UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAJABAMBA PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST Y LADRILLOS COMBUSTIBLES

Bachilleres:

Jackelin Diana Huamán Alfaro

Héctor Manuel Huamán Campos

Asesor:
Mg. Miguel Ángel Arango Llantoy

Cajamarca – Perú

Noviembre – 2019

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAJABAMBA PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST Y LADRILLOS COMBUSTIBLES

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

Bachilleres:

Jackelin Diana Huamán Alfaro

Héctor Manuel Huamán Campos

Asesor:

Mg. Miguel Ángel Arango Llantoy

Cajamarca – Perú

Noviembre – 2019

COPYRIGHT © 2019 BY

JACKELIN DIANA HUAMÁN ALFARO

HÉCTOR MANUEL HUAMÁN CAMPOS

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAJABAMBA PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST Y LADRILLOS COMBUSTIBLES

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

DEDICATORIA:

A Dios por habernos permitido llegar hasta este punto y brindado salud para poder finalizar todos nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor. A nuestros padres por su apoyo incondicional en todo momento, por sus valores, motivación constante y sus consejos de toda la vida.

AGRADECIMIENTOS

- A nuestro asesor de tesis el Mg. Miguel Ángel Arango Llantoy por la orientación y ayuda que nos brindó para la realización de esta tesis, por su apoyo y amistad que nos permitieron aprender mucho más que lo estudiado en el proyecto.

- A la UPAGU y a sus profesores, por los aprendizajes recibidos para nuestra formación profesional.

- Al Ing. Tito Díaz, supervisor de obras de la Unidad Ejecutora de Programas Regionales de Cajabamba - PROREGION por permitirnos los accesos y brindarnos la información para que esta investigación sea realidad.

RESUMEN

El trabajo de investigación "ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAJABAMBA PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST Y LADRILLOS COMBUSTIBLES", es el resultado de la investigación realizada a los lodos generados producto del tratamiento de aguas residuales en la provincia de Cajabamba con el propósito de analizarlos y tratarlos para obtener compost y ladrillos combustibles.

El tratamiento de aguas residuales de la provincia de Cajabamba ha provocado la generación de lodos, los que en la actualidad no cuentan con un tratamiento apropiado para disposición final, siendo un foco de contaminación ambiental y posible afección a la salud humana. Se recopiló la información de la situación actual de manera primaria haciendo entrevistas al Ing. Tito Díaz, supervisor de obras de la Unidad Ejecutora de Programas Regionales de Cajabamba – PROREGION y a los operarios de la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Se realizaron análisis físico-químicos y biológicos para poder determinar tratamientos alternativos y realizar comparaciones entre ambos tratamientos. Así mismo materializar la normativa vigente D.S. 015-2017 Reglamento para el reaprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales. La experiencia en la aplicación de estas alternativas de tratamiento nos trajo resultados positivos, por lo que se puede concluir que se logró obtener compost y ladrillos combustibles a partir del análisis y tratamiento de lodo residual. Para la elaboración de compost se determinó la siguiente distribución: 60% de lodo como material base, acompañado del 30% de hojarascas de maíz y 10% de abono orgánico y para la elaboración de ladrillos combustibles se recomienda la siguiente distribución: 43% de lodo, 48% de aserrín, 6 % de cola sintética y 3% de agua; esta distribución genera ladrillos combustibles con 77.5 kcal de poder calorífico y 16 minutos de eficiencia.

Palabras Claves: Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), lodo, biosólido, abono orgánico, reaprovechamiento, ladrillo combustible.

ABSTRACT

The research work "ANALYSIS AND TREATMENT OF RESIDUAL MUDS GENERATED IN THE WASTEWATER TREATMENT PLANT OF CAJABAMBA FOR THE OBTAINING OF COMBUSTIBLE COMPOST AND BRICKS", is the result of the research carried out on the sludge generated as a result of the wastewater treatment in the province of Cajabamba with the purpose of analyzing and treating them to obtain compost and combustible bricks.

Wastewater treatment in the province of Cajabamba has led to the generation of sludge, which currently does not have an appropriate treatment for final disposal, being a focus of environmental pollution and possible effects on human health. However, information on the current situation was collected primarily by interviewing Ing. Tito Díaz, supervisor of works of the Executive Unit of Regional Programs of Cajabamba - PROREGION and the operators of the plant.

Wastewater treatment in the province of Cajabamba has led to the generation of sludge, which currently does not have an appropriate treatment for final disposal, being a focus of environmental pollution and possible effects on human health. However, information on the current situation was collected primarily by interviewing Ing. Tito Díaz, supervisor of works of the Executive Unit of Regional Programs of Cajabamba - PROREGION and the operators of the Wastewater Treatment Plant (PTAR). The experience in the application of these treatment alternatives brought us positive results, so it can be concluded that compost and combustible bricks were obtained from the analysis and treatment of residual sludge. For the compost elaboration the following distribution was determined: 60% of sludge as a base material, accompanied by 30% of litter of corn and 10% of organic fertilizer and for the preparation of combustible bricks the following distribution is recommended: 43% of mud , 48% sawdust, 6% synthetic glue and 3% water; This distribution generates combustible bricks with 77.5 kcal of calorific value and 16 minutes of efficiency.

Keywords: Wastewater treatment plant (WWTP), sludge, biosolid, organic fertilizer, reuse, combustible brick.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA: I

AGRADECIMIENTOS II

RESUMEN III

ABSTRACT V

TABLA DE CONTENIDOS VII

ÍNDICE DE TABLAS X

ÍNDICE DE FIGURAS XII

ÍNDICE DE IMÁGENES XIV

I. INTRODUCCIÓN 15

1.1. Planteamiento del Problema de Investigación 16

1.2. Formulación del problema 17

1.3. Objetivos 17

1.3.1. Objetivo general 17

1.3.2. Objetivos específicos 17

1.4. Hipótesis 17

II. MARCO LEGAL 18

III. MARCO TEÓRICO 20

3.1. Teorías que sustentan la Investigación 20

3.1.1. A nivel internacional 20

3.1.2. A nivel nacional 21

3.2. Bases Teóricas 24

3.2.1. Lodos Residuales 24

3.2.2. Características y cantidad de lodos residuales generados en PTAR. 24

3.2.3. Tipos de Lodos Residuales 26
3.2.4. Clasificación de lodos residuales 27
3.2.5. Tratamiento de lodos en la PTAR 28
3.2.6. Oportunidades de aprovechamiento y disposición 30
3.2.7. Planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba 44
IV. MÉTODOS O ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS 52
4.1. Etapa 01 53
4.1.1. Método: 53
4.2. Etapa 02 58
4.2.1. Método: 58
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 78
5.1. Resultados 78
5.1.1. Resultados de los análisis del proceso de compostaje 78
5.1.2. Resultados de los análisis del proceso de fabricación de ladrillos combustibles (pellets). 84
5.2. Discusión 96
5.2.1. Costo para la elaboración de 1 pila de compostaje. 96
5.2.2. Costo para la fabricación de ladrillos combustibles 97
5.2.3. Discusión entre tratamiento de compost y tratamiento de ladrillos combustibles. 100
5.2.4. Discusión de Compost 100
5.2.5. Discusión de Ladrillos Combustibles 102
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 104
6.1. Conclusiones 104
6.2. Recomendaciones 105
VII. LISTA DE REFERENCIAS 107
VIII. ANEXOS 109
8.1. Anexo 01: Resultados de laboratorio de Sólidos Suspendidos Totales del efluente de la PTAR-Cajabamba. 109

8.2. Anexo 02: Resultados iniciales de laboratorio de la caracterización físico-química de los lodos de la PTAR-Cajabamba. 113

8.3. Anexo 03: Resultados de laboratorio de la caracterización biológica de los lodos de la PTAR-Cajabamba. 114

8.4. Anexo 04: Resultados finales de laboratorio de la caracterización físico-química de los lodos de la PTAR-Cajabamba. 116

8.5. Anexo 05: Fotografías del proceso de tratamiento de lodo residual. 119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº 1 Valores característicos de los parámetros más frecuentemente estudiados en los lodos. 25

Tabla Nº 2 Valores límites permisibles para metales pesados en lodos residuales. 28

Tabla Nº 3 Clasificación de lodos residuales según su contenido de microorganismo patógenos. 28

Tabla Nº 4 Temperaturas y tiempos para la destrucción de patógenos. 38

Tabla Nº 5 Especificaciones referenciales de la calidad de compost. 39

Tabla Nº 6 Relación de las etapas del proceso de compostaje y la temperatura. 41

Tabla Nº 7 Calidad edáfica del compost en base a su relación carbono / nitrógeno. 43

Tabla Nº 8 Resultado de muestra aleatoria simple: afluente para TSS 01. 54

Tabla Nº 9 Resultado de muestra aleatoria simple: afluente para TSS 02 55

Tabla Nº 10 Tiempos medidos para el flotador. 56

Tabla Nº 11 Resultados de análisis físico-químico del lodo. 58

Tabla Nº 12 Resultados de análisis biológicos del lodo 58

Tabla Nº 13 Proporciones de los materiales utilizados en los 3 tratamientos de las composteras 61

Tabla Nº 14 Cantidad de material utilizado por tratamiento. 64

Tabla Nº 15 Proporciones de los materiales utilizados en las 2 pruebas de los ladrillos combustibles. 71

Tabla Nº 16 Cantidad de material utilizado por prueba. 71

Tabla Nº 17 Tabla general de resultados de poder calorífico y eficiencia. 85

Tabla Nº 18 Resultados de poder calorífico y eficiencia. 86

Tabla Nº 19 Prueba de homocedasticidad del poder calorífico de LC de aserrín y cáscara de trigo. 89

Tabla Nº 20 Pruebas de promedios de poder calorífico de LC de aserrín y cáscara de trigo. 90
Tabla Nº 21 Prueba de homocedasticidad de eficiencia de LC de aserrín y cáscara de trigo. 94
Tabla Nº 22 Pruebas de promedios de eficiencia de LC de aserrín y cáscara de trigo. 95
Tabla Nº 23 Costo de elaboración de una pila de compostaje. 97
Tabla Nº 24 Costo de fabricación de ladrillos combustible de aserrín. 98
Tabla Nº 25 Costo de fabricación de ladrillos combustible de cáscara de trigo. 99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº 1 Ubicación Geográfica de la PTAR Cajabamba 45

Figura Nº 2 Tramo de mediciones 56

Figura Nº 3 Forma en que se tomaron las muestras de la cancha de secado Nº 04. 60

Figura Nº 4 Ubicación del área de compostaje 62

Figura Nº 5 Distribución de la pilas de compostaje. 63

Figura Nº 6 Distribución de los materiales por capas para la construcción de las pilas. . 64

Figura Nº 7 Forma en que se tomó la muestra de la cancha de secada Nº 04 69

Figura Nº 8 Composición de los materiales para la prueba 1 de la fabricación de ladrillos. 71

Figura Nº 9 Composición de los materiales para la prueba 2 de la fabricación de ladrillos. 72

Figura Nº 10 Demostración del Proceso del Poder Calorífico. 77

Figura Nº 11 Temperatura de los tratamientos durante el proceso de compostaje. 78

Figura Nº 12 Niveles de humedad en los tres tratamientos 80

Figura Nº 13 Nivel de pH de los tres tratamientos. 81

Figura Nº 14 Porcentaje de materia orgánica de los tres tratamientos. 81

Figura Nº 15 Porcentaje de carbono orgánico de los tres tratamientos. 82

Figura Nº 16 Porcentaje de nitrógeno total de los tres tratamientos. 83

Figura Nº 17 Relación carbono/nitrógeno durante el proceso de compostaje. 83

Figura Nº 18 Resultados de Minitab del poder calorífico de LC de aserrín. 87

Figura Nº 19 Resultados de Minitab del poder calorífico de LC de cáscara de trigo. 88

Figura Nº 20 Resultados de Homogeneidad de varianzas de poder calorífico de LC de aserrín y cáscara de trigo 89

Figura Nº 21 Resultados de Minitab de la eficiencia de LC de aserrín 92

Figura Nº 22 Resultados de Minitab de la eficiencia de LC de cáscara de trigo. 93

Figura Nº 23 Resultados de Homogeneidad de varianzas de eficiencia de LC de aserrín y cáscara de trigo. 94

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen Nº 1 Acondicionamiento de las cajas composteras con celdillas de cartón. 65

Imagen Nº 2 Pilas de compostaje terminadas. 65

Imagen Nº 3 Volteo de la pila de compostaje. 66

Imagen Nº 4 Mezcla de la prueba 1. 73

Imagen Nº 5 Mezcla de la prueba 2. 73

Imagen Nº 6 Prensa de moldes..... 73

Imagen Nº 7 Secado de ladrillos combustibles de aserrín y cáscara de trigo. 74

Imagen Nº 8 Encendido de ladrillos combustibles de aserrín y cáscara de trigo. 75

Imagen Nº 9 Medición de humedad utilizando método empírico. 79

I. INTRODUCCIÓN

Como resultado del tratamiento de las aguas residuales domésticas de la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Cajabamba, se generan lodos que por sus características tienen potencial de aprovechamiento. Actualmente estos lodos son depositados en canchas de secado y deshidratados durante un periodo de tres meses. La Unidad ejecutora de programas regionales de Cajabamba – PROREGION, que tiene a cargo la PTAR, no cuenta con otra actividad más que el almacenamiento de dichos residuos, así son dispuestos perdiendo de esta manera el potencial de aprovechamiento.

Debido a nuestro interés de dar un manejo integral a los residuos resultantes del tratamiento de aguas domésticas, nos planteamos realizar la presente investigación, que tiene como objetivo analizar y tratar los lodos residuales de la Planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba para la obtención de compost y ladrillos combustibles (pellets).

Mediante un proceso de caracterización biológica, física y química ejecutado por un laboratorio especializado se descarta la presencia de contaminantes que puedan llegar a afectar el suelo y la salud humana, guiados por el Decreto Supremo N° 015- 2017-Vivienda, que aprueba el reglamento para el reaprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales.

La caracterización del residuo da paso a la estabilización del lodo por medio de la deshidratación en las canchas de secado, en un periodo de tiempo 2 semanas, en el cual se procede a llevar el lodo deshidratado a composteras con porciones diferentes de materiales y a la fabricación de ladrillos combustibles de aserrín y cáscara de trigo.

Finalmente, para la realización de esta investigación se concluye y se afirma la hipótesis que: un tratamiento adecuado de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba generará la obtención de compost y ladrillos combustibles.

1.1. Planteamiento del Problema de Investigación

La gestión de los lodos de las estaciones de depuración de aguas residuales (EDARs) es uno de los problemas ambientales más complejos asociados al tratamiento de aguas residuales. La problemática fundamental relacionada con los lodos de depuradora tiene su origen en que, la mayoría de los casos, constituyen un residuo que es necesario gestionar. Esto lleva implícito la obligación de tratar los lodos procedentes de las EDARs, tratamiento que al menos en parte, está integrado hoy día en las propias instalaciones de depuración de aguas. (Montes & Menéndez, 2013, pág. 102).

Los lodos constituyen un problema en las sociedades altamente industrializadas, que son las que generan la necesidad del tratamiento de sus aguas residuales. Resulta de algún modo paradójico que el intento de dicha sociedad industrializada por mejorar su relación con el medio ambiente a través de la depuración de las aguas que ella contamina, termine generando un nuevo problema en forma de lodos. (Montes & Menéndez, 2013, pág. 102 y 103).

Esta realidad se presenta en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cajabamba, que mediante sus procesos de tratamiento dejan como resultado una alta producción de lodos residuales que deben ser depositados en las canchas de secado, para luego obtener un sólido (residuo).

Como dice Montes & Menéndez (2013), se encuentra en esta situación un problema de manejo asociado al hecho de que se desperdicia su potencial de aprovechamiento y se dispone solo como un residuo, aumentando la cantidad de residuos a disponer en los rellenos sanitarios.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo se obtendrá compost y ladrillos combustibles de los lodos de la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Cajabamba?

De esta manera el problema se establece en una dirección: El tratamiento para el aprovechamiento de los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cajabamba – Cajamarca.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar y tratar los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba para la obtención de compost y ladrillos combustibles.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las características físico-químicas y biológicas de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Cajabamba.
- Desarrollar tratamientos alternativos como compost y ladrillos combustibles de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba.
- Analizar cuál de la tres composteras, con distribución de materiales diferentes, nos permite obtener un mejor compost.
- Determinar cuál de los ladrillos combustibles (pellets), elaborados de residuos produce mejor poder calorífico y eficiencia.
- Conocer el costo y utilidad de ambos tratamientos, para determinar cuál es más factible para la zona.

1.4. Hipótesis

Un tratamiento adecuado de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba generará la obtención de compost y ladrillos combustibles.

II. MARCO LEGAL

La Constitución Política del Perú señala que las personas tienen derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

La Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente dispone que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

La Ley Nº 27314, Ley General de Residuos Sólidos establece que la gestión y el manejo de los residuos sólidos de origen industrial, agropecuario, agroindustrial, de actividades de la construcción, de servicios de saneamiento o de instalaciones especiales, son normados, evaluados, fiscalizados y sancionados por los ministerios u organismos reguladores o de fiscalización correspondientes, sin perjuicio de las funciones técnico normativa y de vigilancia que ejercen otras instituciones.

La sexta disposición complementaria final del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos establece que el Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento emite el decreto supremo el reglamento para el reaprovechamiento de los lodos de los sistemas de tratamiento generados en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, plantas de tratamiento de aguas residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento.

Decreto supremo 015-2017-VIVIENDA, aprueba el reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, el cual tiene por objeto establecer las disposiciones para determinar las características de los lodos, así como la clasificación, los parámetros para la producción y

el control de la aplicación de los biosólidos provenientes de la estabilización de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Teorías que sustentan la Investigación

3.1.1. A nivel internacional

Torres, Pérez, Escobar, Uribe, & Imery (2005) en su investigación "Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales", determinó la viabilidad del proceso de compostaje de los biosólidos, en una relación de biosólidos (72%), cachaza (18%) y residuos de poda (10%), además de indicar que fue necesario la combinación del biosólidos con otros materiales para lograr un buen resultado en relación C/N. Consistió en utilizar los biosólidos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Cañaveralejo – Cali como material principal para la elaboración de compost.

Para el mejoramiento de su estructura fue adicionado materiales como: cachaza (residuos de cañas) y residuo de poda. El desarrollo de la planta piloto de compostaje que fue distribuida en tres zonas: mezcla y adecuación., digestión y enfriamiento y maduración. Se utilizó dos pilas de compostaje por separado, una con la unión de los tres componentes (biosólido, cachaza y residuos de poda) y la otra de biosólido sin la combinación con algún otro material para ser considerado como un patrón de referencia. Los resultados obtenidos fueron: fósforo (2.06%), potasio (0.37%), pH (7.4), materia orgánica (22.4%), Humedad (35%), nitrógeno total (1.8%) y carbono orgánico (13.2%).

Trejos & Agudelo (2012) en su proyecto titulado "Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa comestibles La Rosa como alternativa para la generación de biosólidos", determinaron que en un tiempo de un mes y 20 días los mejores resultados obtenido seria de la combinación de: lodos (33,3%), pastos (33,3%) y barredura (33,3%). El resultado obtenido: pH al mes y 20 días es de 5,19; la humedad establecida fue de 70%, la relación C/N obtenida es de 10.55, el porcentaje de materia orgánica es de 16,35.

Los resultados arrojados por el estudio permiten tomar a este tratamiento como una alternativa viable para la transformación del lodo en generación de abono orgánico, además que los resultados pueden reflejarse en un plazo corto y que además no son dañinos para las plantas.

Hernández (2016) en su investigación "Evaluación de prefactibilidad económica producto del beneficio por el retiro de lodos acuícolas generados en el proceso de engorda de salmónidos en centro de cultivo Hueihue", determinó que la elaboración de combustible sólido a partir de los lodos residuales es una muy buena alternativa por su gran concentración de materia orgánica que estos contienen y por su poder calorífico obtenido (poder calorífico inferior PCI: 4.612 kcal/kg y poder calorífico superior PCS: 4.886 kcal/kg). El combustible sólido en una muy buena opción de tratamiento a futuro, pues reduce el impacto sanitario y medio ambiental. En esta investigación se trató de disminuir los impactos negativos al medio ambiente con la transformación de lodos acuícolas provenientes de la crianza de salmón para obtener un combustible sólido, dando forma, tamaño y condiciones adecuadas para poder ser utilizado como fuente de combustión en quemadores.

Esta transformación está formada por cuatro etapas: recolección y transporte, deshidratación mecánica; este proceso se agrupó toda la materia de lodo con el fin de eliminar la mayor parte agua utilizando prensas mecánicas a nivel industrial; secado, la materia orgánica que aún ha quedado con cierta cantidad de agua se da una forma, para luego ser incorporado en un secador industrial con el fin de eliminar la mayor cantidad de agua posible y como último el envasado y almacenado que busca que el producto mantenga su forma y la sequedad para que no se tenga inconvenientes en su uso.

3.1.2. A nivel nacional

Chunga (2014) en la tesis "Propuesta de compostaje de los lodos removidos de las lagunas de estabilización de la universidad de Piura" determinaron que la combinación de

lodo 40 %, hojarascas de algarrobo 20 % y residuo de jardín 40 % nos da como resultado un compost de muy buena calidad edáfica por la relación C/N menor a 8 en su etapa final del proceso de compostaje. Los demás tratamientos que fueron realizados para obtener compost son:

- Tratamiento 1: Lodo 10 %, hojarascas de algarrobo 50 % y residuo de jardín 40 %.
- Tratamiento 2: Lodo 20 %, hojarascas de algarrobo 40 % y residuo de jardín 40 %.
- Tratamiento 3: Lodo 30 %, hojarascas de algarrobo 30 % y residuo de jardín 40 %.
- Tratamiento 4: Lodo 40 %, hojarascas de algarrobo 20 % y residuo de jardín 40 %.

Fueron realizados en un periodo de 47 días, concluyendo lo siguiente: el tratamiento 1 presentó una mayor calidad con respecto a los otros tratamientos evaluados. Así mismo, los resultados de las pruebas de eficiencia de degradación demuestran que el tratamiento 1 degradó mayor cantidad de materia.

Los tratamientos 1, 2 y 3 presentan relaciones C/N entre 8 y 10, clasificándose como compost de buena calidad edáfica.

Con respecto a los demás parámetros el autor nos detalla lo siguiente:

- La humedad obtuvo rangos admisibles de 33 a 62 % en todos los tratamientos.
- El tratamiento 4 es el que más se acerca a valores neutros de pH.
- El tratamiento 3 arrojo valores más bajos de carbono orgánico, debido a la mayor actividad microbiana. Los demás tratamientos mantuvieron condiciones normales (8 – 50 %).

Este trabajo de investigación nos demuestra la factibilidad de transformar un residuo, como son los lodos, en un producto; obteniendo valores admisibles de los diversos parámetros medidos.

(Pomalaza & Ramos, 2016) en su investigación "Vermiestabilización de lodos activados para la obtención de compost y su efecto en el índice de calidad de plántulas de Pinus Radiat – San Pedro de Saño" determinó que la combinación de 25% de lodo combinado

con 75% de residuos orgánicos logran una muy buena relación de C/N (26.78), pH (7.42) y concentración de materia orgánica (20.36%). Este tratamiento de lodos consistió en realizar tres tratamientos con diferentes concentraciones tanto de lodo como residuos orgánicos, la mezcla fue depositada en un tiempo de 120 a 133 días. Este sustrato obtenido fue mezclado con suelo y arena para ser aplicado en las plantaciones de Pinus Radiat.

Samamé (2017) en la tesis "Determinación del poder calorífico de briquetas de carbón utilizando cantidades de residuos de biomasa" concluyó que el tipo de briquetas de carbón elaborados de residuos de biomasa que produce mejor energía calorífica y eficiencia es sin duda la briqueta fabricada de aserrín como así lo demuestran los resultados de poder calorífico con 77.5 kcal con una eficiencia de 13 minutos y 19 segundos, sobre la briqueta de carbón hecha de bagazo con 76 kcal con una eficiencia de 16 minutos 06 segundos y sobre todo por encima del carbón de algarrobo con 76 kcal y una eficiencia de 17 minutos para hacer coaccionar 1 L de agua respectivamente.

De la misma manera el autor compara el rendimiento físico del carbón y concluye que las briquetas son de fácil encendido en un menor tiempo, también demuestran una rápida y excelente llamarada con gran cantidad de energía, en diferencia al carbón de algarrobo. En cuanto a la eficiencia recalca que la briqueta hecha de aserrín tiene mayor productividad, seguida por la briqueta que está hecha de bagazo, y para finalizar el carbón de algarrobo. También menciona que la eficiencia de las briquetas es dos veces mayor que la del carbón.

Finalmente, esta investigación refuerza nuestra propuesta de análisis y tratamiento de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba para la obtención de ladrillos combustibles, utilizando los residuos que la región posee tales como lodo como materia prima, aserrín y cáscara de trigo.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. Lodos Residuales

Según el D.S. 015-2017-VIVIENDA, decreto supremo que aprueba el reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, define los lodos como: aquellos residuos provenientes de procesos de tratamiento de aguas residuales, que cuentan con alta concentración de materia orgánica, característica que se aplica principalmente a los lodos primarios y secundarios, así como en las excretas de instalaciones sanitarias in situ.

Se llaman también lodos residuales a los residuos semisólidos remanentes de los procesos de tratamiento de aguas residuales, cuya composición se basa en materia orgánica no descompuesta, microorganismos patógenos, compuestos no biodegradables y/o potencialmente tóxicos como metales pesados y sales inocuas que han sido remo vidas de los procesos de tratamiento de aguas. (Perez, 2016, pág. 7)

3.2.2. Características y cantidad de lodos residuales generados en PTAR.

3.2.2.1. Caracterización de lodos

Los principales constituyentes del agua residual en las plantas de tratamiento incluyen basuras, arena, espuma y lodo, es así que el lodo producido en las operaciones y procesos de tratamiento de aguas residuales depende principalmente de las características del agua residual, de su edad y del proceso de tratamiento utilizado en la planta que lo genera. Este residuo es de gran importancia pues es una fuente potencial de materia orgánica y energía, sin embargo, al no tener un manejo adecuado, se convierte en un problema, debido a su alto contenido de patógenos y metales pesado, por lo que se requiere un proceso de estabilización. (Perez, 2016, pág. 8)

La caracterización de los lodos es la clave para cuantificar las concentraciones de nutrientes para su aplicación en los suelos y de los compuestos dañinos que deben ser

eliminados. Para el adecuado manejo de lodos se debe evaluar la composición química (incluida la concentración de metales pesados), así como el contenido de patógenos y parásitos que posean.

Según estudios realizados, se ha establecido un grupo de indicadores que debe ser cuantificado, pues establece el grado de contaminación que presentan los lodos. Existe un intervalo de valores (Tabla Nº 1) para cada uno de esos indicadores información que permite realizar una adecuada elección de los procesos de tratamiento, desde el punto de vista económico y medioambiental, con el objetivo de permitir su reúso o disposición segura. (Amador - Díaz, Veliz - Lorenzo, & Bataller - Venta, 2015, pág. 3)

Tabla Nº 1 *Valores característicos de los parámetros más frecuentemente estudiados en los lodos.*

Indicadores	Máximo	Mínimo
Nitrógeno total (mg/L)	1500	200
Fósforo total (mg/L)	300	40
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100000	7000
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	60000	4000
pH	8,5	7

NMP:Número más probable. DQO: Demanda química de oxígeno.

DBO:

Demanda Bioquímica de oxígeno.

Fuente: (Amador - Díaz, Veliz - Lorenzo, & Bataller - Venta, 2015, pág. 3)

3.2.2.2. Cantidad de Lodos

La cantidad de lodo producido es muy variable, depende del proceso de tratamiento, de las características del agua residual, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de sólidos, del contenido de humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos. (Perez, 2016, pág. 8)

3.2.3. Tipos de Lodos Residuales

Una fracción importante de las sustancias contaminantes que se separan en los procesos de tratamiento de aguas residuales tanto tratamientos primarios como secundarios se encuentra finalmente en los lodos, por lo tanto, los lodos generados dependen fundamentalmente del nivel de tratamiento de las aguas residuales. (Perez, 2016, pág. 9 y 10)

3.2.3.1. Lodo crudo

Lodo crudo, es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tiende a producir la acidificación en la digestión y olor.

3.2.3.2. Lodos primarios

Son aquellos que se extraen de la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables, consisten principalmente en arena fina, sólidos inorgánicos y sólidos orgánicos. (Perez, 2016, pág. 10)

El lodo primario contiene generalmente una gran cantidad de material orgánico, vegetales, frutas, papel, etc. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 93 % y 97 %, de color marrón a gris, volviéndose sépticos y generan mal olor con gran facilidad. (Perez, 2016, pág. 10)

3.2.3.3. Lodo activo

Es el lodo resultante del tratamiento biológico de aguas residuales que se caracteriza por la interacción de distintos tipos de microorganismos. El lodo activo está en forma de flóculos que contienen biomasa y minerales absorbidos y almacenados. (Perez, 2016, pág. 10)

3.2.3.4. Lodos secundarios

Son lodos generados en el tratamiento secundario biológico de aguas residuales, que convierten residuos o substratos solubles en biomasa, también incluyen material

particulado que permanece en el agua después de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa. (Perez, 2016, pág. 10 y 11)

Los lodos secundarios son de color marrón, no suelen generar olor con tanta rapidez, sin embargo, producen un olor tan fuerte como el lodo primario. (Valderrama, 2013, pág. 16)

3.2.3.5. Lodo digerido

Los lodos digeridos se producen en los procesos de digestión aeróbica de color negro, contienen cantidades relativamente grandes de gas, si está bien digerido prácticamente no produce olor o produce un olor relativamente débil que no es desagradable. Tiene una proporción de materia orgánica entre el 45 a 60 %. (Valderrama, 2013, pág. 17)

3.2.4. Clasificación de lodos residuales

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) la clasificación de lodos residuales está en función de la concentración de metales pesados y microorganismos patógenos.

3.2.4.1. Clasificación en función de la concentración de metales pesados

La EPA según el contenido de metales pesados en lodos residuales establece dos parámetros de clasificación (peligrosos y no peligrosos).

- Peligrosos: Se consideran lodos peligrosos a los lodos cuyas concentraciones de contaminantes tóxicos supera lo establecido por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos).
- No peligrosos: Las concentraciones de metales pesados son inferiores a los valores establecidos por la EPA, que se muestra en la tabla Nº 2.

Tabla Nº 2 *Valores límites permisibles para metales pesados en lodos residuales*.

Elementos	Valores límites mg/kg materia seca.	Tasa de carga acumulativa kg/ha	Concentración del componente para una calidad excepcional mg/ kg)	Tasa de carga anual del elemento (kg/ha/año)
Arsénico	75	41	41	2
Cadmio	85	39	39	1.9
Cromo	-	-	-	-
Plomo	4300	1500	1500	75
Mercurio	57	17	17	0.85
Molibdeno	75	-	-	-
Níquel	420	420	420	21

Fuente: (Agencia de Protección del Medio Ambiente, s.f.)

3.2.4.2. Clasificación de acuerdo al contenido microbiológico de lodos.

La EPA clasifica los lodos según su contenido de microorganismos patógenos en lodos clase A y B como se muestra en la tabla Nº 3. (Valderrama, 2013, pág. 18)

Tabla Nº 3 *Clasificación de lodos residuales según su contenido de microorganismo patógenos.*

Parámetro	Lodo clase A	Lodo clase B
Coliformes fecales o salmonella	<1000NMP/g o UFC/G	< 2000000 NMP/g o UFC/g
Huevos de helminto	1 huevo viable/4g	

Fuente: (Agencia de Protección del Medio Ambiente, s.f.)

- Lodo Clase A: Son lodos que no contienen niveles detectables de agentes patógenos, satisfacen los requerimientos estrictos de reducción de atracción de vectores.
- Lodo Clase B: Tiene restricciones al público, reciben tratamiento, pero aún contienen niveles detectables de agentes patógenos.

3.2.5. Tratamiento de lodos en la PTAR

Según Oropeza (2006) en el trabajo titulado ¨Lodos residuales: estabilización y manejo¨, describe cuatro métodos de manejo de lodos residuales generados en las PTAR basándose

en experiencias encontradas en Estados Unidos y en Europa. Asegura la autora que: La tecnología de tratamiento para lodos residuales generados en las PTAR en Estados Unidos y Europa se realiza utilizando alguno de los siguientes cuatro procesos:

3.2.5.1. Digestión anaerobia:

Comprende dos fases, en la primera se forman ácidos volátiles y en la segunda las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de oxígeno molecular (O_2).

3.2.5.2. Digestión aerobia:

Proceso de aireación prolongada (dotando al sistema de O_2) para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia auto-oxidación, reduciendo así el material celular.

3.2.5.3. Tratamiento químico:

Realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones ácidas. Por su reducido costo y alcalinidad, la cal es el reactivo que más se utiliza.

3.2.5.4. Incineración:

Conduce a la combustión de materias orgánicas de los lodos, y es el proceso con el que se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas constituidas únicamente por materias minerales del lodo.

En general, las líneas de tratamiento de lodos residuales se encuentran enfocadas a dos aspectos fundamentales, que son:

3.2.5.5. Reducción de volumen:

Pueden obtenerse por un simple espesamiento, deshidratación por drenaje natural, escurrido mecánico, secado térmico, o también y como continuación de una deshidratación, por una incineración.

3.2.5.6. Reducción del poder de fermentación o estabilización:

Consiste en reducir su actividad biológica (tendencia a la putrefacción) y su contenido de microorganismos causantes de enfermedades. La estabilización puede obtenerse mediante procesos tales como: digestión anaerobia o aerobia, estabilización química, pasteurización, cocción, etc.

3.2.6. Oportunidades de aprovechamiento y disposición

La producción de lodos en una planta de tratamiento puede traer también ciertos beneficios dependiendo del tratamiento o destino que se les dé. Las principales formas de aprovechamiento son como fuente de energía o mejoradores de suelo en la agricultura. En esta sección se describen estas dos formas.

3.2.6.1. Aprovechamiento como fuente de energía

3.2.6.1.1. Ladrillos Combustibles o Pellets

Los ladrillos combustibles son considerados una vía de valorización energética para los lodos. En el proceso se genera una combustión de oxidación rápida con desprendimiento de calor y que este pueda ser utilizado como fuente de energía renovable. Para que se produzca la combustión en los residuos es necesario que el material presente elementos que son capaces de combinarse con el oxígeno, con desprendimiento de calor que puede ser carbono, hidrógeno o el azufre.

La combustión de un residuo puede tener lugar en presencia de la cantidad estequiométrica de aire o bien en exceso. El producto de la combustión de un lodo es un gas nulo, que su poder calorífico tendrá que ser utilizado para la generación de energía por medio de un sistema de caldera y turbina.

A. Poder Calorífico

El poder calorífico es la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.

El poder calorífico expresa la energía que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente, y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión. (Harris, 2017)

B. Secado de lodos

La materia orgánica contiene aún un porcentaje importante de agua, por lo que todavía se comporta como fluido. Por tanto, esta etapa consiste en darle una forma sólida a la materia para evitar que siga fluyendo y así poder contenerla con mayor facilidad.

El secado de los lodos es producido generalmente mediante procedimientos basados en contacto, convención o radiación.

En el secado por contacto no es necesario el suministro de grandes cantidades de aire porque el calor suministrado por contacto entre el producto que se descarga y las paredes calientes es suficiente. Solo se requiere una cantidad de flujo de gas mínima para la evacuación del vapor. Esto tiene como ventaja que el gasto de aire de salida es bajo.

Secado por convención se consigue mediante el tratamiento de los lodos con aire caliente.

El aire ambiental se calienta mediante un calentador o intercambiador de calor-vapor y este aire entra en contacto con el lodo en un tambor o cinturón de secado.

El secado por radiación significa que el calor se suministra mediante radiación del lodo. Por ejemplo, radiación solar o calentamiento mediante elementos infrarrojo.

Para elegir el método más adecuado hay que tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Adherencia segura.
- Compatibilidad medio ambiental.

- Flexibilidad del método de secado en relación con las cantidades variables de lodo. (Harris, 2017, pág. 1)

C. Ventajas del producto

El material que se encuentra en una planta de tratamiento es de origen orgánico. Sus componentes principales son: harinas, granos, semillas, aceites vegetales, plumas, harinas de carne, restos de animales y otros productos orgánicos derivados de las actividades cotidianas. Es decir, todo.

El carbono contenido proviene de ciclo natural del carbono.

- Es un producto que sigue los ciclos de la cadena alimenticia, por lo tanto, es renovable.
- Lo que antes era un desecho, ahora pasa a ser una fuente de energía renovable no convencional, de producción local y a distinta escala.
- Si se utiliza como energético dentro de la misma unidad productiva, elimina los riesgos de traslado de materia orgánica fuera de la planta, confinando posibles enfermedades y efectos al ambiente.
- Su costo de procesamiento alcanza a un 20% del valor del combustible fósil que reemplaza. (Guevara, s.f., pág. 4)

3.2.6.2. Aprovechamiento en la agricultura: Compostaje

Los lodos removidos de la planta de tratamiento de Cajabamba no se pueden aplicar directamente como acondicionador de suelos en la agricultura. Para ello, los lodos deben pasar por un tratamiento llamado compostaje o compostación.

3.2.6.2.1. Concepto de compostaje

El compostaje o compostación es un proceso biológico mediante el cual los residuos o basuras de origen orgánico son reducidos, a través de una acción bacteriológica, a un material estable denominado compost. El objetivo principal del compostaje es convertir los

residuos orgánicos putrescibles a materiales estables y libres de organismos patógenos que puedan afectar a los seres vivos. (Chunga, 2014, pág. 25)

3.2.6.2.2. El compost

El compost es un abono orgánico que resulta de la degradación de residuos orgánicos tanto vegetales como minerales transmitidos por la micro flora y la micro fauna del suelo en una sustancia que mejora la estructura y estabilidad de la tierra.

Representa uno de los mejores abonos orgánicos, pues puede obtenerse de forma fácil y además permite mantener la fertilidad de los suelos con excelentes resultados en el rendimiento de los cultivos.

Abono orgánico es un producto que posee de una manera equilibra los micronutrientes necesarios para las actividades bioquímicas de las plantas. Se clasifican en dos tipos:

- Abono orgánico líquidos: biol, te de humus, te de compost.
- Abono orgánico sólido: compost, humus de lombriz, bokashi, abonos verdes.

(Chunga, 2014, pág. 25)

3.2.6.2.3. Beneficios del compost

El compost puede dar muchos beneficios, porque sirve como un acondicionador de suelos con características húmicas, con ausencia de microorganismos patógenos y malezas que puedan atacar a las plantas, además las ayuda en su crecimiento y las hace resistentes a enfermedades que las puedan atacar.

Un suelo será más fértil mientras más nutrientes y materia orgánica contenga. Las plantas consumen la materia orgánica y los nutrientes del suelo; debido a ello, mientras más tiempo transcurra ese suelo se quedará con menos nutrientes y materia orgánica. Un suelo pobre en materias orgánicas y nutrientes, tales como: nitrógeno, potasio y fósforo pueden hacer que se obtenga un bajo rendimiento en las cosechas. El compost es rico en estos nutrientes

y materia orgánica, es por ello que su aplicación en los suelos es muy beneficiosa. (Chunga, 2014, pág. 26)

Los fertilizantes químicos aportan más nutrientes al suelo que el compost, pero este, aporta más materia orgánica. Hay que tener en cuenta que, si se aplica al suelo fertilizantes químicos y no orgánicos, con el tiempo esto traerá consecuencias negativas como el empobrecimiento de la tierra de cultivo, lo que a su vez origina una falta de capacidad de las raíces de las plantas para absorber los nutrientes de estas tierras, por lo que se verán expuestas a enfermedades y a plagas.

3.2.6.2.4. Sistemas de compostaje

Según Chunga (2014) se pueden distinguir dos tipos sistemas de compostaje: abierto y cerrado, los cuales se explican a continuación.

A. Sistemas de compostaje abierto

Consisten en la formación de pilas, agrupando los residuos en montones o montículos. Los materiales se deben apilar sin que se compriman mucho, para así permitir la correcta aireación de estas pilas, lo que a su vez representa la parte fundamental en el proceso de compostaje.

Los sistemas de compostaje abierto se clasifican en:

- **Sistemas con pilas estáticas**

En este sistema no se realizan volteos en las pilas, el aire se suministra por medios mecánicos como la aireación forzada o la aireación inducida.

- **Sistemas con pilas dinámicas**

En este sistema la aireación es natural y se da por medio de volteos en la pila. La frecuencia de los volteos depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que se interese llevar a cabo el proceso. Si el intervalo de tiempo entre los volteos es grande, la escasez de oxígeno puede hacer que se necesite un mayor tiempo para la obtención del compost, pero si el intervalo de tiempo es pequeño, afectaría el desarrollo de algunos de

los microrganismos que intervienen en el proceso. Lo más recomendable es que los volteos se realicen con alta frecuencia, aproximadamente una vez por semana.

B. Sistemas de compostaje cerrados

Se basan en la utilización de un reactor o digestor. Sus costos de instalación son superiores al de las pilas, pero su ventaja es que se pueden controlar las condiciones del proceso, lo que permite la aceleración del mismo; otra ventaja es que se necesita de menos espacio para trabajar con una misma cantidad de volumen de residuos, comparado con el sistema de pilas. Dentro de los sistemas cerrados se tiene:

- **Concentradores o reactores verticales**

Miden entre 4 y 9 metros de alto, en este sistema el proceso es difícil de controlar, dado que resulta complicado mantener uniforme la proporción de oxígeno para la masa del material.

El oxígeno se inyecta por la parte de abajo del reactor, lo que ocasiona que la parte de material que se encuentra en dicha zona se enfríe demasiado y, por el contrario, la parte de arriba del material no llegue a oxigenarse por completo.

- **Tambores o reactores horizontales**

Son cilindros de acero rotantes. El tiempo de retención de los materiales en el reactor oscila entre 1 y 2 días, lo que no es suficiente para un verdadero compostaje, solo permite una iniciación de este. La principal ventaja de este sistema es separar la materia orgánica de los materiales inertes.

- **Túneles de compostaje**

Este sistema mantiene el material aislado del exterior, dando lugar a que no intervenga la temperatura del ambiente, no tiene emisiones líquidas o gaseosas, permitiendo la homogeneidad en las condiciones de la masa.

Los túneles suelen tener una longitud de entre 30 m y 59 m, con un ancho y altura de 4 m a 6 m. Con este sistema si se dispone de un compostaje completo.

3.2.6.2.5. El proceso del compostaje

Cuando la materia orgánica se oxida por acción de los microorganismos, una porción de la energía es capturada y se usa para la síntesis de la nueva materia celular, al morir los microorganismos, este material es el alimento para otros microorganismos presentes generando dióxido de carbono, agua y nueva materia celular. Todo este proceso se va repitiendo, hasta que la porción de materia orgánica que queda es muy resistente al ataque microbiano. A medida que el proceso de compostaje avanza, los compuestos orgánicos que se degradan van oxidándose y convirtiéndose en materiales húmicos cada vez menos biodegradables, pero a una velocidad más pequeña comparada con la velocidad inicial.

El compostaje se lleva a cabo en dos fases: descomposición y maduración de la materia orgánica.

A. Descomposición de la materia orgánica

La fase de descomposición depende totalmente del tipo de material a tratar, de las características del sistema a aplicar y de las condiciones de trabajo, por lo que puede durar de unas pocas semanas a varios meses.

Es la más exigente del proceso y el no realizarla en condiciones adecuadas puede representar problemas para la siguiente fase, generar la aparición de problemas de lixiviados y malos olores, además influir en la calidad del producto final.

Según Chunga (2014) la fase de descomposición se lleva a cabo en tres etapas, las que se explican a continuación:

- **Primera etapa (mesofílica)**

En ésta diversas familias de microorganismos como bacterias y hongos mesofílicos inician la descomposición de los compuestos fácilmente degradables, provocando un incremento de la temperatura (hasta unos 45 °C) y una disminución del pH debido a la formación de ácidos orgánicos.

En esta etapa se debe mantener la humedad entre 40 % y 60 %, dado que el agua distribuye los nutrientes por toda la masa.

- **Segunda etapa (termofílica)**

Durante esta etapa se alcanzan temperaturas 75°C, causando la muerte de los microorganismos mesofílicos presentes en la etapa anterior y la aparición de microorganismos termofílicos. Si se alcanza los 60 °C los hongos termofílicos se inactivan y la descomposición es llevada a cabo por actinomiceto y bacterias formadoras de esporas.

Las sustancias fácilmente degradables como azúcares, grasa, almidón y proteínas son rápidamente consumidas y la mayoría de patógenos humanos y vegetales son destruidos.

Se libera amoniaco, por tanto, el pH se va estabilizando, permaneciendo constante hasta el final del proceso. Las proteínas presentes en el material como la celulosa y ligninas son parcialmente alteradas.

- **Tercera etapa (enfriamiento)**

En esta etapa la energía y los nutrientes empiezan a disminuir, la actividad de los microorganismos termofílicos disminuye, por lo que la temperatura también lo hace hasta llegar a la temperatura ambiente. Los microorganismos mesofílicos reinvaden el material a comportar cuando se llegan a temperaturas de 40 °C a 45 °C, siguiendo con el proceso hasta que toda la energía sea utilizada.

3.2.6.2.6. Organismos patógenos en el compost

En el compost se pueden encontrar muchos microorganismos patógenos que pueden ser eliminados cuando la temperatura en las pilas se encuentra entre los 55°C y 70°C en intervalos de tiempo que pueden ir de 3 a 60 minutos. La eliminación de patógenos hace que el abono orgánico no sea contaminante.

En la tabla Nº 4 se muestra los principales patógenos presentes, así como las temperaturas y tiempos que deben estar expuestos para que sean eliminados.

Tabla Nº 4 *Temperaturas y tiempos para la destrucción de patógenos.*

Microorganismo	Temperatura (ºC)	Tiempo de exposición (min)
Salmonella typhosa	56	60
Salmonella spp	55	60
Escherichia coli	55	60
Micrococcus aureus	50	10
Streptococeus pyogenes	54	10
Corynebacterium diphiheriare	55	45
Mycrobacterium tuberculosis	66	20
Shigella spp	55	60
Brucella abortus	61	3
Taenia saginata	71	5
Trichinella spiralis	50	60
Necator americanus	45	50

Fuente: *(Chunga, 2014, pág. 29)*

Cuando el material se someta a una temperatura de 55°C, la mayoría de agentes patógenos será destruido, solo unos pocos quedarán. Para eliminar por completo todos los patógenos presentes, se debe dejar que el material llegue a 70°C por un periodo de 1 o 2 horas.

3.2.6.2.7. Índices de calidad del compost

El compost como producto final debe cumplir con ciertos estándares de calidad adecuados que aseguren proteger el ambiente y la salud púbica. Estos estándares se miden con parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

En la tabla Nº 5 se muestran los rangos permisibles de los parámetros físicos y químicos más representativos del compost.

Tabla Nº 5 *Especificaciones referenciales de la calidad de compost.*

Parámetros	Rango permisible
Humedad (%)	40 – 60
Tamaño de partícula (mm)	5 – 10
Materia orgánica (%)	25 – 50
Carbono orgánico (%)	8 – 50
Nitrógeno total (%)	0.4 – 3.5
Fósforo como P2O5 (%)	0.3 – 3.5
Potasio como K2O (%)	0.5 – 1.8
Cenizas (%)	20 – 65
Calcio como CaO (%)	20 – 65
Relación C:N	< 15
pH	6.5 – 8

Fuente: (Chunga, 2014, pág. 30)

A. Parámetros físicos

- **Humedad**

La humedad en la pila de compostaje se relaciona directamente con la actividad microbiana, la oxigenación y la temperatura en este. La presencia de agua favorece al transporte de nutrientes y sustancias en la pila, lo que origina que los microorganismos tengan más accesibilidad a estos. (Chunga, 2014, pág. 31)

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (> 60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material.

En procesos en que los principales componentes sean substratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos, como residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped.

El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base.

Una manera sencilla de monitorear la humedad del compost, es aplicar la "técnica del puño". (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013, pág. 27)

La llamada "técnica del puño cerrado", que consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado, pero sin escurrir agua. Si corre agua, se debe voltear y/o añadir material secante (aserrín o paja). Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o añadir material fresco (restos de hortalizas o césped). (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013, pág. 56)

- **Temperatura**

Representa un factor determinante a lo largo del proceso de compostaje. La pila debe estar en un rango específico de temperatura para asegurar la supervivencia de la actividad microbiana. A lo largo de todo el proceso de compostaje la temperatura sufre cambios, debido a la interacción de los materiales con los diferentes grupos de microorganismos.

Al inicio los materiales se encuentran a una temperatura ambiente, luego de dos a seis días se puede llegar hasta los 45°C. Esto debido al metabolismo de los microorganismos exotérmicos y a la biodegradación de los sustratos, por lo que existe una liberación de calor que genera un aumento de la temperatura.

Luego la temperatura sigue aumentando, hasta alcanzar una temperatura de 60°C a 70°C; aquí las semillas de maleza y muchos agentes patógenos se eliminan. Posteriormente la

temperatura desciende gradualmente hasta volver alcanzar los valores de temperatura ambiente. Las etapas del proceso de compostación se muestra en la tabla Nº 6.

Tabla Nº 6 *Relación de las etapas del proceso de compostaje y la temperatura.*

Fase	Etapa	Temperatura (ºC)
Descomposición	Etapa mesofílica	20 a 45
	Primera etapa termofílica	45 a 65
	Segunda etapa termofílica	65 a 75
	Etapa de enfriamiento	75 a 45
Maduración	Etapa de maduración	46 a 25

Fuente: *(Chunga, 2014, pág. 31)*

B. Parámetros químicos

- **pH**

Este parámetro indica si un producto es ácido, alcalino o neutro, con valores menores a 7, superiores a 7 e iguales a 7, respectivamente. Los microorganismos que hacen posible la descomposición de la materia no toleran valores de pH superiores a 7, es por eso que conviene que el compost sea lo más neutro posible. En caso de volverse muy alcalino o muy ácido el proceso de compostaje se ralentizará, pudiendo llegar hasta detenerse.

El pH varía con el tiempo en un proceso de compostaje. En los primeros días los hongos toleran un margen de pH entre 5 y 8, debido a que los productos iniciales son ácidos orgánicos. Al cabo de unos días el pH se vuelve ligeramente alcalino debido a la liberación de amoniaco durante la transformación de las proteínas por parte de las bacterias, las cuales prefieren un medio casi neutro (entre 6 y 7.5). El pH recomendado para un sistema de compostaje debe estar entre un rango de 6.5 y 8. (Chunga, 2014, pág. 32)

- **Nitrógeno total**

El contenido total de nitrógeno en el compost puede variar, dependiendo de la materia prima, las condiciones del proceso, la maduración y el almacenaje.

En el transcurso del proceso de compostaje el contenido del nitrógeno disminuye con la volatilización del amoniaco, pero este es captado, transformado e incorporado a los microorganismos, es por eso que presentan pérdidas importantes de este elemento debido a la rapidez e intensidad de los fenómenos bioquímicos en los primeros días de la fermentación. Una buena fermentación aerobia no debe perder más del 20% de la cantidad de nitrógeno de inicial.

Los microorganismos utilizan el nitrógeno junto con otros elementos para la síntesis de proteínas (nutrientes), un exceso de nutriente puede traer como consecuencia un crecimiento bacteriano y podría acelerarse la descomposición de la materia orgánica, pero esto provocaría un déficit de oxígeno, por lo que el proceso se vuelve anaerobio; sin embargo, la falta de nitrógeno en el proceso generaría un deficiente crecimiento del cultivo microbiano. (Dios, 2008, pág. 60)

- **Materia orgánica**

La eficiencia en la degradación de la materia orgánica en el proceso del compostaje depende inicial y primordialmente de las comunidades microbianas, por diferentes tipos de enzimas hidrolíticas los microorganismos desempeñan la degradación de materiales orgánicos. Muchas de estas enzimas controlan parte de la velocidad a la que los sustratos orgánicos son degradados. (Chunga, 2014, pág. 33)

- **Carbono orgánico**

La descomposición de la materia orgánica está provocada por microorganismos que utilizan el carbono como fuente de energía. El proceso exige más carbono que nitrógeno, pero cuando el exceso de carbono es considerable, el tiempo necesario para la descomposición se aumenta a partir del momento en el cual las reservas de nitrógeno son

consumidas y ciertos microorganismos mueren. El nitrógeno que estos microorganismos habían asimilado es utilizado por otros microorganismos y nuevas cantidades de carbono son consumidas en la constitución de la sustancia celular, por lo que la cantidad de carbono alcanza un nivel más satisfactorio y el nitrógeno es reintroducido en el ciclo. (Dios, 2008, págs. 59-60)

- **Relación carbono/nitrógeno**

La relación carbono/nitrógeno expresa las unidades de carbono por unidad de nitrógeno que contiene el material y sirve como indicador del grado de avance del proceso. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis de nutrientes, por lo que una buena relación de estos elementos favorecerá un buen crecimiento y reproducción de los microorganismos. (Chunga, 2014, pág. 33)

En la parte final del proceso de compostaje se prefiere tener una relación C/N baja, como se muestra en la siguiente tabla Nº 7.

Tabla Nº 7 *Calidad edáfica del compost en base a su relación carbono / nitrógeno.*

Relación C/N	Calidad del compost
< 8	Muy buena
8 – 10	Buena
12 – 15	Mediana
15 – 20	Deficiente
20 -30	Mala
> 30	Muy mala

Fuente: (Chunga, 2014, pág. 34)

3.2.7. Planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba

3.2.7.1. Descripción de la Planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba

3.2.7.1.1. Ubicación de la Planta

La planta de tratamiento de aguas residuales se ubica en la provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca, comprendida entre las coordenadas 7°37′25″S 78°02′52″O a 2,654 msnm.

La provincia de Cajabamba se encuentra situada en la sierra septentrional del Perú, al sur del departamento de Cajamarca, es la provincia fronteriza meridional del departamento. Cajabamba limita con:

- Por el norte con los distritos de Cospán, Ichocán y San Marcos, de la provincia de Cajamarca, delimitados por los ríos cajamarquino y criznejas.
- Por el sur con los distritos de Marcabalito, Sanagorán y Sartimbamba de la provincia de Huamachuco delimitado en parte por los ríos negro y chusgón.
- Por el este con el distrito de Bambamarca de la provincia de bolívar delimitado por el rio marañón.
- Por el oeste con los distritos de Cospán de la provincia de Cajamarca, Lucma y Huaranchal de la provincia de Otuzco, delimitado por los ríos san jorge y membrillo. (Cobri Producciones, 2016)

3.2.7.1.2. Localización de la Planta

La planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba – Cajamarca, se ubica cerca de la peña del olvido sobre un terreno que es propiedad la Municipalidad Provincial de Cajabamba el cual tiene 9500 m^2.

Figura Nº 1 Ubicación geográfica de la PTAR Cajabamba

Fuente: Elaboración propia.

3.2.7.2. Descripción del proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Cajabamba.

3.2.7.2.1. Descripción de Actividades

Las actividades que se desarrollan en la PTAR de Cajabamba, se dividen en las siguientes:

- Operación de la PTAR (procesos del tratamiento biológico).
- Se hace la recolección y traslado de residuos sólidos que quedan atrapados en las rejillas, así como los recolectados por la limpieza de las diferentes áreas.
- Operaciones de limpieza, purga y control del proceso, traslado de enmienda húmica luego del secado del lodo a la cancha de almacenamiento.
- Operaciones de mantenimiento.
- Control de la dosificación de cloro.
- Cuidado de las áreas verdes.

(Programa de Mejoramiento y Ampliación de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de las principales ciudades del departamento de Cajamarca, S/F)

3.2.7.2.2. Tecnología Aplicada – Componentes

El tratamiento de las aguas residuales que se realiza en la PTAR de Cajabamba se conoce como tratamiento convencional en el que se emplean tres métodos definidos según su base de trabajo son: mecánico, biológico y parcialmente químico (cloración).

En general el tratamiento de las aguas residuales de Cajabamba incluye:

- La retención de los residuos sólidos presentes en las aguas residuales.
- El tratamiento del agua.
- El tratamiento del lodo (secado).

El tratamiento de las aguas residuales (independientemente del tratamiento del lodo), se lleva a cabo en las siguientes etapas:

- El tratamiento mecánico se basa en las propiedades físicas e incluye la separación de los sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales y su estabilización.
- En el tratamiento biológico se lleva a cabo la actividad de microorganismos para la oxidación y mineralización de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales produciéndose así la digestión de la materia orgánica.
- El tratamiento químico que es la etapa final consiste en la aplicación de cloro para la desinfección.
- Los lodos derivados de los Tanques Imhoff y de los tanques Dortmund vienen tratándose en los lechos de secado.

(Programa de Mejoramiento y Ampliación de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de las principales ciudades del departamento de Cajamarca, S/F)

La tecnología de tratamiento convencional consta de las siguientes etapas:

A. Pre-tratamiento

La finalidad del pretratamiento es la separación por gravedad de residuos sólidos gruesos, como arenas, cascajo, basura flotante y arenisca por decantación.

Cuenta con los siguientes componentes:

- **Cámara de Rejas:**

Las aguas crudas fluirán hacia la cámara de rejas por medio de un canal de 0.25 m de ancho y la recámara de la reja propiamente dicha tiene un ancho neto de 0.30 m. En ésta etapa, la cantidad de residuos a ser retirados diariamente varía entre 21 a 36 L/día y equivalente a 17-29 kg, lodo a producirse diariamente se ha estimado en 195 kg/día equivalente a un volumen de 2.8 m^3/día. Ésta cantidad de lodos es equivalente a 19 gramos (g) por habitante día y la humedad ha sido calculada a 93% (7% de sólido). (Programa de Mejoramiento y Ampliación de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de las principales ciudades del departamento de Cajamarca, S/F)

B. Tratamiento Primario

En este tratamiento se reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí que se conoce también como tratamiento mecánico.

Cuenta con los siguientes componentes:

- **02 Tanques Imhoff:**

Estos son de doble acción cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Éste nos ofrece varias ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, pues integra la sedimentación del agua y la digestión de lodos sedimentados en la misma unidad. Los tanques Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos:

    - Cámara de sedimentación

- Cámara de digestión de lodos
- Área de acumulación y digestión de natas

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que lo gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, que inevitablemente se produce en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

Los lodos acumulados en el digestor se extraen periódicamente y se conduce a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran y se disponen de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de los suelos.

El tanque Imhoff elimina del 40 a 50% de sólidos suspendidos y reduce el DBO en un 25 a 35%. Debido a esta baja remoción de DBO y coliformes, lo que se recomendaría es enviar el efluente hacia una laguna facultativa para que haya una buena remoción de microorganismos en el efluente. (Programa de Mejoramiento y Ampliación de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de las principales ciudades del departamento de Cajamarca, S/F)

- **02 Filtros percoladores:**

Construidos para baja carga y sin recirculación a fin de minimizar las labores operativas. El molinete hidráulico o distribuidor de agua con que está equipada cada uno de los filtros percoladores es alimentado por medio de una tubería de 200 mm de diámetro y cada molinete hidráulico cuenta con dos brazos de distribución de 100 mm de diámetro. Cada unidad tiene una profundidad de 2.10 m y un diámetro de 19 m y se ha estimado que el

filtro percolador tendrá una eficiencia remocional de la DBO del orden de 80 %, por lo que la DBO efluente puede estar comprendida entre 135 y 85 mg/L.

La distribución de agua se realiza por medio de un dispositivo giratorio de dos brazos y accionado hidráulicamente. El material poroso está compuesto por material granulado de tipos volcánico de tres tipos de grosor. La ventilación se realiza por el fondo de la periferia de las paredes del filtro percolador en donde se ha construido ventanas de 0.20 m de alto instaladas en la periferia. El falso fondo del filtro percolador está compuesto por drenes prefabricados de concreto con un 15% de agujeros para permitir el drenaje del agua y la ventilación del filtro percolador. El agua residual drena hacia el sedimentador por medio de un canal de 0.30 m de ancho y 0.25 m de profundidad. (Programa de Mejoramiento y Ampliación de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de las principales ciudades del departamento de Cajamarca, S/F)

C. Tratamiento Secundario

Tiene como función lograr la formación de una biomasa la cual asimila el material orgánico disuelto de las aguas servidas que no ha sido removido en las dos etapas anteriores.

Cuenta con los siguientes componentes:

- **02 sedimentadores:**

Estos son del tipo dortmund, uno para cada filtro percolador, cada uno de los sedimentadores tiene un diámetro de la parte superior de 5.70 m, diámetro de fondo de 3.50 m, profundidad útil 4.15 m y profundidad total 4.55 m. Este tanque está dotado de dos tolvas en donde se acumula el lodo y que por acción de la gravedad es retirado por presión hidrostática hacia la cisterna de la estación de bombeo de lodos.

El tanque de sedimentación es un dispositivo que consta de dos partes, la parte superior donde se efectúa la sedimentación de los sólidos contenidos en las aguas residuales y la

parte inferior donde se efectúa la digestión de éstos. (Programa de Mejoramiento y Ampliación de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de las principales ciudades del departamento de Cajamarca, S/F)

D. Lechos de secado de lodos

La cantidad de lodos a ser drenado por el tanque imhoff es del orden de los 390 kg/día y equivalente a 5.6 m^3/día. De otra parte, el tiempo de digestión se ha estimado en 90 días, por lo que ésta cantidad de lodos requiere de 1050 m^2 de lechos filtrantes, razón por la cual se tiene 6 lechos de secado techados de 18.5 m de largo por 9.50 m de ancho, para atender la producción de lodos a ser generados en esta planta de tratamiento de aguas residuales.

La forma más sencilla de tratamiento es el secado de lodos en lechos. El lodo tiene bastante contenido líquido; el suelo es conformado por diferentes materiales cuya función es filtrar el residuo liquido de los lodos, al fondo de estos materiales se encuentra un sistema de drenaje que recolecta los fluidos y los conduce hacia el punto de ingreso de agua de la planta.

Después por medio de radiación solar se deshidrata los lodos hasta dejarlos en forma sólida por un periodo de 1 a 4 semanas. Determinar cuál es el espesor más conveniente de la capa de lodos es experimentalmente, pero se debe tener en cuenta que no se debe vaciar lodos húmedos sobre lodos secos o parcialmente secos. Finalmente, los lodos que han perdido bastante humedad se agrietan pudiéndose retirar con pala.

E. Etapa de desinfección

La desinfección es un proceso selectivo para la destrucción de los microorganismos patógenos, involucra un tratamiento especializado mediante el empleo de un agente físico o químico para la destrucción de aquellos microorganismos que pueden ser peligrosos o que sean objetables por inconvenientes o molestosos.

Para la desinfección en aguas residuales se utiliza cloro gaseoso, este dosificador de tipo compacto en el que la presión del gas cloro proveniente del cilindro es reducido en el aparato que regula la cantidad por dosificador por medio de un rotómetro. Luego el cloro es enviado al punto de aplicación por presión. La aplicación es efectuada por medio de un difusor colocando dentro de la masa líquida a desinfectar. Este clorador ha sido seleccionado porque no se requiere energía eléctrica para su funcionamiento.

La cloración consiste en adicionar cloro al agua con el objetivo de:

- Desinfectarla
- Controlar olores y sabores
- Remover color
- Remover hierro y manganeso.
- Prevenir crecimiento de algas y microorganismos.

(Programa de Mejoramiento y Ampliación de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de las principales ciudades del departamento de Cajamarca, S/F)

F. Descarga del efluente al cuerpo receptor

El Gobierno Regional de Cajamarca por intermedio de la Unidad ejecutora de programas regionales (PROREGIÓN) no tiene por objetivo el reúso de las aguas tratadas de la PTAR de Cajabamba, no ha desarrollado ningún proyecto que implique la administración, identificación de beneficiarios, sistemas de riego, ni especies de cultivo. Por lo que el agua residual tratada es vertida al río lanla.

IV. MÉTODOS O ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS

El proyecto se realizó utilizando la metodología de cumplimiento de objetivos, los cuales fueron planteados para seguir un orden de actividades en un tiempo determinado. El inicio del proyecto se da por la necesidad de aprovechar los lodos residuales generados en su Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Cajabamba; para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo un estudio previo de localización, estudio del tratamiento de las aguas residuales que se realiza en la PTAR y variables medio ambientales que pueden influir en el aumento del caudal del efluente.

A. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental cuya fundamentación es el análisis y tratamiento de lodos residuales para la obtención de compost y ladrillos combustibles, por lo que se utilizarán métodos hipotético-deductivo, analíticos y revisión bibliográfica como sustento teórico del análisis.

B. Tipo de Investigación

El tipo de estudio de la presente investigación, según el nivel de profundización en el objeto de estudio, es explicativa porque se centra en el análisis de lodos residuales, en el tratamiento de los mismos y en la obtención de compost y ladrillos combustibles.

Es cuantitativa porque se recopila datos que son analizados e interpretados mediante observación, deducción y así también mediante cálculos se determina un buen compost y el mejor ladrillo combustible o pellets con respecto a su eficiencia y poder calorífico.

Es prospectivo pues los resultados del análisis de laboratorio de compost y del análisis estadístico de los ladrillos combustibles, son datos planeados recogidos a propósito de la investigación (primarios).

Según el periodo temporal en que se realiza esta investigación es longitudinal, porque al analizar y tratar los lodos residuales para la obtención de compost y ladrillos combustibles, nos permite ver la evolución de las características y variables observadas a lo largo de un periodo concreto (comparaciones antes-después).

Se emplea el método lógico, también conocido como inductivo en la investigación, que es el razonamiento que, partiendo de casos particulares, se eleva a conocimientos generales. Como la elaboración de compost y los análisis del mismo que está basada en conocimientos y estudios previos a esta investigación.

4.1. Etapa 01

4.1.1. Método:

Fue necesario conocer la planta de tratamiento de aguas residuales y los lodos generados en la misma ciudad, para esto se realizó el levantamiento de información primaria y secundaria.

4.1.1.1. Información primaria

Se realizaron visitas a las oficinas de la Unidad ejecutora de programas regionales – PROREGION Cajabamba, encargada de la operatividad de la PTAR-Cajabamba, en donde en diferentes entrevistas se presentó la intención de formular una propuesta para el manejo de los lodos y se concertaron visitas a la planta de tratamiento.

Cabe mencionar que la PTAR-Cajabamba no cuenta con datos de laboratorio ni estadísticos, tales como: sólidos suspendidos totales (SST) ni la medición de caudal de agua, que determina la cantidad total de lodos generados.

4.1.1.2. Información secundaria

4.1.1.2.1. Primera actividad:

Se realizó el análisis para determinar el parámetro de sólidos suspendidos totales (SST). (Ver Anexo 01) y medición del caudal del afluente de la PTAR-Cajabamba, información básica que nos permite calcular la generación total de lodos.

A. Determinación de SST

Las aguas residuales de la PTAR de Cajabamba fueron sometidas a pruebas en el laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro Nº LE 026, NKAP Laboratorios.

- **Técnica de muestreo:** Se tomó dos (02) muestras aleatorias simples en el ingreso del afluente (cámara de rejillas), se envasó en frascos de plástico y se transportó en coolers para mantener una temperatura adecuada. Posteriormente se llevó al laboratorio, NKAP LABORATORIOS, que determinó los siguientes valores.

Tabla Nº 8 *Resultado de muestra aleatoria simple: afluente para TSS 01.*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Sólidos Suspendidos totales	TSS	mg/L	300.0
Norma-Método			SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.D 22nd Ed.2012
Método de Ensayo			Físico – Químico
Fecha de muestreo			09/05/2019

Fuente: *(NKAP Laboratorios, 2019)*

Tabla Nº 9 *Resultado de muestra aleatoria simple: afluente para TSS 02*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Sólidos suspendidos totales	TSS	mg/L	135.5
Norma-método			SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.D 22nd Ed.2012
Método de ensayo			Físico – Químico
Fecha de muestreo			20/05/2019

Fuente: (NKAP Laboratorios, 2019)

- **Promedio de sólidos suspendidos totales del efluente:** Al tener dos resultados de este parámetro**,** procedemos a calcular el promedio, dato que nos sirve para determinar la generación total de lodos de la PTAR.

$$\text{SST} = \frac{300\ \text{mg/L} + 135.5\ \text{mg/L}}{2}$$

$$\text{SST} = 217.75\ \text{mg/L}$$

B. Medición del caudal del afluente de la PTAR-Cajabamba

Se utilizó el método del flotador para determinar el caudal del agua residual sugerida por el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídrico Superficiales. (Autoridad Nacional del Agua, 2016, págs. 43-44)

- **Preparación de un flotador:** Se utilizó una esfera de tecnopor de 8 cm de diámetro para que flote sobre la superficie del afluente.
- **Tramo de medición:** Se consideró medir en la entrada del afluente (canal Parshall), debido que, en este tramo el agua es tranquila y exenta de plantas acuáticas, de manera que el flotador se mueva con facilidad y suavidad. El tramo de longitud AA a BB es recto de una distancia de 1 m, el ancho AA es de 0.285 m y de profundidad es 0.54 m.

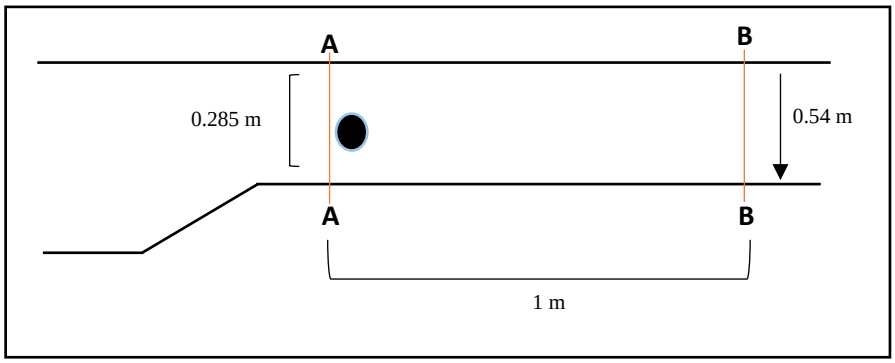


Figura Nº 2 Tramo de mediciones
Fuente: Elaboración propia

- **Determinación de la velocidad media del agua residual:** Se coloca el flotador en el centro del canal, a unos pocos metros aguas arriba de la línea AA y se suelta suavemente en el afluente. Póngase en la línea BB y empleando el reloj mida exactamente el tiempo (en segundos) que tarda el flotador en recorrer la distancia de AA a BB.

Tabla Nº 10 *Tiempos medidos para el flotador.*

Tiempos	Segundos
T_1	13.01
T_2	13.02
T_3	12.99

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se calcula el tiempo medio que ha tardado el flotador en ir de AA a BB. Sumaremos las medidas y dividimos entre tres (03).

$$T_M = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}$$

$$T_M = \frac{13.01 + 13.02 + 12.99}{3}$$

$$T_M = 13.0\ s$$

Luego calculamos la velocidad de la superficie del agua (en m/s) dividiendo la distancia de AA a BB (1m) por el tiempo medio (en segundos) y multiplicando este resultado por 0,9 (un coeficiente de corrección) para estimar la velocidad media del agua del arroyo.

$$V_M = \frac{1\,m}{13\,s} \times 0.9$$

$$V_M = 0.069\ {}^{m}/_{S}$$

- **Cálculo de la profundidad media**

La profundidad media es la profundidad del canal (54 cm o 0.54 m)

$$P_M = 0.54\,m$$

- **Cálculo del caudal del agua**

Para calcular el caudal (en m^3) se multiplica la velocidad media del agua (en m/s) por la anchura media (en m) y por la profundidad media (en m).

$$\text{Caudal} = \text{A}_\text{M} \times \text{V}_\text{M} \times \text{P}_\text{M}$$

$$\text{Caudal} = 0.285 \times 0.069\,{}^{\text{m}}/_{\text{S}} \times 0.54\text{m}$$

$$\text{Caudal} = 0.011\,{}^{\text{m}^3}/_{\text{S}} \text{ o } 10.655\,{}^{L}/_{\text{S}}$$

C. Determinación de la generación total de lodos

Para determinar la cantidad de lodos generados en la PTAR-Cajabamba se utiliza el cálculo obtenido en el ítem A (SST = 217.75 mg/L) y el cálculo obtenido en el ítem B (Caudal = $0.011\,{}^{\text{m}^3}/_{\text{S}}$ o $10.655\,{}^{\text{L}}/_{\text{S}}$)

$$\text{Generación total de lodos} = 217.75\ \text{mg/L} \times 10.655\ \text{L/s}$$

$$\text{Generación total de lodos} = 2320.04\ \text{mg/s}$$

$$\text{Generación total de lodos} = 200.452 \text{ kg/día}$$

4.1.1.2.2. Segunda Actividad:

Se considera metodológicamente al lodo residual como análogo a un suelo.

La caracterización físico-química de los lodos provenientes de la PTAR– Cajabamba se lleva a cabo en el laboratorio de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca – INIA (ver Anexo Nº 02) y la caracterización biológica en el Laboratorio Regional del Agua (ver Anexo Nº 03).

Tabla Nº 11 *Resultados de análisis físico-químico del lodo.*

Nombre parcela	Lodo
Código de Laboratorio	SU0422-EEBI-19
Fósforo (P) – ppm	43.75
Potasio (K) – ppm	320.0
pH	6.8
Materia Orgánica (M.O) - %	24.96
Nitrógeno (N) - %	1.13
Carbón Orgánico - %	12.34

Fuente: (Estación Experimental Agraria de los Baños del Inca, 2019)

Tabla Nº 12 *Resultados de análisis biológicos del lodo.*

Matriz	Lodo
Parámetro	0
Huevos de Helmintos	
Unidad	HH/2g ST

Fuente: (Laboratorio Regional del Agua, 2019)

4.2. Etapa 02

4.2.1. Método:

Partiendo de los resultados obtenidos del laboratorio del análisis físico-químico y biológicos de los lodos, se desarrolló las alternativas de compostaje y ladrillos combustibles.

4.2.1.1. Propuesta para desarrollar compostaje

4.2.1.1.1. Información primaria:

Como primera alternativa de tesis se propuso la obtención de abono orgánico, utilizando los resultados del análisis físico-químico y biológico. Se consideró realizar tres (03) pruebas con diferentes volúmenes de los componentes (lodo, hojarascas de maíz y estiércol de cuy) con la finalidad de obtener compost.

4.2.1.1.2. Información secundaria:

Metodología utilizada para realizar compostaje.

A. Descripción de los materiales a utilizar en el compostaje

En este trabajo de tesis se propuso la obtención de abono orgánico, utilizando como materia prima los lodos obtenidos de la Planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba.

Los lodos se mezclaron con otros materiales para obtener un compost de buena calidad, como hojarasca de maíz y estiércol de cuy. A continuación, se describirán los tres materiales utilizados en la elaboración del abono orgánico.

- **Lodos:**

Son los lodos acumulados en el fondo de los tanques imhoff producto del tratamiento convencional realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba.

Para este estudio de tesis, en el mes de mayo de 2019 se caracterizaron estos lodos, tomándose muestras para su análisis físico, químico y biológico en el laboratorio de la Estación experimental agraria Baños del Inca – INIA y laboratorio regional del agua respectivamente. Los resultados de los análisis se muestran en el Anexo 02 y Anexo 03.

La metodología del muestreo consistió en cuadricular la zona en donde estaban almacenados los lodos (lecho de secado Nº 4); el área total ocupada por los lodos se dividió en 35 cuadrantes, en cada cuadrante con una medida de 2 m x 2.6 m. De toda la cancha de

secado se tomaron 3 cuadrantes (C1, C2 y C3) de donde se extrajeron las muestras (ver figura N° 3).

Luego del muestreo, las muestras se llevan al laboratorio para sus respectivos análisis.

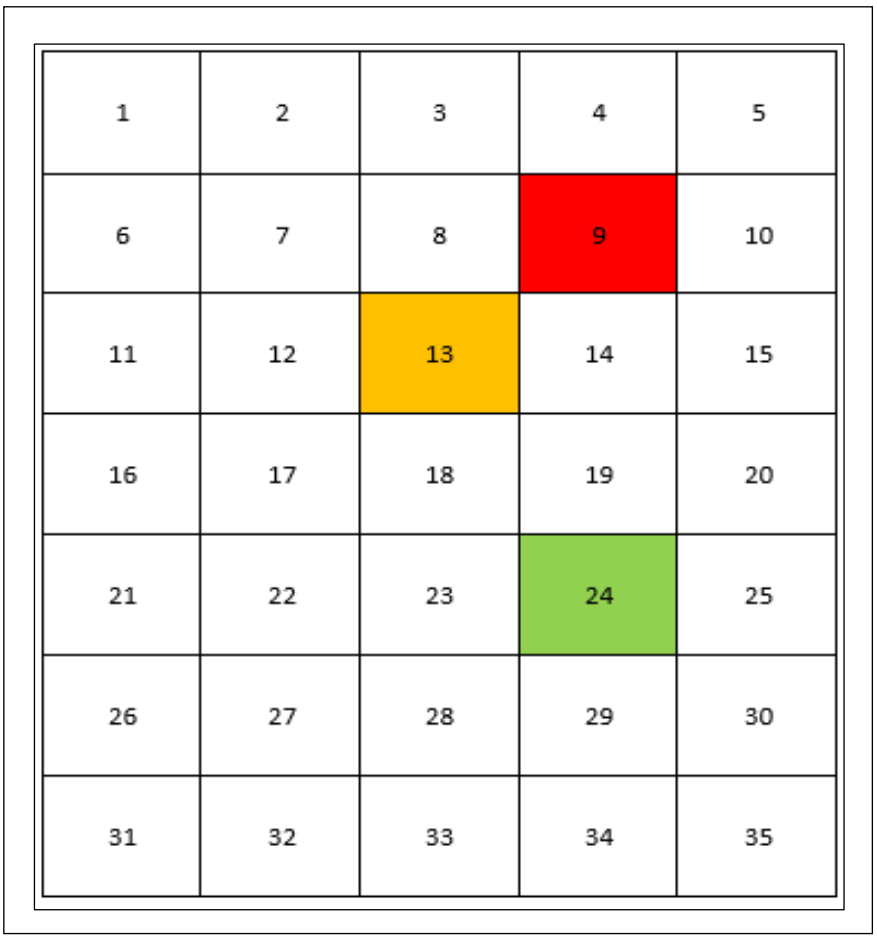


Figura Nº 3 Forma en que se tomaron las muestras de la cancha de secado Nº 04.
Fuente: Elaboración propia

- **Hojarascas de maíz**

La hojarasca de maíz, se produce por la caída de las hojas de maíz. Para este estudio, en el mes de mayo de 2019, se considera éstas hojarascas como componente para lograr un buen compost.

- **Abono Orgánico**

El abono orgánico utilizado es el estiércol de cuy, debido que Cajabamba es zona productora de dicho animal. El abono nos ayuda a mejorar las características físicas, químicas y biológicas del lodo residual.

B. Cuantificación de los materiales utilizados en el compostaje

En este estudio se realizó la cuantificación de volúmenes de los materiales utilizados en el compostaje, los datos se muestran a continuación.

- **Cuantificación de lodos:** En el caso de los lodos, se extrajo tres (03) baldes de 16 litros (0.016 m^3).
- **Cuantificación de hojarascas de maíz:** Se recolectó un (01) saco de 50 kg se hojarascas de maíz**,** para realizar las tres (03) pruebas de compost.
- **Cuantificación de abono orgánico:** Se recolectó un (01) balde de 16 litros (0.016 m^3) de estiércol de cuy.

C. Metodología utilizada para la construcción de pilas de compostaje

En la parte experimental de estudio de tesis se realizaron tres (03) tratamientos, por lo que se obtuvo tres (03) pilas de compostaje.

El objetivo de realizar tres (03) tratamientos es saber cuál de todos es el más óptimo, de esta manera nos aseguramos que no haya variaciones significativas en los resultados, es decir, obtener datos más confiables.

Cada tratamiento se conformó con diferente proporción de materiales, como se muestra en la tabla Nº 13.

Tabla Nº 13 *Proporciones de los materiales utilizados en los 3 tratamientos de las composteras.*

	Lodo (%)	Hojarasca de maíz (%)	Abono orgánico (%)
Tratamiento 1	60 %	30 %	10 %
Tratamiento 2	50 %	30 %	20 %
Tratamiento 3	40 %	30 %	30 %

Fuente: Elaboración propia

Para este trabajo se utilizó un sistema de compostaje abierto con pilas dinámicas, descrito en el apartado 3.2.7.2.4, y se empleó la metodología de compostaje descrita en el mismo apartado. A continuación, se muestran todos los pasos que se han seguido en este estudio para la construcción de las 03 pilas de compostaje.

- **Ubicación de las pilas**

El primer paso para comenzar a compostar el material fue escoger el lugar de compostaje, en donde se llevó a cabo el trabajo de investigación. Se determinó hacerla en la ciudad de Cajabamba, en el caserío Pampa Grande (Av. Víctor Raúl Haya de la Torre), a este lugar se le denominó área de compostaje con el objetivo de realizar estudios similares de compostación.

Figura Nº 4 Ubicación del área de compostaje
Fuente: Elaboración propia

- **Preparación de las Composteras**

Luego de determinar el lugar de compostaje, se prosiguió con el acondicionamiento del mismo en cajas de madera recubiertas con cartón de celdas de huevos. Además, se preparó el techo fabricado con palos de madera.

- **Distribución y dimensionamiento de las pilas**

Se dispuso de un área de 5 m de largo y 3 m de ancho para este trabajo de investigación y se optó por realizar un diseño con 03 pilas de compostaje (0.6 m de largo, 0.7 m de ancho y 0.45 m de alto) distribuidas en el siguiente orden como muestra la imagen.

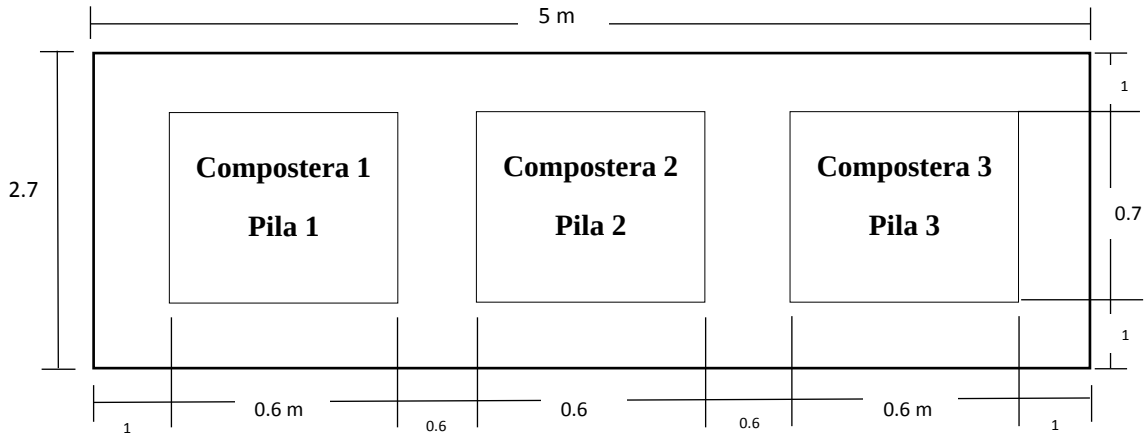


Figura Nº 5 Distribución de la pilas de compostaje.
Fuente: Elaboración propia

- **Recolección de los materiales**

Luego de determinar las dimensiones y distribución de las pilas, se procedió a recolectar los materiales utilizados en el compostaje.

El lodo residual es recolectado de la planta de tratamiento de agua residuales (costado del río lanla), las hojarascas de maíz fueron recolectados de los terrenos cercanos de la planta de tratamiento. El estiércol de cuy es seleccionado del caserío Pampa Grande (Av. Víctor Raúl Haya de la Torre). La cantidad requerida de cada material se acopió y trasladó al área de compostaje.

- **Composición y distribución de los materiales en las pilas de compostaje**

Se determinó que cada pila estaría conformada por 30 L de material a compostar, siendo los materiales: lodo residual, hojarasca de maíz y estiércol de cuy, en las proporciones mostradas en la tabla Nº 13, para lo cual utilizamos una jarra graduada para medir los volúmenes correspondientes. Estas proporciones se eligieron de tal forma que compensen

la cantidad de relación C/N presente en la mezcla de los materiales, como se muestra en la tabla N° 14.

Tabla Nº 14 *Cantidad de material utilizado por tratamiento.*

	Lodo (L)	Hojarasca de maíz (L)	Abono orgánico (L)
Tratamiento 1	18 litros	9 litros	3 litros
Tratamiento 2	15 litros	9 litros	6 litros
Tratamiento 3	12 litros	9 litros	9 litros

Fuente: Elaboración propia

Se eligió una distribución de los materiales por capas, cada material se dividió en tres capas, para asegurar una adecuada mezcla y descomposición. Cada capa estuvo conformada por la tercera parte del material a utilizar en cada tratamiento, mostrados en la tabla Nº 16 y la distribución como se muestra en la figura N°6.

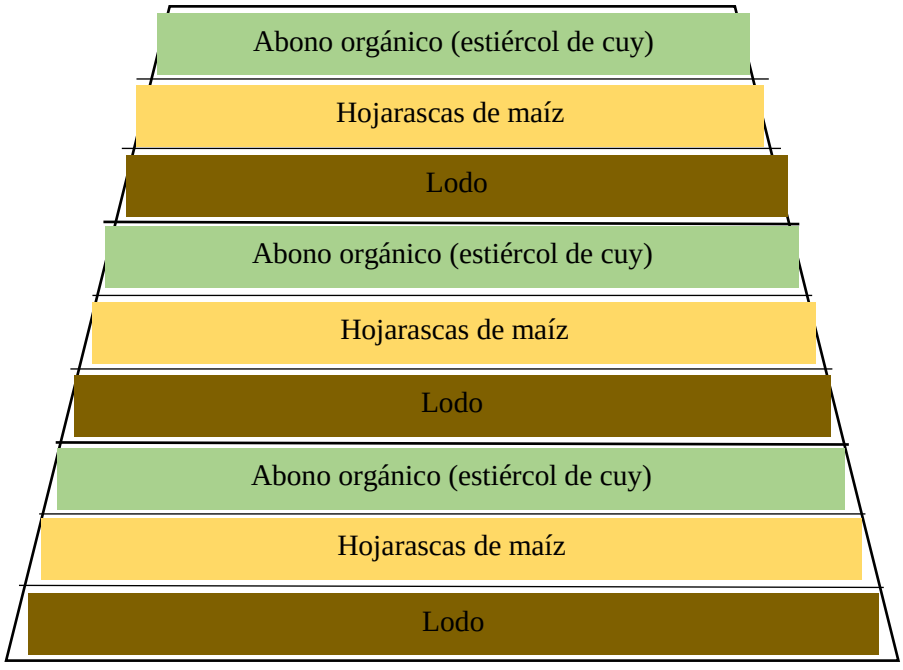


Figura Nº 6 Distribución de los materiales por capas para la construcción de las pilas.

Fuente: Elaboración propia

- **Formación de las pilas de compostaje**

Luego de determinar la distribución y composición de los materiales, se procedieron a construir las 3 pilas de compostaje en diferentes cajas que permitan la operatividad del proceso, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

- Se colocó celdillas de cartón en el inferior y en solo 2 lados de la caja compostera de madera. Ver imagen Nº 1.
- Se procedió a pesar la cantidad de material a utilizar en cada compostera y se repartió según las cantidades y orden mostrados en el apartado anterior.
- A medida que se colocaba cada capa se regaba para humedecer la pila.
- Una pila está terminada cuando se colocan todas las capas de material correspondiente y se le da un riego final a toda la mezcla. Ver imagen Nº 2.

Imagen Nº 1 Acondicionamiento de las cajas composteras con celdillas de cartón.

Imagen Nº 2 Pilas de compostaje terminadas.

D. Monitoreo y control del proceso de compostaje

En esta investigación para acelerar el proceso de descomposición del compost se debe aplicar volteos periódicos. Así mismo, se debe monitorear y controlar la temperatura como también la humedad a lo largo de todo el proceso de compostaje, siendo estos los parámetros que aseguren un desarrollo del proceso en condiciones óptimas.

En el trabajo de investigación se realizaron volteos, seguimientos de humedad y temperaturas por un periodo de 121 días.

- **Frecuencia de volteos**

La frecuencia de los volteos consistió en revolver toda la mezcla de materiales, utilizando una herramienta (pico de jardinería).

Los volteos se realizaron una vez por semana, los días sábados, a lo largo de todo el proceso de compostaje (18 semanas). Ver imagen Nº 3.

Imagen Nº 3 Volteo de la pila de compostaje.

- **Regulación y medición de la humedad**

Las pilas deben tener una cantidad de humedad requerida, evitando que se sequen o se saturen de agua, por ello se regaron todos los días por las mañanas. El riego se realizó a lo largo de todo el proceso de compostaje, a excepción de la última semana con el fin de

asegurar un compost de una mejor textura y que a su vez el tamizado se realice más fácilmente.

También se realizó un control de la humedad utilizando un método empírico denominado "método del puño", el cual se realizó cada semana tomando en cuenta los siguientes pasos:

- Poner en la mano una muestra de material.
- Cerrar la mano y apretar fuertemente el mismo.
- Si con esta operación se verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces se puede establecer que el material contiene más de un 40% de humedad.
- Si el material no gotea y cuando se abre el puño de la mano permanece moldeado, se estima que la humedad está entre el 20% y 30%.
- Finalmente, si se abre el puño y el material se disgrega, se asume que el material contiene una humedad inferior al 20%.

No se tuvo interferencia con la humedad de lluvia porque se colocó un techo.

- **Medición de la temperatura**

El monitoreo y control de este parámetro a lo largo de todo el proceso de compostaje es de vital importancia, evita que la temperatura se eleve demasiado durante todo el proceso y al mismo tiempo permite conocer cuándo se llega a la temperatura ambiente, temperatura a la cual el compost se encuentra en la etapa de maduración y listo para poder ser usado.

En el trabajo se llevó un control de dos días a la semana de este parámetro, los días lunes y viernes a las 8:30 de la mañana antes de su riego a lo largo del proceso de compostaje. Se utilizó un termómetro digital.

E. Obtención de muestras para el laboratorio con el fin de determinar su composición físico-química.

Terminado el proceso de descomposición se procedió a realizar el análisis de los parámetros vistos en el apartado de la tabla Nº 6, especificaciones referenciales de la

calidad de compost, por lo que se tomaron muestras de cada pila de compostaje para luego ser analizadas en el laboratorio de la estación experimental agraria Baños del Inca – INIA

Para realizar estos análisis se tomó una muestra por cada pila de compostaje. Los muestreos fueron tomados al momento en que se voltearon las pilas, de esta manera se aseguró una toma de muestras homogéneas y representativas de cada pila.

La metodología utilizada para realizar el muestreo fue la siguiente:

- Al termino del proceso de compostaje se realizó el último volteo de las pilas, utilizando guantes de látex, se fue recogiendo muestras con la mano y colocándola en una bolsa plástica, previamente rotulada con el número de tratamiento.
- Cada bolsa contenía un promedio de 500 g de muestra representativa en cada pila.
- Posteriormente se selló la bolsa plástica y se llevó al laboratorio correspondiente.

4.2.1.2. Propuesta para desarrollar ladrillos combustibles (pellets).

4.2.1.2.1. Información primaria:

Como segunda alternativa para el reaprovechamiento de lodos residuales se desarrolló la fabricación de ladrillos combustibles o pellets, para determinar el poder calorífico y eficiencia.

4.2.1.2.2. Información secundaria:

El proceso que se persigue es darle al lodo forma, tamaño y condiciones adecuadas para su uso como combustible sólido. Para ello es necesario que los desechos orgánicos pasen por diversos procesos a continuación se describe la metodología utilizada para realizar ladrillos combustibles.

A. Descripción de los materiales a utilizar para los ladrillos combustibles (pellets).

En ésta propuesta igual que la anterior se utilizó como materia prima los lodos obtenidos de la PTAR de Cajabamba y se mezclaron con otros materiales tales como: aserrín y cáscara de trigo.

- **Lodo:**

Los lodos son obtenidos de la misma manera que se obtuvo para la propuesta de compostaje.

La metodología del muestreo consistió en seleccionar un cuadrante de la cuadrícula ya hecha para la propuesta de compostaje (lecho de secado Nº 4); el área total ocupada por los lodos se dividió en 35 cuadrantes, en cada cuadrante con una medida de 2 m x 2.6 m. De toda la cancha de secado se tomó un cuadrante (C7), como se muestra en la figura N°7.

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30
31	32	33	34	35

Figura Nº 7 Forma en que se tomó la muestra de la cancha de secada Nº 04
Fuente: Elaboración propia

- **Aserrín:**

El aserrín o serrín es el desperdicio del proceso de serrado de la madera, se obtuvo del "Aserradero Jaime" de la ciudad de Cajabamba. Este residuo se consideró utilizarlo viendo que en los últimos años ha aumentado su uso para la fabricación de briquetas destinadas a la alimentación de estufas y de pellets destinados a la alimentación de calderas de biomasa.

- **Cáscara de trigo:**

Estos residuos se obtienen después de la trillada de trigo de las cosechas cercanas a la PTAR.

B. Cuantificación de los materiales utilizados en la fabricación de ladrillos combustibles (pellets).

Para el estudio se realizó la cuantificación de volúmenes de los materiales utilizados en la fabricación de ladrillos combustibles, los datos se muestran a continuación.

- **Cuantificación de lodos:** En el caso de los lodos se extrajo un (01) balde de 16 litros (0.016 m^3).
- **Cuantificación de aserrín:** Se recolectó medio (1/2) saco de 50 kg de aserrín**.**
- **Cuantificación de cáscara de trigo:** Se recolectó medio (1/2) saco de 50 kg de cáscara de trigo.

C. Metodología utilizada para la fabricación de ladrillos combustibles (pellets).

Para ésta propuesta al igual que la de compostaje, en la parte experimental de estudio de tesis se realizaron dos (02) pruebas, de las cuales se determinó cuál tiene mejor poder calorífico y eficiencia.

Cada prueba se conformó con diferente proporción de materiales, como se muestra en la tabla Nº 15.

Tabla Nº 15 *Proporciones de los materiales utilizados en las 2 pruebas de los ladrillos combustibles.*

	Lodo (%)	Aserrín (%)	Cáscara de Trigo (%)	Cola sintética (%)	Agua (%)
Prueba 1	43	48		6	3
Prueba 2	40		49	6	5

Fuente: Elaboración propia

- **Composición de los materiales para los ladrillos combustibles (pellets).**

Se determinó que cada prueba estaría conformada por 2 litros de material a utilizar, siendo los materiales: lodo residual, aserrín y cáscara de trigo, como se muestra en la tabla Nº 16.

Tabla Nº 16 *Cantidad de material utilizado por prueba.*

	Lodo (L)	Aserrín (L)	Cáscara de Trigo (L)	Cola sintética (L)	Agua (L)
Prueba 1	1	1.1		0.14	0.077
Prueba 2	1		1.25	0.15	0.125

Fuente: Elaboración propia

- **Composición de las diferentes mezclas de los ladrillos combustibles (pellets)**

En este apartado se muestra las mezclas que se consideraron para la fabricación de los ladrillos combustibles o pellets**.**

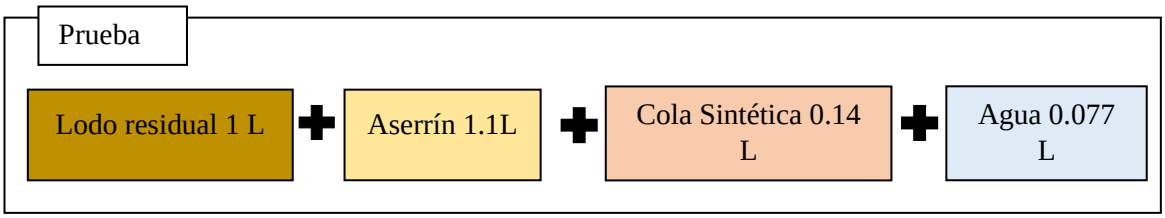


Figura Nº 8 Composición de los materiales para la prueba 1 de la fabricación de ladrillos.
Fuente: Elaboración propia

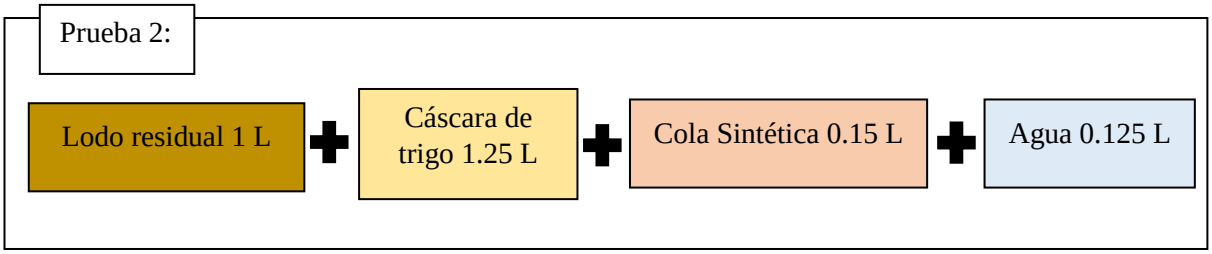


Figura Nº 9 Composición de los materiales para la prueba 2 de la fabricación de ladrillos. Fuente: Elaboración propia

- **Fabricación de los ladrillos combustibles (pellets)**

Luego de determinar la composición de la mezcla de materiales se procedieron a fabricar las tres pruebas de ladrillos con las diferentes mezclas ya mencionadas, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

- Se colocó para la primera prueba: lodo 1 L, aserrín 1.11 L, cola sintética 0.14 L y 0.077 L de agua, seguidamente se mezcla hasta tener una masa homogénea. Luego se colocó en la prensa de moldes para dejar secar. Ver imagen Nº 4.
- Para la prueba 2 se agregó lodo 1 L, cáscara de trigo 1.25 L, cola sintética 0.15 L y 0.125 L de agua. Igual que la prueba 1 se mezcló hasta tener una consistencia homogénea, seguidamente se coloca en la prensa de moldes y se deja secar. Ver imagen Nº 5.
- La prensa usada fue adaptada del autor Samamé Guzmán (2017), la cual nos ayuda a obtener moldes de un espesor de 0.5 cm y nos permite eliminar cualquier exceso de agua para un secado más rápido. Ver imagen Nº 6.

Imagen Nº 4 Mezcla de la prueba 1.

Imagen Nº 5 Mezcla de la prueba 2.

Imagen Nº 6 Prensa de moldes.

- **Secado de ladrillos combustibles (pellets).**

Una vez terminado el proceso de fabricación, se procedió a dejar secar una (01) semana de tal manera que los ladrillos eliminen por completo todo el porcentaje de agua. Ver imagen Nº 7.

Imagen Nº 7 Secado de ladrillos combustibles de aserrín y cáscara de trigo.

Este proceso permite usarlo posteriormente en quemadores para determinar cuál de las dos pruebas tiene mejor poder calorífico y eficiencia, además de hacerlo acopiable y manipulable.

D. Proceso para la obtención del poder calorífico

Cuando las briquetas de carbón hayan pasado por el proceso de secado durante varios días, procedemos a probar su productividad.

Paso 1:

Durante esta demostración física debemos de tener en cuenta que los instrumentos que utilizaremos sean idénticos. Utilizamos los siguientes instrumentos.

- Cocina artesanal de arcilla con capacidad de 1kg.
- Ollas de aluminio con capacidad de 2 L.
- Agua limpia a utilizar 1 L.
- Ladrillos combustibles de aserrín y cáscara de trigo 1kg de c/u.

- Vela y encendedor.
- Cronómetro.
- Termómetro digital.

Paso 2:

Colocar la cantidad de 1 L de agua en 02 ollas proporcionalmente con una jarra medidora, luego colocar las ollas en las cocinas respectivas, colocar ¼ de vela de cera en cada cocina el cual nos ayuda al encendido y por último colocar ½ kg de ladrillos combustibles de aserrín y cáscara de trigo respectivamente en cada cocina. Ver imagen Nº 8.

Imagen Nº 8 Encendido de ladrillos combustibles de aserrín y cáscara de trigo.

Paso 3:

Una vez encendida las 02 cocinas correspondientes, procedemos a medir el tiempo utilizando el instrumento del cronómetro, así mismo medimos la temperatura inicial del agua, datos que son importantes para más adelante.

Paso 4:

Observar minuciosamente las cocinas hasta lograr observar la cocción del agua manteniendo el orden que estas embullen y midiendo el tiempo en las que logran el burbujeo.

Paso 5:

Esta etapa se repetirá 1 vez durante 1 día, pues la temperatura de ambiente de las cocinas artesanales de arcillas cambia cuando se hace una prueba. Es por ello, que durante 10 días consecutivos se hicieron las pruebas.

Paso 6:

Con la data encontrada procedemos al cálculo aplicando la fórmula de calor dada por James Prescott Joule (1818-1989) que es:

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

Donde:

Q = es la cantidad de poder de calor que se gana, expresada en calorías.

M = es la masa del cuerpo en estudio expresada en gramos.

$C_e =$ es el calor específico del cuerpo que se coacciona, en este caso es el agua. Su valor se encuentra en tablas conocidas. Se expresa en cal/gr ºC.

T = es la variación de temperatura = Tf - Ti

Paso 7:

Los resultados encontrados del poder de calorífico van de la mano con la eficiencia que la masa puede llegar a producir, es por ello que esta data procedemos a insertar en el software estadístico de Minitab con la finalidad de encontrar resultados válidos para comparar. Véase la parte demostrativa en la figura N° 10.

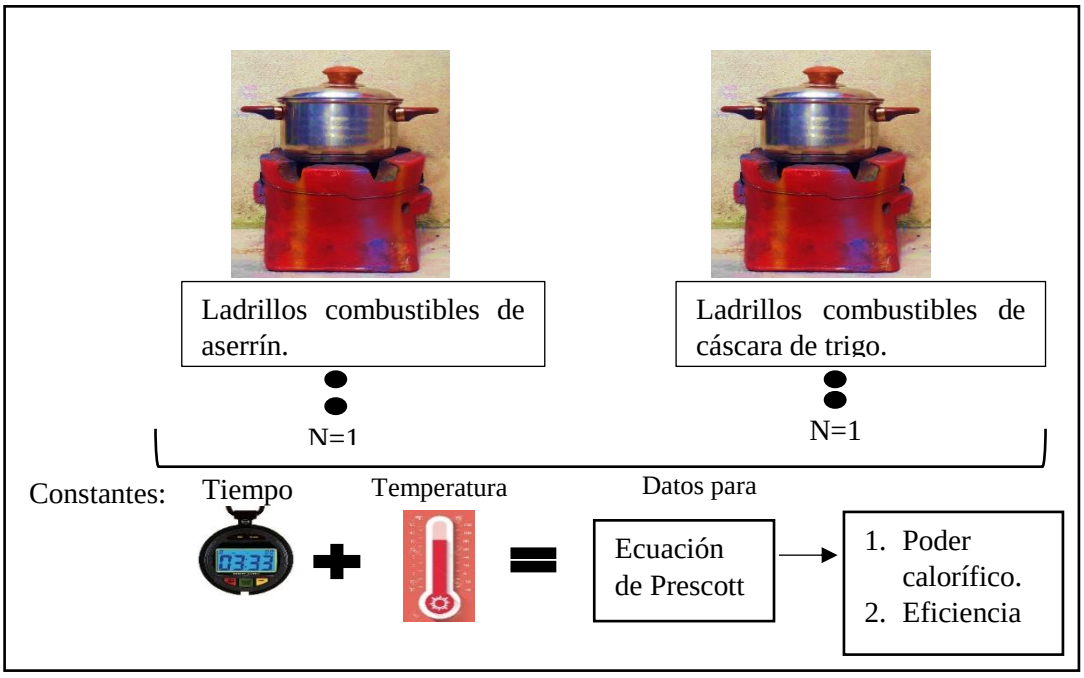


Figura Nº 10 Demostración del Proceso del Poder Calorífico.

Fuente: Elaboración propia

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados

5.1.1. Resultados de los análisis del proceso de compostaje

A continuación, se muestran los resultados de los parámetros analizados del proceso de compostaje para las 03 pilas. Los resultados que se muestran son los valores promedios de dichos parámetros. Así mismo se hizo un pequeño análisis de cada uno de ellos.

5.1.1.1. Temperatura

La temperatura se midió desde el momento en que se formaron las pilas de compostaje, siendo el "día 0", el momento en que se confeccionaron las pilas, tal como se muestra en la figura N°11.

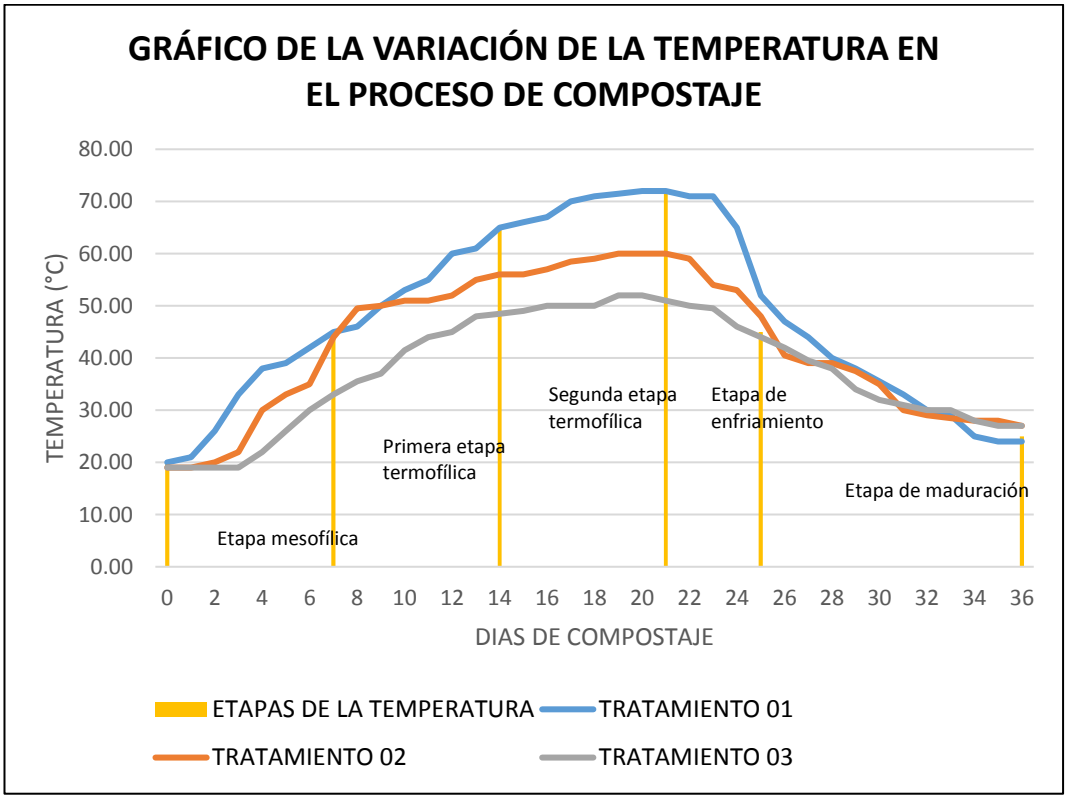


Figura Nº 11 Temperatura de los tratamientos durante el proceso de compostaje.

Fuente: Elaboración propia.

La temperatura a lo largo del proceso de compostaje tuvo un comportamiento normal en los tres tratamientos descritas en la tabla Nº 6, relación de las etapas del proceso de compostación semejante a las temperaturas obtenidas por Chunga (2014), se presentan de la siguiente manera:

- De la formación de las pilas (día 0) al día 6, la temperatura se mantuvo entre 19 y 42 °C, esto indica que el proceso de compostaje se mantuvo en la etapa mesofílica dentro de los valores mencionados en la tabla Nº 6.
- Del día 7 al día 20 la temperatura empezó a subir y se mantuvo entre 33 y 72 °C, por lo que el proceso de compostaje se encontraba en la etapa termofílica.
- Del día 21 al día 27 la temperatura empezó a disminuir hasta alcanzar los 39 °C, encontrándose en la etapa de enfriamiento.
- Del día 28 hasta el final del proceso la temperatura siguió disminuyendo de 39 °C hasta una temperatura ambiente de 24 °C, por lo que en estos días el proceso se encontró en su etapa final de maduración.

5.1.1.2. Humedad: Método empírico (método del puño)

Como se muestra en la imagen Nº 9 se controla la humedad utilizando el método empírico, el cual se realizó cada semana, se considera que la humedad a lo largo del proceso de compostaje se mantuvo en condiciones normales (40 % - 60 %), siendo valores tolerables como lo indica la tabla Nº 5 especificaciones referenciales de la calidad de compost según Chunga (2014).

Imagen Nº 9 Medición de humedad utilizando método empírico.

Los resultados obtenidos del laboratorio (anexo N° 4) del parámetro de humedad, el tratamiento 1 es el que está dentro del rango establecido según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013), mientras que los otros dos tratamientos sobrepasan minimamente el rango, como se muestra en la figura Nº 12.

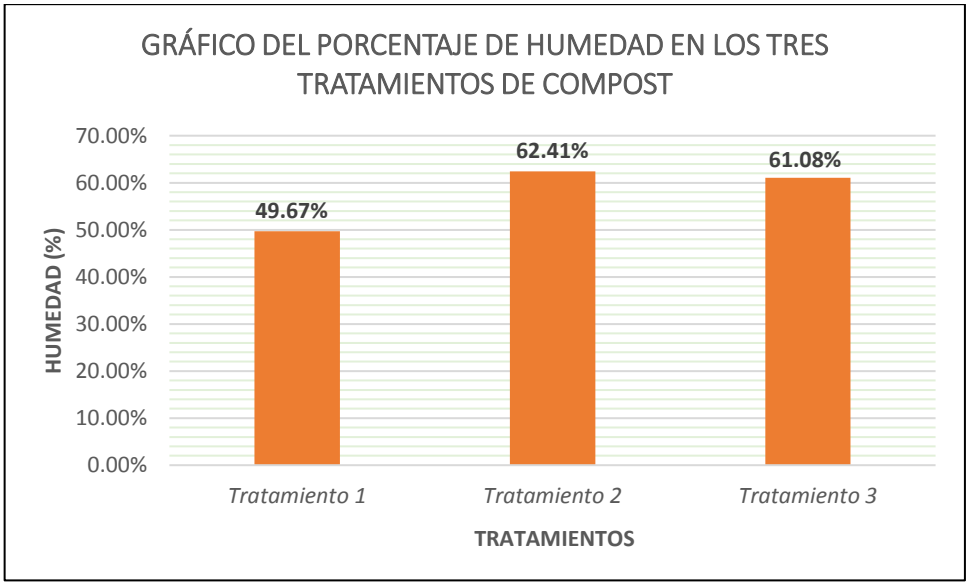


Figura Nº 12 *Niveles de humedad en los tres tratamientos.*

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.3. pH

En el proceso de compostaje de cada tratamiento se obtuvo resultados diferentes (anexo N° 4), pero el tratamiento 1 obtuvo un pH casi neutro (6.8), en comparación con los dos tratamientos que aún se encuentran dentro de los rangos permisibles de pH (6.5 - 8), según Chunga (2014). El tratamiento 1 es el que más se acerca a valores neutros de pH, como se aprecia en la figura Nº 13.

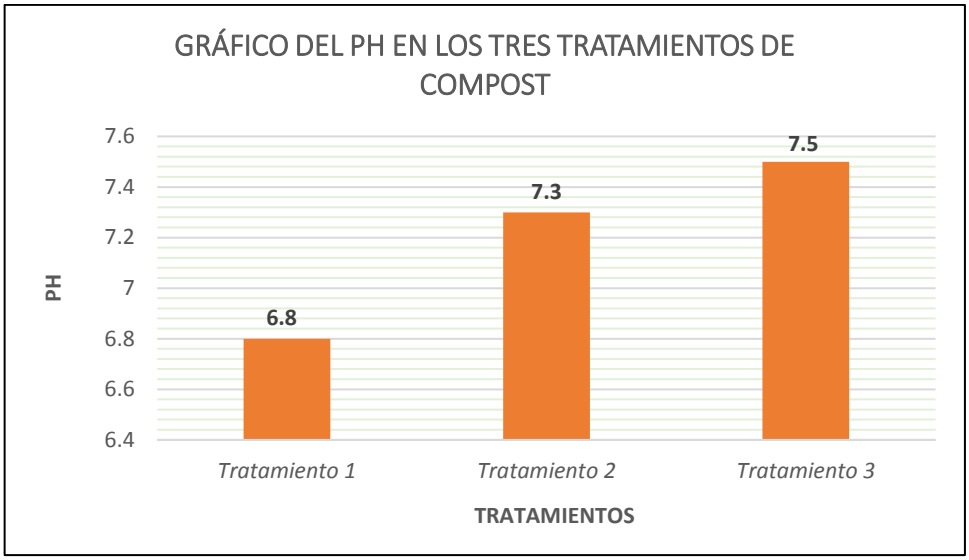


Figura Nº 13 Nivel de pH de los tres tratamientos.

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.4. Materia Orgánica

A lo largo del proceso de compostaje la proporción de materia orgánica ha ido disminuyendo hasta llegar a su nivel más bajo (11.49 %) en el tratamiento 1 del compost (anexo N° 4). Lo que demuestra que en este tratamiento hubo una mayor actividad microbiana; es decir, mayor consumo de materia orgánica por parte de los microorganismos como lo afirma Chunga (2014). Como se observa en la figura Nº 14.

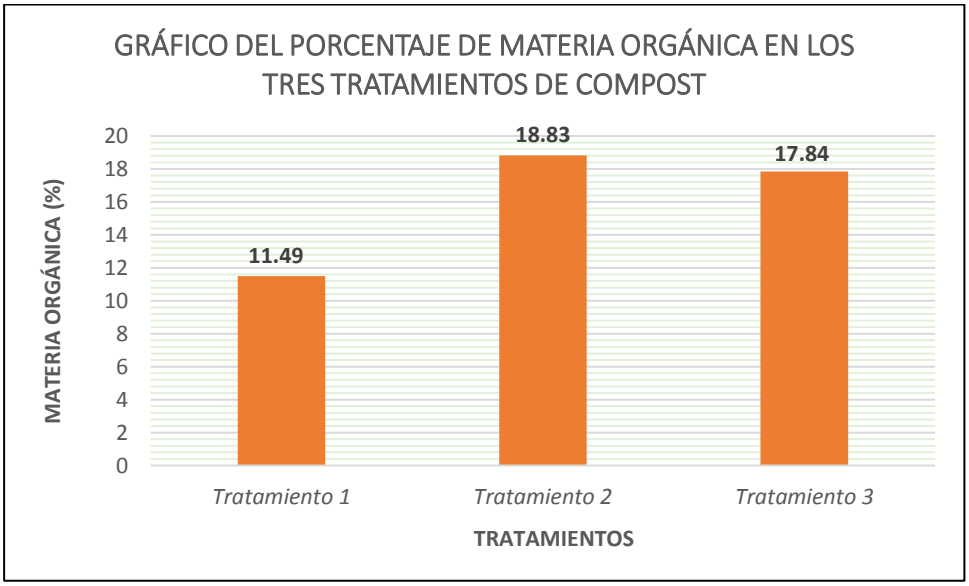


Figura Nº 14 Porcentaje de materia orgánica de los tres tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.5. Carbono Orgánico

El carbono orgánico ha ido disminuyendo a lo largo del proceso, lo cual es atribuible a su consumo como medio de energía por parte de los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica como lo describe Dios (2008). El valor más bajo de carbono orgánico se aprecia en el tratamiento 1 del compost (anexo N° 4), este consumió mayor cantidad de carbono orgánico, debido a la mayor actividad, como se puede apreciar en la figura Nº 15.

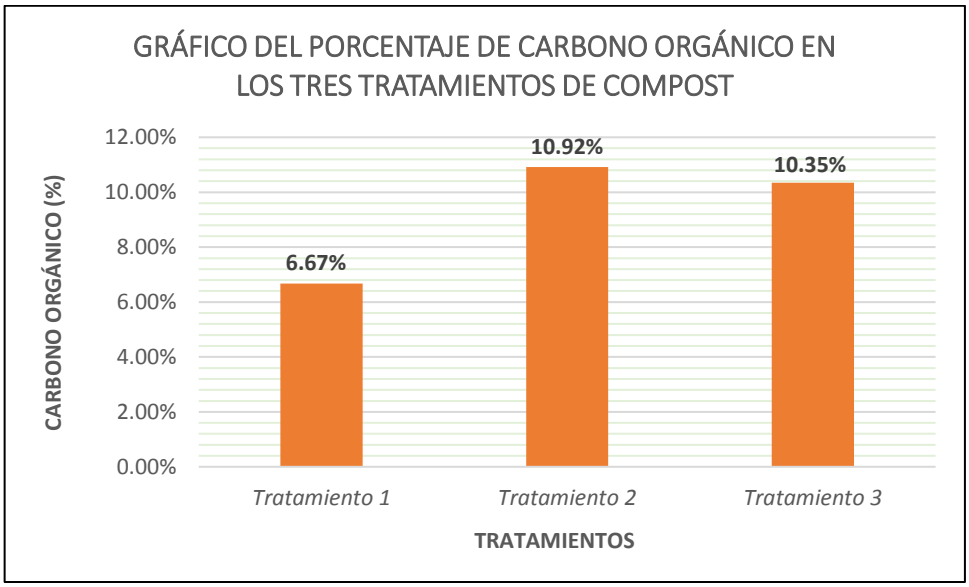


Figura Nº 15 Porcentaje de carbono orgánico de los tres tratamientos.
Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.6. Nitrógeno Total

Los resultados de nitrógeno total (anexo N° 4) muestran el contenido normal a lo largo del proceso de compostaje, como lo indica la tabla Nº 5, especificaciones referenciales de la calidad de compost según Chunga (2014). Como se ve en la figura N° 16.

El nitrógeno es utilizado por los microorganismos para la síntesis de proteínas, por lo cual se recomienda tener valores considerables de este elemento para ayudar al crecimiento microbiano como lo describe Dios (2008).

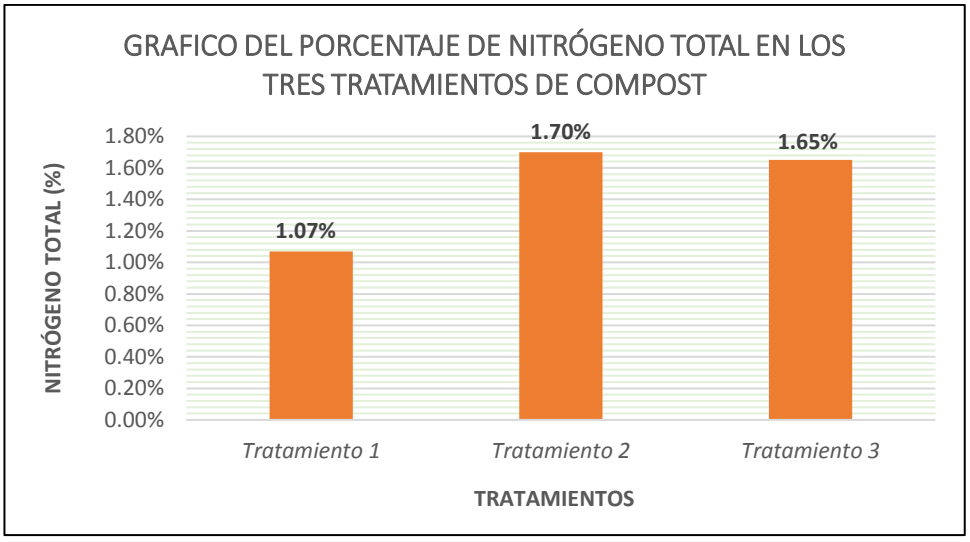


Figura Nº 16 Porcentaje de nitrógeno total de los tres tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.7. Relación carbono/nitrógeno

La relación carbono/nitrógeno se mantuvo casi constante para los tres tratamientos (anexo N° 4). Todos los tratamientos arrojaron compost de buena calidad edáfica debido que presentan una relación C/N menor a 8 como se podrá verificar en la figura N° 17, por lo que se clasifica en un compost de muy buena calidad edáfica según en la tabla Nº 7 calidad edáfica del compost en base a su relación carbono/nitrógeno de Chunga (2014).

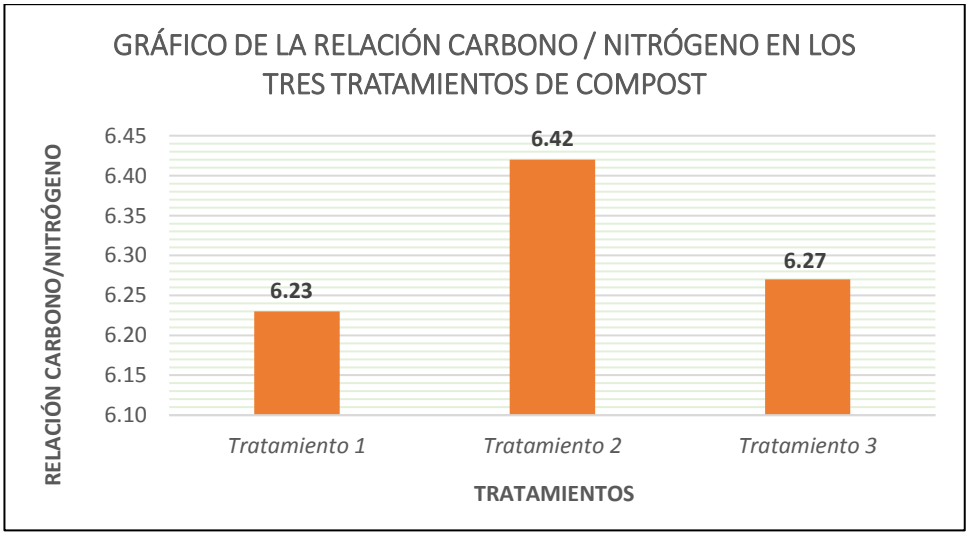


Figura Nº 17 Relación carbono/nitrógeno durante el proceso de compostaje.

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Resultados de los análisis del proceso de fabricación de ladrillos combustibles (pellets).

Después de haber procesado y fabricado los ladrillos combustibles y una vez haber ejercido 10 pruebas consecutivas en días diferentes, utilizando 2 grupos de materiales para poder probar los ladrillos combustibles hechos de aserrín y cáscara de trigo, los resultados numéricos han sido procesados utilizando la ecuación de James Prescott Joule para encontrar el poder calorífico más la eficiencia que éstos puede llegar a obtener, pasando por el análisis estadístico utilizando el software de Minitap con la finalidad de encontrar, diferenciar, analizar y llegar a una conclusión.

Tabla Nº 17 *Tabla general de resultados de poder calorífico y eficiencia.*

CANTIDAD	MASA	Ce	LADRILLOS COMBUSTIBLES DE ASERRÍN				LADRILLOS COMBUSTIBLES DE CÁSCARA DE TRIGO			
Nº de Repeticiones	1 L=1000 g	1	Tº Inicial	Tº Final	Poder Calorífico	Eficiencia	Tº Inicial	Tº Final	Poder Calorífico	Eficiencia
…….	……	cal/g* ºC	ºC	ºC	kcal	minutos	ºC	ºC	kcal	minutos
1	1000	1	20.3	92.9	72.6	16	20.3	92.9	72.6	30
2	1000	1	19	92.8	73.8	13	21.7	90.7	69	28
3	1000	1	16	91.8	75.8	15	17	91.3	74.3	27
4	1000	1	14.3	91.8	77.5	16	16.6	90.9	74.3	29
5	1000	1	17.1	92.5	75.4	14	20.8	91.7	70.9	25
6	1000	1	18.9	92.3	73.4	13	21.3	92.8	71.5	26
7	1000	1	19	92	73	15	19	92.5	73.5	28
8	1000	1	20.1	91.9	71.8	16	20.9	92.9	72	26
9	1000	1	18.8	92.6	73.8	17	18	91.9	73.9	25
10	1000	1	18	92.5	74.5	15	18.9	92.5	73.6	25

Fuente: Elaboración propia

Resultados de Poder Calorífico para pasar por el Software Estadístico

Tabla Nº 18 *Resultados de poder calorífico y eficiencia.*

LADRILLOS COMBUSTIBLES DE ASERRÍN		LADRILLOS COMBUSTIBLES DE CÁSCARA DE TRIGO	
Poder Calorífico	Eficiencia	Poder Calorífico	Eficiencia
kcal	Minutos	Kcal	Minutos
72.6	16	72.6	30
73.8	13	69	28
75.8	15	74.3	27
77.5	16	74.3	29
75.4	14	70.9	25
73.4	13	71.5	26
73	15	73.5	28
71.8	16	72	26
73.8	17	73.9	25
74.5	15	73.6	25

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Los presentes resultados de poder calorífico, son encontrados en el proceso de demostración con las cocinas artesanales aplicadas durante 10 días consecutivos, y aplicando la ecuación de Prescott ya mencionada. Estos productos son sumergidos al programa estadístico de Minitab, que es la que más se acopla a nuestros resultados, por el mismo hecho del proceso usado que son los números de repeticiones empleadas, utilizando 2 grupos diferentes de materias que son los ladrillos combustibles de aserrín y cáscara de trigo y los resultados son los siguientes gráficos.

5.1.2.1. Poder Calorífico

A. Poder calorífico en ladrillos combustibles de aserrín.

A un nivel de significancia del 0.05.

- **Verifique los supuestos del modelo: Normalidad**

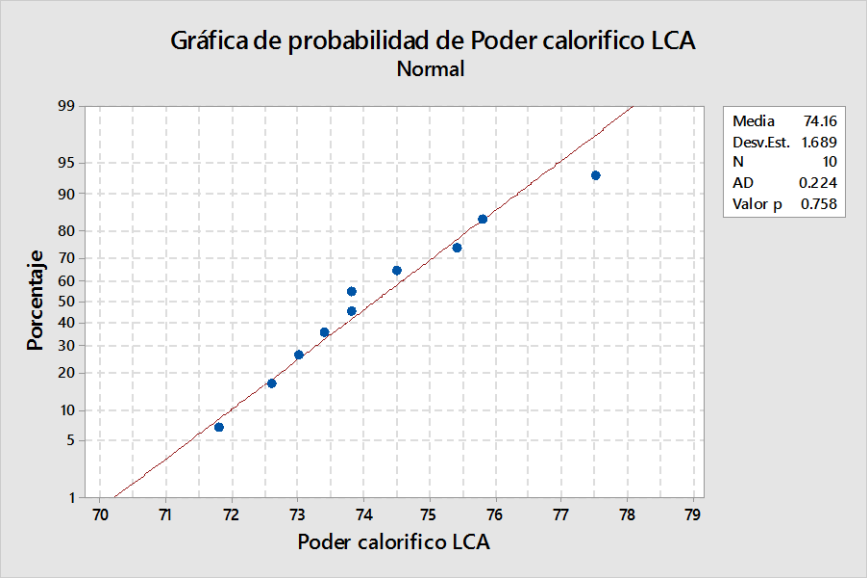


Figura Nº 18 Resultados de Minitab del poder calorífico de LC de aserrín.

Fuente: Elaboración propia

Al ver la gráfica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

Hipótesis: **H_0:** El poder calorífico se distribuyen normalmente. **H_1:** El poder calorífico no se distribuyen normalmente.
Nivel de significación: $\alpha = 0.05$
Estadístico de prueba (Anderson Darling): AD = 0.224
p- valor: p = 0.758
Decisión estadística: No se rechaza H_o
Conclusión: Con una significancia del 5%, se cumple el supuesto de normalidad.

Como el valor del estadístico de AD es 0.22 tiene una probabilidad asociada (p-valor) de 0.758 mayor al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: La distribución normal brinda un buen ajuste para la distribución del poder calorífico ladrillos combustibles de aserrín.

B. Poder calorífico en ladrillos combustibles de cáscara de trigo.

A un nivel de significancia del 0.05

- **Verifique los supuestos del modelo: Normalidad**

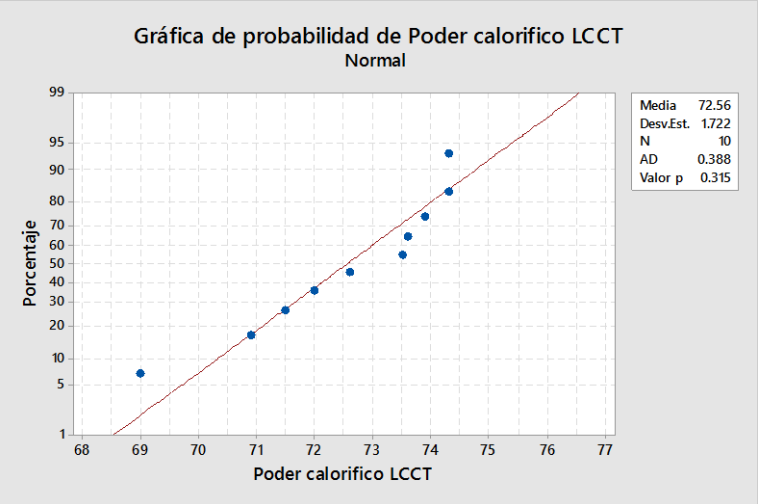


Figura Nº 19 Resultados de Minitab del poder calorífico de LC de cáscara de trigo.

Fuente: Elaboración propia

Al ver la gráfica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

Hipótesis: **H_0:** El poder calorífico se distribuyen normalmente. **H_1:** El poder calorífico no se distribuyen normalmente.
Nivel de significación: $\alpha = 0.05$
Estadístico de prueba (Anderson Darling): AD = 0.388
p- valor: p = 0.315
Decisión estadística: No se rechaza H_o
Conclusión: Con una significancia del 5%, se cumple el supuesto de normalidad.

Como el valor del estadístico de AD es 0.388 tiene una probabilidad asociada (p-valor) de 0.315 mayor al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: La distribución normal brinda un buen ajuste para la distribución del poder calorífico de ladrillos combustibles de cáscara de trigo.

- **Homogeneidad de varianzas**

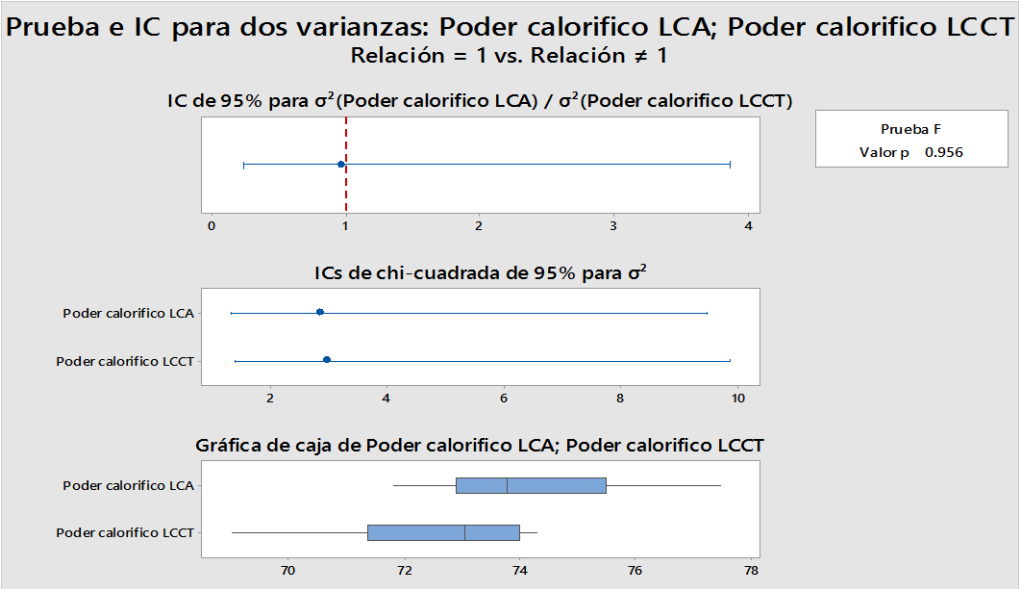


Figura Nº 20 Resultados de Homogeneidad de varianzas de poder calorífico de LC de aserrín y cáscara de trigo.

Fuente: Elaboración propia

Al ver la gráfica de homocedasticidad es evidente que las posiciones traslapadas de los intervalos de confianza indican la presencia de variabilidad constante en los datos por cada grupo.

Tabla Nº 19 *Prueba de homocedasticidad del poder calorífico de LC de aserrín y cáscara de trigo.*

Prueba				
Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
F	0.96	9	9	0.956

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis: **H_0:** $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (Homogéneas) **H_1:** $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (No homogéneas)
Nivel de significación: $\alpha = 0.05$
Estadístico de prueba: F = 0.96
p- valor: p = 0.956
Decisión estadística: No se rechaza H_o
Conclusión: Con una significancia del 5%, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Al ser el estadístico F de 0.96, con un p-valor de 0.956 mayor al nivel de significancia de 0.05, se tiene razón para no rechazar la hipótesis nula y se concluye que: Las varianzas son homogéneas para la distribución del poder calorífico ladrillos de combustibles de aserrín y cáscara de trigo.

- **Prueba de hipótesis para dos medias independientes**

Tabla Nº 20 *Pruebas de promedios de poder calorífico de LC de aserrín y cáscara de trigo*.

Estadística descriptiva				
Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media
Poder calorífico LCA	10	74.16	1.69	0.53
Poder calorífico LCCT	10	72.56	1.72	0.54

Prueba		
Valor T	GL	Valor p
2.1	18	0.05

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis: **H_0:** $\mu_1 = \mu_2$ (Los promedios de poder calorífico de los ladrillos combustibles de aserrín no difiere de los ladrillos combustibles de cáscara de trigo). **H_1:** $\mu_1 \neq \mu_2$ (Los promedios de poder calorífico de los ladrillos combustibles de aserrín difiere de los ladrillos combustibles de cáscara de trigo).
Nivel de significación: $\alpha = 0.05$
Estadístico de prueba: T = 2.1
p- valor: p = 0.05
Decisión estadística: No se rechaza Ho
Conclusión: Con una significancia del 5%, no existe diferencia significativa entre el poder calorífico de los ladrillos combustibles de aserrín con el de cáscara de trigo.

Al comparar el valor p de 0.05 con el nivel de significancia de 0.05 (p=0.05) podemos decir que no se rechaza la hipótesis nula para la igualdad de los promedios de eficiencia y se concluye que no existe diferencia significativa entre el poder calorífico de los ladrillos combustibles de aserrín con el de cáscara de trigo.

5.1.2.2. Eficiencia

A. Eficiencia en ladrillos combustibles de aserrín.

A un nivel de significancia del 0.05.

- **Verifique los supuestos del modelo: Normalidad**

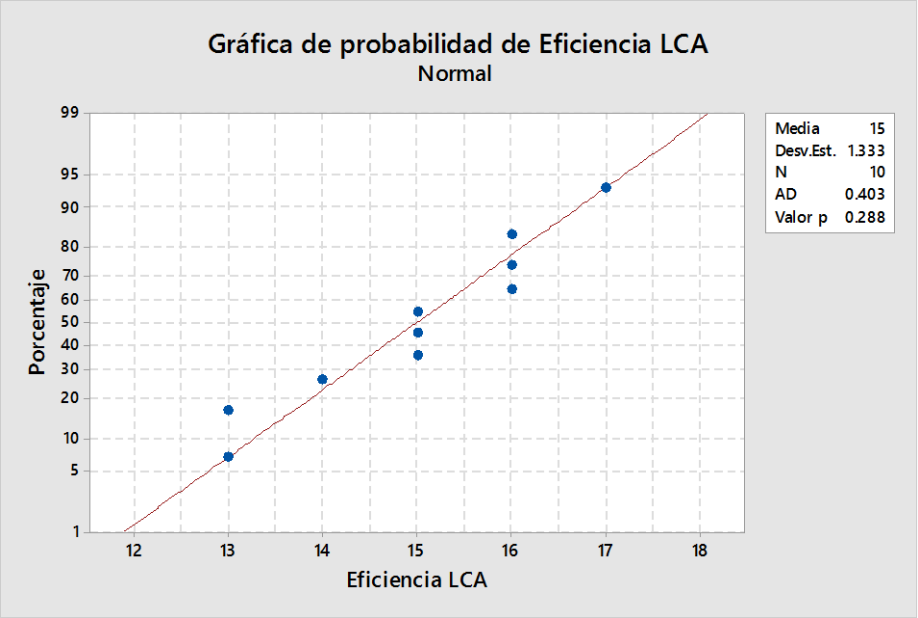


Figura Nº 21 Resultados de Minitab de la eficiencia de LC de aserrín.

Fuente: Elaboración propia

Al ver la gráfica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

Hipótesis: **H_0:** La eficiencia se distribuyen normalmente. **H_1:** La eficiencia no se distribuyen normalmente.
Nivel de significación: $\alpha = 0.05$
Estadístico de prueba (Anderson Darling): AD = 0.403
p- valor: p = 0.288
Decisión estadística: No se rechaza H_o
Conclusión: Con una significancia del 5%, se cumple el supuesto de normalidad.

Como el valor del estadístico de AD es 0.403 tiene una probabilidad asociada (p-valor) de 0.288 mayor al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, no se tiene razón para rechazar

la hipótesis nula y se concluye que: La distribución normal brinda un buen ajuste para la distribución de la eficiencia de ladrillos combustibles de aserrín.

B. Eficiencia en ladrillos combustibles de cáscara de trigo.

A un nivel de significancia del 0.05.

- **Verifique los supuestos del modelo: Normalidad**

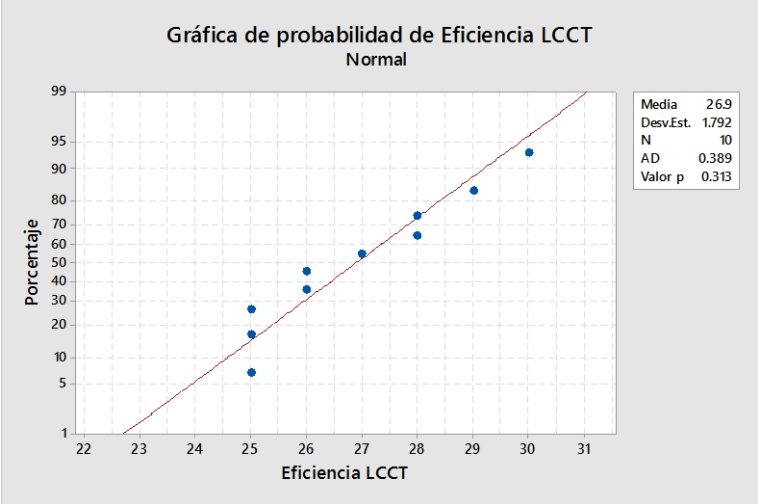


Figura Nº 22 Resultados de Minitab de la eficiencia de LC de cáscara de trigo.

Fuente: Elaboración propia

Al ver la gráfica de probabilidad normal podemos decir que los puntos aproximadamente yacen sobre una línea recta por tanto existe normalidad en los datos.

Hipótesis: **H_0:** La eficiencia se distribuyen normalmente. **H_1:** La eficiencia no se distribuyen normalmente.
Nivel de significación: $\alpha = 0.05$
Estadístico de prueba (Anderson Darling): AD = 0.389
p- valor: p = 0.313
Decisión estadística: No se rechaza H_o
Conclusión: Con una significancia del 5%, se cumple el supuesto de normalidad.

Como el valor del estadístico de AD es 0.389 tiene una probabilidad asociada (p-valor) de 0.313 mayor al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, no se tiene razón para rechazar la hipótesis nula y se concluye que: La distribución normal brinda un buen ajuste para la distribución de la eficiencia de ladrillos combustibles de cáscara de trigo.

- **Homogeneidad de varianzas**

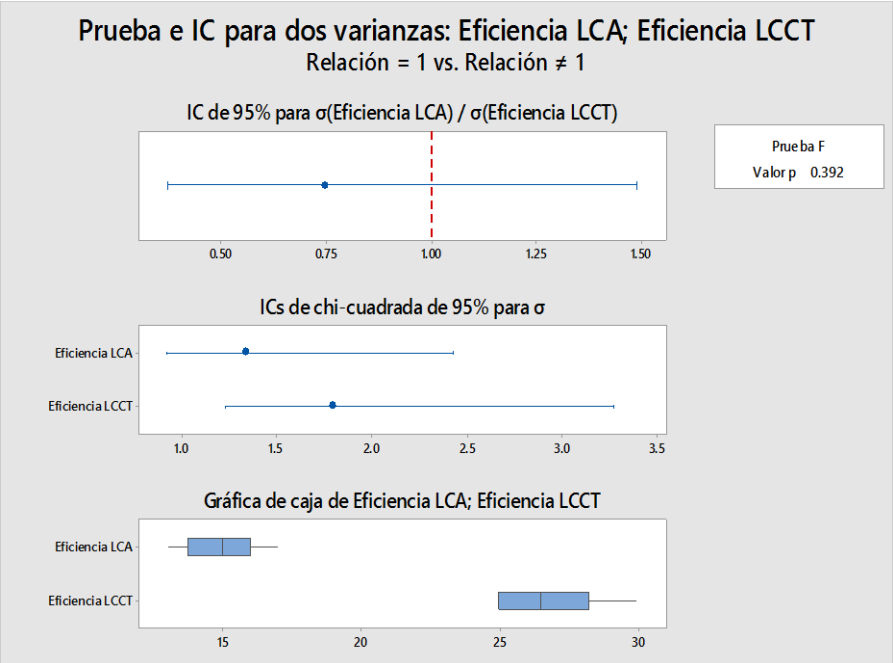


Figura Nº 23 Resultados de Homogeneidad de varianzas de eficiencia de LC de aserrín y cáscara de trigo.

Fuente: Elaboración propia

Al ver la gráfica de homocedasticidad es evidente que las posiciones traslapadas de los intervalos de confianza indican la presencia de variabilidad constante en los datos por cada grupo.

Tabla Nº 21 *Prueba de homocedasticidad de eficiencia de LC de aserrín y cáscara de trigo.*

Pruebas				
Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
F	0.55	9	9	0.392

Fuente: *Elaboración propia*

Hipótesis: **H_0:** $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (Homogéneas) **H_1:** $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (No homogéneas)
Nivel de significación: $\alpha = 0.05$
Estadístico de prueba: F = 0.55
p- valor: p = 0.392
Decisión estadística: No se rechaza H_o
Conclusión: Con una significancia del 5%, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Al ser el estadístico F es 0.55, con un p-valor de 0.392 mayor al nivel de significancia 0.05, se tiene razón para no rechazar la hipótesis nula y se concluye que: Las varianzas son homogéneas para la distribución de la eficiencia de ladrillos combustibles de aserrín y cáscara de trigo.

- **Prueba de hipótesis para dos medias independientes.**

Tabla Nº 22 *Pruebas de promedios de eficiencia de LC de aserrín y cáscara de trigo.*

Estadística descriptiva				
Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media
Eficiencia LCA	10	15	1.33	0.42
Eficiencia LCCT	10	26.9	1.79	0.57

Prueba		
Valor T	GL	Valor p
-16.85	18	0.00

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis: **H_0:** $\mu_1 = \mu_2$ (Los promedios de la eficiencia de los ladrillos combustibles de aserrín no difiere de los ladrillos combustibles de cáscara de trigo). **H_1:** $\mu_1 \neq \mu_2$ (Los promedios de la eficiencia de los ladrillos combustibles de aserrín difiere de los ladrillos combustibles de cáscara de trigo).
Nivel de significación: $\alpha = 0.05$
Estadístico de prueba: T = -16.85
p- valor: p = 0.000
Decisión estadística: Se rechaza H_o
Conclusión: Con una significancia del 5%, existe diferencia significativa entre de la eficiencia de los ladrillos combustibles de aserrín con el de cáscara de trigo.

Al comparar el valor p de 0.000 con el nivel de significancia de 0.05 ($p<0.05$) podemos decir que se rechaza la hipótesis nula para la igualdad de los promedios de eficiencia y se concluye que existe diferencia significativa entre la eficiencia de ladrillos combustibles de aserrín con el de cáscara de trigo, siendo más eficiente el ladrillo combustible de aserrín.

5.2. Discusión

5.2.1. Costo para la elaboración de 1 pila de compostaje.

Aquí se detalla los costos de los materiales utilizados para la elaboración de una pila de compostaje equivalente a 30 L, promedio entre los tres tratamientos realizados; además que la herramienta de volteo se adquirió una sola unidad y esta fue utilizada para las tres pilas de compostaje.

También, considerar que el análisis de laboratorio no es proporcional a la cantidad de compost obtenido.

Tabla Nº 23 *Costo de elaboración de una pila de compostaje.*

Inversión	Soles (s/.)
Madera para la confección de la pila de compostaje	S/5.00
Agua	S/2.00
Herramienta para volteo	S/6.00
Abono Orgánico (estiércol de cuy)	S/0.00
Hojarascas de maíz	S/0.00
Análisis de laboratorio	S/72.5
Total	S/85.50

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Costo para la fabricación de ladrillos combustibles

5.2.2.1. Unidades de ladrillo combustible elaboradas en 16 litros de lodo residual.

Se determina cuantos ladrillos de aserrín y cáscara de trigo obtendremos a partir de 16 litros de lodo. Para ello tenemos como base los siguientes datos mostrados en la Tabla Nº 18, cantidad de material utilizado por prueba, donde calculamos las siguientes cantidades:

- Aserrín: 17.8 L
- Cáscara de trigo: 20 L

A. Cantidad de ladrillos combustibles de aserrín:

Sí:

$$\frac{1\ \text{L lodo}}{16\ \text{L lodo}} = \frac{26\ \text{ladrillos}}{\mathbf{x}\ \text{ladrillos}}$$

$$\mathbf{x} = 416\ \text{ladrillos}$$

B. Cantidad de ladrillos combustibles de cáscara de trigo:

Sí:

$$\frac{1\ \text{L lodo}}{16\ \text{L lodo}} = \frac{30\ \text{ladrillos}}{\mathbf{x}\ \text{ladrillos}}$$

$$\mathbf{x} = 480\ \text{ladrillos}$$

5.2.2.2. Gastos para la elaboración de ladrillos combustibles utilizando 16 litros de lodo residual.

A. Gasto de materiales para la elaboración de ladrillos combustibles de serrín:

Se tiene en cuenta los datos mostrados en la tabla Nº 18, cantidad de material utilizado por prueba.

Detalle de insumos:

- Lodo: 1 L
- Aserrín: 1.11 L
- Cola sintética: 0.14 L
- Agua: 0.77 L

Para un balde de 16 litros de lodo que genera 416 ladrillos combustibles de aserrín.

- Gasto de cola sintética si:

$$\frac{0.14 \text{ L cola}}{\mathbf{x} \text{ L cola}} = \frac{26 \text{ ladrillos}}{416 \text{ ladrillos}} \quad \mathbf{x} = 3.64 \text{ L cola}$$

- Gasto de agua si:

$$\frac{0.077 \text{ L agua}}{\mathbf{x} \text{ L agua}} = \frac{26 \text{ ladrillos}}{416 \text{ ladrillos}} \quad \mathbf{x} = 1.232 \text{ L agua}$$

B. Gasto financiero en la elaboración de ladrillos combustibles de aserrín en 16 litros de lodo (416 ladrillos).

Tabla Nº 24 *Costo de fabricación de ladrillos combustibles de aserrín.*

Inversión	Soles (S/.)
17.8 l aserrín	s/3.00
3.64 l cola	s/22.88
1.232 l agua	s/1.00
Total	**S/26.88**

Fuente: Elaboración propia

C. Gasto de materiales para la elaboración de ladrillos combustibles de cáscara de trigo.

De la misma manera, se tiene en cuenta los datos mostrados en la tabla Nº 18, cantidad de material utilizado por prueba.

Detalle de insumos:

- Lodo: 1 L
- Cáscara de trigo: 1.25 L
- Cola sintética: 0.15 L
- Agua: 0.125 L

Para un balde de 16 litros de lodo que genera 416 ladrillos combustibles de aserrín.

- Gasto de cola sintética si:

$$\frac{0.15 \text{ L cola}}{\mathbf{x} \text{ L cola}} = \frac{30 \text{ ladrillos}}{480 \text{ ladrillos}} \quad \mathbf{x} = 2.4 \text{ L cola}$$

- Gasto de agua si:

$$\frac{0.125 \text{ L agua}}{\mathbf{x} \text{ L agua}} = \frac{30 \text{ ladrillos}}{480 \text{ ladrillos}} \quad \mathbf{x} = 2 \text{ L agua}$$

D. Gasto financiero en la elaboración de ladrillos combustibles de cáscara de trigo en 16 litro de lodo (480 ladrillos).

Tabla Nº 25 *Costo de fabricación de ladrillos combustibles de cáscara de trigo.*

Inversión	Soles (S/.)
20 L cáscara de trigo	S/5.00
1.92 L cola	S/21.12
1.6 L agua	S/1.00
Total	S/27.12

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Discusión entre tratamiento de compost y tratamiento de ladrillos combustibles.

De acuerdo con la información presentada de costos para la elaboración de 1 pila de compostaje y la fabricación de ladrillos combustibles se tienen las siguientes afirmaciones:

Económicamente es más rentable tratar el lodo residual para compost, debido que el costo de S/.85.50 de elaboración, no es para una cantidad específica. De esta manera podemos tratar 30 L de lodo residual, como se hizo en esta investigación, o tratar hasta 200 L.

Con respecto al tiempo que demora cada tratamiento, recomendamos la fabricación de ladrillos combustibles, pues en un periodo corto (3 semanas) puedes obtener desde 416 a 480 ladrillos que pueden reemplazar con normalidad al carbón de madera. En comparación con el tratamiento de compost que tiene un tiempo de proceso de aproximadamente 5 meses, en el cual interdiario se tiene que medir su temperatura y 1 vez por semana oxigenar mediante volteos de la compostera.

Ambientalmente, ambos tratamientos son factibles y recomendados, pues se encaminan en la selección de alternativas de valoración o aprovechamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba, lodos que es necesario eliminar o darles la salida más adecuada pues hacen parte del incremento en la producción de residuos sólidos.

5.2.4. Discusión de Compost

Torres et al. (2005), en su investigación "Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales", formuló la elaboración de compost a partir de la siguiente combinación de materiales como biosólidos (72%), cachaza (18%) y residuos de poda de parques y jardines (10%), obteniendo los siguientes resultados tales como: pH (7.4), materia orgánica (22.4%), humedad (35%), nitrógeno total (1.8%) y carbono orgánico (13.2%). De esta manera podemos encontrar que ambas investigaciones se encuentran dentro del rango de los parámetros físico-químicos establecidos para obtener un buen compost. La presente investigación también formuló la obtención de compost con la

combinación de tres materiales como lodos de la PTAR 60%, hojarascas de maíz 30% y abono orgánico (estiércol de cuy) 10%. Se obtuvo los siguientes resultados de laboratorio pH (6.8), materia orgánica (11.49%), humedad (49.67%), nitrógeno total (1.07%) y carbono orgánico (6.67%).

Trejos & Agudelo (2012), en su proyecto titulado "Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa comestibles La Rosa como alternativa para la generación de biosólidos", este proyecto se realizó con el fin de dar un alternativa viable al tratamiento de los lodos, transformándolo en compost en un corto plazo y además que no son dañinos para su aplicación en las plantas, los mejores resultados obtenido seria de la combinación de: lodos (33,3%), pastos (33,3%) y barredura (33,3%). Los resultados obtenidos, además de mencionar que fue el tratamiento más adecuado fueron: pH de 5,19, la humedad establecida fue de 70%, la relación C/N obtenida es de 10.55, el porcentaje de materia orgánica es de 16,35.

Con respecto a esta investigación determinamos que nuestros resultados obtenidos en el presente proyecto, son mejores resaltando el resultado obtenido de relación C/N con un valor menor a 8 dando como resultado un compost de muy buena calidad edáfica.

Chunga (2014), en la tesis "Propuesta de compostaje de los lodos removidos de las lagunas de estabilización de la universidad de Piura", usó cuatro tratamientos con distinta distribución de materiales, definiendo al tratamiento cuatro (4) (formado por 40 % de lodo, 20 % de hojarascas de algarrobo y 40 % de residuos de jardín) como uno de los tratamientos que genera un compost de muy buena calidad edáfica respecto a la relación de C/N (6.69) en comparación con los demás tratamientos. En cuanto a nuestra investigación y los resultados obtenidos muestran una similitud, los tres (3) tratamientos presentan una relación C/N menor a 8, por lo que se define un compost de muy buena calidad edáfica.

Pomalaza & Ramos, (2016) en su investigación: "Vermiestabilización de lodos activados para la obtención de compost y su efecto en el índice de calidad de plántulas de Pinus Radiat – San Pedro de Saño", en esta investigación se realizaron tres pruebas con diferentes concentraciones de materiales, pero determinaron que la mejor combinación fue 25% de lodo y 75% de residuos orgánicos. Los resultados obtenidos como la relación de C/N (26.78), pH (7.42) y concentración de materia orgánica (20.36%).

Al comparar estos resultados con los de nuestra investigación se muestran una similitud, además de mencionar que en la elaboración del compost fueron utilizados tres (3) materiales como lodos 60%, hojarascas de maíz 30% y abono orgánico 10% y los resultados fueron de la relación de C/N (6.31), pH (6.8) y concentración de materia orgánica (11.49%).

5.2.5. Discusión de Ladrillos Combustibles

Una vez obtenidos los resultados planteados al inicio de este trabajo; podemos decir que la afirmación del Ingeniero **Hernández (2016),** en su investigación "Evaluación de prefactibilidad económica producto del beneficio por el retiro de lodos acuícolas generados en el proceso de engorda de salmónidos en centro de cultivo Hueihue", afirmó que la elaboración de combustible sólido a partir de los lodos residuales es una muy buena alternativa por su gran concentración de materia orgánica que estos contienen y por su poder calorífico obtenido.

Afirmación que respaldamos al experimentar la fabricación de ladrillos combustibles, en donde se logró incinerar el lodo residual mezclado con materiales tales como el aserrín y la cáscara de trigo. Obteniendo un poder calorífico capaz de hacer coaccionar 1 L de agua.

Además, Hernández (2016) expresa que su poder calorífico inferior PCI: 4.612 kcal/kg y poder calorífico superior PCS: 4.886 kcal/kg, en cuanto a nuestra comparación podemos mencionar que el poder calorífico del ladrillo combustible de aserrín es 77.5 kcal y el poder calorífico del ladrillo combustible de cáscara de trigo es 73.9 kcal. También nos plantea la

idea de usar una prensa mecánica para obtener el combustible sólido, con la finalidad de eliminar cualquier cantidad de agua y darle forma a la mezcla. Todo esto para que el secado sea más rápido.

Por tanto, compartimos las conclusiones del autor pues la elaboración de un combustible sólido a partir de lodo residual es muy rentable por su poder calorífico y cantidad de materia orgánica.

En cuanto al autor **Samamé (2017)** en la tesis "Determinación del poder calorífico de briquetas de carbón utilizando cantidades de residuos de biomasa". Nos indica que el tipo de briquetas de carbón elaborados de residuos de biomasa que produce mejor energía calorífica y eficiencia es sin duda la briqueta fabricada de aserrín como así lo demuestran los resultados de poder calorífico con 77.5 kcal con una eficiencia de 13 minutos y 19 segundos, sobre la briqueta de carbón hecha de bagazo con 76 kcal con una eficiencia de 16 minutos 06 segundos y sobre todo por encima del carbón de algarrobo con 76 kcal y una eficiencia de 17 minutos para hacer coaccionar 1 L de agua respectivamente.

Compartimos la conclusión del autor, debido que, en nuestra experimentación el ladrillo (pellets) con mayor poder calorífico y eficiencia es el ladrillo combustible de aserrín con poder calorífico de 77.5 kcal con una eficiencia de 16 minutos, sobre el ladrillo combustible de cáscara de trigo con 73.9 kcal con una eficiencia de 27 minutos.

De la misma manera el autor compara el rendimiento físico del carbón y concluye que las briquetas son de fácil encendido en un menor tiempo, también demuestran una rápida y excelente llamarada con gran cantidad de energía, en diferencia al carbón de algarrobo. Esta conclusión también podemos afirmar: cuanto realizamos la experimentación observamos que los ladrillos combustibles son de fácil encendido y presenta una llamarada parecida a la leña.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

A. Se obtuvo compost y ladrillos combustibles, concluyendo que el mejor tratamiento fue la elaboración de ladrillos combustibles de aserrín el cual presenta más factibilidad para la zona.

B. La compostera del tratamiento uno (1) es la mejor considerando que el resultado de relación carbono/nitrógeno es menor a 8 (6.23), por lo que se clasifica como un compost de muy buena calidad edáfica. Además, presenta mejor resultado en cuanto a pH, con relación a los tratamientos 2 y 3, los cuales poseen mayores valores de pH, siendo ligeramente alcalinos.

C. El tipo de 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, absoluta sobre el ladrillo combustible hecho de cáscara de trigo con 73.3 Kcal con una eficiencia de 27 minutos para hacer coaccionar 1 L de agua respectivamente.

D. El costo de la elaboración de una pila de compost de 30 L fue de S/. 85.50, siendo este mayor con respecto al costo de la fabricación de 416 ladrillos combustible de aserrín que fue de S/.26.90 y del costo de fabricación de 480 ladrillos combustible de cáscara de trigo que fue S/. 27.10. Así concluimos que el tratamiento más factible para la zona es la fabricación de ladrillos combustible, debido que la mayoría de población utiliza madera y carbón como fuente de energía. Considerando su bajo costo y su semejanza con respecto a la leña tradicional.

6.2. Recomendaciones

A. Para el compostaje de los lodos, se recomienda no almacenar por períodos de tiempo largos las hojarascas de maíz, pues éste tiende a secarse al perder humedad, por lo que debe ser utilizado inmediatamente después de ser podado o dejarlo al menos unos días acopiado para poder agregarlo posteriormente al compostaje y así aprovechar la humedad que estos contienen.

B. Se recomienda que, para asegurar un desarrollo óptimo del proceso de compostaje, la medición de la temperatura y el control de la oxigenación no deben dejar de efectuarse mientras dure el proceso. La temperatura se mide utilizando un termómetro especial de suelos o un termómetro ambiental y el control de la oxigenación se realiza por medio de volteos.

C. Se recomienda el tratamiento 1 de composición lodo = 60%, hojarascas de maíz = 30%, abono orgánico = 10% el cual presenta las mejores características físicas y químicas.

D. Se recomienda que se debería realizar el experimento de la unión de los dos ladrillos combustibles, pues ambos presentan una característica resaltante; que el ladrillo combustible de aserrín demostró tener mayor durabilidad, por lo contrario, el ladrillo combustible de cáscara de trigo presentó mayor llamarada de masa. Al sugerir la unión de ambas podemos llegar a un producto esencialmente eficaz y productivo.

E. También se recomienda realizar un análisis de laboratorio de la composición química de las cenizas de la combustión de los ladrillos combustibles de aserrín y cáscara de trigo.

F. Por último y no menos importante se recomienda que en nuestro país se debería expandir este tipo de ideas innovadoras, y que las pequeñas y medianas empresas apuesten por este producto, pues se demostró cual es el costo de fabricación. De otra manera se invita a la comunidad investigadora seguir realizando estudios a fondo para identificar residuos de biomasas con mayores propiedades pues no olvidemos que nos encontramos

en un país mega diverso y a ello tenemos que sumar que deberíamos adaptarnos al cambio climático con nuevos proyectos innovadores y encontrar una mejor calidad de vida en armonía con el ambiente y buscar el bienestar de este país.

VII. LISTA DE REFERENCIAS

Agencia de Protección del Medio Ambiente. (s.f.). Obtenido de https://espanol.epa.gov/

Amador - Díaz, A., Veliz - Lorenzo, E., & Bataller - Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. Revista CENIC. Ciencias Químicas, vol. 46, pp. 1-10.

Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima-Perú: Gráfica Industria Alarcón S.R.L.

Chunga, E. (2014). Propuesta de compostaje de los lodos removidos de las lagunas de estabilización de la Universidad de Piura. (Tesis de Grado). Universidad de Piura, Piura.

Cobri Producciones. (2016). Overblog. Obtenido de Overblog: http://cajabamba-cob.over-blog.es/pages/PROVINCIA_DE_CAJABAMBA-4615082.html

Dios, P. (2008). Estudio y desarrollo de técnicas respirométricas para el control de la estabilidad del compost. (Tesis Doctoral). Universidad de Córdova, Córdova.

Estación Experimental Agraria de los Baños del Inca. (2019). Resultados de análisis físico-químicos de suelos. Baños del Inca.

Guevara, J. (s.f.). Salmonexpert. Obtenido de Salmonexpert: https://www.salmonexpert.cl/article/lodos-de-piscicultura-de-desecho-a-recurso-energetico-renovable/

Harris, A. (2017). Lenntech. Obtenido de Lenntech: https://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-secado.htm#ixzz5mEJRvSuH

Hernández, L. (2016). Evaluación de prefactibilidad económica producto del beneficio por el retiro de lodos acuículas generados en el proceso de engorda de salmónidos en centro de cultivo Hueihue. (Trabajo de Titulación). Universidad Austral de Chile, Puerto Montt - Chile.

Laboratorio Regional del Agua. (2019). Resultados de análisis biológicos de suelos. Cajamarca.

Montes, M., & Menéndez, J. (2013). El problema de la gestión de lodos en EDARs. España.

NKAP Laboratorios. (2019). Informe de ensayo: C-124-E219-HAD. Cajamarca.

NKAP Laboratorios. (2019). Informe de Ensayo: C-129-E219-HAD. Cajamarca.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). Manual de compostaje del agricultor - Experiencias en América Latina. Santiago de Chile.

Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. México.

Perez, M. (2016). Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB). (Tesis de Grado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador.

Programa de Mejoramiento y Ampliación de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de las principales ciudades del departamento de Cajamarca. (S/F). Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR 1 Y 2) Cajabamba. Cajabamba - Cajamarca.

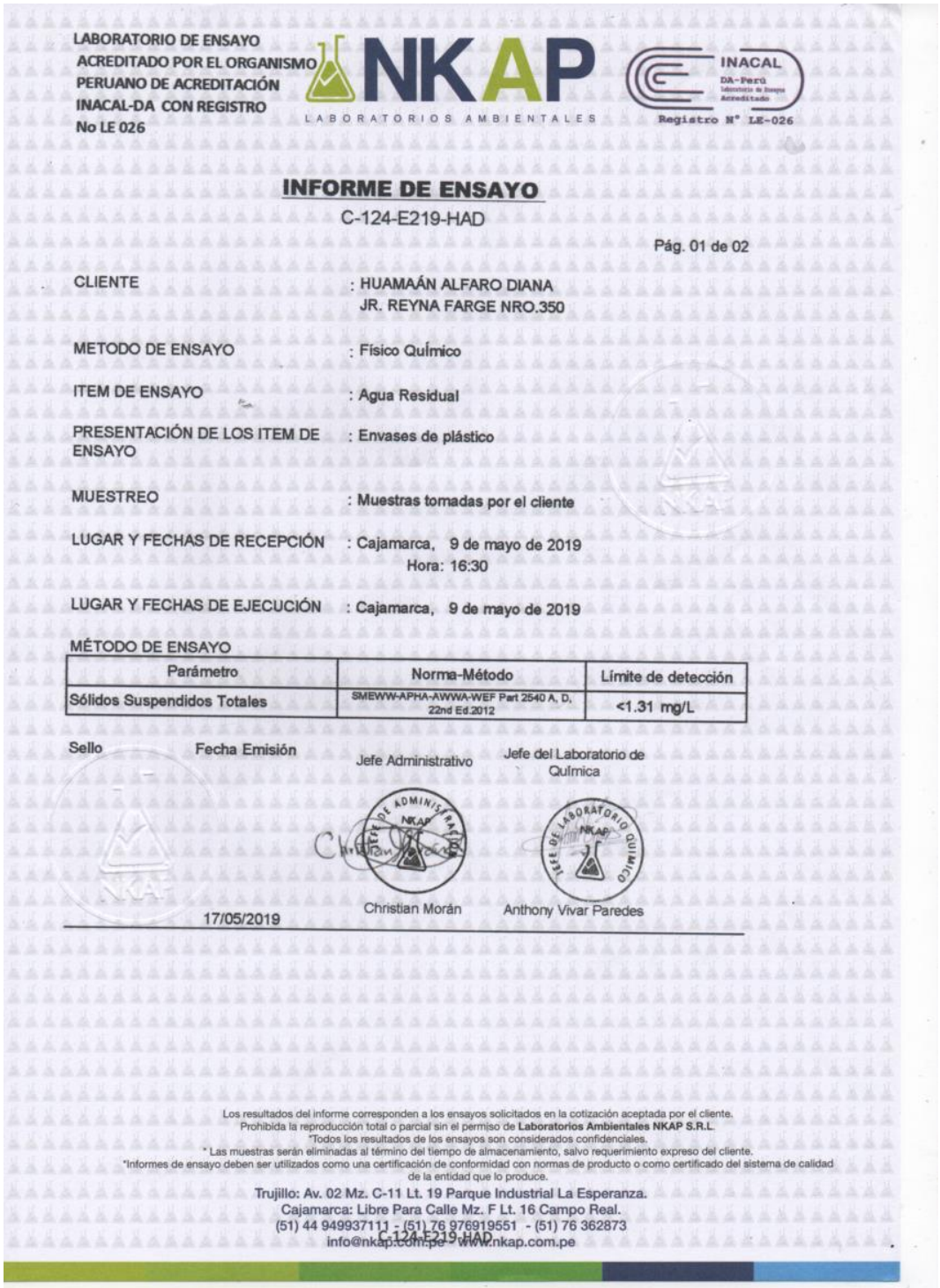
Samamé, W. (2017). Determinación del poder calorífico de briquetas de carbón utilizando cantidades de residuos de biomasa. (Tesis de Grado). Universidad César Vallejo, Chiclayo-Perú.

Torres, P., Pérez, A., Escobar, J., Uribe, I., & Imery, R. (2005). Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Universidad del Valle, Cali - Colombia.

Valderrama, M. (2013). Factibilidad de aprovechamiento de lodo residual de la PTAR del municipio de Chinavita (Boyacá). (Tesis de Maestria). Universidad de Manizales, Manizales - Colombia.

VIII. ANEXOS

8.1. Anexo 01: Resultados de laboratorio de Sólidos Suspendidos Totales del efluente de la PTAR-Cajabamba.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO No LE 026

NKAP LABORATORIOS AMBIENTALES

INACAL DA-Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE-026

INFORME DE ENSAYO

C-124-E219-HAD

Pág. 01 de 02

CLIENTE	: HUAMAÁN ALFARO DIANA JR. REYNA FARGE NRO.350
METODO DE ENSAYO	: Físico Químico
ITEM DE ENSAYO	: Agua Residual
PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO	: Envases de plástico
MUESTREO	: Muestras tomadas por el cliente
LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN	: Cajamarca, 9 de mayo de 2019 Hora: 16:30
LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN	: Cajamarca, 9 de mayo de 2019

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 22nd Ed.2012	<1.31 mg/L

Sello

Fecha Emisión

17/05/2019

Jefe Administrativo

Christian Morán

Jefe del Laboratorio de Química

Anthony Vivar Paredes

Los resultados del informe corresponden a los ensayos solicitados en la cotización aceptada por el cliente.
Prohibida la reproducción total o parcial sin el permiso de **Laboratorios Ambientales NKAP S.R.L.**
*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.
* Las muestras serán eliminadas al término del tiempo de almacenamiento, salvo requerimiento expreso del cliente.
*Informes de ensayo deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Trujillo: Av. 02 Mz. C-11 Lt. 19 Parque Industrial La Esperanza.
Cajamarca: Libre Para Calle Mz. F Lt. 16 Campo Real.
(51) 44 949937111 - (51) 76 976919551 - (51) 76 362873
info@nkap.com.pe - www.nkap.com.pe

C-124-E219-HAD

NKAP
LABORATORIOS

INACAL
DA-Perú
Laboratorio de Ensayos Acreditado
Registro N° LE-026

INFORME DE ENSAYO

C-124-E219-HAD

Código de Laboratorio			C-124-01
Código de Cliente			Afluente para TSS-01
Item de Ensayo			Agua Residual
Fecha de Muestreo			09/05/2019
Hora de Muestreo			10:15
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Sólidos Suspendidos Totales**	TSS	mg/L	300

(**) Los metodos indicados han sido ejecutados en la sede de Trujillo

JEFE DE ADMINISTRACION NKAP

JEFE DE LABORATORIO QUIMICO NKAP

Los resultados del informe corresponden a los ensayos solicitados para los items recibidos.
Prohibida la reproducción total o parcial sin el permiso de NKAP S.R.L.
*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.
*Las muestras serán eliminadas al término del tiempo de almacenamiento, salvo requerimiento expreso del cliente.
*Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sede Principal: Av. 02 Mz. C, Lot. 5 Parque Industrial - La Esperanza - Trujillo - Perú
Sede Cajamarca: Libre Para Calle Mz. F, Lot. 16 Campo Real - Cajamarca - Perú
Central 51 - 44 - 280426
www.nkap.com.pe

NKAP LABORATORIOS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO No LE 026

INACAL DA-Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N° LE-026

INFORME DE ENSAYO

C-129-E219-HAD

CLIENTE : DIANA HUAMÁN ALFARO
JR. REYNA FARGE NRO.350

METODO DE ENSAYO : Físico Químico

ITEM DE ENSAYO : Agua Residual
Sólidos Suspendidos Totales**

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : Envases de plástico

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Cajamarca, 20 de mayo de 2019
Hora: 10:00

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Cajamarca, 20 de mayo de 2019
Trujillo, 21 de mayo de 2019

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección
Sólidos Suspendidos Totales**	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 22nd Ed.2012	<1.57 mg/L

Sello

Fecha Emisión
28/05/2019

Jefe Administrativo
Christian Morán

Jefe del Laboratorio de Química
Anthony Vivar Paredes

Los resultados del informe corresponden a los ensayos solicitados para los ítems recibidos.
Prohibida la reproducción total o parcial sin el permiso de NKAP S.R.L.
*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.
*Las muestras serán eliminadas al término del tiempo de almacenamiento, salvo requerimiento expreso del cliente.
*Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sede Principal: Av. 02 Mz. C, Lot. 5 Parque Industrial - La Esperanza - Trujillo - Perú
Sede Cajamarca: Libre Para Calle Mz. F, Lot. 16 Campo Real - Cajamarca - Perú
Central 51 - 44 - 280426
www.nkap.com.pe

NKAP LABORATORIOS

INACAL
DA-Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N° LE-026

INFORME DE ENSAYO

C-129-E219-HAD

Código de Laboratorio			C-129-01
Código de Cliente			Afluente para TSS-02
Item de Ensayo			Agua Residual
Fecha de Muestreo			20/05/2019
Hora de Muestreo			06:00
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Sólidos Suspendidos Totales**	TSS	mg/L	135.5

(**) Los metodos indicados han sido ejecutados en la sede de Trujillo

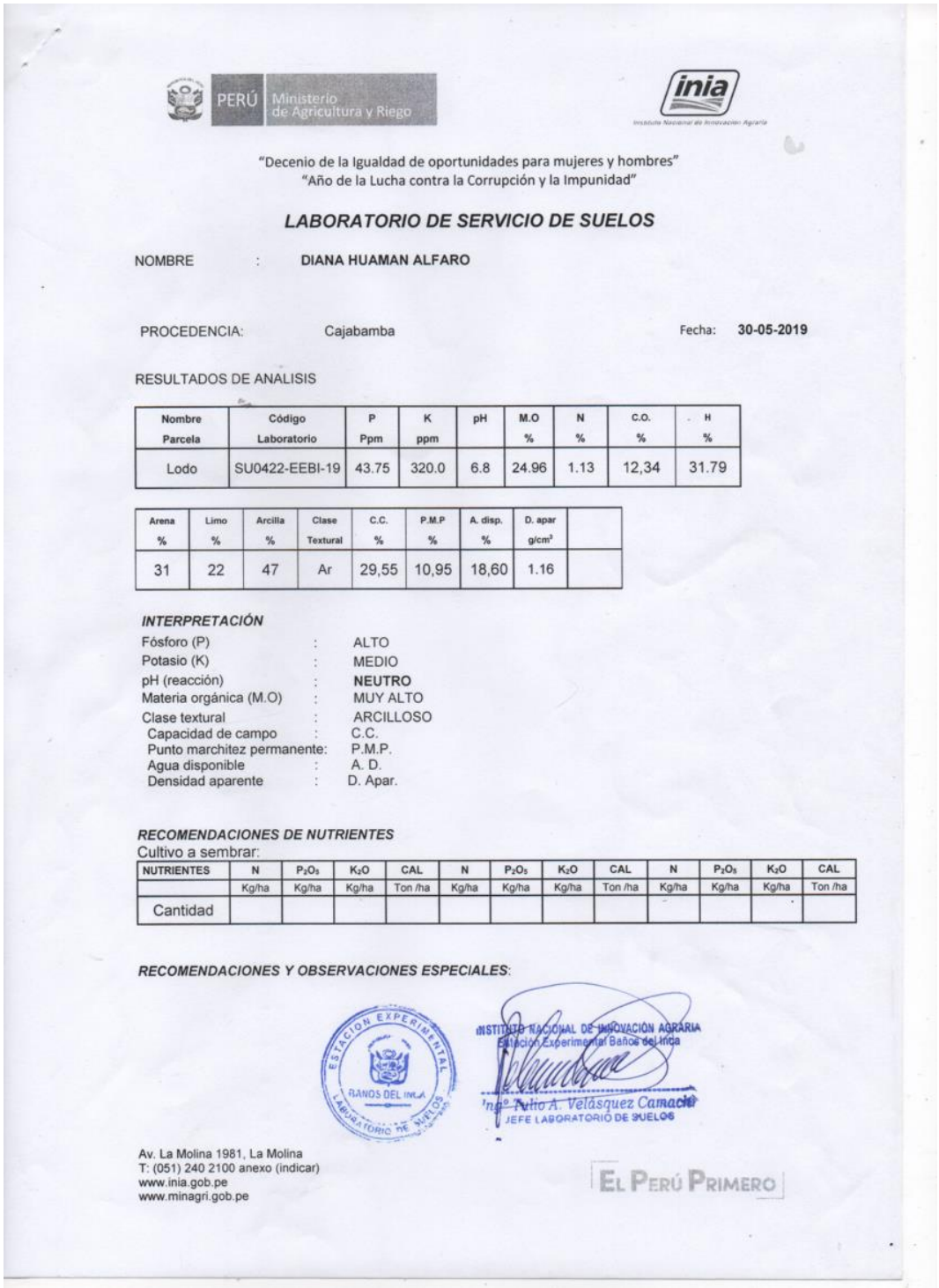
JEFE DE ADMINISTRACION NKAP

JEFE DE LABORATORIO QUIMICO NKAP

Los resultados del informe corresponden a los ensayos solicitados para los items recibidos.
Prohibida la reproducción total o parcial sin el permiso de NKAP S.R.L.
*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.
*Las muestras serán eliminadas al término del tiempo de almacenamiento, salvo requerimiento expreso del cliente.
*Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sede Principal: Av. 02 Mz. C, Lot. 5 Parque Industrial - La Esperanza - Trujillo - Perú
Sede Cajamarca: Libre Para Calle Mz. F, Lot. 16 Campo Real - Cajamarca - Perú
Central 51 - 44 - 280426
www.nkap.com.pe

8.2. Anexo 02: Resultados iniciales de laboratorio de la caracterización físico-química de los lodos de la PTAR-Cajabamba.



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego

inia Instituto Nacional de Innovación Agraria

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS

NOMBRE : **DIANA HUAMAN ALFARO**

PROCEDENCIA: Cajabamba Fecha: **30-05-2019**

RESULTADOS DE ANALISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K ppm	pH	M.O %	N %	C.O. %	H %
Lodo	SU0422-EEBI-19	43.75	320.0	6.8	24.96	1.13	12,34	31.79

Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	C.C. %	P.M.P %	A. disp. %	D. apar g/cm³	
31	22	47	Ar	29,55	10,95	18,60	1.16	

INTERPRETACIÓN

Fósforo (P)	:	ALTO
Potasio (K)	:	MEDIO
pH (reacción)	:	**NEUTRO**
Materia orgánica (M.O)	:	MUY ALTO
Clase textural	:	ARCILLOSO
Capacidad de campo	:	C.C.
Punto marchitez permanente:		P.M.P.
Agua disponible	:	A. D.
Densidad aparente	:	D. Apar.

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

Cultivo a sembrar:

NUTRIENTES	N	P_2O_5	K_2O	CAL	N	P_2O_5	K_2O	CAL	N	P_2O_5	K_2O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha
Cantidad												

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

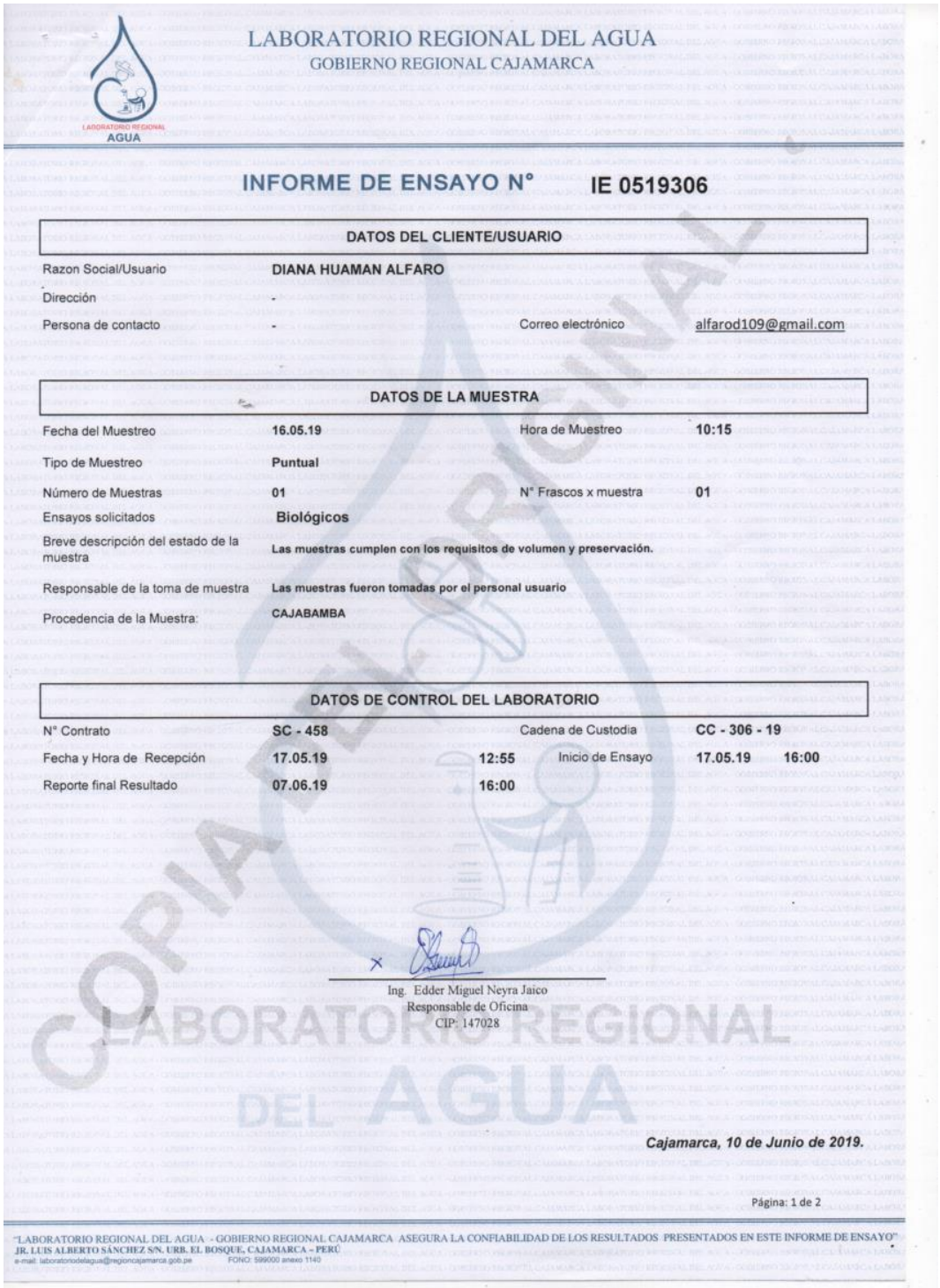
ESTACION EXPERIMENTAL BAÑOS DEL INCA LABORATORIO DE SUELOS

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inca
Ing° Julio A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS

Av. La Molina 1981, La Molina
T: (051) 240 2100 anexo (indicar)
www.inia.gob.pe
www.minagri.gob.pe

EL PERÚ PRIMERO

8.3. Anexo 03: Resultados de laboratorio de la caracterización biológica de los lodos de la PTAR-Cajabamba.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL AGUA

INFORME DE ENSAYO N° IE 0519306

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario	DIANA HUAMAN ALFARO		
Dirección	-		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	alfarod109@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	16.05.19	Hora de Muestreo	10:15
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestras	01	N° Frascos x muestra	01
Ensayos solicitados	Biológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal usuario		
Procedencia de la Muestra:	CAJABAMBA		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC - 458		Cadena de Custodia	CC - 306 - 19	
Fecha y Hora de Recepción	17.05.19	12:55	Inicio de Ensayo	17.05.19	16:00
Reporte final Resultado	07.06.19	16:00			

Ing. Edder Miguel Neyra Jaico
Responsable de Oficina
CIP: 147028

Cajamarca, 10 de Junio de 2019.

Página: 1 de 2

COPIA LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

INFORME DE ENSAYO N° IE 0519306

ENSAYOS			BIOLÓGICOS					
Código Cliente			HH-001	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			0519306-01	-	-	-	-	-
Matriz			LODOS	-	-	-	-	-
Descripción			Lodo	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Cajabamba	-	-	-	-	-
Parámetro	**Unidad**	**LCM**	**Resultados**					
Huevos de Helmintos	HH/2g ST	*1.0*	<1	-	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en 2g de Sólidos Totales.

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Huevos de Helmintos	*HH/2g ST*	Diario Oficial de la Federación (2003). NORMA Oficial Mexicana NOM004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. México, D.F., Diario Oficial. ANEXO V METODO PARA LA CUANTIFICACION DE HUEVOS DE HELMINTOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS

NOTAS FINALES

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.

✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

✓ **Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.**

"Fin del documento"

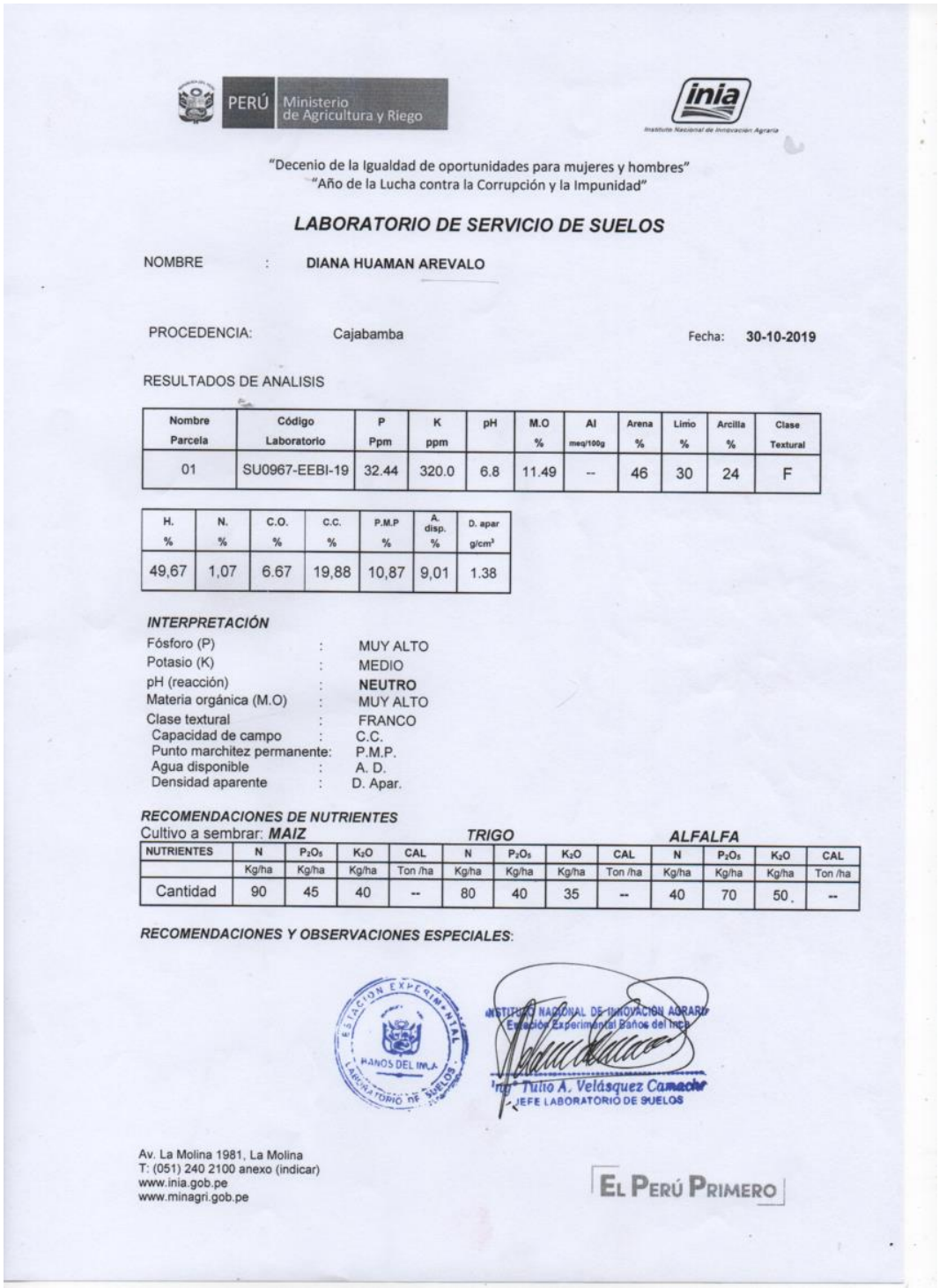
Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev:N°06 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 10 de Junio de 2019.

COPIA DE CONTROL
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA – PERÚ
e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe FONO: 599000 anexo 1140

8.4. Anexo 04: Resultados finales de laboratorio de la caracterización físico-química de los lodos de la PTAR-Cajabamba.



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego

inia Instituto Nacional de Innovación Agraria

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS

NOMBRE : **DIANA HUAMAN AREVALO**

PROCEDENCIA: Cajabamba Fecha: **30-10-2019**

RESULTADOS DE ANALISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K ppm	pH	M.O %	Al meq/100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
01	SU0967-EEBI-19	32.44	320.0	6.8	11.49	--	46	30	24	F

H. %	N. %	C.O. %	C.C. %	P.M.P %	A. disp. %	D. apar g/cm³
49,67	1,07	6.67	19,88	10,87	9,01	1.38

INTERPRETACIÓN

Fósforo (P) : MUY ALTO
Potasio (K) : MEDIO
pH (reacción) : **NEUTRO**
Materia orgánica (M.O) : MUY ALTO
Clase textural : FRANCO
Capacidad de campo : C.C.
Punto marchitez permanente: P.M.P.
Agua disponible : A. D.
Densidad aparente : D. Apar.

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

Cultivo a sembrar: ***MAIZ*** ***TRIGO*** ***ALFALFA***

NUTRIENTES	N	P_2O_5	K_2O	CAL	N	P_2O_5	K_2O	CAL	N	P_2O_5	K_2O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha
Cantidad	90	45	40	--	80	40	35	--	40	70	50	--

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

ESTACIÓN EXPERIMENTAL BAÑOS DEL INCA LABORATORIO DE SUELOS

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inca
Ing. Julio A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS

Av. La Molina 1981, La Molina
T: (051) 240 2100 anexo (indicar)
www.inia.gob.pe
www.minagri.gob.pe

EL PERÚ PRIMERO

PERÚ | Ministerio de Agricultura y Riego

inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS

NOMBRE : **DIANA HUAMAN AREVALO**

PROCEDENCIA: Cajabamba Fecha: **30-10-2019**

RESULTADOS DE ANALISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K ppm	pH	M.O %	Al meq/100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
02	SU0968-EEBI-19	37.21	345.0	7.3	18.83	--	46	28	26	F

H. %	N. %	C.O. %	C.C. %	P.M.P %	A. disp. %	D. apar g/cm³
62.41	1,70	10.92	20,51	11,27	9,24	1.37

INTERPRETACIÓN

Fósforo (P)	:	MUY ALTO
Potasio (K)	:	MEDIO
pH (reacción)	:	**LIGERAMENTE ALCALINO**
Materia orgánica (M.O)	:	MUY ALTO
Clase textural	:	FRANCO
Capacidad de campo	:	C.C.
Punto marchitez permanente:		P.M.P.
Agua disponible	:	A. D.
Densidad aparente	:	D. Apar.

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

Cultivo a sembrar: ***MAIZ*** ***TRIGO*** ***ALFALFA***

NUTRIENTES	N	P_2O_5	K_2O	CAL	N	P_2O_5	K_2O	CAL	N	P_2O_5	K_2O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha
Cantidad	85	45	40	--	75	40	35	--	35	70	50.	--

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

ESTACION EXPERIMENTAL BAÑOS DEL INIA LABORATORIO DE SUELOS

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inia
Ing° Tulio A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS

Av. La Molina 1981, La Molina
T: (051) 240 2100 anexo (indicar)
www.inia.gob.pe
www.minagri.gob.pe

EL PERÚ PRIMERO

PERÚ | Ministerio de Agricultura y Riego

inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS

NOMBRE : **DIANA HUAMAN AREVALO**

PROCEDENCIA: Cajabamba Fecha: **30-10-2019**

RESULTADOS DE ANALISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K ppm	pH	M.O %	Al meq/100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
03	SU0969-EEBI-19	41.50	355.0	7.5	17.84	--	44	28	28	F

H. %	N. %	C.O. %	C.C. %	P.M.P %	A. disp. %	D. apar g/cm³
61.08	1,65	10.35	21,43	11,84	9,58	1.36

INTERPRETACIÓN

Fósforo (P)	:	MUY ALTO
Potasio (K)	:	ALTO
pH (reacción)	:	**LIGERAMENTE ALCALINO**
Materia orgánica (M.O)	:	MUY ALTO
Clase textural	:	FRANCO
Capacidad de campo	:	C.C.
Punto marchitez permanente:		P.M.P.
Agua disponible	:	A. D.
Densidad aparente	:	D. Apar.

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

Cultivo a sembrar: ***MAIZ*** ***TRIGO*** ***ALFALFA***

NUTRIENTES	N	P_2O_5	K_2O	CAL	N	P_2O_5	K_2O	CAL	N	P_2O_5	K_2O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha
Cantidad	85	45	40	--	75	40	35	--	35	70	50	--

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

APLICAR CAL UN MES Y MEDIO ANTES DE LA SIEMBRA. APLICAR 3.00 TON/HA DE ESTIERCOL BIEN DESCOMPUESTO

ESTACION EXPERIMENTAL BAÑOS DEL INCA LABORATORIO DE SUELOS

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inca
Ing° Julio A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS

Av. La Molina 1981, La Molina
T: (051) 240 2100 anexo (indicar)
www.inia.gob.pe
www.minagri.gob.pe

EL PERÚ PRIMERO

8.5. Anexo 05: Fotografías del proceso de tratamiento de lodo residual.

Primeras vistas a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cajabamba, conjuntamente con el Ing. Tito Díaz (supervisor PATR).

Toma de muestra de lodo residual recién digestado para el análisis microbiológico (Huevo de Helminto).

Toma de muestra del efluente para análisis de sólidos suspendidos totales (TSS).

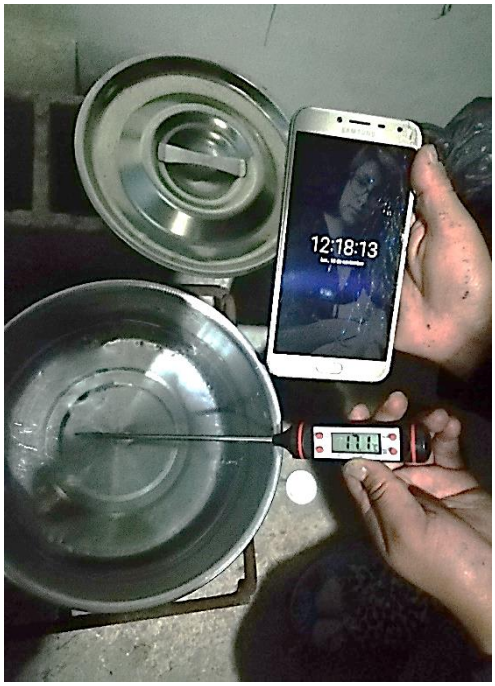
Toma de muestra de lodo residual de 10 días de digestado para el análisis físico-químico.

Prueba en campo para determinar el caudal del efluente.

Obtención de lodo residual mediante el método del cuadrante, para uso de los diferentes tratamientos.

Fase del volteo del compost como parte del proceso del tratamiento.

Prensa utilizada para la elaboración de ladrillos combustibles de aserrín y ladrillos combustibles de cáscara de trigo.



Procedimiento para la determinación del poder calorífico y la eficiencia de los ladrillos combustibles.

Termómetro digital utilizado para la medición de las temperaturas durante el desarrollo de la investigación.