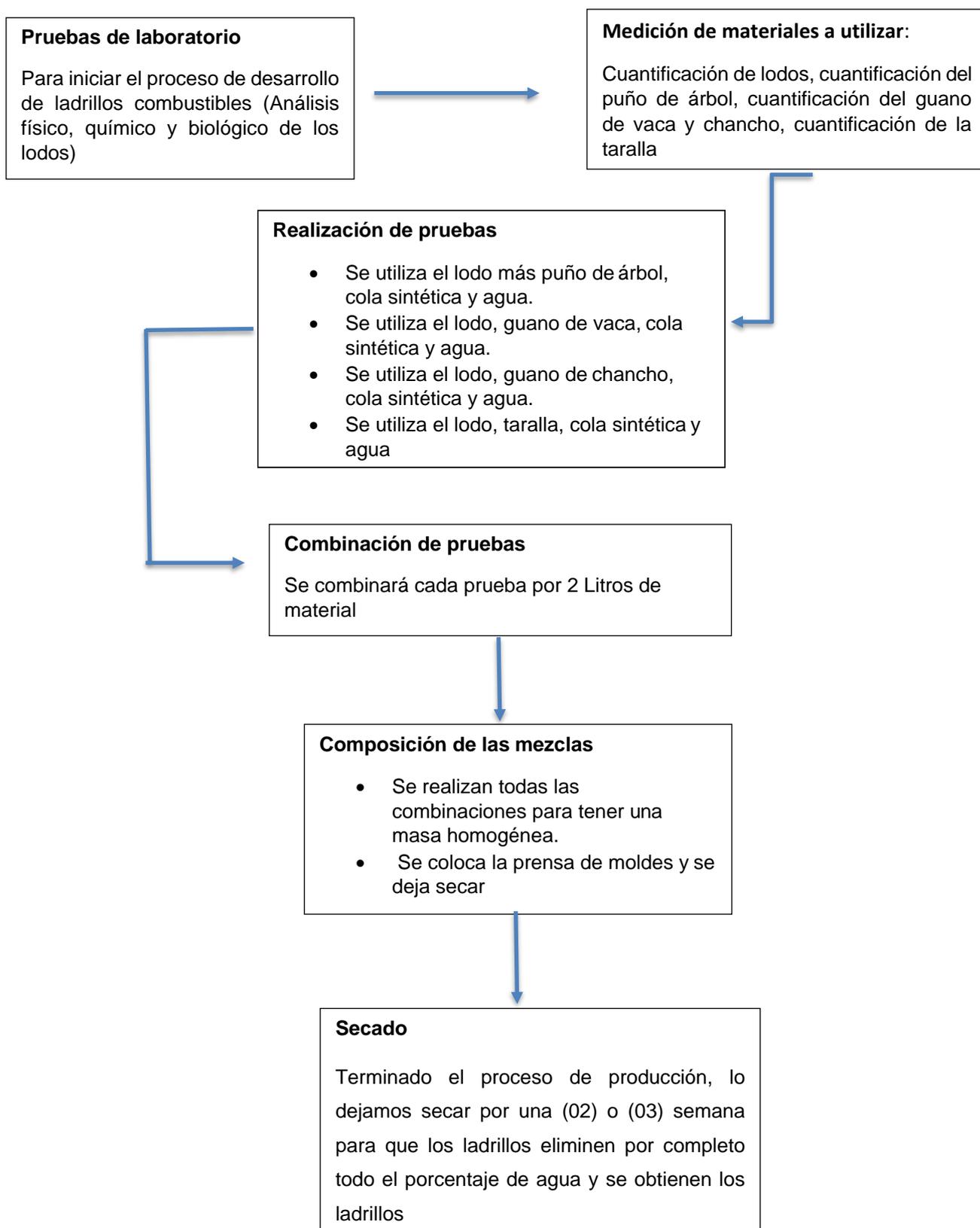
Además, se empleó los ensayos para el peso, absorción, succión, eflorescencia, resistencia a la compresión ligado a la norma técnica peruana 399.613-2005, E.070 (2006).

Es necesario resaltar la trascendencia de la validación y confiabilidad de los instrumentos de estudio, porque permitieron reducir el sesgo en los datos, para lo cual se contó con tres expertos en ingeniería ambiental quienes validaron el instrumento de investigación. Dichos instrumentos se validaron por tres profesionales especialistas, sobre el tema de investigación de la Universidad César Vallejo.

### **3.5. Procedimientos**

Se realizó la investigación en función al parámetro de sólidos suspendidos totales y medición del caudal del reservorio de agua cruda de la PTAP de la UNP información que permite mediar la generación total de lodos. Cuya explicación será a través de un diagrama.

**Figura 3.** Diagrama de elaboración de ladrillos combustibles



Nota. La figura muestra el diagrama de la elaboración de ladrillos combustibles

Para la resolución de los sólidos suspendidos totales, la planta de tratamiento fue sometida a pruebas en un laboratorio de ensayo.

Con base en los resultados de los análisis biológicos, físico y químico de los lodos en el laboratorio, se desarrollaron ladrillos combustibles. Propuesta para desarrollar ladrillos combustibles:

El método de prueba consistió en una cuadrícula del área de almacenamiento de lodos. Los cuales se encuentran en un reservorio de agua cruda cuyas medidas son 1100 m<sup>3</sup>, para extraer las muestras se necesitará que este vacío y se tomara en un espacio de 5 m<sup>3</sup>. Se miden las cantidades de materiales utilizados en la fabricación de ladrillos combustibles, cuya información es:

- Se cuantifica los lodos: Con respecto a los lodos se considerará un (1) balde de 16 litros.
- Se cuantifica el puño de árbol: Se recolectará (1/4) de un saco de 49 kg del puño de árbol
- Cuantificación del guano de vaca: Se recolectará (1/4) de un saco de 49 kg de guano de vaca
- Cuantificación del guano de chanco: Se recolectará (1/4) de un saco de 49 kg de guano de chanco
- Cuantificación de la taralla: Se recolectará (1/4) de un saco de 49 kg de taralla.

**Figura 4.** *Materiales para la elaboración de lodos*



Nota. La figura muestra los materiales utilizados en la elaboración de lodos

En la segunda fase se realizó cuatro pruebas, para determinar el poder calorífico y eficiencia, añadiendo como aditivo para cada prueba la cola sintética y el agua.

**Tabla 3 : Cuantificación de agregados**

<b>Pruebas</b>	<b>Productos</b>
1	Lodo: 43% Agua: 3% Cola sintética: 6% Puño de árbol: 48%
2	Lodo: 40% Agua: 5% Cola sintética: 6% Guano de vaca: 49%
3	Lodo: 37% Agua: 7% Cola sintética: 6% Guano de chancho: 50%
4	Lodo: 34% Agua: 10% Cola sintética: 6% Taralla: 51%

Nota. La tabla muestra la cuantificación de los agregados en la elaboración de lodos

Para la tercera etapa se estableció la combinación de materiales, donde se determinan ensayos de ladrillos con diversas mezclas, considerando los siguientes procedimientos:

En prueba inicial: 1L de lodo residual, 1L del puño de árbol, 0.14L de cola sintética y 0.07 L de agua, después se combinó hasta ver una masa homogénea. Luego se estableció en la prensa de moldes para dejar secar.

Para la prueba 2: se agregó 1L de lodo residual, 1.225L de guano de vaca, 0.15L de cola sintética y 0.125L de agua, Igual que la prueba inicial se busca tener una combinación homogénea, luego se colocó en la prensa de moldes y se deja secar.

Para la prueba 3: se agregó 1L de lodo residual, 1.35L de guano de chancho, 0.16L de cola sintética y 0.189L de agua. De manera similar que la prueba 2, se mezcla hasta ser homogénea, se coloca en la prensa de moldes y se deja secar.

Para la prueba 4: se agregó 1L de lodo residual, 1.5L de taralla, 0.176L de cola sintética y 0.294L de agua. De forma similar la prueba 3, se realizó una consistencia homogénea, se sitúa en los moldes y se deja secar.

Cuarto paso, terminado el proceso de producción, lo dejamos secar por unas (02) o (03) semanas para que los ladrillos puedan eliminar el porcentaje de agua.

Este proceso permite establecer cuál de las cuatro pruebas posee un mejor valor calórico y eficiencia, y hacerlo plegable y manejable.

Cuando los ladrillos combustibles pasan por el secado por varios días, se procede a ver su productividad. Donde se considera como materiales cocina artesanal, ollas de aluminio, agua, ladrillos combustibles, vela y encendedor, cronómetro y termómetro digital, luego se procede a colocar la cantidad de 1L de agua en 02 ollas colocando la vela y los ladrillos combustibles de lodo en cada cocina.

Seguidamente se prende las cocinas, se controla el tiempo y se mide la temperatura del agua, se procede a observar las cocinas hasta alcanzar la cocción de agua midiendo el tiempo en las que alcancen el burbujeo. El proceso se repetirá 1 vez durante 1 días, por el cambio de temperatura de las cocinas, realizando las pruebas durante 15 a 25 días consecutivos

Con la información se procederá al cálculo aplicando la fórmula de calor por James Prescott Joule (1818-1989) que es:

$$Q = m * Ce * \Delta t$$

### **3.6. Método de análisis de datos**

Se considera el análisis de varianza (ANOVA) que permitió comparar las varianzas entre las medias para cada experimento, observando las diferencias existentes entre los tratamientos.

Por otra parte, se usó herramientas como Excel y Word que permitieron plasmar toda la información recolectada, formatos y fichas que fueron validados por estadísticos y metodólogos. Por otro lado, los métodos empleados fueron en función a la Resolución Ministerial N.º 128-2017-Vivienda para los indicadores como el pH, temperatura, humedad ceniza, plomo, arsénico, cadmio, conductividad.

### **3.7. Aspectos éticos**

El presente estudio de investigación ha sido elaborado siguiendo los lineamientos otorgados por la Universidad Cesar Vallejo, y los principios éticos como la beneficencia, autonomía y justicia. Siendo estos, pertinentes en el desarrollo de la investigación, la cual se ha caracterizado por ser minucioso al emplear las fuentes primarias (fichas de observación) y secundarias para la obtención de la información. Además, tuvo el respaldo total de los laboratorios y de la Universidad Nacional de Piura para extraer las muestras, mostrando la veracidad por la información vertida, además la información es plenamente para uso académico cuya reserva es netamente de la Universidad. Asimismo, como muestra del derecho de autoría de la investigación, tendrá el respaldo del turnitin, cuyo resultado fue del 20%, se usó de manera correcta la norma ISO 690.

#### IV. RESULTADOS

En este apartado se presentan los análisis sobre la elaboración de ladrillos a base de lodos residuales, los cuales nos permitirá observar las diversas alternativas de ladrillos, para elegir al que presente mejores valores para su utilización como un valor sustituto del carbón, leña entre otros. El objetivo general consiste en analizar los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) para obtener ladrillos combustibles, Universidad Nacional de Piura, 2023.

Para obtener los ladrillos, se realizaron cuatro pruebas, donde cada prueba tenía concentración de lodo residual, la diferencia estaba en sus derivados. En la primera prueba se hizo una mezcla de lodo residual, cola, agua y el guano de vaca. Para la segunda prueba el agregado fue el guano de chancho, la tercera prueba la taralla y la cuarta el puño de árbol.

**Figura 5.** Elaboración de ladrillos combustibles



Nota. Esta figura muestra las pruebas de combinación en la elaboración de ladrillos combustibles

Como se observa en la figura 5, se realizaron cuatro pruebas de combinación con el lodo residual, obteniendo los ladrillos quienes serán llevados a pruebas de laboratorio para ver la temperatura, humedad, entre otros.

Los lodos residuales se sometieron a pruebas en el laboratorio de la Universidad Nacional de Piura se puede observar en el anexo 5, como resumen de dichos análisis se presenta la tabla 4:

**Tabla 4:** Resultados de los parámetros físicos, químicos y metales del lodo

Propiedades	Indicadores	Resultado	Norma Comparativa
Físicas	Temperatura	30.23	40°C a 45°C
	Humedad	45%	50-70%
	Ceniza	62%	50-70%
	Carbón fijo	63%	50-80%
Químicas	pH	6.5	5.5 a 7 ácido base
	Potencial Redox	346 mv	650 mv
	Conductividad Eléctrica	647 micromhos/cm	500-1000 micromhos/cm
Metales pesados	Plomo	323 Mg/Kg	750-1200 Mg/Kg
	Arsénico	34 Mg/Kg	20-40 Mg/Kg
	Cadmio	36 Mg/Kg	20-40 Mg/Kg
	Cobre	1523 Mg/Kg	1000-1750 Mg/Kg
	Cromo	1214 Mg/Kg	1000-1500 Mg/Kg
	Níquel	321 Mg/Kg	300-400 Mg/Kg

Nota\* Datos brindados por el laboratorio de medio ambiente de la Universidad Nacional de Piura

Para analizar las características físico, químicas y metales pesados de los lodos se realizó el estudio de la muestra del mismo. Con referencia a los parámetros físicos como temperatura, carbón fijo, humedad, ceniza sus valores (30.23; 63%; 45%; 62%) sus valores se encuentran dentro de los valores posibles de la Resolución Ministerial N.º 128-2017-Vivienda, indicando que son aptos para poder establecer diferentes derivados.

Por otro lado, los parámetros químicos como el pH 6.5 se encuentra dentro de los parámetros permitidos de ácido permitidos por la RM N.º 128-2017-Vivienda, asimismo la conductividad eléctrica con un valor de 647 micromhos/cm se encuentra dentro de los valores permitidos. En cambio, el potencial Redox está por debajo del valor establecido por la norma.

Para los metales pesados como el plomo, arsénico y cobre con valores de 323 Mg/Kg; 34 Mg/Kg; 1523 Mg/Kg están dentro de los parámetros permisibles decretados por la Resolución Ministerial, los demás metales también cumplen las condiciones necesarias para poder elaborar ladrillos combustibles

En función a estos resultados se puede establecer que en la planta de tratamiento de agua potable de la Universidad Nacional de Piura es posible

obtener ladrillos combustibles porque los lodos residuales cumplen con los parámetros de la Resolución Ministerial N.º 128-2017-Vivienda.

Para analizar la carga máxima y compresión de los ladrillos combustibles a base de lodos de la PTAP de la UNP, se procedió a la toma de datos de cada una de las muestras de mezclas y se realizó los cálculos correspondientes de manera individual de la compresión.

**Tabla 5:** Resistencia a compresión

Muestra de ladrillo	Carga KN	Resistencia kgf/cm <sup>3</sup>
Lodo con Guano de vaca	0,90	0.04
	95,0	<b>4.15</b>
	1,5	0.06
<b>Promedio</b>		1.42
Lodo con Guano de Chanco	0,90	0.03
	95,0	<b>3.85</b>
	1,5	0.05
<b>Promedio</b>		1.31
Lodo con Puño de árbol	0,90	0.02
	95,0	<b>2.84</b>
	1,5	0.01
<b>Promedio</b>		0.96
Lodo con Taralla	0,90	0.03
	95,0	<b>1.98</b>
	1,5	0.01
<b>Promedio</b>		0.67

Nota. Esta tabla muestra la resistencia a compresión

La tabla 5, nos muestra las 4 mezclas de lodos en la elaboración de ladrillos, en ese sentido el lodo con guano de vaca tiene una resistencia de compresión promedio de 1,42Mpa. Para la mezcla del lodo con guano de chanco fue de 1,31 Mpa. La mezcla del lodo con puño de árbol el promedio de compresión fue de 0,96 Mpa y el promedio del lodo con taralla fue de 0,67.

De la tabla 5 de forma general se observa que el ladrillo con mayor resistencia fue el lodo con guano de vaca con 4,15 Mpa, a pesar que tuvo mayor resistencia, este cuando se retiró de la máquina quedo destruido. Con las otras mezclas de ladrillo a pesar que la resistencia fue superior a uno, estos ladrillos se destruyeron de forma parcial o en su totalidad.

**Tabla 6: Resultados del poder calorífico y la eficiencia**

N° de repeticiones	Ladrillos de lodo con Puño de árbol				Ladrillos de Lodo con Taralla			
	T° Inicial (C°)	T° Final(C°)	Poder Calorífico (Kcal)	Eficiencia (Minutos)	T° Inicio	T° Final	Poder Calorífico (Kcal)	Eficiencia (Minutos)
1	21.4	92.4	71	23	21.6	90.3	68.7	21
2	22	91.6	69.6	24	21.9	90.2	68.3	22
3	23.5	92.3	68.8	23	23.8	90.6	66.8	23
4	24.5	91.1	66.6	23	24.2	90.5	66.3	22
5	20.8	91.3	70.5	22	21.9	91.2	69.3	23
6	23	93.5	70.5	24	22.8	91.5	68.7	22
7	24.4	94.5	70.1	23	24.3	94.1	69.8	24
8	22.1	95.1	73	24	22.1	94.9	<b>72.8</b>	25
9	21.8	91.5	69.7	23	22.2	92.3	70.1	24
10	24.3	95.6	<b>71.3</b>	25	24.8	91.7	66.9	23
11	20.7	94.9	<b>74.2</b>	24	20.8	92.5	71.7	22
12	22.3	93.8	71.5	23	22.5	93.8	71.3	23
13	21.9	95.2	<b>73.3</b>	25	21	93.9	<b>72.9</b>	23
14	24.6	91.2	66.6	22	23.5	91.8	68.3	22
15	24.8	93.6	68.8	23	24.7	93.2	68.5	23

Nota\* Extraído de los análisis en la cocina

Analizar los diferentes ladrillos combustibles elaborados de lodos residuales y quien produce mejor poder calorífico y eficiencia, se procedió a realizar 15 repeticiones de todas las pruebas, cuyos resultados se muestran:

Los resultados de la tabla 6, son producto del proceso de utilizar las cocinas artesanales, donde se realizó el procedimiento en 15 oportunidades, para los 4 tipos de ladrillo. Sin embargo, dos tipos de ladrillo no funcionaron durante el proceso de hacer fuego, estos fueron el ladrillo en base al lodo con guano de vaca y el ladrillo de lodo con guano de cerdo. Solo se obtuvieron resultados de los ladrillos con puño de árbol y taralla.

Los resultados muestran que los ladrillos de lodo con puño de árbol tuvieron el máximo poder calorífico en el 11avo intento, cuyo valor fue de 74,2 Kcal con un promedio de 24 minutos. En cambio, los ladrillos de lodo con taralla tuvo el máximo poder calorífico el 13avo repetición con un valor de 73,9 Kcal con un promedio de 23 minutos.

**Tabla 7: Análisis de varianza de los tratamientos**

(I) Tratamiento		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Ladrillo de lodo con Puño de árbol	Ladrillo de lodo con taralla	.98000	.55328	.298	-.4850	2.4450
	Ladrillo de lodo con Guano de Vaca	70,34000*	.56308	.000	68.8490	71.8310
	Ladrillo de lodo con guano de cerdo	70,34000*	.54457	.000	68.8980	71.7820
Ladrillo de lodo con taralla	Ladrillo de lodo con Puño de árbol	-.98000	.55328	.298	-2.4450	.4850
	Ladrillo de lodo con Guano de Vaca	69,36000*	.56308	.000	67.8690	70.8510
	Ladrillo de lodo con guano de cerdo	69,36000*	.54457	.000	67.9180	70.8020

Nota. Extraído de los análisis del poder calorífico

Por otra parte, para contrastar el tratamiento que presenta un mayor poder calorífico, se realizó el análisis anova, el cual muestra los siguientes resultados en la tabla 7.

En la prueba del análisis de varianza se puede observar que el ladrillo de lodo con puño de árbol tiene la media mayor a los otros ladrillos en el poder calorífico, por lo tanto, tiene un rendimiento superior a los otros tratamientos. En ese sentido se puede explicar que la elaboración de estos ladrillos permiten ser sustitutos de la leña o carbón, permitiendo que no se exceda con la tala de árboles porque se cuenta con otras alternativas para generar calor.

También se explica el costo en la elaboración de ladrillos combustibles, considerando los análisis de laboratorio tanto del lodo como del ladrillo ya elaborado. En la tabla 8 se presenta los resultados:

**Tabla 8:** Costo en la elaboración de los ladrillos combustibles

<b>Cantidad</b>	<b>Materiales</b>	<b>Costo</b>	<b>Costo total</b>
49 kg	Guano de vaca	S/ 2.00	S/ 98.00
49 kg	Guano de cerdo	S/ 2.00	S/ 98.00
49 kg	Puño de árbol	S/ 2.00	S/ 98.00
49 kg	Taralla	S/ 2.00	S/ 98.00
1 litro	Cola	S/ 7.00	S/ 7.00
4	Cocinas	S/ 10.00	S/ 40.00
1	Termómetro	S/ 40.00	S/ 40.00
4	Marco	S/ 5.00	S/ 20.00
1	Análisis de lodo	S/ 50.00	S/ 50.00
1	Análisis de ladrillos	S/ 70.00	S/ 70.00
<b>Total</b>			<b>S/ 619.00</b>

Nota\* Considerando gastos de materiales

Como se observa en la tabla 8, el costo para la elaboración de los ladrillos combustibles fue de S/ 619,00 soles, siendo el costo más elevado el de los insumos que acompañaban al lodo porque era 49 kg cada uno. Los análisis de laboratorio el costo fue de S/120.00 soles de forma global considerando el análisis de lodo y de ladrillos.

## V. DISCUSIÓN

El objetivo de la investigación fue analizar los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) para obtener ladrillos combustibles, Universidad Nacional de Piura, 2023. Para tal finalidad se empleó una investigación experimental, que permitió obtener ladrillos de lodos en base guano de vaca, de cerdo, taralla y puño de árbol.

Por otro lado, se realizó la investigación en base al parámetro de sólidos suspendidos totales y medición del caudal del reservorio de agua cruda de la PTAP de la UNP información que permite mediar la generación total de lodos. Además, se empleó los ensayos para el peso, absorción, succión, eflorescencia, resistencia a la compresión ligado a la norma técnica peruana 399.613-2005, E.070 (2006).

Los resultados nos muestran que las características físico-químicas y metales pesados de los lodos de la PTAP de la UNP, sus valores se encuentran dentro de los valores posibles de la Resolución Ministerial N.º 128-2017-Vivienda, indicando que son aptos para poder establecer diferentes derivados, cuyos valores de temperatura fueron de 30.23 °C, Carbón fijo de 63%, humedad 45%. Asimismo, el pH también se encontró dentro de los parámetros permitidos con un valor de 6.5.

Estos hallazgos, se respaldan en investigaciones de Rojas (2019), aplicado en el distrito de Ancón, quien indicó que el pH del biosólido se encontraba dentro del valor permitido cuyo valor fue de 6.75, permitido para poder elaborar ladrillos combustibles. Sin embargo, el carbón fijo su valor fue de 13.72%, humedad 1.74% fueron menores a los encontrados en la investigación.

Guerrero y Regalado (2021) realizaron un análisis de lodos húmedo y lodo seco, cuyos resultados para el lodo húmedo indicaron una conductividad eléctrica de 214,6 uS/cm, cobre de 74,50 mg/kg, Zinc 129,70 mg/kg. En cambio, el lodo seco presento una conductividad eléctrica de 93,52 uS/cm, cobre 32,36 mg/kg, Zinc 36,64 mg/kg.

Por otra parte, se considera la investigación de Lozano (2021) quien explica los ensayos del lodo seco de agua residual con referencia al contenido

de humedad cuyo valor fue de 36,50%, contenido de sales 0,6%, la gravedad específica fue de 1,90. También es necesario mencionar que los porcentajes de absorción fluctúa entre 17,24% siendo el porcentaje más bajo y 21,26% siendo el porcentaje más alto y cumplen con los parámetros que exige la norma NTP 331.017.

Los hallazgos de Soto (2019) mostraron que el pH 7,53 favorece el consumo de materias primas para su reutilización, facilitando la manipulación y almacenamiento del lodo, además la humedad su valor fue de 41,50%

Estos resultados nos indican que el lodo residual de la (PTAP) es apto para poder elaborar ladrillos combustibles, esto permite entender que el lodo es un sustituto del barro u otro producto para la fabricación de productos como ladrillos, adobe, entre otros.

Con referencia a la pregunta de investigación se encontró que las características físico-químicas y biológicas de los lodos de la PTAP son aptos para utilizarlo como materia prima en elaboración de derivados, con esto se disminuye el desperdicio en el medio ambiente y se crea una política de reutilización en la ciudad.

En el caso carga máxima y compresión de los ladrillos combustibles a base de lodos de la PTAP de la UNP. Los resultados mostraron que el ladrillo que tenía mejor compresión y resistencia fue el que estaba elaborado con Guano de Vaca, con un promedio de 1,42Mpa, pero a pesar que tuvo una compresión promedio mayor, el ladrillo se rompió. Siendo el más débil el ladrillo de lodo con taralla.

Los resultados coinciden con la investigación de Sakthivel et al (2019), quien indico que compresión la mezcla que reemplaza el 5% de la cantidad de ladrillo convencional proporciona una compresión de 3,13 N/nm<sup>2</sup>, cuando se reemplaza al 10% genera 2,70 N/mm<sup>2</sup> y al 15% de reemplazo genera 1,89 N/nm<sup>2</sup> inferior al estándar mínimo de compresión, similares a los encontrados en la investigación donde Mohamed et al (2020) no están dentro del rango permitido.

Se considera la investigación de Tene y Zambrano (2023) quienes indicaron ladrillos que contienen una adición de 5% y 20% de lodo residual disminuye su resistencia a la compresión, explicado por el aumento de las fibras orgánicas del lodo residual en la dosificación, asimismo los ladrillos con 5% de adición de lodo solo cumple con el criterio de la norma NEC-SE-VIVIENDA. En esa misma las dosificaciones de lodo residual - Adición 12 % de polvo de mármol cumplieron con la resistencia mínima a compresión establecida en la NEC- SE-VIVIENDA (2 MPa).

Jarrín (2023) indica que el 10% de lodo seco la resistencia en promedio es de 1.84Mpa, los ladrillos con 20% de lodo seco muestra una resistencia de compresión promedio de 3.16Mpa, los ladrillos con 10% de lodo húmedo la resistencia a compresión llega a un promedio de 1.80Mpa.

En cambio, Mohamed et al (2020) encontró que los ladrillos de arcilla que contienen ceniza de paja de arroz, bagazo de caña de azúcar, ceniza de paja de trigo, tenía mayor resistencia a la compresión.

Estos hallazgos muestran que se necesita realizar más análisis de laboratorio y nuevas mezclas para alcanzar una mayor compresión de los ladrillos de combustible porque no soportaron una carga superior a 7Mpa. En ese sentido para futuras investigaciones se debe realizar un mayor proceso de análisis de propiedades en los ladrillos a su vez incorporar nuevas mezclas.

Acerca del poder calorífico y eficacia, se obtuvo que el ladrillo con puño de árbol tuvo el máximo poder calorífico con un valor de 74,2 Kcal con un tiempo promedio de 24 minutos, en segundo lugar, los ladrillos de lodo con taralla con valor de 73,9 kcal con promedio de 23 minutos. Esto es respaldado por el estudio de Huamán y Huamán (2019), quien concluye que el ladrillo combustible con mayor poder calorífico y eficiencia fue el de aserrín, como así lo demuestran los resultados de poder calorífico con 77.5 kcal con una eficiencia de 16 minutos.

Estos resultados respaldan que, a pesar de no tener compresión, los ladrillos combustibles, el de puño de árbol resulta tener más poder calorífico y eficiencia que el de taralla. Pero también permite determinar que los ladrillos de guano de vaca y de cerdo no resultaron ser eficiente ni generar poder calorífico.

Esto producto que no resistieron a las altas temperaturas, además no son conductores de calor.

La elaboración de ladrillos residuales es importante realizarlo porque una se considera una fuente renovable de energía, para la combustión es necesario la presencia de ciertos elementos dentro del material de tal modo que, al entrar en contacto con el oxígeno, así como con otras sustancias como el azufre, hidrogeno y carbono estos lleguen a emanar calor, estos suelen ser considerados como una vía de valorización para los lodos teniendo un poder calórico.

En ese sentido considerando la investigación de Arce (2022) que los ladrillos con lodo residuales no son aptos para ser utilizados en la construcción ya que ninguno de ellos por sí solo cumple con el ensayo de resistencia a la compresión exigido por la NCH169, requisito mínimo para ser utilizado como material constructivo, de forma específica para los ladrillos de guano con vaca y de cerdo.

Escalante (2021) en una revisión bibliográfica manifiesta que el 44% tiene un pH ácido, el 33% tiene un pH básico y solo el 23% tiene un pH poco neutro. Considerando que el tipo de industria alimentaria influye en los resultados del pH ya que cada industria tiene procesos diferentes. En base a estos resultados de parámetros se recomienda las siguientes alternativas viables para el aprovechamiento de lodos residuales de la Industria Alimentaria en 20 investigaciones, como abono orgánico reflejado en 62%, compostaje 19%, ladrillos cerámicos 10%.

Como vemos los lodos residuales son los aptos para poder fabricar ladrillos, pero los lodos residuales en su mayoría deben combinarse con sustancias que sean generadoras de calor, además de resistencia y compresión, porque si no sirve para poder generar combustión ni sustituto de la leña y carbón.

## VI. CONCLUSIONES

- Se obtuvo ladrillos combustibles en base a lodos residuales de la Planta de tratamiento de agua potable de la UNP, siendo los de puño de árbol y taralla que generaron mayor poder calorífico y eficiencia, con un tratamiento de 15 repeticiones.
- Los resultados de las características físico, químicas y metales pesados de los lodos sus valores se encuentran dentro de los valores posibles de la Resolución Ministerial N.º 128-2017-Vivienda, indicando que son aptos para poder establecer diferentes derivados.
- La compresión más alta se presenta en los ladrillos de lodo con guano de vaca, cuya resistencia fue de 4.15, luego la compresión del lodo con guano de cerdo fue de 3.85, la de puño de árbol con un valor de 2.84 y de taralla 1.98.
- Los ladrillos que presentan poder calorífico y eficiencia son los ladrillos de lodo de puño de árbol con un poder calorífico de 74.2, el ladrillo de lodo con taralla su valor fue de 72,9.
- El costo de elaboración de ladrillos fue de S/ 619,00 soles, siendo el costo más elevado el de los insumos que acompañaban al lodo porque era 49 kg cada uno.

## VII.RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio donde se incorpore nuevos tratamientos para la elaboración de ladrillos, material como paja de trigo, paja de maíz, espigas, puño de algarrobo.
- Realizar estudio de Salmonella sp, Pseudomonas sp componentes microbiológicos del lodo y de sus insumos que se van agregar para a la elaboración de los ladrillos
- Realizar investigaciones que considere más tiempo de control para medir el poder calorífico de los tratamientos del lodo residual con el guano de vaca, chanco, puño de árbol y taralla. Asimismo, comparar con ladrillos habituales para ver la eficiencia y eficacia calorífica.
- Se recomienda usar este tipo de ladrillos combustibles porque son innovadores, además no posee un elevado costo de fabricación.

## REFERENCIAS

- Arce, J. (2022). *Estudio sobre la disminución del agua presente en los lodos negros para su utilización en la fabricación de ladrillos*. [Tesis de licenciatura-Universidad de Talca], Universidad de Talca, Curicó. <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/13371/3/2022A001174.pdf>
- Banco Mundial. (20 de Setiembre de 2018). *Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70% para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Cagnat, K. H. (2021). *CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE Lodos Residuales de Aguas Residuales Domésticas*. Tesis para obtención de título. <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/4600>
- Calderon, J. B., & Pulgar, A. F. (2023). *EFFECTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA A PARTIR DE LA SALINIDAD Y SÓLIDOS DISUELTOS EN LOS PROCESOS BIOLÓGICOS DE NITRIFICACIÓN Y DENITRIFICACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS*. Tesis para obtención de título. <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/10205/Proyecto%20de%20grado%20juana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carcasi, J., & Vilchez, A. (2022). *Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales de una planta de una planta de tratamiento de agua como agregado fino para la producción de concreto en la provincia de Mala, Cañete*. [Tesis de licenciatura-Universidad Ricardo Palma], Universidad Ricardo Palma. [https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/5896/T030\\_47101023\\_T%20JIMMY%20ROY%20CARCASI%20CANAZAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/5896/T030_47101023_T%20JIMMY%20ROY%20CARCASI%20CANAZAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Castro, M. (2018). Bioestadística aplicada en investigación clínica: Conceptos básicos. *Revista médica clínica las Condes*, 30(1). <https://pdf.sciencedirectassets.com/312299/1-s2.0->

[S0716864019X00024/1-s2.0-S0716864019300045/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEAgaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQCXYzIkl%2FXmihPXDS5doBXs3bQELzbW30L8VYi7I9SE7glhAMXTDjee%2BsG23dKR60ESdDuybgMAURFoTnV6rFfH](https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cr/undp_cr_DAE_19.pdf)

De Lemos, C., Bressani, T., Sabino, E., Callere, G., Miki, M., & Nonato, S. (2019). Contribución para el perfeccionamiento del diseño, la construcción y la operación de reactores UASB aplicados al tratamiento de aguas residuales urbanas-Parte 1: Temas de interés. Revista DAE. [https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cr/undp\\_cr\\_DAE\\_19.pdf](https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cr/undp_cr_DAE_19.pdf)

Escalante, S. (2021). *Propuesta para el aprovechamiento de lodos residuales provenientes de la industria alimentaria en Trujillo, 2020*. [Tesis de licenciatura-Universidad Privada del Norte], Universidad Privada del Norte, Trujillo. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29526/Tesis\\_Silvia%20Gabriela%20Escalante%20Caballero.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29526/Tesis_Silvia%20Gabriela%20Escalante%20Caballero.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Espinoza, J. (2022). *Innovación en la gestión de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico en Lima-Perú*. [Tesis de licenciatura-Universidad Nacional Mayor de San Marcos], Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Espinoza, J., Flores, L., Celeste, E., Molina, J., & Villarreal, M. (2020). *Estudio de pre-factibilidad para elaboración de adoquines ecológicos utilizando lodos residuales provenientes de la industria papelera*. Universidad San Ignacio de Loyola, Lima. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a210b24b-bcba-4627-9efb-26297fe6643a/content>

Garzón, G. (2019). *Diseño de una alternativa para el manejo adecuado de los lodos generados por la planta de tratamiento del acueducto piendamó-Morales, municipio de Piendamó*. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca <https://repositorio.uniautonomia.edu.co/bitstream/handle/123456789/249/T%20IA-P%20115%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Guerrero, B., & Regalado, D. (2021). *Evaluación de la viabilidad de uso de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del Cantón Francisco de Orellana, Provincia de Orellana, en la elaboración de Adoquines de construcción*. Escuela Politécnica Nacional , Quito.  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21412/1/CD%2010902.pdf>
- Hernández, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existe. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3). <http://scielo.sld.cu/pdf/mgi/v37n3/1561-3038-mgi-37-03-e1442.pdf>
- Huamán Alfaro, J. D., & Huamán Campos, H. M. (2019). *ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES GENERADOS*. Obtenido de [http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1226/AN%c3%81LISIS%20Y%20TRATAMIENTO%20DE%20LODOS%20RESIDUALES%20GENERADOS%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DE%20CAJABAMBA%20PARA%20LA%20OBTENCIÓN%20DE%20COMPOST%](http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1226/AN%c3%81LISIS%20Y%20TRATAMIENTO%20DE%20LODOS%20RESIDUALES%20GENERADOS%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DE%20CAJABAMBA%20PARA%20LA%20OBTENCIÓN%20DE%20COMPOST%20)
- Huamán, J., & Huamán, H. (2019). *Análisis y tratamiento de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cjabamba para la obtención de compost y ladrillos combustibles*. [Tesis de licenciatura-Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo], Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca. Obtenido de [http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1226/AN%c3%81LISIS%20Y%20TRATAMIENTO%20DE%20LODOS%20RESIDUALES%20GENERADOS%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DE%20CAJABAMBA%20PARA%20LA%20OBTENCIÓN%20DE%20COMPOST%](http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1226/AN%c3%81LISIS%20Y%20TRATAMIENTO%20DE%20LODOS%20RESIDUALES%20GENERADOS%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DE%20CAJABAMBA%20PARA%20LA%20OBTENCIÓN%20DE%20COMPOST%20)
- Israel, P. m. (2020). *PROPUESTA PARA EL MANEJO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA*. Tesis de obtención de título. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10593/2/03%20RNR%20363%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Jarrín, A. (2023). *Aprovechamiento del lodo producido por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cantón Ambato como materia prima en la fabricación de ladrillo*. [Tesis de licenciatura-Universidad Técnica de

Ambato], Universidad Técnica de Ambato.  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/40169/1/t2429mpoi.pdf>

Lerma, H. (2018). *Metodología de la investigación propuesta, anteproyecto y proyecto*. ECOE Ediciones.

Leòn Salguero , M. J., & Lòpez Ludeña , A. K. (2020). *EVALUACIÓN DE DIFERENTES TRATAMIENTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS PARA REDUCIR*. Tesis de titulación , Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19357>

Limami, H., Manssouri, I., Cherkaoui, K., & Khaldoun, A. (2021). Recycled wastewater treatment plant sludge as a construction material additive to ecological lightweight earth bricks. *Cleaner engineering and Technology*, 2(2021). doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100050>

López Moreno Lucero Mariel, M. H. (21 de 09 de 2018). LODOS RESIDUALES DE ORIGEN DOMÉSTICO: DISMINUCIÓN DE COLIFORMES FECALES Y SALMONELLA SPP. *Revista de divulgación científica y tecnología de la Universidad Autónoma de Nuevo León*. doi: <https://doi.org/10.29105/cienciauanl21.91-1>

López, P., & Fachelli, S. (2015). *Metodología de la investigación social cuantitativa*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.

Lozano, A. (2021). *Elaboración de ladrillos cerámicos artesanales utilizado lodos sedimentados generados en las Lagunas de estabilización de EPSEL de San José-Lambayeque para la construcción de muros de Tabiquería-2019*. [Tesis de licenciatura-Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo], Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/3777>

Ministerio del Ambiente. (20 de Setiembre de 2019). *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas y Municipales para su reúso*. [https://www.gob.pe/institucion/minam/buscador?term=lodos+residuales&institucion=minam&topic\\_id=&contenido=&sort\\_by=none](https://www.gob.pe/institucion/minam/buscador?term=lodos+residuales&institucion=minam&topic_id=&contenido=&sort_by=none)

- Mohamed, A., Ahmed, M., Naguib, A., & Saad, I. (2020). Study on properties of clay brick incorporating sludge of water treatment plant and agriculture waste. *Case studies in construction materials*. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00397>
- Mogollón, S., & Carrillo, C. (2016). *Evaluación técnica, económica y ambiental de lodos provenientes de la PTAR de la compañía internacional de alimentos agropecuarios (Cialta S.A.S) como alternativa de aprovechamiento para producción de ladrillos cerámicos*. Universidad de La Salle, Bogotá. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1184&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1184&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Mucha Aviles, G. J. (2020). *EVALUACIÓN DE PELLETS PRODUCIDOS CON RESIDUOS DE Guadua angustifolia Kunth*. Tesis de obtención de título. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4482/mucha-aviles-gabriela-jazmina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nicolae Scarla, & Francois Dallemand, J. (2019). Future Role of Bioenergy. *Academic Press*, 435-547. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813056-8.00010-8>
- Pacheco Tuesca, M. F., & Utria Lafaurie., M. (2019). Comportamiento de mezcla de concreto cemento Portland. Tesis de titulación, Barranquilla. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/5298>
- Ramírez Jiménez, D. F. (05 de 04 de 2021). Sistema de medición y control de temperatura para un. Investigación e innovación en ingenierías. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7878759>
- Ramos, C. (2021). Diseño de investigación experimental. *Ciencia América*, 10(1).
- Rojas, O. (2019). *Elaboración de ladrillos ecológicos a través de biosólidos de (PTAR) Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas, Ancón, 2019*. [Tesis de licenciatura-Universidad César Vallejo], Universidad César vallejo, Lima. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59894>
- Sarabia, A., Sanchez, J., & Bermúdez, J. (2020). Effect of use residual sludge

from water treatment plants as a partial substitute for clay for refractory bricks production. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*.  
<https://www.redalyc.org/journal/5537/553768365002/553768365002.pdf>

Sakthivel, D., Dharunkumarasamy, R., Karthikeyan, L., Praveen, S., & Surya, B. (2019). Experimental investigation on brick manufacturing by using sludge & pulp production residue. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(3), 266-274.  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59962833/IRJET-V6I35120190708-130656-1xgjcwr-libre.pdf?1562651219=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIRJET\\_EXPERIMENTAL\\_INVESTIGATION\\_ON\\_BRIC.pdf&Expires=1692427505&Signature=M5m68QA4SIYdHealHQXtzNwADy](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59962833/IRJET-V6I35120190708-130656-1xgjcwr-libre.pdf?1562651219=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIRJET_EXPERIMENTAL_INVESTIGATION_ON_BRIC.pdf&Expires=1692427505&Signature=M5m68QA4SIYdHealHQXtzNwADy)

Sánchez, A. V. (2023). *aracterización del contenido en nutrientes y metales pesados en lodos provenientes*. Tesis de titulación .  
<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37957/1/CBT%20048.pdf>

Soto Cahuanca, A. A. (2019). *LADRILLOS REFRACTARIO DE ALÚMINA A PARTIR DE LODOS*. Tesis de titulación , Huancayo.  
[https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1353/T037\\_45592416\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1353/T037_45592416_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Soto, A. (2019). *Ladrillos refractario de alúmina a partir de lodos residuales minerales en la región Junín*. [Tesis de licenciatura-Universidad Peruana Los Andes], Universidad Peruana Los Andes , Huancayo.  
[https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1353/T037\\_45592416\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1353/T037_45592416_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Suárez, S. C., Bárcenas, D. E., Chávez, G. M., & Villalobos, J. C. (2021). *Academia Journals*, 13(4). <https://www.qmarxcc.com/assets/memorias-calidad-agua.pdf>

Subashi, G., & Perera, B. (2018). Effect of waste rice husk ash (RHA) on structural, thermal and acoustic properties of fired clay bricks. *Journal of Building Engineering*, 18(18), 252-259.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.019>

Tene, I., & Zambrano, M. (2023). *Evaluación de lodos residuales de la planta de tratamiento de Colta Villa la Unión, para la fabricación de ladrillos artesanales*. Universidad Nacional de Chimborazo , Riobamba. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/11356/1/Tene%20I.%2c%20Zambrano%20M.%20%282023%29%20EVALUACI%c3%93N%20DE%20LODOS%20RESIDUALES%20DE%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20COLTA%20VILLA%20LA%20UNI%c3%93N%2c%20PARA%20LA%20FABRICACI%c3%93N%20DE%20>

Subashi, G., Vishvalingam, S., & Etampawala, T. (2021). Effect of waste rice husk ash from rice husk fuelled brick kilns on strength, durability and thermal performances of mortar. *Construction and Building Materials*, 268(2021). doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121794>

Zavala, C., Pretell, V., Verastegui, J., & Ramirez, A. (2021). *Estimación del potencial energético del gas pobre a partir de la gasificación de cáscara de cacao y racimos de frutos vacíos de palma aceitera*. *Información tecnológica*, 2(32), 143-150. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000200143>

## ANEXOS

### Anexo 1: Formato de muestreo del lodo

Ficha de muestreo del lodo			Instrumento 1
Datos generales			
Lugar de estudio		Departamento y provincia	
Uso principal		Dirección	
Datos de la muestra			
Código	Fecha	Hora	Cantidad de muestra Kg

### Anexo 2: Ficha de parámetros iniciales del lodo

Parámetros físicos del lodo				
Código	Temperatura (C°)	Humedad (%)	Ceniza (%)	Carbón físico (%)

### Anexo 3: Ficha de lodos microbiológicos y metales pesados

Ficha de lodos microbiológicos y metales pesados			
Propiedades químicas	pH	Potencial Rédox (mv)	Conectividad (uS/cm) Electica
Metales pesados	Cantidad Inicial	pH óptimo	Cantidad Final
Plomo			
Arsénico			
Cadmio			
Cobre			
Cromo			
Níquel			

### Anexo 4: Ficha de medición de ladrillos combustibles

Ficha de propiedades físicas de ladrillos combustibles					
Código	Contenido de humedad (%)	Compresión (kgf/cm3)	Densidad (g/cm3)	Friabilidad (H)	Poder calórico (C°)

## Anexo 5: Propiedades físicas, químicas y metales pesados del lodo



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE**

*Generamos Conocimiento, Tecnología y Amor al  
Ambiente... Generamos Futuro\**



### 1. Propiedades físicas

PARÁMETROS	NORMATIVA COMPARATIVA	RESULTADO
		ESTACIÓN PTAP-UNP
TEMPERATURA	40°C a 45°C	30.23 °C
HUMEDAD	50- 70%	45 %
GENIZA	50-70%	62%
CARBÓN FIJO	50-80 %	63%

### 2. Propiedades químicas

PARÁMETROS	NORMATIVA COMPARATIVA	RESULTADO
		ESTACIÓN PTAP-UNP
PH	5.5. a 7 ácido- base	6.5
POTENCIAL REDOX	650 mv	346 mv
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	500-1000 micromhos/cm	647 micromhos/cm



Nota: Resultados obtenidos del laboratorio del medio ambiente de la Universidad Nacional de Piura



### 3.METALES PESADOS

PARÁMETROS	NORMATIVA COMPARATIVA	RESULTADO ESTACIÓN PTAP-UNP
PLOMO	750-1200 Mg/kg	323 Mg/kg
ARSÉNICO	20-40 Mg/kg	34 Mg/kg
CADMIO	20-40 Mg/kg	36 Mg/kg
COBRE	1000-17500 Mg/kg	1523 Mg/kg
CROMO	1000-1500 Mg/kg	1214 Mg/kg
NIQUEL	300-400 Mg/kg	321 Mg/kg

- **CONCLUSIONES:** Los resultados obtenidos de los parámetros de Temperatura, Humedad, Ceniza, Carbón Fijo, Ph, Potencial Redox, Conductividad Eléctrica, Plomo, Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo y Niquel. **Si cumplen** con la Normativa: **R.M.N° 128-2017-VIVIENDA.**



Nota: Resultados obtenidos del laboratorio del medio ambiente de la Universidad Nacional de Piura

Anexo 6. Otros anexos



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**  
 CENTRO DE ESTUDIOS GEOLOGICOS, GEOTECNICOS  
 DE MECANICA DE SUELOS



**HUMEDAD NATURAL**  
**ASTM D-2216**

<b>OBRA</b>	" LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA OBTENCION DE LADRILLOS COMBUSTIBLES EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA"						
<b>UBICACIÓN</b>	DISTRITO DE CASTILLA - DEPARTAMENTO DE PIURA						
<b>SOLICITANTE</b>	CESAR ANDRES CARMEN CRUZ						
<b>MUESTRA</b>	LODO + GUANO DE VACA, LODO + GUANO DE CHANCHO, LODO + PUÑO ARBOL Y LODO + TARALLA						
<b>FECHA</b>	PIURA, OCTUBRE DEL 2023						
MUESTRA	TARRO Nº	PESO DEL RECIPIENTE (Gr.)			PESO (Gr.)		HUMEDAD %
		*SUELO HUMEDO	*SUELO SECO	TARA	AGUA	SUELO SECO	
LODO + GUANO DE VACA	09	60.70	58.75	30.90	1.95	27.85	7.00
LODO + GUANO DE CHANCHO	7A	66.17	65.11	29.60	1.06	35.51	2.99
LODO + PUÑO DE ARBOL	19	74.20	73.70	38.33	0.50	35.37	1.41
LODO + TARALLA	88	58.00	57.73	28.99	0.27	28.74	0.94


  
 Universidad Nacional de Piura  
 Departamento de Ingeniería Geotécnica  
 Ing. Manuel Adriano Chunga Perillo  
 CIP 112371  
 Trabajador URP

Campus Universitario S/N - Urb. Miraflores – Castilla – Piura  
[ingenieria@unp.edu.pe](mailto:ingenieria@unp.edu.pe) [unp@unp.edu.pe](mailto:unp@unp.edu.pe)  
 +51 992 725 968 +51 968 913 000



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERIA GEOLOGICA  
CENTRO DE ESTUDIOS GEOLOGICOS-GEOTECNICOS Y MECANICA DE SUELOS



### DENSIDAD NATURAL

NTP 339.139 - ASTM C 29

PROYECTO : Lodos Residuales generados en la planta de tratamiento de agua potable para la obtención de ladrillos combustibles en la Universidad Nacional de Piura.

UBICACIÓN : DISTRITO DE CASTILLA - PROVINCIA DE PIURA - DEPARTAMENTO DE PIURA

SOLICITA : CESAR ANDRES CARMEN CRUZ

MUESTRA : LODO + GUANO DE VACA, LODO + GUANO DE CHANCHO, LODO + PUÑO DE ARBOL Y LODO + TARALLA

FECHA : PIURA, OCTUBRE DEL 2023

MUESTRA	N° ANILLO	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO DE LA MUESTRA (gr)	PESO VOLÚMETRICO (gr/cm <sup>3</sup> )
LODO + GUANO DE VACA	7A	23.75	45.11	52.07	1.15
LODO + GUANO DE CHANCHO	7A	23.75	45.11	48.65	1.08
LODO + PUÑO DE ARBOL	7A	23.75	45.11	53.64	1.19
LODO + TARALLA	7A	23.75	45.11	44.06	0.98

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
Departamento de Ingeniería Geológica  
Ing. Manuel Antonio Chunga Parícuti  
CIP: 112311  
Trabajador UNP



### ANALISIS DE FRIABILIDAD DE MUESTRAS NATURALES

NTP 339.139 - ASTM C 29

**PROYECTO** : "Lodos Residuales generados en la planta de tratamiento de agua potable para la obtención de ladrillos combustibles en la Universidad Nacional de Piura"

**UBICACIÓN** : DISTRITO DE CASTILLA - PROVINCIA DE PIURA - DEPARTAMENTO DE PIURA

**SOLICITA** : CESAR ANDRES CARMEN CRUZ

**MUESTRA** : LODO + GUANO DE VACA, LODO + GUANO DE CHANCHO, LODO + PUÑO DE ARBOL Y LODO + TARALLA

**FECHA** : PIURA, OCTUBRE DEL 2023

MUESTRA			FRIABLE	NO FRIABLE
LODO + GUANO DE VACA				X
LODO + GUANO DE CHANCHO				X
LODO + PUÑO DE ARBOL				X
LODO + TARALLA				X



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
Departamento de Ingeniería Geológica  
Centro de Estudios Geológicos-Geotécnicos y Mecánica de Suelos  
Ing. Manuel Acuña Churruarín  
CIP 112371  
Trabajador UNP

Muestra	Carga (KN)	Tiempo de ensayo (seg.)	Resistencia (kgf/cm3)
Lodo con Guano de vaca	0,90	0:56	0,04
	95,0	2:30	4,15
	1,5	1:25	0,06

Muestra	Carga (KN)	Tiempo de ensayo (seg.)	Resistencia (kgf/cm3)
Lodo con Guano de Chancho	0,90	0:52	0,03
	95,0	2:23	3,85
	1,5	1:18	0,05

Muestra	Carga (KN)	Tiempo de ensayo (seg.)	Resistencia (kgf/cm3)
Lodo con Puño de arbol	0,90	0:48	0,02
	95,0	2:14	2,84
	1,5	1:09	0,01

Muestra	Carga (KN)	Tiempo de ensayo (seg.)	Resistencia (kgf/cm3)
Lodo con Taralla	0,90	0:35	0,03
	95,0	1:58	1,98
	1,5	0:52	0,01

Variable dependiente: Poder calorífico  
HSD Tukey

(I) Tratamiento		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
	Ladrillo de lodo con taralla	.98000	.55328	.298	-.4850	2.4450
Ladrillo de lodo con Puño de arbol	Ladrillo de lodo con Guano de Vaca	70,34000*	.56308	.000	68.8490	71.8310
	Ladrillo de lodo con guano de cerdo	70,34000*	.54457	.000	68.8980	71.7820
	Ladrillo de lodo con Puño de arbol	-.98000	.55328	.298	-2.4450	.4850
Ladrillo de lodo con taralla	Ladrillo de lodo con Guano de Vaca	69,36000*	.56308	.000	67.8690	70.8510
	Ladrillo de lodo con guano de cerdo	69,36000*	.54457	.000	67.9180	70.8020
	Ladrillo de lodo con Puño de arbol	-70,34000*	.56308	.000	-71.8310	-68.8490
Ladrillo de lodo con Guano de Vaca	Ladrillo de lodo con taralla	-69,36000*	.56308	.000	-70.8510	-67.8690
	Ladrillo de lodo con guano de cerdo	0.00000	.55452	1.000	-1.4683	1.4683
	Ladrillo de lodo con Puño de arbol	-70,34000*	.54457	.000	-71.7820	-68.8980
Ladrillo de lodo con guano de cerdo	Ladrillo de lodo con taralla	-69,36000*	.54457	.000	-70.8020	-67.9180
	Ladrillo de lodo con Guano de Vaca	0.00000	.55452	1.000	-1.4683	1.4683

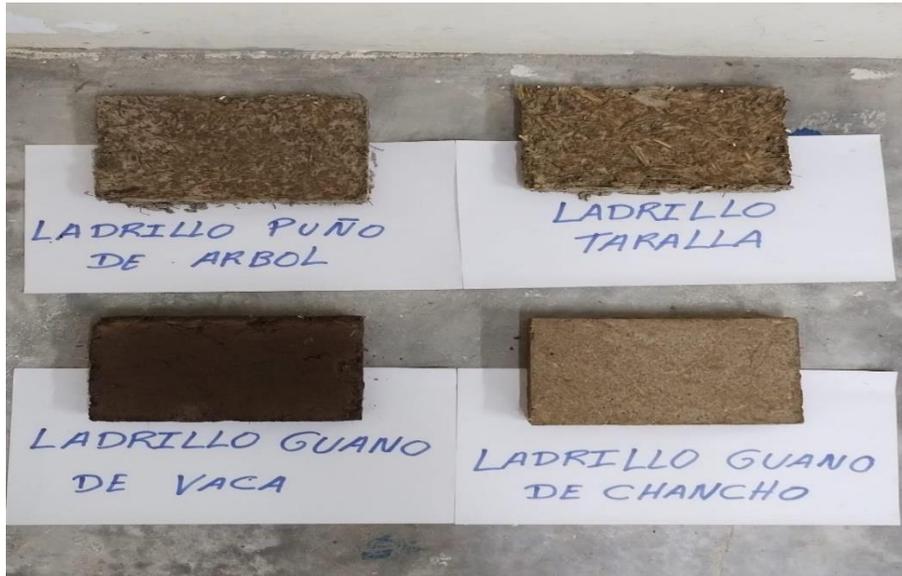
\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.













Estimado: Martin Armando Valdiviezo Cerdeña  
Jefe de Planta de Tratamiento de Agua Potable  
Universidad Nacional de Piura

Reciba un cordial saludo. Me dirijo a usted en calidad de estudiante del Programa de Titulación de la UCV, donde actualmente desarrollo mi proyecto de investigación como parte de los requisitos necesarios para obtener mi título profesional de pregrado en Ingeniería Ambiental.

El propósito de mi comunicación es solicitar su autorización para llevar a cabo una investigación en el ámbito de tratamiento y gestión de residuos en su organización: Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Universidad Nacional de Piura. Mi investigación tiene como objetivo Analizar los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de agua potable para obtener ladrillos combustibles, Universidad Nacional de Piura, analizar las características fisico-químicas y metales pesados de los lodos, analizar la carga máxima y compresión de los ladrillos combustibles a base de lodos , analizar los diferentes ladrillos combustibles elaborados de lodos residuales y quien produce mejor poder calorífico y eficiencia, determinar el costo de la elaboración de ladrillos combustibles, y se llevará a cabo de acuerdo con los más altos estándares éticos y profesionales.

En este sentido, la colaboración de su organización sería de gran valor para mi proyecto, ya que no cuentan con desarenadores para tratar y almacenar estos tipos de lodos y mi investigación sería una posible alternativa de solución para su problemática y a la vez contribuir con el cuidado del ambiente y generar un beneficio a la población. Estoy comprometido a minimizar cualquier inconveniente y a garantizar que la investigación no interfiera con las actividades regulares de su organización. Además, cualquier dato o información confidencial que pueda surgir durante la investigación será tratado con la debida confidencialidad y no será divulgado sin su consentimiento explícito.

Aprecio sinceramente su consideración de esta solicitud y estoy a su disposición para discutir cualquier aspecto de la investigación en detalle. Espero con interés la posibilidad de colaborar con su organización y de contribuir al avance del conocimiento científico en este campo.

Agradezco de antemano su atención y respuesta a esta solicitud.

Atentamente,

Cesar Andres Carmen Cruz  
7003119450

