



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**ELABORACIÓN DE LADRILLOS A PARTIR DE LODOS
GENERADOS POR PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE Y EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDGAR ESPILLICO QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Nolberto y Rosa María, a mis hermanos Idmar, Joel, Gina, Arturo y Nélica., que contribuyeron a cumplir con mis metas y objetivos. Y en especial a Olga R. por el apoyo incondicional y la paciencia que tuvo conmigo.

Edgar Espillico Q.



AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento en primer lugar a Dios por el don de la vida, por haberme permitido cumplir con mis metas y objetivos, por haberme puesto en mi camino a personas que me brindaron su apoyo a lo largo de mi formación académica.

Agradezco a mis padres que en todo momento estuvieron a mi lado, aconsejándome y porque su esfuerzo es el sacrificio de mis grandes logros.

Agradezco a mis hermanos que con su apoyo incondicional me motivaron a seguir siempre adelante.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por todo el conocimiento transferido por ellos.

Un agradecimiento especial a la Ing. Nancy C. Guerra García Díaz jefe de la División de Producción de calidad y Medio Ambiente de la EPS SEDAJULIACA S.A., por proporcionar la materia prima para este trabajo de investigación.

A los Jurados Ing. Mg. Alberto Higinio Zúñiga Sánchez, Ing. M.Sc. Salomón Tito León, Ing. M.Sc. Rene Justo Quispe Flores por sus consejos tan acertados.

Al Dr. Teófilo Donaires Flores por la orientación en el presente trabajo de investigación.

A los Técnicos Benito y Marcelino por la oportunidad de realizar mis ensayos dentro de sus instalaciones del laboratorio de agua y suelos de la Escuela profesional de Ingeniería Agronómica, UNA-PUNO.

.

Edgar Espillico Q.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ACRÓNIMOS

SÍMBOLOS

RESUMEN 14

ABSTRACT 15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 17

1.1.1. Descripción del problema 17

1.1.2. Formulación del Problema 18

1.1.2.1. Problema general 18

1.1.2.2. Problemas específicos 18

1.2. JUSTIFICACIÓN 18

1.3. OBJETIVOS 19

1.3.1. Objetivo general 19

1.3.2. Objetivos específicos 19

1.4. HIPÓTESIS 19

1.4.1. Hipótesis general 19

1.4.2. Hipótesis específica 19

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES 21

2.1.1. Antecedentes nacionales 21



2.1.2. Antecedentes internacionales.....	21
2.2. MARCO TEÓRICO	25
2.2.1. LODOS GENERADOS EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA	25
2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS.....	28
2.2.3. DESTINO FINAL DEL LODO	29
2.2.4. FORMAS DE UTILIZACIÓN DE LOS LODOS	31
2.2.4.1. Lanzamiento en cursos de agua.....	31
2.2.4.2. Lanzamiento en red de alcantarillado	32
2.1.4.3. Aplicación en el suelo	32
2.1.4.4. Eliminación de vertederos	33
2.1.4.5. Reciclaje en la industria cerámica.....	34
2.1.4.6. Reciclaje en la industria del hormigón.....	36
2.2.5. LADRILLOS	37
2.2.5.1. DEFINICIONES	37
2.2.5.2. Características de los ladrillos	39
2.2.5.3. Propiedades de los ladrillos	40
A. Propiedades físicas relacionadas a la estética del material	40
B. Propiedades ingenieriles.....	40
2.1.5.4. Clasificación de los ladrillos.....	41
2.2.6. PROCESO DE PRODUCCIÓN	42
2.2.6.1. Tipos de proceso de fabricación.....	42
2.2.7. ELABORACIÓN DE LADRILLO	43
2.2.8. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA	47
2.2.8.1. Etapas de la optimización.....	47
A. Etapa I: Screening o cribado.....	47
B. Etapa II: Escalamiento.....	48
C. Etapa III: Optimización final	49



i. Diseño factorial	50
ii. Diseño compuesto central.....	51

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	54
3.2. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	54
3.3. OBTENCIÓN Y MUESTREO DE LODOS	56
3.3.1. Lodos generados por la unidad compacta N° 02	56
3.3.2. Muestreo de lodo	57
3.3.3. Caracterización del lodo.....	59
3.3.3.1. Determinación de pH y Temperatura (método potenciómetro)	59
3.3.3.2. Determinación de conductividad eléctrica (método potenciómetro)	60
3.3.3.3. Determinación de humedad del lodo (%)	62
3.3.4. Determinación de metales, metales pesados y microbiológicos del lodo	63
3.4. ACONDICIONAMIENTO Y ENSAYOS FÍSICOS AL LODO	65
3.4.1. Tratamiento físico.....	65
3.4.1.1. Preparación de muestras de lodos en el laboratorio.	65
3.4.2. Determinación de la textura del lodo	68
3.4.2.1. Determinación de la clase textural	71
3.5. ELABORACIÓN DE LADRILLOS	72
3.6. ENSAYOS DE CALIDAD A LOS LADRILLOS ELABORADOS.....	77
3.6.1. Ensayo de absorción	77
3.6.2. Resistencia a la Compresión	78
3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	79

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL LODO	82
--	-----------



4.1.5. Resultados de las características químicas y microbiológicas del lodo.....	86
4.2. TRATAMIENTO FÍSICO DEL LODO.....	88
4.2.1. Resultados del ensayo de textura del lodo.....	88
4.2.2. Clase textural del lodo	89
4.2.3. Resultados de la textura de los dos tipos de tierra	90
4.2.4. Resultados de la clase textural de los dos tipos de tierra.....	90
4.2.5. Composición química del lodo seco	91
4.3. ELABORACIÓN DE LADRILLOS	93
4.3.1. Características físicas del ladrillo elaborado a partir de lodo – tierra negra	94
4.3.2. Resultados de los ensayos físicos – mecánicos a los ladrillos	95
4.3.2.1. Resultados de los ensayos de absorción de agua	95
4.3.2.2. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.....	96
4.4. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	97
4.4.1. Análisis de resultados de las variables respuesta	98
4.4.1.1. Absorción de agua (Y_1)	98
4.4.1.2. Resistencia a la compresión (Y_2).....	103
V. CONCLUSIONES.....	110
VI. RECOMENDACIONES.....	112
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS.....	117

Línea : Tecnología ambiental y recursos naturales

Área : Tecnología ambiental

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 de diciembre del 2019



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Función y descripción de los procesos de tratamiento convencional de agua potable (parte I).....	26
Tabla 2. Función y descripción de los procesos de tratamiento convencional de agua potable (parte II).....	27
Tabla 3. Resumen de valores fisicoquímicos de lodo.....	28
Tabla 4. Composición de arcilla no plástica, arcilla plástica y lodo de ETA.....	35
Tabla 5. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....	42
Tabla 6. Matriz del DCC en dos factores aumentando cinco puntos centrales.....	53
Tabla 7. Muestras colectadas en la unidad compacta N° 02.....	59
Tabla 8. Cuadro para valores de los análisis de metales y metales pesados en el lodo ..	64
Tabla 9. Valores de los análisis microbiológicos en el lodo.....	64
Tabla 10. Composición de lodo y tierra negra en la elaboración de ladrillo.....	74
Tabla 11. Condiciones de prueba sometidos los ladrillos elaborados.....	76
Tabla 12. Procedimientos de ensayo de absorción en los ladrillos elaborado.....	77
Tabla 13. Procedimientos de ensayo de absorción agua (parte I).....	78
Tabla 14. Procedimientos de ensayo de absorción agua (parte II).....	79
Tabla 15. Factores y niveles del diseño experimental.....	80
Tabla 16. Matriz de combinación del Diseño Central Compuesto.....	80
Tabla 17. Lecturas de pH en muestras de lodo.....	82
Tabla 18. Lecturas de temperatura en muestras de lodo.....	83
Tabla 19. Valores de conductividad eléctrica.....	84
Tabla 20. Valores de porcentajes de humedad.....	85
Tabla 21. Valores de humedad respecto a otros estudios.....	85
Tabla 22. Valores fisicoquímicos del lodo en estudio y comparación con otros autores	86
Tabla 23. Valores de los resultados del lodo con respecto a normas nacionales.....	87
Tabla 24. Comparación de los valores microbiológicos del lodo.....	88
Tabla 25. Valores de la textura del lodo.....	88
Tabla 26. Comparación de resultados de Textura.....	89
Tabla 27. Valores de textura de los tipos de tierra.....	90
Tabla 28. Clasificación textural del lodo y de dos tipos de tierra.....	91
Tabla 29. Composición química (óxidos) del lodo seco.....	92



Tabla 30. Composición química del lodo respecto a otros autores	93
Tabla 31. Resultados de la elaboración de ladrillos a partir de lodo y arcilla	94
Tabla 32. Valores de absorción de agua en pruebas de ladrillo	95
Tabla 33. Comparación de los valores de absorción de agua con normas nacionales	96
Tabla 34. Valores de resistencia a compresión	97
Tabla 35. Comparación de los valores de resistencia con normas nacionales	97
Tabla 36. Diseño Central compuesto de dos variables	98
Tabla 37. Análisis de varianza.....	100
Tabla 38. Resumen del modelo	101
Tabla 39. Análisis de varianza (ANOVA).....	106
Tabla 40. Resumen del modelo	106



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición final de lodo de PTAP en los Estados Unidos.....	29
Figura 2. Disposición final de lodo de PTAP en el Reino Unido.	30
Figura 3. Disposición final de lodo de PTAP en Brasil.....	30
Figura 4. Procesamiento y producción de cerámica roja.....	35
Figura 5. Tipos de ladrillos (Fuente: ladrillos LARK)	39
Figura 6. Izquierda elaboración artesanal de ladrillos, González E. & Lizárraga L. (2015), Derecha elaboración de ladrillos del tipo industrial.	44
Figura 7. El carácter secuencial de la MSR.....	49
Figura 8. Superficie de respuesta cuadrática	50
Figura 9. Curvas de nivel de respuesta cuadrática	50
Figura 10. Matriz de experimentos para los diseños factoriales 2^2 , 2^3 y 2^4	51
Figura 11. Diseños centrales compuestos para $k=2$ y $k=3$	52
Figura 12. Flujograma de la situación actual en la PTAP - Ayabacas.....	56
Figura 13. Puntos de muestreo alrededor de la unidad compacta N° 02	58
Figura 14. Diagrama de flujo del análisis de pH y temperatura.....	60
Figura 15. Diagrama de flujo del análisis de conductividad eléctrica	61
Figura 16. Diagrama de flujo del ensayo contenido de humedad del lodo.....	63
Figura 17. Diagrama de flujo del tratamiento físico del lodo.....	67
Figura 18. Diámetros de las partículas del suelo, Fuente: The comet program	68
Figura 19. Diagrama de flujo del ensayo de textura del lodo.....	70
Figura 20. Triángulo de textura. Fuente: USDA	72
Figura 21. Dimensiones del ladrillo	73
Figura 22. Materia prima (lodo, tierra roja y tierra negra)	74
Figura 23. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del ladrillo a partir de lodo ..	76
Figura 24. (Izquierda) se puede observar como la unión de puntos al centro, puntos axiales y porción factorial dan como resultado un DCC, (Derecha) puntos de temperatura y composición de lodo en un Diseño Central Compuesto.	81
Figura 25. Valores de pH determinados en muestras de Lodo.....	83
Figura 26. Valores de temperatura determinados en muestras de lodo	83
Figura 27. Valores de Conductividad determinados en muestras de lodo.....	84
Figura 28. Valores de % humedad determinados en muestras de lodo	85
Figura 29. Valores de lodo respecto al D.S.-010-2019-VIVIENDA.....	87



Figura 30. Textura del lodo	89
Figura 31. Clasificación de clase textural del lodo	90
Figura 32. Clasificación de clase textural del lodo	91
Figura 33. Representación de óxidos del lodo seco en estudio	92
Figura 34. Graficas de residuos para absorción de agua.....	99
Figura 35. Grafica de probabilidad	99
Figura 36. Diagrama de Pareto	101
Figura 37. Grafica de efectos principales	102
Figura 38. Grafica de interacción entre variables	102
Figura 39. Grafica de contorno de absorción de agua (%).....	103
Figura 40. Grafica de superficie de absorción de agua (%).....	103
Figura 41. Grafica de residuos para resistencia a la compresión (kg/cm ²).....	104
Figura 42. Grafica de probabilidad	105
Figura 43. Diagrama de Pareto.....	107
Figura 44. Grafica de efectos principales	107
Figura 45. Grafica de interacción entre variables	108
Figura 46. Grafica de contorno.....	108
Figura 47. Grafica de superficie de resistencia a la compresión	109



ACRÓNIMOS

PTAP	: Planta de Tratamiento de Agua Potable
NTP	: Norma Técnica Peruana
EPS	: Empresa Prestadora de Servicio
ETA	: Estação de Tratamento de Água (Estación de Tratamiento de Agua)
ETE	: Estação de Tratamento de Esgoto (Estación de tratamiento de Residuos)
UDL	: Unidad de Desagüe de Lodo
WTP	: Water Treatment Plant (Planta de Tratamiento de Agua)
L.O.I.	: Loss on Ignition (Pérdida de Peso por Ignición)
AWWA	: American Water Works Association (Asociación Americana de Obras de Agua)
CONAMA	: Congreso Nacional del Medio Ambiente
USDA	: United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos)
NBR	: Norma Brasileña
ABNT	: Associação Brasileira de Normas Técnicas (Asociación Brasileña de Normas Técnicas)
ASCE	: American Society of Civil Engineers (American Society of Civil Engineers)
AWWARF	: American Water Works Research Foundation (Fundación Americana de Investigación de Obras de Agua)
IBGE	: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística)
EDAR	: Estación Depuradora de Aguas Residuales
PAC	: Poli cloruro de aluminio
MSR	: Metodología de Superficie Respuesta
DCC	: Diseño Central Compuesto



SÍMBOLOS

kg	: kilogramo
°C	: grados centígrados
mg/kg	: miligramos por kilogramo
mg/L	: miligramos por litro
mS/cm	: mili siemens/cm
dS/cm	: deci siemens/cm
m ³	: metro cubico
L	: litro
%	: porcentaje
kg/cm ²	: kilogramo por centímetro cuadrado
f ^b	: resistencia a la compresión
h	: hora
min	: minuto
pH	: potencial de hidrogeno
D	: densidad
V	: volumen
A	: absorción de agua
T	: temperatura
g	: gramo
mL	: mililitro
MPa	: mega pascal



RESUMEN

Se realizó el estudio de investigación del aprovechamiento de lodos de las plantas de tratamiento de agua potable para la elaboración de ladrillos. Para lo cual se elaboró trece unidades de ladrillos conformado por una clase textural franco arenosa y arcilla, de composiciones 23.79, 30, 45, 60 y 66.21 % de lodo. El diseño de investigación es del tipo experimental, ya que se puede controlar la temperatura y la cantidad de lodo a emplearse como sustituto de la arcilla común. La caracterización fisicoquímica de los lodos es: pH 7.781; temperatura 11.34 °C; conductividad eléctrica de 0.63 mS/cm; humedad de 98.25%; 10,000.0 mg/kg aluminio; 8,880.0 mg/kg hierro y óxido de silicio de 91.98 mg/kg. Asimismo, se realizó el acondicionamiento físico de la textura del lodo conteniendo 72.40 % de arena; 17.48 % de limo y 10.12 % de arcilla que pertenece a la clase textural franco arenosa, con composición química de 46.78% de SiO₂; 20.07% de Al₂O₃; 4.28% de Fe₂O₃ cuya pérdida de peso por ignición es del 10.21%. En el proceso de la elaboración de ladrillo se identificó como factores con efecto significativo la temperatura y la composición de lodo. Según la técnica Metodología de Superficie Respuesta de un Diseño Central Compuesto, corresponde un valor más eficiente para la absorción de agua de 9.16% a un nivel de temperatura de 941.42°C y una composición del lodo al 45%, con respecto a la resistencia a la compresión se obtuvo un valor óptimo de 54.16 kg/cm² para un nivel de temperatura de 941.42°C y una dosis de 45% de lodo.

Palabras clave: Planta de tratamiento de agua potable, lodos, ladrillo, absorción de agua, resistencia a la compresión.



ABSTRACT

The research study of the use of sludge from drinking water treatment plants for the production of bricks was carried out. For this, thirteen units of bricks were made, made up of a textural class of sandy loam and clay, with compositions 23.79, 30, 45, 60 and 66.21% mud. The research design is experimental, since the temperature and amount of mud to be used as a substitute for common clay can be controlled. The physicochemical characterization of the sludge is: pH 7.781; temperature 11.34 °C; electrical conductivity of 0.63 mS/cm; 98.25% humidity; 10,000.0 mg/kg aluminum; 8,880.0 mg/kg iron and 91.98 mg/kg silicon oxide. Likewise, the physical conditioning of the texture of the mud containing 72.40% sand was carried out; 17.48% silt and 10.12% clay that belongs to the sandy loam textural class, with a chemical composition of 46.78% SiO₂; 20.07% Al₂O₃; 4.28% of Fe₂O₃ whose weight loss on ignition is 10.21%. In the brick-making process, temperature and mud composition were identified as factors with a significant effect. According to the Surface Methodology Response of a Central Composite Design technique, there corresponds a more efficient value for water absorption of 9.16% at a temperature level of 941.42°C and a composition of the mud at 45%, with respect to resistance to compression, an optimum value of 54.16 kg / cm² was obtained for a temperature level of 941.42°C and a dose of 45% mud.

Key words: Drinking water treatment plant, sludge, brick, water absorption, compressive strength.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Hasta hace muy pocos años en las estaciones de tratamiento de agua potable solo se gestionaba la producción de agua potable, no prestando mucha atención a los lodos que se producían, tanto en los decantadores como en el lavado de filtros, considerando que en definitiva estos lodos estaban formados por las sustancias que ya llevaban las aguas naturales o aguas brutas, generalmente inorgánicas, como arcilla arenas finas y limos (Ramírez, 2005).

Con el crecimiento de la población, especialmente en las ciudades, existe una creciente demanda de agua potable. Por otro lado, la falta de un servicio de saneamiento eficiente hace que las fuentes de agua superficial se reduzcan en calidad. En consecuencia, hacer que el agua cruda sea potable requiere optimizar la operación de las Estaciones de Tratamiento de Agua (ETA). Estas condiciones pueden aumentar la generación de lodo en las plantas de tratamiento de agua (Andreoli, 2001). La operación de una planta de tratamiento de agua para su potabilidad, dada la necesidad de eliminar sólidos y otros contaminantes, produce residuos (lodo) durante el proceso.

Se pueden mencionar los impactos en el cuerpo de agua que recibe el lodo ETA como destino final: mayor cantidad de sólidos, mayor color y turbidez, menor penetración de luz y, en consecuencia, menor actividad fotosintética y concentración de oxígeno disuelto, sedimentación, aumento de la concentración de aluminio y hierro en el agua, dependiendo del coagulante utilizado en el tratamiento del agua cruda, entre otros (Libânio, 2010). Por lo tanto, el lodo caracteriza una responsabilidad ambiental de la industria del saneamiento.

El presente trabajo de investigación propone una alternativa para el tratamiento y aprovechamiento de los lodos generados por las plantas de tratamiento de agua potable, realizando la caracterización fisicoquímica y acondicionamiento físico de lodos, determinación de propiedades físicas del lodo seco y posterior a ello se utilizara el lodo seco como materia prima en la elaboración de ladrillos, la calidad final del producto se determinara a través de los ensayos de absorción de agua y resistencia a la compresión, por último se verificara si cumple con la especificaciones técnica y normativas.



1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del problema

En Perú, la potabilización del agua ha originado un problema de manejo y disposición de los lodos generados durante su tratamiento. El principal problema es que estos residuos presentan un alto contenido de agua (90% aproximadamente), además de presentar una pobre capacidad de deshidratación, particularmente aquellos que son producidos por el uso de sulfato de aluminio, policloruro de aluminio como coagulante. Actualmente, estos lodos son descargados a los ríos y/o alcantarillas sin ningún tratamiento, provocando un severo daño al ambiente.

Los lodos residuales son un subproducto inevitable de las plantas de tratamiento de agua potable y conforme a la norma lo indique una calidad mayor en el afluente mayor será la producción de lodos residuales. Por lo tanto, afecta directamente a las zonas agrícolas aledañas y al alcantarillado público, debido a que el lodo no ha sufrido ninguna descomposición haciéndole tóxico e inestable. Además, los lodos contienen sustancias coloidales y viscosas (polímeros, sulfatos de aluminio, hierro y sílice), en elevadas concentraciones afectan a la vegetación y causan una alteración al ecosistema de los seres vivos que se desarrollan en esta área.

Tomando como base el D.S. N° 015-2017-VIVIENDA, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y la R.M. 128-2017-VIVIENDA donde se menciona las condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final, en esta resolución ministerial en el Capítulo VIII se menciona el reaprovechamiento de los lodos previamente deshidratados y en el Anexo IV establece las condiciones mínimas de lodos deshidratados de plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) para su reaprovechamiento en materiales de construcción, material de cobertura en rellenos sanitarios y como material de recuperación de sitios contaminados. Por tanto, en la presente investigación se utilizará los lodos como materia prima en la elaboración de ladrillos, debido a que los lodos presentan óxidos metálicos de Fe y Al y óxido de silicio dándole propiedades refractabilidad, plasticidad,



dureza y resistencia. Y a la vez reducir el impacto de desechos de lodos en el ambiente y generar una economía circular. Por lo expuesto anteriormente, la presente tesis deja como antecedente y aporta a la utilización de lodo en la elaboración de ladrillos.

1.1.2. Formulación del Problema

1.1.2.1. Problema general

¿Se podrá obtener ladrillos a partir de lodos generados por las unidades compactas de la PTAP y su posible uso en la construcción?

1.1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuáles serán las características físico - químicas y microbiológicas del lodo provenientes de las unidades compactas de la PTAP?
2. ¿Qué tipo de acondicionamiento físico será necesario ensayar al lodo para determinar sus propiedades físicas?
3. ¿Cuál será la proporción óptima de la composición binaria lodo-tierra negra para la elaboración del ladrillo?
4. ¿Qué tipo de metodología y diseño experimental se aplicará para optimizar los parámetros y niveles en el proceso de elaboración de ladrillos?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la composición que presenta el lodo respecto a los altos contenidos de óxidos metálicos tales como el aluminio y fierro, estos óxidos dan como resultado las propiedades de plasticidad, refractabilidad y reduce el punto de fusión del ladrillo en la etapa de cocción. Cabe mencionar que también el lodo presenta sílice lo cual es muy beneficioso ya que es un componente de importancia debido a que le otorga la dureza y la resistencia en el ladrillo.

La generación de los lodos se genera en procesos que no involucran costos, simplemente pasan por un proceso gravimétrico (decantadores de la PTAP) y el uso de la energía solar para su deshidratación.



El fin de este trabajo de investigación es el aprovechamiento de los lodos producidos en los decantadores de las PTAP, mediante el empleo de estos como materia prima o sustituto en la elaboración de ladrillos, y cumplir con la normatividad de la Resolución Ministerial N° 128–2017– VIVIENDA.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Elaborar ladrillos a partir de lodos generados por las unidades compactas de la PTAP y su posible uso en la construcción.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Realizar la caracterización físico – química y microbiológica del lodo provenientes de las unidades compactas de la PTAP.
2. Determinar las propiedades físicas del lodo proveniente de las unidades compactas de la PTAP.
3. Elaborar ladrillos a partir de una composición lodo – tierra negra con distintas proporciones de lodo.
4. Optimizar los parámetros y niveles empleando la Metodología de Superficie de Respuesta de un Diseño Central Compuesto (DCC) en la absorción de agua y compresión a la resistencia.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

El lodo generado en las PTAP contiene arcilla, arena, y residuos coagulantes (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2) estos componentes proporcionan propiedades físico – mecánicas al ladrillo.

1.4.2. Hipótesis específica

1. El lodo generado por las unidades compactas de la PTAP, contienen elevadas



concentraciones de metales, metales pesados y microbiológicos debido a la remoción que ocurre en el proceso del tratamiento de agua potable.

2. Las propiedades físicas del lodo se determinan a través del proceso de acondicionamiento físico tales como el secado, trituración, tamizado y homogenización.
3. El sustituto de una determinada composición de lodo influirá en la masa cerámica del ladrillo y sus propiedades
4. La MSR es la estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado “valores óptimos” de una o varias características de calidad del producto.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes nacionales

Chire y Rondan (2014), su caracterización fisicoquímica del lodo posee una concentración de aluminio es de 2412 mg/L, hierro es de 325.5 mg/L y silicio es 277 mg/L, presenta una humedad de 95.45%, respecto a la textura el lodo está constituido por 50.43% de arena, 13.42% de limo y 13.14% de arcilla; y el lodo corresponde a la clase textural de: franco arcillo arenosa. Elaboraron ladrillos con composiciones de 50% (800°C y 1000°C) 75% (sometidos a 900°C) y 100% (800°C y 1000°C) de lodo. Determinaron ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua. Las mezclas binarias, compuestas por 50 % lodo y 50 % de Tierra Arcillo - Limosa, presentaron valores más altos de resistencia a la compresión (55.61 y 53.98 Kg/cm²), con respecto a la absorción de agua el valor más alto (9.87%) se obtuvo en dos muestras. En base a estos resultados, determinaron que el lodo es un material que posee una aceptable viabilidad técnica para ser utilizado, aunque solo en un porcentaje límite.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Peralta (2018), menciona que su proyecto investigación tiene como objetivo principal elaborar ladrillos cerámicos utilizando lodos generados en los procesos de tratamiento de agua para potabilización de la planta de Tixán en la ciudad de Cuenca que cumplan la normativa vigente en el país. El lodo posee una humedad de 70.88% y la composición mineralógica del lodo de Tixán son 61.08% de SiO₂, 12.45% de Al₂O₃ y 5.15 de Fe₂O₃. Con la caracterización de lodos y arcillas a ser utilizadas, realizaron cinco mezclas empleando distintas dosificaciones con variación del porcentaje de lodos a sustituir desde el 0%, 5%, 10%, 20% y 40% y se adicionaron arcillas tipo I y arcillas tipo II. Elaboraron ladrillos con mezclas ternarias (lodo-arcilla tipo II-arcilla tipo I) 60-40-0, 60-35-5, 60-30-10, 60-20-20 y 60-0-40, secados durante 10 días y quemadas a una temperatura de 1000 °C por 8 horas. Se ensayaron resistencia a compresión siendo los resultados para muestras con lodo al 0% posee un valor de 76.3 kg/cm², al 5% es 131.0 kg/cm², al 10 % es 27.0 kg/cm², al 20% es 9.6 kg/cm² y la muestra al 40% no tiene



valores debido a que las unidades no llegaron a la etapa de cocción. Determinaron el grado de absorción siendo los resultados para ladrillos con lodo al 0% el valor es 13.80%, al 5% es 18.74%, al 10% es 24.27% y al 20% es 33.02%. Los resultados de las unidades finales de arcilla con dosificación 60:35:5 cumplen con las normas establecidas para ladrillos cerámicos. Concluyeron que es viable elaborar ladrillos con adición de lodos aluminosos en la mezcla, pues representa un beneficio económico – ambiental, en términos de ahorro de tiempo y uso de recursos para la explotación de canteras, así como el transporte y manejo de lodos a su disposición final.

Akasch *et al* (2018), elaboraron ladrillos a partir de distintos porcentajes de lodo 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% siendo el resto arcilla, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión obteniendo para el lodo con porcentaje de 0% (43.84 Kg/cm²), 5% (42.83 Kg/cm²), 10% (41.40 Kg/cm²), 15% (41.40 Kg/cm²), 20% (39.77 Kg/cm²) y para 25% (29.98 Kg/cm²). Respecto a las pruebas de absorción de agua para los especímenes de ladrillos con porcentajes de lodo de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% se obtuvieron valores de 14.75%, 16.09%, 17.07%, 17.05%, 18.9% y 20.5% respectivamente. El estudio sugiere que el lodo se puede utilizar eficazmente para la fabricación de ladrillos con la forma y el tamaño requeridos adoptando las proporciones de los ingredientes utilizados en el estudio, en particular el 5%, 10% y 15% de lodo.

Muñoz (2016), realizó la caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas crómicas, el lodo posee un pH de 7.53, una conductividad eléctrica 12.30 dS/cm, humedad de 81.50% y una densidad de 0.39 g/cm³; respecto a metales como el hierro que presenta un valor de 46.70% y para silicio un valor de 2.60%. Elaboraron ladrillos a escala semi-industrial en las unidades de mampostería se usó mezclas de composiciones de lodo al 2% (M1), 4% (M2) y 6% (M3); el secado duro 15 días en un recinto cubierto, tiempo de cocción lo realizaron por 8 días los tres primeros días se aumentó paulatinamente hasta 1200 °C y se mantiene constante la temperatura por cinco días. Se realizaron las pruebas de calidad a la muestra de M2, siendo los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión los cuales presentaron valores promedios de 54.4 MPa a diferencia de un ladrillo común que fue de 51.9 MPa, en cambio en la prueba de absorción presento un valor promedio de 9.3% y un ladrillo común de 11.7%.



Ponkarthikeyan et al. (2016), El lodo utilizado en el estudio fue el lodo coagulante extraído de los tanques de clarifloculación del agua de Chembambakkam. Planta de tratamiento en la que se utilizó sulfato de aluminio en el proceso de coagulación. El lodo de alumbre está compuesto de aproximadamente 1% de sólidos suspendidos y 99% de agua, que es difícil de deshidratar. La composición química del lodo se identificó mediante el uso de espectrómetro de fluorescencia de rayos X (XRF) según ASTM C114-00. La composición química del lodo es 43.12% de SiO_2 , 5.26% de Fe_2O_3 y 15.97% de Al_2O_3 . El valor de índice de plasticidad es de 15.23 esto indican que se puede aplicar hasta 50% de lodo 50 % de arcilla en la fabricación de ladrillos sin perder el plástico. Se elaboraron ladrillos de dimensiones 220x110x70 mm, con composiciones de lodo al 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, el secado es por 7 días a la luz solar y la cocción del ladrillo sometido a una temperatura de 1200°C por 12 horas. Los resultados de resistencia a la compresión fueron para una composición de lodo al 10% es de 92.39 kg/cm^2 , al 20% es 82.39 kg/cm^2 , al 30% es 73.83 kg/cm^2 , al 40% es 58.23 kg/cm^2 y al 50% es 45.88 kg/cm^2 . Y para el ensayo de absorción los resultados fueron para una composición de lodo al 10% es de 8.53 %, al 20% es 9.48 %, al 30% es 11.64 %, al 40% es 15.28 % y al 50% es 19.08 %.

López y Rivas (2013), Implementaron diseño de bloques completamente al azar con Intervalos de secuencia 20%, 40%, 60% y 80% en las mezclas de lodo y cal respectivamente con cuatro repeticiones por tratamiento. Los resultados de los objetivos indicaron inicialmente en su caracterización que el tipo de material generado en los sedimentadores es franco-limoso, dentro de los análisis químicos del lodo previo a estabilizar, se determinó que los parámetros químicos del lodo como son los metales (aluminio, cadmio, plomo y mercurio) exceden los límites máximos permisibles para descargas de aguas hacia un cuerpo receptor, e igual sucede con los análisis bacteriológicos; para la estabilización de los lodos la dosis idónea fue la del 20% (4kg de lodo y 1 kg de cal) por que la disminución de temperatura a lo largo del proceso ayuda a la estabilización y el aumento del pH superiores a 12 permite reducir agentes patógenos, no obstante la reducción de metales pesados no alcanzó niveles significativos, aunque en los análisis microbiológicos fue altamente efectivo en la reducción de coliformes. Se determinó que, se puede elaborar compost orgánico, a partir del lodo generado en los sedimentadores previa estabilización, aunque los niveles de metales pesados fueron muy elevados.



Cerón (2006), los resultados de caracterización fisicoquímica de los lodos de los decantadores de la planta potabilizadora poseen valores para pH de 7.05, una humedad de 95.96%, conductividad de 1,170.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una densidad real de 1.50 g/mL ; los valores de los metales son 82,336.33 mg/kg de aluminio y 142.17 mg/kg de hierro. Entretanto los valores de textura son de 56.16% arena, 26.72% de limo y 17.12% de arcilla. Elaboraron ladrillos en base de lodo – cal, lodo – yeso con composiciones de 0, 25, 40, 75 y 90 % de lodo respectivamente, los resultados obtenidos no fueron muy aceptables, ya que los principales problemas son la contracción por secado, el encorvamiento de ladrillos y la fisuración de los mismos debido principalmente al alto contenido de humedad del lodo. Al realizar las pruebas de calidad final las composiciones de 90% de lodo y 10% de cal presentaron mejores resultados respecto al ensayo de compresión a la resistencia siendo de 144.13 y 130.10 g/cm^2

Igor (2008), Determino la composición fisicoquímica del lodo provenientes de los decantadores de la Estación de Tratamiento de Agua (ETA), siendo los resultados 24.68% de SiO_2 , 30.39% de Al_2O_3 y 11.59% de Fe_2O_3 ; la pérdida de fuego es de 30.67% el cual es atribuido a la combustión de materia orgánica. Los lodos ETA son clasificados como II-A (según NBR-10.004) no peligroso, no inerte y es necesario de un cuidado especial para su disposición final ya que los parámetros de Al (13.4 mg/L), Cr (<0.004 mg/L), Fe (14.3 mg/L) y Mn (0.136 mg/L) presentan concentraciones altas que pueden un impacto en el medio ambiente. La composición granulométrica del lodo ETA presenta 86.5% de arcilla, 55% de limo, 7.6% de arena fina y 0.4% de arena gruesa. Elaboraron piezas cerámicas roja con incorporación de 0 y 10 % de lodo en la masa cerámica de la arcilla, estos cuerpos de prueba fueron quemadas a temperatura de 700°, 900° y 1100° C. Los resultados de los ensayos de absorción de agua realizados a las cerámicas con incorporación de 0 % de lodo a distintas temperaturas son 22.8% (700° C), 22.8% (900° C) y hasta 11% (1100° C), en cambio para cerámicas con 10% de lodo fueron 25% (700° C), 24.5% (900° C) y 14.5% (1100° C) en lo que concluye que la incorporación de lodo hasta 10% en peso en la masa cerámica ocasiona un incremento de la absorción de agua.

Hernández et al. (2006), menciona en sus estudios que existe una tendencia a disminuir la resistencia a la compresión de las unidades experimentales, en la medida que se incrementa el porcentaje de lodo aluminoso adicionado. Existe una tendencia a incrementar la absorción de humedad en las unidades experimentales, en la medida que



se incrementa el porcentaje de lodo aluminoso adicionado. Desde el punto de vista técnico, no es posible utilizar lodos aluminosos como agregado en la fabricación de ladrillos cerámicos. Con valores superiores al 50% de reemplazo de arena por lodo aluminoso, se empieza a comprometer de manera significativa la resistencia a la compresión. Las probetas cuya resistencia a la compresión fue mayor presentaron menor porcentaje de absorción de humedad, relacionado con menor porosidad. Lo anterior permite asumir una relación inversa entre la absorción de humedad y la resistencia a la compresión.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. LODOS GENERADOS EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Según ASCE y AWWA (1996), los desechos de PTAP se pueden clasificar en:

- ◆ Lodos generados al limpiar los decantadores (flotadores), lavar los filtros y reducir la velocidad y eliminar el hierro y el manganeso del agua cruda;
- ◆ Concentrado salino generado en el tratamiento de membranas, ósmosis inversa, electrodiálisis e intercambio iónico;
- ◆ Material de filtro utilizado, carbón activado y resinas debido al intercambio iónico desgastado;
- ◆ Emisiones gaseosas generadas en unidades de control de olores.

La limpieza de las unidades de sedimentación o flotación y el lavado de los filtros generan los residuos más representativos en las ETA (Cornwell, Bishop, *et al.*, 1987). El lodo de la planta de tratamiento de agua se define como el residuo que consiste en agua y sólidos suspendidos originalmente contenidos en la fuente de agua, más productos resultantes de reactivos aplicados al agua en procesos de tratamiento (Richter, 2001).

Las características cualitativas del lodo de los decantadores (o flotadores) y los filtros son bastante distintas. Según Di Bernardo y Paz (2008), las características varían según: a) Calidad del agua cruda, b) Tecnología de tratamiento c) Tipo y dosis de coagulante utilizado, d) Uso, características y dosificación de coagulantes, e) Método de limpieza de decantadores (o flotadores), f) Técnica de lavado de filtro, g) Habilidad de los operadores y h) Operación de la PTAP.

Tabla 1. Función y descripción de los procesos de tratamiento convencional de agua potable (parte I)

Proceso/Operación Unitaria	Función	Descripción	Entrada ⁽¹⁾	Salida ⁽²⁾
coagulación química o mezcla rápida	Neutralizar las cargas de los coloides y, con eso, reducir las fuerzas que tienden a mantener las partículas en suspensión aparte	se adiciona coagulante de agua con gran agitación elevado y bajo tiempo de decantación	Coagulante (normalmente una sal de aluminio o de hierro) y polímero (redes que aglomeran a los flocs)	-
Floculación o mezcla lenta	Aumentar el diámetro y, consecuentemente, o peso de las partículas vía formación de flocs	Se establece condiciones con respecto a tiempo de decantación y gran agitación para que haya contacto entre las partículas	Producto floculante (Sulfato de aluminio, Sulfato de hierro, PAC, etc.)	-
Sedimentación o Decantación	Retirar partículas sólidas en suspensión de agua para reducir la influencia de las partículas	Son proporcionadas en condiciones en respecto al tiempo de decantación y grado de agitación para que los flocs se depositen por la acción de la gravedad. Hay un equilibrio entre la fuerza de gravedad y la fuerza de empuje y fricción (viscosidad)		Residuo (lodo)

⁽¹⁾ Se entiende por entrada los productos adicionados al agua en cada proceso

⁽²⁾ Se entiende por salida los subproductos de tratamiento efluente de cada proceso

Fuente: Adaptado de Libánio (2010) y Richter y Netto (1999)

Tabla 2. Función y descripción de los procesos de tratamiento convencional de agua potable (parte II)

Proceso/Operación Unitaria	Función	Descripción	Entrada ⁽¹⁾	salida ⁽²⁾
Flotación	Retirar partículas sólidas en suspensión del agua para reducir o ausencia de partículas a los filtros	Se inyecta aire en la capa inferior de agua para que las escamas floten y se eliminen de la capa superior. Se utiliza cuando el agua cruda se caracteriza por un alto color y baja turbidez, caracterizando la presencia de sólidos disueltos, que son partículas más ligeras.		Residuo (lodo)
Filtración	retirar del agua partículas pequeñas, responsables por la color y turbidez	Separación solido-liquido vía paso del agua a través de un lecho filtrante, compuesto por material granular en el cual las partículas son retiradas		Residuo (lodo)
Desinfección	inactivar microorganismos patogénicos presentes en el agua y prevenir o crecimiento microbiológico en las redes de distribución	adición de agente químico oxidante (Cl ₂) para la desinfección de agua	Agente químico oxidante (normalmente cloro)	-

⁽¹⁾ Se entiende por entrada los productos adicionados al agua en cada proceso

⁽²⁾ Se entiende por salida los subproductos de tratamiento efluente de cada proceso

Fuente: Adaptado de Libânio (2010) y Richter y Netto (1999)

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS

Las características químicas de los lodos de alúmina varían de una planta a otra, dependiendo de la calidad de agua cruda, del tratamiento recibido y de la época del año. Sin embargo, poseen características físicas similares: fluido no Newtoniano, voluminoso, de aspecto gelatinoso, compuesto principalmente por agua (más del 90%), hidróxido de aluminio, partículas inorgánicas (arcilla o arena), coloides, residuos de reactivos químicos añadidos durante el proceso de tratamiento, plancton y otra materia orgánica, siendo esencial el conocimiento de estas características para determinar su tratamiento y su disposición final (Sandoval; *et. al.*, 2009).

Según Weber, W. (2003) que las características de los lodos de plantas potabilizadoras varían en función de la calidad del agua, del tipo de proceso empleado, del tipo y cantidad de coagulante utilizado y, del resto de los compuestos químicos utilizados para el tratamiento.

Tabla 3. Resumen de valores fisicoquímicos de lodo

PARAMETROS	Unidad de Medida	Variación de valores de lodo	Resumen de la revisión bibliográfica ⁽¹⁾
Arsénico	mg/kg	<1.00 - 20.70	10 - 20
Bario	mg/kg	76.3	-
Berilio	mg/kg	<1.00 - <1.95	-
Cadmio	mg/kg	<1.10	0.06 - 1.20
Plomo	mg/kg	4.42 - 103.00	6.4 - 5.4
Cloruros	mg/kg	<7.00 - 474.00	-
Cloro residual	mg/kg	<0.5	-
Cobre	mg/kg	16	<10.0 - 110
Cromo hexavalente	mg/kg	<1.00 - 1.11	-
Cromo total	mg/kg	5.88 - 72.50	<5.8 - 82.3
Mercurio	mg/kg	<0.25 - 1.00	0.01 - 0.46
Níquel	mg/kg	<1.99	3.4 - 90.0
Aceites y grasas	%	<0.05 - 0.09	-
Selenio	mg/kg	<1.00 - <7.75	-
Vanadio	mg/kg	7.49 - <328	-
Zinc	mg/kg	24.5	31.5 - 296
Potencial de hidrogeno	pH	6.5 - 7.9	5.0 - 10.6
Humedad	%	17.30 - 84.60	81.50 - 99.94

⁽¹⁾ Cordeiro (1993), Richter (2001), Horth *et al.* (1994), Barbosa (2000), Barroso *et al.* (2001)

2.2.3. DESTINO FINAL DEL LODO

Según Andreoli (2006), en Brasil, hay alrededor de 7500 Estaciones Tratamiento de Agua que utilizan el tratamiento convencional y arrojan sus desechos directamente a los cursos de agua. Además de los problemas ambientales generados por la industria del saneamiento desde 1997, ha habido una preocupación legal desde el establecimiento de la Política Nacional de Recursos Hídricos, que definió la concesión de la liberación de efluentes como un instrumento de gestión de los recursos hídricos. Con esto, la industria también comenzó a tener una preocupación financiera.

En todo el mundo ha habido un avance en la legislación de protección ambiental y, en consecuencia, se han desarrollado métodos para reducir el volumen de lodo y las tecnologías para recuperar el coagulante utilizado y las técnicas alternativas de utilización de lodo. Hay varias posibilidades para la eliminación de residuos de ETA. Entre ellos, los más utilizados en los países desarrollados son la disposición de vertederos, la aplicación controlada de tierras y el reciclaje (Andreoli, 2006).

a. Disposición final de lodo de PTAP en los Estados Unidos

La figura 1, muestra los principales destinos dados al lodo de las plantas de tratamiento de agua potable en los Estados Unidos.

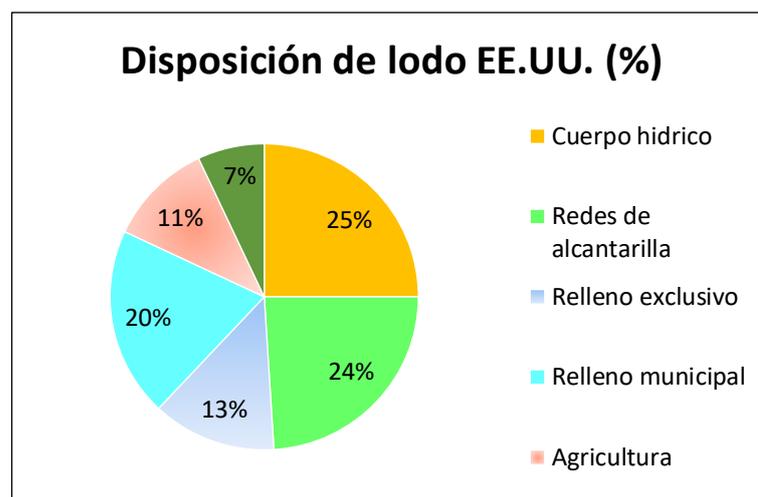


Figura 1. Disposición final de lodo de PTAP en los Estados Unidos.

Fuente: AWWARF (1999) adaptado Tsutiya y Hirata (2001)

b. Disposición final de lodo de PTAP en el Reino Unido

Es de destacar que los nuevos métodos citados en la figura 2 son: aplicación del suelo, recuperación de áreas degradadas e incorporación en materiales de construcción.

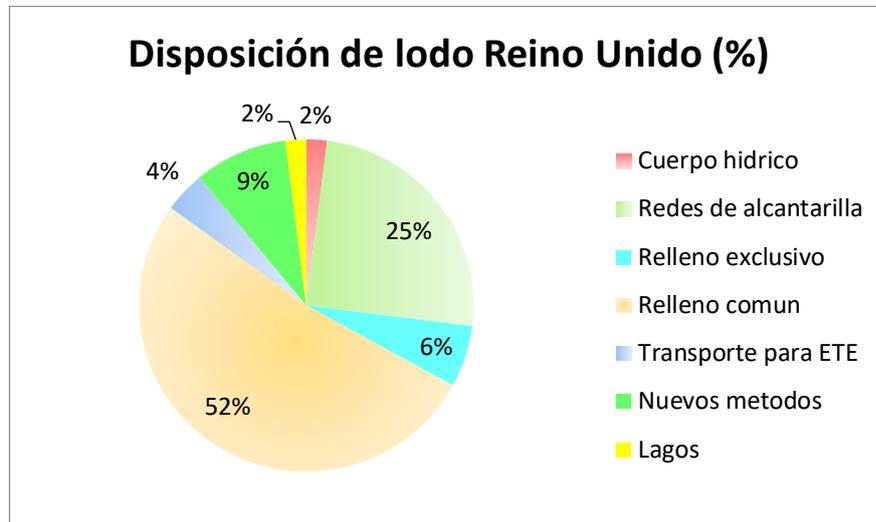


Figura 2. Disposición final de lodo de PTAP en el Reino Unido.

Fuente: Simpson et al. (2002) adaptado Morita (2016)

c. Disposición final de lodo de PTAP en Brasil

En la figura 3 se observa la disposición de lodos generados en las plantas de tratamiento de agua en Brasil.

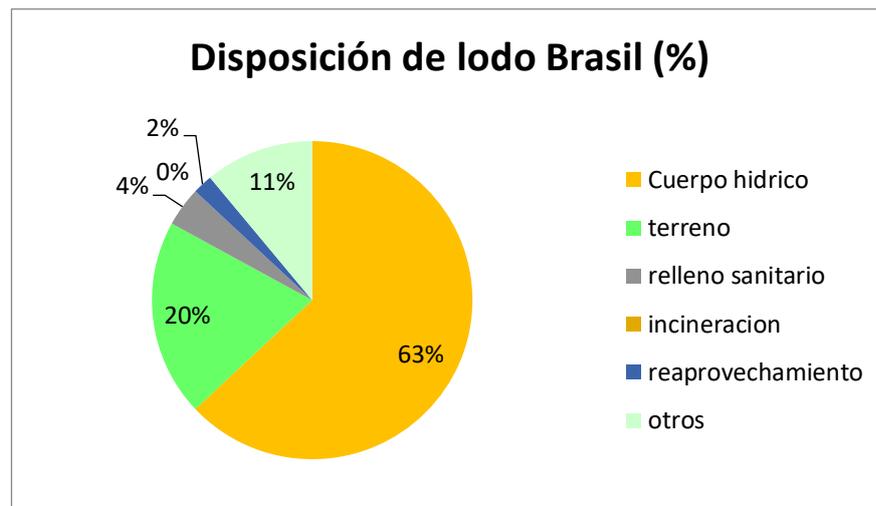


Figura 3. Disposición final de lodo de PTAP en Brasil.

Fuente: Adaptado de IBGE (2010)



2.2.4. FORMAS DE UTILIZACIÓN DE LOS LODOS

Según Di Bernardo y Paz (2008), para determinar el tratamiento y el destino final del lodo es necesario conocer la cantidad generada y sus características. Para tener un manejo más eficiente y con más opciones de eliminación, el lodo debe tener la máxima concentración de sólidos posible. Esto depende principalmente del método de tratamiento del agua y del coagulante utilizado.

ASCE y AWWA (1996) señalan que se están estudiando opciones innovadoras de eliminación final, como la aplicación de lodo ETA en el suelo y la incorporación como materia prima en la fabricación de ladrillos y bloques de hormigón. Estas alternativas pueden resultar más rentables que la eliminación tradicional de lodos ETA.

2.2.4.1. Lanzamiento en cursos de agua.

Libânio (2010) afirma que esta es la práctica más ampliamente adoptada en las ETA brasileñas, a pesar de la estricta legislación ambiental vigente en el país. Según AWWA (1987), esta es también la solución utilizada tradicionalmente en los Estados Unidos, pero desde la década de 1970 se ha debatido sobre la continuación de esta práctica debido al impacto ambiental.

Algunos impactos negativos en el lodo ETA que recibe el cuerpo de agua son: mayor contenido de sólidos, mayor color y turbidez, menor penetración de la luz y, en consecuencia, menor actividad fotosintética y concentración de oxígeno disuelto, sedimentación y mayor concentración de aluminio y hierro del coagulante utilizado en el tratamiento (Libânio, 2010).

AWWA (1987) indica que la principal preocupación con respecto a la liberación de lodo en el cuerpo de agua es la toxicidad del aluminio. Además, también menciona que, aunque hay pocos estudios sobre el tema, si el cuerpo de agua tiene una velocidad baja, el residuo desechado tenderá a unirse a la capa bentónica. Esto daría como resultado el desarrollo de condiciones anaeróbicas, lo que provocaría una mayor solubilización del metal, un pH y olor reducidos.

Di Bernardo y Paz (2008) concluyen que este es un método de eliminación ampliamente utilizado porque es barato. Puede hacerse factible si la seguridad de esta actividad para el organismo receptor ha sido probada de acuerdo con la legislación local.



2.2.4.2. Lanzamiento en red de alcantarillado

Según Tsutiya y Hirata (2001), esta alternativa se usa comúnmente en todo el mundo. Según Libânio (2010), desde el punto de vista operativo de ETA, es ventajoso disponer de los residuos en ETE, pero existe una transferencia de responsabilidad del tratamiento y disposición final de ETA a ETE. Para Di Bernardo y Paz (2008), la eliminación de lodos en la EDAR es una excelente alternativa, especialmente para las WTP que no tienen tratamiento de residuos.

La eliminación de los desechos de los PTAP puede realizarse desde diferentes etapas del sistema de tratamiento de residuos. Los desechos pueden arrojarse directamente a la red de recolección después de la regularización del flujo o puede haber un tratamiento previo. Esta puede ser la clarificación de los residuos de los decantadores y filtros, separando el lodo en dos fases, una líquida y otra sólida. El líquido se recircula en la propia ETA mientras que el sólido se reenvía a la ETE. Otra opción es la clarificación y recirculación de la porción líquida solo del lodo que proviene de los filtros, debido a los riesgos de acumulación de huevos de parásitos en ETA (Realli, 1999).

Por otro lado, Di Bernardo y Paz (2008) presentan que es necesario evaluar si habrá obstrucciones en el sistema de recolección y transporte de aguas residuales debido a la eliminación del lodo de ETA. También se deben evaluar los impactos de esta práctica en los procesos de tratamiento biológico de la PTAR, ya que los sólidos disueltos y algunos metales presentes en el lodo pueden inhibirlos, incluida la digestión del lodo. Además, aumentan los costos y actividades de mantenimiento y operación de ETE.

Morita (2016) muestra que la cantidad de sólidos en suspensión en el efluente final puede aumentar y que existe la posibilidad de sobrecarga en los decantadores primarios y en todo el tratamiento del lodo de la PTAR. La deficiencia de fósforo y la concentración de metales y patógenos pueden afectar el uso de lodos de PTAR en la agricultura.

2.1.4.3. Aplicación en el suelo

Esta es una solución de uso común para lodos de EDAR, ya que es rica en carga orgánica y nutriente. Como se puede ver en la figura 1, el 25% del lodo generado a



partir de ETA de EE. UU. Se aplica al suelo. Según Tsutiya y Hirata (2001), el lodo se usa en este país para suministrar deficiencia de hierro en los suelos donde se cultiva naranja y limón. Para que esto ocurra, es necesario que el coagulante utilizado en el tratamiento del agua sea sulfato férrico. El uso de lodo ETA es tan eficiente como otros productos utilizados para suplir la falta de hierro en el suelo, por lo que aumenta el valor comercial del lodo.

Además, el aumento de la aireación y la capacidad de retención de líquidos pueden citarse como los beneficios de aplicar lodo al suelo en la preparación y/o fase de crecimiento del césped comercial, es decir, césped de parques, jardinería de carreteras, pastizales, actividad deportiva y cementerios. Por otro lado, se deben realizar estudios para determinar la dosis correcta de lodo para evitar la acumulación de metal en el suelo, el exceso de humedad o el daño a la fotosíntesis debido a la presencia de sólidos que cubren las hojas (Tsutiya y Hirata, 2001).

También se ha estudiado el uso de lodos ETA en el compostaje y en la producción de suelos comerciales y en macetas. En Brasil, actualmente, esta técnica se aplica poco y, en lo que respecta a las leyes, no existe una regulación para este tipo de disposición final de lodos (Di Bernardo y Paz, 2008). Además de las ventajas ya mencionadas de usar lodo en el suelo, también existe la mejora estructural del suelo; ajustando el pH y la humedad y proporcionando minerales traza (Tsutiya y Hirata, 2001).

Sin embargo, las bajas concentraciones de materia orgánica y nutrientes y las altas concentraciones de metales pesados pueden limitar su aplicación al suelo, además de la posibilidad de contaminación del agua subterránea (Tsutiya y Hirata, 2001). El gasto en transporte de residuos y el monitoreo continuo del sitio donde se aplicó el lodo para verificar los nutrientes del suelo y los metales pesados también tienden a hacer que esta posibilidad sea inviable (Di Bernardo y Paz, 2008).

2.1.4.4. Eliminación de vertederos

El relleno sanitario se define en la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos y su modificatoria a través del Decreto Legislativo N°1065, y su Reglamento, Decreto Supremo N° 057-2004-PCM, como una técnica de eliminación de desechos sólidos que utiliza principios de ingeniería para almacenar los desechos en un área más pequeña, en el volumen más pequeño y causando un impacto ambiental mínimo y sin causar daños a la salud pública.



Di Bernardo y Paz (2008) afirman que muchas ETA dirigen sus lodos a vertederos en Brasil. Según Andreoli (2006), esta alternativa sigue siendo viable como disposición final de los residuos de tratamiento de agua, ya que hay disponibilidad de áreas económicamente accesibles en ciudades pequeñas y medianas. Es necesario tratar los desechos para reducir los costos de transporte y la disposición final, para alcanzar el contenido sólido requerido por el vertedero, que generalmente está entre 20 y 25%, según lo presentado por Richter (2001).

Andreoli (2006) explica que la necesidad de reducir el contenido de humedad del lodo de ETA para su eliminación en vertederos también se debe a la disposición conjunta de estos residuos con residuos urbanos sólidos predominantemente domésticos. Esto es importante para evitar el exceso de agua en el vertedero, la acidogénesis acentuada y el deterioro resultante de la metanogénesis.

Además, Morita (2016) agrega al afirmar que la disposición conjunta del lodo de ETA que utiliza coagulante a base de aluminio con residuos orgánicos puede conducir a la producción de ácidos grasos volátiles, reduciendo el pH del medio y favoreciendo la lixiviación del aluminio. El principal beneficio de adoptar esta opción como destino final del lodo es la transferencia de la responsabilidad de gestionar los impactos de los desechos de ETA a la gestión de los vertederos. Por otro lado, esta técnica tiene altos costos de implantación debido a los costos de transporte y eliminación en el vertedero.

Otro problema asociado con esta solución es que el lodo puede migrar a los vacíos y llenar los desagües, que son importantes para el flujo de gases y lixiviados. También puede asentarse en la base del vertedero y generar una zona de debilidad, lo que genera problemas geotécnicos (Morita, 2016). Di Bernardo y Paz (2008) también presenta la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas y del suelo si el relleno sanitario se diseñó incorrectamente.

2.1.4.5. Reciclaje en la industria cerámica.

El uso de residuos de ETA en la fabricación de bloques y ladrillos de cerámica tiene un potencial técnico que lo convierte en una alternativa a considerar (Di Bernardo y Paz, 2008). Los lodos de ETA están compuestos de arcillas, limo, arena, coagulantes y materia orgánica y generalmente tienen características físicas y químicas similares a los materiales utilizados en la fabricación de ladrillos: arcilla natural y lutita. Esto hace que

sea interesante incorporarlos a la cerámica roja (Tsutiya y Hirata, 2001). La tabla 4 ilustra la similitud entre la composición química de las arcillas y el lodo de ETA.

Como se muestra en la tabla 4, tanto las arcillas de ETA como el lodo están básicamente compuestos de sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), lo que demuestra el potencial para la incorporación de lodo en la matriz cerámica.

Tsutiya y Hirata (2001) infieren que cuanto mayor sea la similitud del tamaño del lodo con el de la arcilla, mejor será su aplicabilidad. Sin embargo, la presencia de carbón activado o antracita en el lodo hace que esta alternativa sea inviable, ya que estos materiales causan expansión y, por lo tanto, grietas en los ladrillos. El alto contenido de arena y las altas concentraciones de materia orgánica en el lodo también afectan la calidad del producto final.

Tabla 4. Composición de arcilla no plástica, arcilla plástica y lodo de ETA

Óxidos	Arcilla no plástica	Arcilla plástica	Lodo de ETA de Paraná
SiO_2	55.24	65.75	13.1
Al_2O_3	21.53	18.63	24.69
TiO_2	1.16	1.63	0.22
Fe_2O_3	9.85	3.72	10.52
CaO	0.02	0.26	0.35
MgO	0.17	0.59	0.06
K_2O	0.13	0.82	0.12
Na_2O	0.01	0.1	-
MnO	0.04	0.04	2.13
P_2O_5	0.09	0.06	0.39
SO_3	0.0129	0.0001	0.69
Perdida al fuego	11.16	8.07	47.19

Fuente: Andreoli (2006)

Para una mejor comprensión de la incorporación de lodo en la fabricación de cerámica roja, los pasos de procesamiento y producción de este lodo se ilustran en la figura 4.

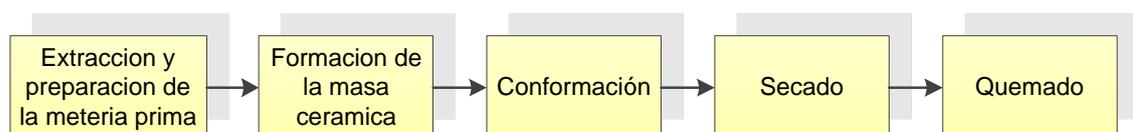


Figura 4. Procesamiento y producción de cerámica roja

Fuente: Andreoli (2006)



Generalmente, la incorporación del lodo se produce en la preparación de la masa cerámica, es decir, durante la mezcla de las diferentes arcillas. Esta mezcla se puede hacer manualmente o con la ayuda de un cargador o mediante un mezclador o interruptor, este último es menos habitual. La incorporación ocurre en esta etapa porque es posible corregir la humedad (Andreoli, 2006). Tsutiya y Hirata (2001) mencionan que la mezcla también se puede realizar directamente en el campo de arcilla, sin requerir otro equipo que los que ya se utilizan para la extracción de materia prima. Cuando se agregan lodos durante el proceso de fabricación, se requieren unidades de almacenamiento, alimentadores y un sistema de introducción de lodos.

Sin embargo, Tsutiya y Hirata (2001) llaman la atención sobre la contracción de los ladrillos, es decir, la reducción de tamaño durante el secado. La contracción varía de 2.5% a 10% en el secado en horno para arcillas naturales, mientras que para el lodo puede alcanzar el 20%, lo que limita la dosis ya que los bloques deben cumplir con las especificaciones de tamaño de acuerdo con NBR 7.171. Di Bernardo y Paz (2008) indican que se están obteniendo resultados favorables al incorporar hasta un 10% de lodo de ETA en la mezcla de ladrillos de arcilla o bloques de cerámica. Otra preocupación es la posibilidad de necesitar adaptaciones en el proceso de producción de cerámica roja para permitir la incorporación de lodos y los costos de transporte de los desechos.

Como se puede deducir de la tabla 5, el lodo de ETA, como las arcillas naturales, está compuesto básicamente de sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O) y óxido de hierro (Fe_2O_3). Como el lodo mostró una gran pérdida de fuego, se concluye que hay materia orgánica en su composición.

2.1.4.6. Reciclaje en la industria del hormigón.

Según Di Bernardo y Paz (2008), la piedra caliza corresponde a aproximadamente el 80% de la materia prima utilizada en la fabricación de cemento Portland. Este material tiene bajas concentraciones de sílice, hierro y aluminio. Para resolver este problema, Tsutiya y Hirata (2001) mencionan que se agregan arcilla, lutita, mineral de hierro y bauxita. El lodo de ETA contiene estos elementos, que se pueden utilizar para llenar este déficit al agregarlo al proceso de fabricación de cemento en la fase de pre-homogenización de las materias primas. Otro beneficio presentado es, cuando el lodo contiene óxidos de potasio y sodio, la disminución de las concentraciones de álcali en el

cemento producido, que en altas concentraciones causan expansión y grietas en las estructuras de concreto.

Tsutiya y Hirata (2001) sugieren que se requiere un contenido de sólidos de al menos 50% para la aplicación de lodo en la fabricación de cemento Portland. También indican que, si el lodo tiene una alta concentración de materia orgánica, antracita o carbón activado, sulfato, cloruros, permanganato de potasio y metales pesados pueden comprometer la calidad del cemento. El costo de transporte también es una barrera para esta alternativa.

2.2.5. LADRILLOS

Los ladrillos son pequeñas piezas cerámicas en forma de paralelepípedo, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción. Pueden utilizarse en toda clase de construcciones por ser su forma regular y fácil su manejo (Moreno, 1981).

La Norma Técnica Peruana 331.017 (2003) denomina al ladrillo como la unidad de albañilería fabricada con arcilla, esquisto arcilloso, o sustancias terrosas similares de ocurrencia natural, conformada mediante moldeo, prensado o extrusión y sometida a un tratamiento con calor a temperaturas elevadas (quema).

2.2.5.1. DEFINICIONES

i. Unidades de albañilería

Se denomina **ladrillo** a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. Se denomina **bloque** a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo.

- Las unidades de albañilería a las que se refiere la norma son ladrillos y bloques en cuya elaboración se utiliza arcilla, sílice-cal o concreto, como materia prima.
- Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial.
- Las unidades de albañilería de concreto serán utilizadas después de lograr su resistencia especificada y su estabilidad volumétrica. Para



el caso de unidades curadas con agua, el plazo mínimo para ser utilizadas será de 28 días.

ii. Tipos

Las unidades de albañilería pueden ser sólidas, huecas, alveolares y/o tubulares.

a) Unidad de Albañilería Sólida (o Maciza)

Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano. “Macizos corrientes”, que se emplean para toda clase de muros. En el mercado los hay de varias dimensiones, como se verá más adelante. “Ladrillón”, denominado también bomba, king-kong, etc. Empleado en muros de relleno, en aquellos que no van a soportar cargas apreciables.

b) Unidad de Albañilería Hueca.

Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano. Utilizados para muros en pisos altos, a fin de disminuir los pesos; usados también en los techos de concreto armado del tipo llamado techo aligerado.

c) Unidad de Albañilería Alveolar

Unidad de Albañilería Sólida o Hueca con alvéolos o celdas de tamaño suficiente como para alojar el refuerzo vertical. Estas unidades son empleadas en la construcción de los muros armados.

d) Unidad de Albañilería Tubular (o Pandereta)

Unidad de Albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento, empleados para aligerar el peso de los muros.

e) Unidad de Albañilería Apilable

Es la unidad de Albañilería alveolar que se asienta sin mortero

f) Pasteleros

Usados como revestimiento, o para impermeabilizar azoteos, y para pisos rústicos y de poco tráfico.



Figura 5. Tipos de ladrillos (Fuente: ladrillos LARK)

2.2.5.2. Características de los ladrillos

El ladrillo está destinado principalmente a la construcción de muros, tabiques, suelos, etc., por lo que debe ser invulnerable a los efectos de la intemperie, y poseer suficiente resistencia a la compresión.

Del Río (1975), Moreno (1981), Somayaji (2001) y Gallegos (2005), coinciden en que un ladrillo considerado como bueno, para muros de albañilería, debe poseer las características generales siguientes: estar bien moldeado, lo que da lugar a caras planas, lados paralelos y los bordes y ángulos agudos. Ser poroso, sin exceso, para poder tomar bien el mortero, no contener sales solubles para no propiciar la eflorescencia, poseer un sonido metálico al ser golpeado con un martillo u otro objeto similar, puesto que cuando se da este sonido es una muestra que el ladrillo está bien cocido y no tiene defectos como fisuras.

Así mismo debe contar con una geometría homogénea, compacta, luciente y exenta de caliches, no debe estar demasiado cocido ya que produciría una unidad de color violáceo o negruzco, con una estructura vitrificada y brillante, con deformaciones y grietas. Un ladrillo demasiado cocido es muy duro pero la resistencia queda anulada por las fisuras. Tampoco debe estar poco cocido o blando, pues podría desmoronarse fácilmente y daría un sonido sordo. En resumen, las características físicas del ladrillo



son que debe tener una buena cocción, un color uniforme, un sonido claro y seco al ser golpeado.

El Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.070 Albañilería) manifiesta que el ladrillo no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea. Además, el ladrillo estará bien cocido, tendrá un color uniforme y no presentará vitrificaciones. No tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras o grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad y/o resistencia. No tendrá manchas o vetas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo.

Según la NTP 331.017, los ladrillos estarán libres de defectos, deficiencias y tratamientos superficiales, incluyendo recubrimientos, que pudieran interferir con la adecuada colación del ladrillo o perjudicar significativamente la resistencia o el desempeño de la construcción.

2.2.5.3. Propiedades de los ladrillos

Las propiedades principales de las unidades de albañilería deben entenderse en su relación con el producto terminado, que es la albañilería. Se pueden dividir en dos categorías mayores:

A. Propiedades físicas relacionadas a la estética del material

- **Color:** Depende de su composición química de la materia prima y de la intensidad del quemado. De todos los óxidos comúnmente encontrados en las arcillas, el hierro tiene el mayor efecto sobre el color.
- **Textura:** Es el efecto en la superficie o la apariencia que presenta la unidad como resultado de la forma de elaboración (Somayaji, 2001).

B. Propiedades ingenieriles

Algunas propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcillas son las siguientes (Gallegos, 2005):

A. Relacionadas con la resistencia estructural:

- **Resistencia a la compresión:** Propiedad mecánica que le permite al ladrillo soportar a compresión.



- Variabilidad dimensional con relación a la unidad nominal, o mejor con relación a la unidad promedio y, principalmente, la variabilidad de la altura de la unidad.
- Alabeos, medidos como concavidades o convexidades en las superficies de asiento.
- Succión o velocidad inicial de absorción en la cara de asiento.

B. Relacionadas con la durabilidad:

- Absorción: Propiedad física que hace referencia a la capacidad de retener una sustancia (agua) en estado líquido.
- Resistencia a la congelación: Capacidad de los ladrillos de soportar bajas temperaturas sin perder sus propiedades ni sufrir fracturas.
- Resistencia al fuego: Propiedad física de los ladrillos que consiste en soportar altas temperaturas sin sufrir daños.
- Aislamiento térmico: Propiedad física que no permite la transferencia de calor, ya que tiene una baja conductividad térmica.

2.1.5.4. Clasificación de los ladrillos

De acuerdo a sus propiedades, el Reglamento Nacional de Edificaciones, clasifica al ladrillo en cinco tipos:

- **Tipo I:** Resistencia y durabilidad muy bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio con exigencias mínimas.
- **Tipo II:** Resistencia y durabilidad bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicios moderadas.
- **Tipo III:** Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de albañilería de uso general.
- **Tipo IV:** Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.
- **Tipo V:** Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

En la Tabla 5, según Norma Técnica de Edificaciones E.070 de Albañilería se representa la clasificación de las unidades de albañilería.

Tabla 5. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'_b mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100mm	Hasta 150mm	Más de 150mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

Fuente: Norma Técnica de Edificaciones E.070 de Albañilería

La Norma Técnica Peruana 331.017 (2003), clasifica a los ladrillos de arcilla, en cuatro tipos, tal como sigue:

- Tipo 21: Para uso donde se requiera alta resistencia a la compresión y resistencia a la penetración de la humedad y a la acción severa del frío.
- Tipo 17: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión y resistencia a la acción del frío y a la penetración de la humedad.
- Tipo 14: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.
- Tipo 10: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.

2.2.6. PROCESO DE PRODUCCIÓN

2.2.6.1. Tipos de proceso de fabricación

La producción de ladrillos puede llevarse a cabo de tres formas, de acuerdo a la Norma Técnica Peruana:

a. Artesanal:

Ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales. El amasado o moldeado es hecho a mano. El ladrillo producido artesanalmente se caracteriza por variaciones de unidad a unidad.

b. Semi-Industrial

Es el ladrillo fabricado con procedimientos manuales, donde el proceso de moldeado se realiza con maquinaria elemental que en ciertos casos extruye, a baja presión, la pasta de arcilla. El ladrillo semi-industrial se caracteriza por presentar una superficie lisa.

c. Industrial

Es el ladrillo fabricado con maquinaria que amasa, moldea y prensa o extruye la pasta de arcilla. El ladrillo producido industrialmente se caracteriza por su uniformidad.

Las formas de producción artesanal y semi-industrial, tienen los mismos pasos o secuencias, únicamente variando en los instrumentos, métodos y herramientas utilizadas para la producción. La principal variación se da en el proceso de moldeado, como ya se explicó en la definición, para el ladrillo semi-industrial se utiliza maquinaria que extruye la pasta de arcilla, por lo que se obtienen unidades de superficie lisa.

El proceso industrial se diferencia de los dos primeros procesos de fabricación no solo en la utilización de maquinaria para el proceso de moldeado sino en el empleo de hornos más sofisticados para la fase de cocción. En estos hornos se lleva un control de temperatura, logrando una mayor eficiencia en la producción de unidades de arcilla con una mejor calidad final.

2.2.7. ELABORACIÓN DE LADRILLO

En la Figura 6, se observa el proceso de elaboración de ladrillos del tipo artesanal e industrial el cual involucra varias etapas hasta la obtención del producto final.

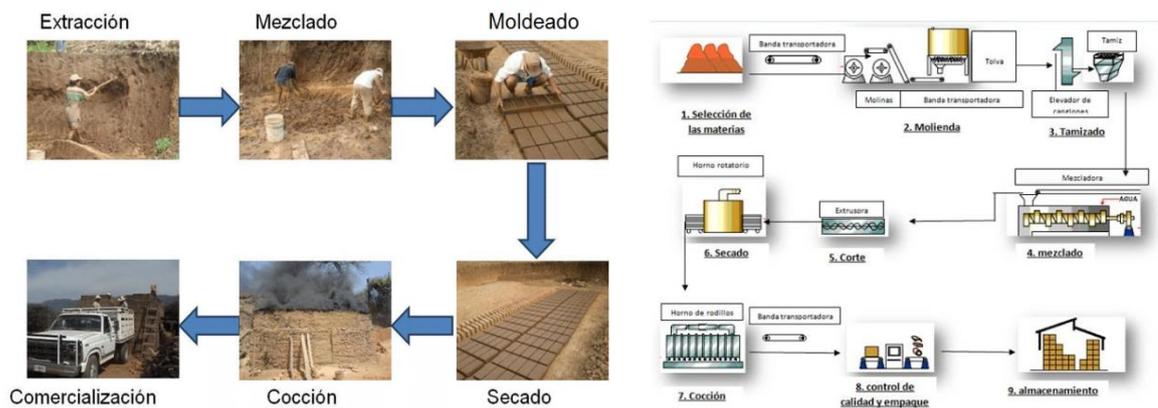


Figura 6. Izquierda elaboración artesanal de ladrillos, González E. & Lizárraga L. (2015), Derecha elaboración de ladrillos del tipo industrial.

Los pasos básicos para la producción de ladrillos se describen según a los siguientes procedimientos:

A. Selección y preparación de la mezcla

Etapa muy importante de la fabricación. De la fineza de la pasta depende en gran parte que el producto sea bien logrado (aspecto, resistencia, etc.).

Los depósitos de arcilla se encuentran al pie de colinas o en tierras agrícolas cercanas a ríos. Los criterios para seleccionar una localización adecuada son la calidad de la arcilla, disponibilidad a nivel superficial y la cercanía de una vía transitable (Robusté, 1969).

La excavación manual en plantas de pequeña y mediana escala generalmente se realiza a una profundidad menor de dos metros. Para plantas de fabricación de ladrillos a gran escala se necesitan medios mecánicos como dragaminas y excavadoras de cucharas de diferentes tipos. Estos métodos requieren proporcionalmente menos área de excavación, pero hacen cortes profundos en el paisaje (Robusté, 1969).

La arcilla debe someterse a ciertos tratamientos de trituración, homogenización y reposo en acopio, para obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características mecánicas y químicas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, etc.) favorece además a la descomposición de la materia orgánica que puede estar presente y permite la purificación química del material (Robusté, 1969).



La principal dificultad inherente a la fabricación consiste en la elección de una mezcla de diferentes arcillas. Así por ejemplo con aquellas que son muy grasas se les mezclará con materiales desgrasantes como la arena (Robusté, 1969).

El porcentaje de agua utilizada para la mezcla es aproximadamente del 25% del total (Jiménez y Salazar, 2005).

B. Moldeado

En esta etapa, se le da a la arcilla la forma que las unidades de albañilería deberán tener después de la cocción. El proceso de moldeado se puede realizar a mano o empleando máquinas. El proceso de moldeado en la producción de ladrillo artesanal únicamente consiste en llenar las gaveras o moldes vaciando la mezcla dentro de ellas, compactándola con las manos y después alisándola con un rasero, que es un palo cilíndrico que se usa para quitar la parte que excede de una medida determinada (Rhodes, 1990).

C. Secado

El proceso de secado consiste en el desprendimiento del agua unida físicamente a la pasta. Dentro del proceso de secado hay un proceso conocido como pre-secado, el cual consiste en dejar durante un tiempo el ladrillo recién moldeado en el mismo lugar donde fue hecho para que pierda humedad y sea posible su manipulación. En el proceso de secado se involucran dos fenómenos físicos: Transferencia de calor y Transferencia de masa. La transferencia de calor se da cuando el ladrillo y el ambiente encuentran un equilibrio térmico, del cual dependerá en parte la velocidad de difusión del agua presente en la arcilla. El fenómeno de transferencia de masa se da siempre y cuando exista un gradiente de humedad entre el ambiente y la arcilla, ya que se produce cuando el vapor de agua se difunde a través de los poros de la matriz arcillosa. El tiempo de secado dependerá de la velocidad de difusión, misma que está en función del tamaño, longitud y forma del poro de la arcilla (Rhodes, 1990).

El secado puede ser natural o artificial. En el primer caso el secado está condicionado a las características climáticas de la región y algunas veces el lugar de secado es colocado sobre los hornos para que de esta manera se pueda recuperar algo de la energía perdida a través de la bóveda del horno (Rhodes, 1990).

En el caso de secado artificial, este proceso es acelerado por acondicionamiento del aire. Existen muchos tipos de secadores artificiales pero los más conocidos son los de cámara y los de túnel. Los productos a secar son llevados por medio de pequeñas vagonetas en donde son sometidos a un proceso de secado regulado al contenido de agua de los productos. El aire caliente utilizado para el secado proviene de máquinas especiales que algunas veces aprovechan el calor de los hornos cuando éstos están en proceso de enfriamiento. El secado de los ladrillos es una de las partes más delicadas de la fabricación, pues un secado muy rápido puede rajarlos y un secado incompleto puede impedir el buen cocimiento (Robusté, 1969).

D. Cocción:

El proceso de cocción consiste en someter los ladrillos previamente secados a condiciones de alta temperatura por tiempos prolongados en hornos, con el fin de que adquieran sus propiedades mecánicas y físicas, ya que la arcilla sin cocer tiene propiedades muy bajas. Con este proceso no sólo consiguen las propiedades físicas y mecánicas sino también la apariencia final. Las fases de cochura en el horno son tres: precalentamiento, cocción y enfriamiento. En la primera fase se elimina paulatinamente el agua impregnada en la arcilla. El agua es removida por aire continuamente renovado y aumenta constantemente la temperatura, el precalentamiento se considera terminado cuando toda la masa alcanza los 100° C (Anfalit, 2002).

En la etapa de enfriamiento la temperatura desciende desde la de cocción hasta la normal, esto debe realizarse paulatinamente (de 500° C a 600° C), especialmente en los hornos cerrados, para garantizar dureza, tenacidad y colorado de las piezas vitrificadas. El enfriamiento de las piezas está definido por su tamaño, cuanto mayor es el tamaño de los ladrillos, la temperatura normal se alcanza más lentamente. Los productos cuyo enfriamiento se realiza lentamente, son tenaces y muy resistentes a las acciones mecánicas. Por el contrario, un enfriamiento rápido los hace frágiles, hasta el punto que si han sido enfriados con demasiada premura se rompen a veces espontáneamente, sin la intervención de agentes mecánicos exteriores (Anfalit, 2002).

Villarreal (2004), considera cuatro etapas durante el proceso de cochura:

1. Precalentamiento a 200° C y eliminación del agua unida físicamente a la arcilla.
2. Calentamiento hasta 700° C, aquí se da la eliminación del agua químicamente unida a la arcilla.



3. Maduración del producto entre 900° C y 1000° C.
4. Temple de la pieza, enfriamiento lento hasta alcanzar 500° C.

En este proceso, es importante considerar el intervalo de cocción, es decir, el rango de temperatura entre el inicio de la vitrificación (formación de fase vítrea) y el inicio de la deformación. Este intervalo depende de las características de la pasta y debe ser lo más amplio posible, debiendo estar la temperatura óptima de cocción dentro de dicho intervalo, no demasiado cerca del inicio de la vitrificación para que el material no sea demasiado poroso, y no demasiado cerca del inicio de la deformación para que la pieza no quede deformada. Con un intervalo de cocción demasiado corto, cualquier pequeña diferencia de temperatura del horno hace que el producto pase de poco a demasiado cocido. Otro factor importante a considerar es el control de la curva de cocción, de la cual dependerán varias de las características del ladrillo. Si no se controla la evolución de la temperatura en el tiempo, puede haber problemas con el ladrillo, incluso durante el calentamiento y enfriamiento, ya que pueden presentarse tensiones que produzcan roturas. La cocción, en el proceso de fabricación de las unidades de albañilería, es la fase final más importante del mismo. La eficiencia de esta etapa depende, entre otros factores, del tipo de horno empleado (Anfalit, 2002).

2.2.8. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

La metodología de superficies de respuesta, o MSR, es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y el análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar esta respuesta (Montgomery, 2002).

Permite que el investigador inspeccione, de manera visual, la respuesta para cierta zona de los niveles de los factores de interés y evaluar su sensibilidad a los factores de tratamiento (Kuehl, 2001).

2.2.8.1. Etapas de la optimización

Ayala y Pardo (1995) mencionan tres etapas fundamentales: screening o cribado, escalamiento y optimización final.

A. Etapa I: Screening o cribado

Al inicio de un proceso de optimización, cuando todavía no se tiene un buen conocimiento del comportamiento del proceso, generalmente la lista de

factores o variables que puedan influir en el proceso son muchas, por lo que es necesario identificar las más relevantes. En esta etapa, los diseños de primer orden son los más recomendados, siendo el diseño factorial el más utilizado, especialmente los diseños factorial 2^k y factorial fraccionado (Ayala y Pardo, 1995).

Montgomery (2002) menciona que, por lo general, se emplea un polinomio de orden inferior en alguna región de las variables independientes. Si la respuesta está bien modelada por una función lineal de las variables independientes, entonces la función de aproximación es el modelo de primer orden, representado en la Ecuación (1):

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde “ ε ” representa el ruido o error observado en la respuesta “y”.

B. Etapa II: Escalamiento

Cuando la región óptima se encuentra lejos de los experimentos iniciales (Etapa I: screening), como en el caso de las condiciones de operación de la Figura 7, se inicia una segunda etapa de optimización denominada escalamiento (Ayala y Pardo, 1995).

Esta etapa consiste en escalar sucesivamente hacia la región óptima hasta llegar a ubicarla. Existen varios métodos entre los cuales destacan el método de pendientes ascendentes o descendentes y el método de búsqueda simple (Simplex Search).

Estos métodos permitirán acercarse a la denominada “región experimental de respuestas estacionarias”, es decir, a una zona en la cual ya no es posible mejorar las respuestas por las técnicas mencionadas. En esta situación los efectos cuadráticos toman importancia y el uso de los modelos de segundo orden es necesario para describir dicha región (Ayala y Pardo, 1995).

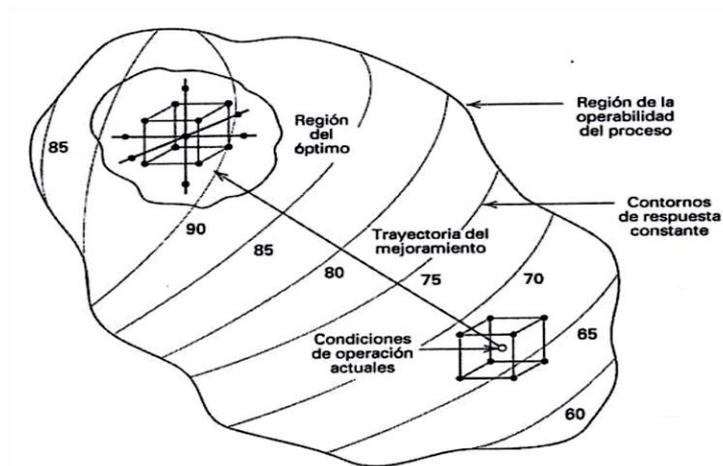


Figura 7. El carácter secuencial de la MSR
FUENTE: Montgomery (2002)

C. Etapa III: Optimización final

En la región experimental que encierra el óptimo, los efectos de segundo orden son mayores en valores absolutos a los efectos de primer orden, lo que indica que esta región puede ser descrita apropiadamente mediante modelos matemáticos de segundo orden de la forma:

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{u,j=1}^k b_{uj} x_u x_j + \sum_{j=1}^k b_{jj} x_j^2 \quad u \neq j \quad \text{Ecuación (2)}$$

Una vez definido el modelo matemático que represente satisfactoriamente la región óptima, se procede a optimizar dicho modelo, es decir, hallar los valores óptimos de las variables x_j que maximicen o minimicen el modelo matemático estimado Ecuación (2) (Ayala y Pardo, 1995).

La ecuación de respuesta cuadrática se representa como una superficie sólida en tres dimensiones (Figura 8). En la Figura 9, la ecuación aparece como curvas de nivel o también llamado gráfica de contornos. Cada contorno corresponde a una altura particular de la superficie de respuesta (Kuehl, 2001; Montgomery, 2002).

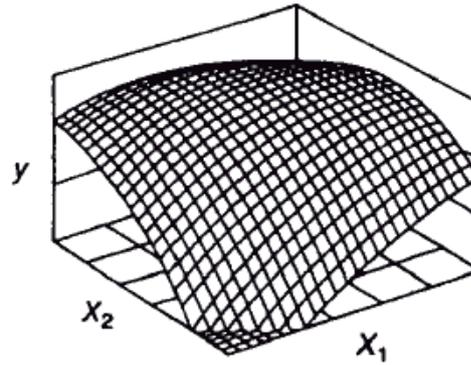


Figura 8. Superficie de respuesta cuadrática
Fuente: Kuehl (2001)

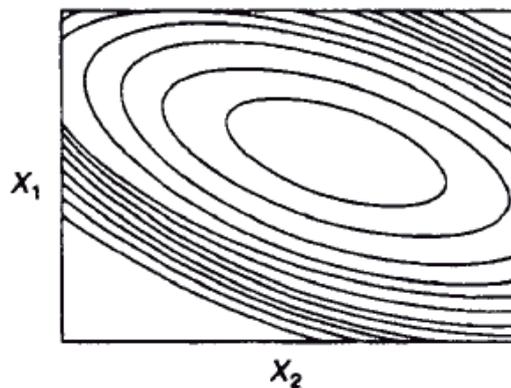


Figura 9. Curvas de nivel de respuesta cuadrática
FUENTE: Kuehl (2001)

i. Diseño factorial

En estadística, un experimento factorial completo es un experimento cuyo diseño consta de dos o más factores, cada uno de los cuales, con distintos valores o niveles, cuyas unidades experimentales cubren todas las posibles combinaciones de esos niveles en todos los factores. Este tipo de experimentos permiten el estudio del efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable.

Por ejemplo, con dos factores y dos niveles en cada factor, un experimento factorial tendría en total cuatro combinaciones de tratamiento, y se le denominaría diseño factorial de 2×2 .

Si el número de combinaciones en un diseño factorial completo es demasiado alto para su procesamiento, puede optarse por un diseño factorial fraccional, en el que se omitan algunas de las combinaciones posibles.

a. Construcción de un diseño factorial completo 2^k :

Por su sencillez, una matriz de experimentos factorial completa 2^k no requiere un software especializado para construirla ni para analizar sus resultados. En estos diseños, cada factor se estudia a sólo dos niveles y sus experimentos contemplan todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores. La Figura 10 muestra las matrices 2^2 , 2^3 y 2^4 , para el estudio de 2, 3 y 4 factores respectivamente. La matriz comprende 2^k filas ($2 \times 2 \dots \times 2 = 2^k$ experimentos) y k columnas, que corresponden a los k factores en estudio. Si se construye en el orden estándar, cada columna empieza por el signo $-$, y se alternan los signos $-$ y $+$ con frecuencia 2^0 para x_1 , 2^1 para x_2 , 2^2 para x_3 , y así sucesivamente hasta x_k , donde los signos se alternan con una frecuencia 2^{k-1} .

	x_1	x_2
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

	x_1	x_2	x_3
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

	x_1	x_2	x_3	x_4
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

Figura 10. Matriz de experimentos para los diseños factoriales 2^2 , 2^3 y 2^4

ii. Diseño compuesto central

El diseño compuesto central o DCC consiste, según Montgomery (2002) y Kuehl (2001), en un diseño factorial 2^k , al cual se le añade puntos axiales (2^k)

en los ejes de coordenadas, a una distancia $\pm \alpha$ del punto central del diseño. El punto central es replicado cierto número de veces.

En el DCC, cada factor tiene cinco niveles, lo cual permite una buena predicción del modelo de segundo orden. Asimismo, el reducido número de puntos experimentales (correspondientes a la suma de los puntos factoriales, puntos axiales y repeticiones en el punto central: $N = 2k + 2k + n_c$) lo convierte en un diseño económico en cuanto al uso de recursos (Kuehl, 2001). En la Figura 11 se muestra el DCC para $k=2$ y $k=3$ factores.

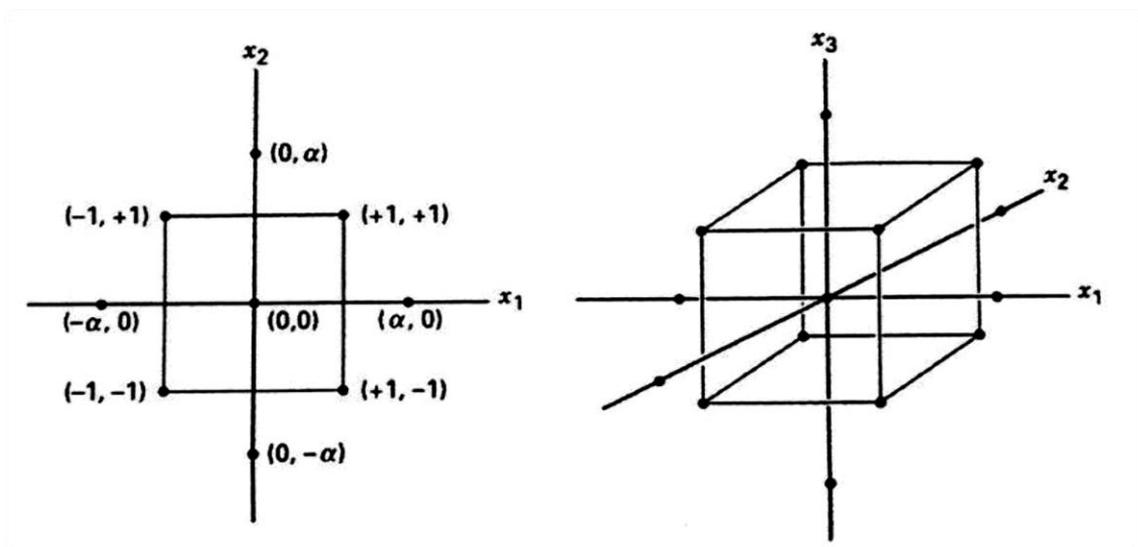


Figura 11. Diseños centrales compuestos para $k=2$ y $k=3$
Fuente: Montgomery (2002)

Hay dos parámetros en el diseño que deben especificarse:

- La distancia α de las corridas axiales al centro del diseño. La elección de la distancia α de las corridas axiales al centro del diseño es muy importante, pues determinará la rotabilidad del diseño. Un diseño es rotable cuando la varianza $V[y(x)]$ es igual en todos los puntos x que equidistan del centro del mismo, siendo constante en esferas, lo cual se traduce en la obtención de un modelo de segundo orden que proporciona buenas predicciones en toda la región de investigación (Montgomery, 2002).



- El número de los puntos centrales n_c . Algunas razones por las que deben incluirse: produce un buen perfil de la función, minimiza el cuadrado medio del error, permite hacer un análisis de falta de ajuste a un modelo de segundo orden e incrementa la robustez del diseño; de tres a cinco corridas centrales son suficientes para alcanzar dichos objetivos. Si se quiere introducir más puntos centrales, no hay ningún inconveniente, excepto por el costo adicional que significa ejecutar más lecturas (Box y Draper, 1987; Montgomery, 2002).

Tabla 6. Matriz del DCC en dos factores aumentando cinco puntos centrales

Corridas o ensayos	X_1	X_2	
1	-1	-1	} Factorial 2^2
2	1	-1	
3	-1	1	
4	1	1	
5	$-\alpha$	0	} Axiales
6	$+\alpha$	0	
7	0	$-\alpha$	
8	0	$+\alpha$	
9	0	0	} Centrales
10	0	0	
11	0	0	
12	0	0	
13	0	0	

Fuente: Montgomery (2002)



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El punto de partida para poder desarrollar la parte experimental propuesto en este trabajo de investigación se realizó de acuerdo al siguiente detalle:

Localidad	: Juliaca - San Román
Lugar de muestreo	: Planta de Tratamiento de Agua Potable - Ayabacas
Punto de muestro	: Unidad compacta N° 02
Altitud	: 3832 m.s.n.m.
Temperatura variable	: 10 – 20°C

3.2. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- La toma de muestras de lodo se realizó en la unidad compacta N° 02 de la planta de tratamiento de agua potable – Ayabacas de la EPS SEDA JULIACA S.A.
- Los ensayos de caracterización del lodo se realizaron en los ambientes del Laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Altiplano – Puno.
- El compósito de las muestras de lodo se envió a un laboratorio acreditado (laboratorio Analíticos del Sur E.I.R.L.) para los análisis de metales, metales pesados y microbiológicos.
- El tratamiento, ensayo de las propiedades físicas, así como la elaboración de ladrillos se realizó en los ambientes del Laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Altiplano – Puno.
- El análisis de la composición química del lodo seco se envió a un laboratorio acreditado (laboratorio Analíticos del Sur E.I.R.L.).
- El ensayo físico - mecánico (absorción de agua y resistencia a la compresión) de los ladrillos elaborados se realizaron en la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, de la Universidad Nacional del Altiplano de la ciudad de Puno.

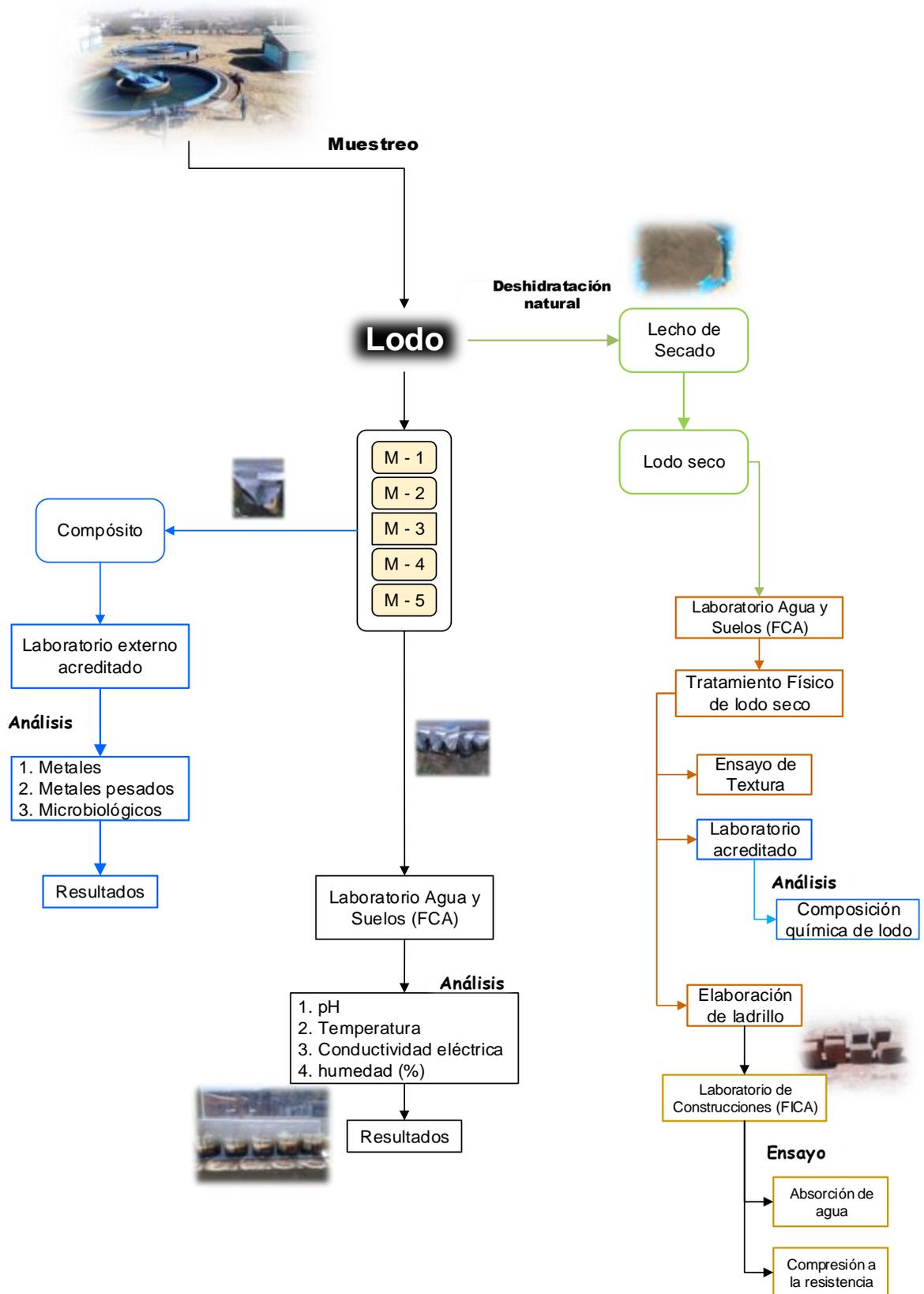


Figura 12. Desarrollo del trabajo de investigación

3.3. OBTENCIÓN Y MUESTREO DE LODOS

3.3.1. Lodos generados por la unidad compacta N° 02

El muestreo de lodos se realizó en la época de estiaje (junio 2019) en los siguientes puntos:

- Lodos depositados en la planta en estudio: Unidad compacta N° 02
- Lodos generados en la planta en estudio: Los resultantes del lavado de las Unidad compacta N° 02.

En la figura 12, se observa los lodos generados durante el proceso de tratamiento de agua, cabe mencionar que el lodo contenido en las unidades compactas presenta gran heterogeneidad en sus propiedades físicas, químicas y biológicas a lo largo de su profundidad, en particular en su estado líquido y sólido.

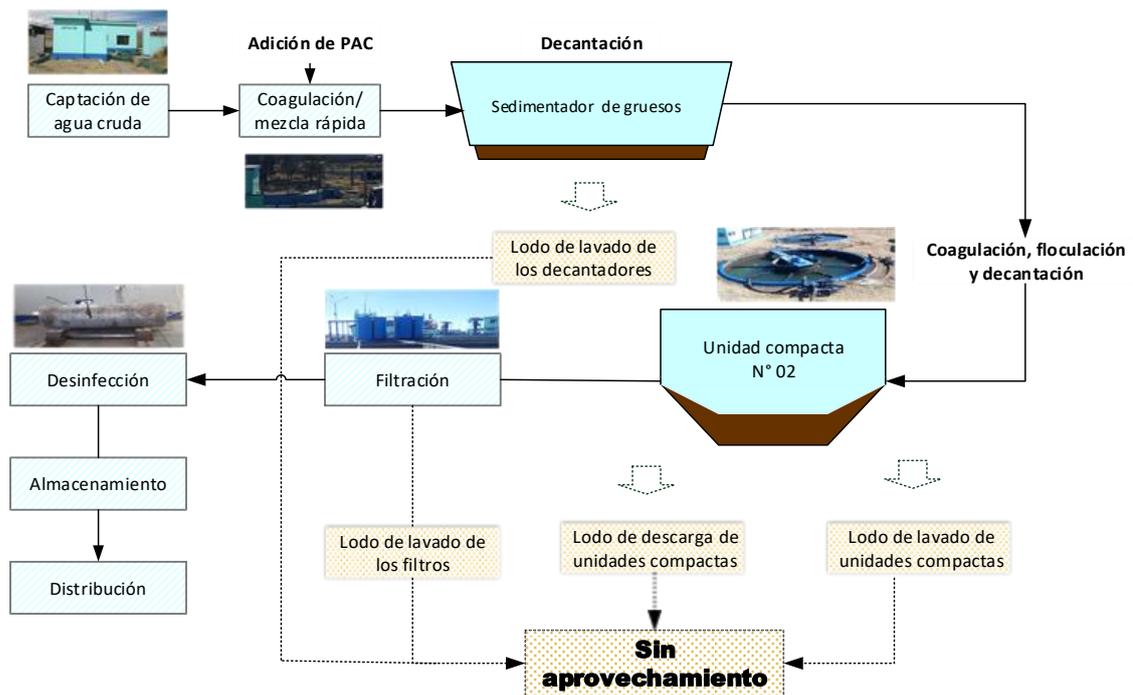


Figura 13. Flujograma de la situación actual en la PTAP - Ayabacas

Fuente: Elaboración propia



3.3.2. Muestreo de lodo

Se va a realizar la toma de varias muestras puntuales y una muestra compuesta que resulta de la mezcla y homogenización de varias muestras puntuales, las muestras compuestas se constituyen de muestras puntuales tomadas al azar respecto a la ubicación en el cuerpo total del lodo acumulado. El objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio, en la cual se analizarán los parámetros de interés, ver figura 13.

A. Materiales

- Balde de 5 L y 20 L
- Soga de 2” por 5 metros
- Bolsas Zifloc
- Jarra de plástico de 50 mL
- Plástico de 10mx2mx0.5mm
- Cooler
- Plumones indelebles

B. Equipos de protección personal

- Botas de jebe
- Guantes de jebe
- Caso de protección
- Lentes de seguridad

C. Insumos y reactivos

- Agua destilada
- Hielo

D. Procedimiento

1. Portar los equipos de protección personal
2. Rotular las bolsas zifloc (M-1, M-2, M-3, M-4, M-5 y LODO) antes de realizar el muestreo.
3. Realizar el muestreo alrededor de la unidad compacta N° 02 según la representación esquemática de los puntos de muestreo, Figura 13.

4. Tomar muestras puntuales con un balde de 5 L sujetado a una soga de 2” por 5 metros, el balde debe ser lavado con agua para volver a tomar la siguiente muestra.
5. Trasvasar la muestra en las bolsas Zifloc rotuladas con M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, así sucesivamente hasta completar el muestreo.
6. Para la muestra compuesta, realizar la toma de las muestras puntuales y trasvasar a un balde de 20 litros para posterior mezcla y homogenización
7. Trasvasar la muestra del balde de 20 L previamente mezclado y homogenizado a la bolsa zifloc rotulado con el nombre de “LODO”.
8. Las bolsas zifloc con contenido de muestras y rotuladas llevar a un cooler para su conservación y posterior análisis respectivo
9. Después del muestreo se continúa extrayendo el lodo para acumular sobre un lecho de secado, que se ha adecuado oportunamente con un plástico de 10mx2mx0.5mm sobre el piso, esto con la finalidad de realizar la deshidratación natural del lodo.

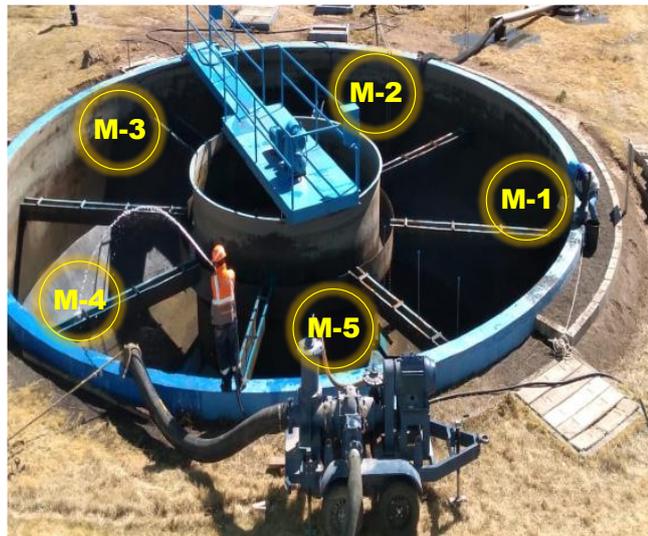


Figura 14. Puntos de muestreo alrededor de la unidad compacta N° 02

En la Tabla 7, se detalla las muestras codificadas, datos de muestreo, así como algunas observaciones que se presentaron el día del muestreo.

Tabla 7. Muestras colectadas en la unidad compacta N° 02

N°	Muestras codificadas	Datos del muestreo	
1	M - 1	Punto de muestreo : Unidad Compacta N° 02	
2	M - 2	Muestra : Lodo	
3	M - 3	Fecha : 20/06/2019	
4	M - 4	Hora : 11:40:00 a.m.	
5	M - 5	*Cantidad de muestras: 5 muestras puntuales y un compuesto (de las cinco puntos de muestreo)	
6	LODO		
Observación: El personal de planta realizó el mantenimiento y lavado de la Unidad Compacta N° 02, el mismo día que se realizó el muestreo del lodo.			

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Caracterización del lodo

La caracterización de las muestras de lodo colectadas, se realizó de la siguiente manera:

1. El Compósito rotulado con el nombre de “LODO”, se envió para el análisis de metales, metales pesados y microbiológicos a un laboratorio acreditado.
2. A las muestras M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5 se le realizaron los ensayos fisicoquímicos para determinar pH, temperatura, Conductividad y porcentaje de humedad.

3.3.3.1. Determinación de pH y Temperatura (método potenciómetro)

A. Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitado de 10 mL y 25 mL
- Probeta graduada de 25, 50 mL
- Varilla de vidrio
- Pizeta de 500 mL

B. Equipos

- pH-metro de marca HANNA

C. Insumos y reactivos

- Agua destilada
- Patrones para calibración de pH=3, pH=7 y pH=10 marca HANNA

D. Procedimiento

- 1) Encender el equipo (ON) y presionar la opción de “calibración”, luego el equipo solicita la solución buffer pH=3, introducir el electrodo y esperar unos minutos hasta que se emita un sonido, marcado el sonido presionar “select” automáticamente el equipo solicitará la solución pH=7 introducir nuevamente el electrodo y esperar hasta que emita nuevamente el sonido e inmediatamente presionar “select” automáticamente el equipo solicitará la solución pH=10.
- 2) Calibrado el equipo proceder a dar lectura de pH y temperatura para las diferentes pruebas. Entre prueba y prueba lavar el electrodo con agua destilada, para evitar errores en la lectura.
- 3) Lectura de pH y temperatura en °C, los valores de los resultados se promedia.

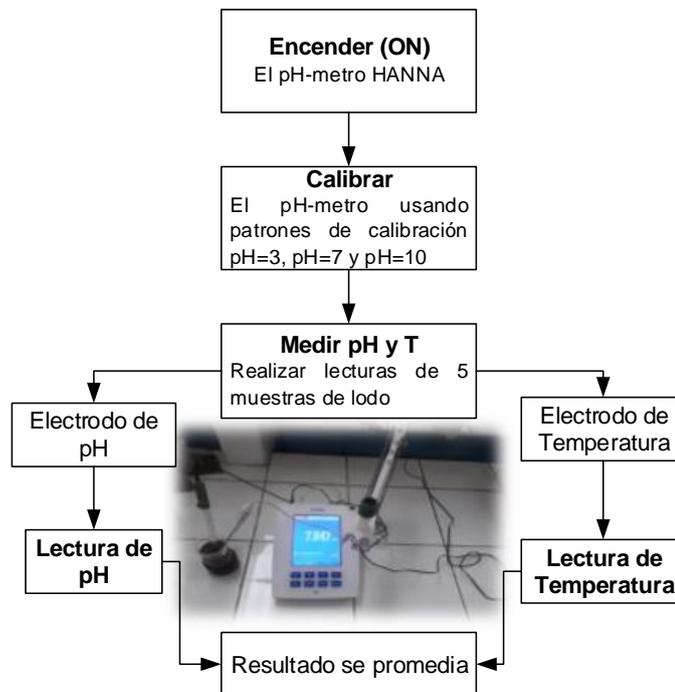


Figura 15. Diagrama de flujo del análisis de pH y temperatura

3.3.3.2. Determinación de conductividad eléctrica (método potenciómetro)

A. Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitado de 10 mL y 25 mL
- Probeta graduada de 25 mL y 50 mL
- Varilla de vidrio
- Pizeta 500 mL

B. Equipos

- Conductímetro de marca HACH

C. Insumos y reactivos

- Agua destilada
- Solución de KCl 0,01M

D. Procedimiento

- 1) El equipo se opera de acuerdo con el instructivo de operación del conductímetro de cada laboratorio. Encender el equipo y presionar la opción de “calibración”. Si el equipo posee compensador de temperatura, la constante de la celda debe ser previamente verificada y ajustada con la solución de cloruro de potasio (KCl) 0,01M.
- 2) Sumergir la celda en la suspensión acuosa obtenido de la muestra.
- 3) Leer en el conductímetro.
- 4) Lavar la celda con agua destilada entre una y otra determinación.
- 5) Medir un blanco con el agua destilada usada en la preparación de la suspensión de lodo.

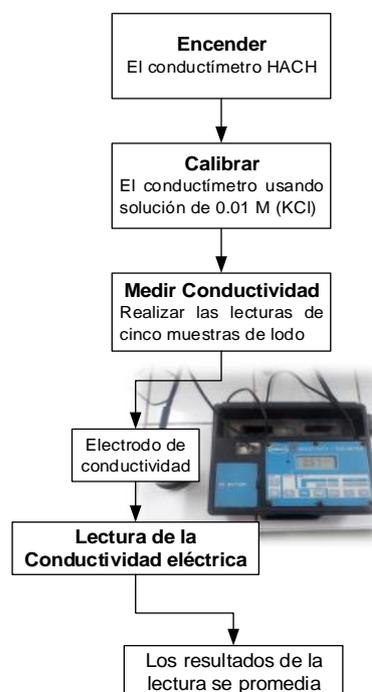


Figura 16. Diagrama de flujo del análisis de conductividad eléctrica



3.3.3.3. Determinación de humedad del lodo (%)

A. Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitado de 25 mL, 50 mL y 100 mL
- Probeta de 25 mL y 50 mL
- Varilla de vidrio
- Pizeta de 500 mL
- Guantes de nitrilo

B. Equipos

- Balanza analítica de marca SCIENTECH con precisión de 0.0001
- Estufa de marca MEMMERT con temperatura máxima de 300° C
- Desecador

C. Insumos y Reactivos

- Agua destilada

D. Procedimiento

- 1) Se colocó los vasos de precipitado de capacidad de 100 mL en una estufa durante 30 minutos a 50°C para eliminar la humedad, después se enfrió en un desecador y posterior a ello se pesó los vasos de precipitado se registró el peso, después se realizó el pesado con la muestra sobre los vasos de precipitado (W_i) la muestra se introdujo dentro de la estufa a 105.5 °C durante 24 horas.
- 2) Las muestras se retiraron de la estufa y se introdujo dentro de un desecador durante 30 minutos. Luego se pesó la muestra con los vasos de precipitado.
- 3) Finalmente, para llegar hasta peso constante (W_f), se volvió a colocar la muestra en la estufa por 30 min.
- 4) El porcentaje de humedad con la siguiente ecuación:

$$\%Humedad = \frac{W_i - W_f}{W_f} * 100$$

Dónde:

% Humedad = Porcentaje de humedad

W_i = Peso del vaso de precipitado + muestra húmeda

W_f = Peso del vaso de precipitado + muestra seca



Figura 17. Diagrama de flujo del ensayo contenido de humedad del lodo

3.3.4. Determinación de metales, metales pesados y microbiológicos del lodo

Los metales y metales pesados que se encuentran regulados en nuestro país. Los análisis de lodo son realizados por un laboratorio acreditado (Laboratorio Analíticos del Sur de la ciudad de Arequipa), mediante el equipo de ICP-OES. El plasma de acoplamiento inductivo (ICP) es una fuente de ionización junto a un espectrofotómetro de emisión óptico (OES) que constituye el equipo de ICP-OES. La determinación de estos metales es importante para considerar el grado de contaminación y los compuestos que pudieran resultar nocivos al contacto con el medio ambiente durante la disposición o reutilización del lodo. Los análisis microbiológicos de la muestra de lodo se determinaron en el mismo laboratorio mencionado anteriormente. Los resultados obtenidos después del análisis se muestran en la Tabla 8 y 9.

Tabla 8. Cuadro para valores de los análisis de metales y metales pesados en el lodo

PARAMETROS	Unidad de Medida	Lodo en estudio
<i>METALES</i>		
Aluminio (Al)	mg/kg	
Hierro (Fe)	mg/kg	
Magnesio (Mg)	mg/kg	
Manganeso (Mn)	mg/kg	
Calcio (Ca)	mg/kg	
Sodio (Na)	mg/kg	
Potasio (K)	mg/kg	
<i>METALES PESADOS</i>		
Arsénico (As)	mg/kg	
Cadmio (Cd)	mg/kg	
Cromo (Cr)	mg/kg	
Cobre (Cu)	mg/kg	
Plomo (Pb)	mg/kg	
Níquel (Ni)	mg/kg	
Zinc (Zn)	mg/kg	
Boro (B)	mg/kg	
Mercurio (Hg)	mg/kg	
Plata (Ag)	mg/kg	
Bario (Ba)	mg/kg	
Cobalto (Co)	mg/kg	
Litio (Li)	mg/kg	
Molibdeno (Mo)	mg/kg	
Fosforo (P)	mg/kg	
Antimonio (Sb)	mg/kg	
Selenio (Se)	mg/kg	
SiO ₂	mg/kg	
Silicio (Si)	mg/kg	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 9. Valores de los análisis microbiológicos en el lodo

MICROBIOLOGICOS	Unidad de medida	Lodo en estudio
Coliformes fecales	NMP/g	
Salmonella sp.	NMP/g	
Helminfos y parásitos	HH/2g	

Fuente. Elaboración propia



3.4. ACONDICIONAMIENTO Y ENSAYOS FÍSICOS AL LODO

3.4.1. Tratamiento físico

Para utilizar el lodo como material para la elaboración de ladrillo se le aplicaron previamente un tratamiento físico, según al siguiente procedimiento:

3.4.1.1. Preparación de muestras de lodos en el laboratorio.

Ya en el laboratorio, es necesario poner sumo cuidado en el manejo de las muestras cuando estas llegan del campo. Las operaciones que se realizan siguen la siguiente secuencia:

- Identificación
- Secado
- Molienda
- Tamizado
- Homogenizado

Los materiales utilizados en la preparación de las muestras son los siguientes:

1. Mortero de porcelana
2. Plástico de 2x10x0.5 mm
3. Estufa para secado, con circulación de aire
4. Tamiz N° 12 (1.7 mm de diámetro)
5. Mortero de ágata para casos especiales
6. Bolsas de polietileno o de papel kraft
7. Marcadores indelebles o etiquetas
8. Cuaderno para registro

A. Identificación.

En un cuaderno de registro se deben anotar todas las muestras que llegan al laboratorio para su análisis. En éste se anotarán el número de laboratorio y de campo que le corresponde a la muestra de lodo, datos sobre la procedencia, así como el tipo de análisis que requiere la muestra. Cualquier otro dato que permita su identificación debe ser anotado.



B. Secado

Las muestras de lodos son puestas a secar a temperatura ambiente (deshidratación natural), extendiendo bien la muestra de lodo sobre un plástico de 2mx10mx0.5mm en un lugar seco y protegido de posibles contaminaciones. En algunos casos se pueden secar en una estufa con circulación de aire y a una temperatura de 25 °C - 30 °C.

C. Molienda y trituración

Terminado el proceso de secado, se realizará la molienda y trituración de la muestra seca con un mortero de porcelana o con rodillos de madera.

D. Tamizado de la muestra

El tamizado consiste en hacer pasar el lodo seco, una vez triturado y disgregado, por un tamiz N° 12, a objeto de separar el lodo en dos porciones, la que queda retenida en el tamiz (material mayor a 1.7 mm) y la porción de lodo que pasa por el mismo, o sea, aquella fracción menor.

E. Homogenización

Consiste en el mezclado de la porción de lodo que paso a través del tamiz de 1.7 mm. Esta porción se debe homogenizar mediante un mezclado sobre un material plástico o papel kraft limpio. Posteriormente, se hace el cuarteo de la muestra para proceder a colocar cada porción en los recipientes debidamente marcados, en los cuales serán transportadas las muestras a los laboratorios, para su posterior análisis y almacenamiento para la elaboración de ladrillo.

F. Almacenamiento

Una vez analizada la muestra, se almacena el resto de ella por un periodo mínimo de seis meses, en un lugar ventilado especialmente diseñado para este propósito, manteniendo la identificación que le fue asignada, durante el registro inicial de la muestra.



Figura 18. Diagrama de flujo del tratamiento físico del lodo

3.4.2. Determinación de la textura del lodo

Todos los suelos están compuestos por fracciones y partículas minerales de diferentes tamaños. Las más gruesas se denominan arenas, las medianas son los limos y las más pequeñas son las arcillas (Figura 19).

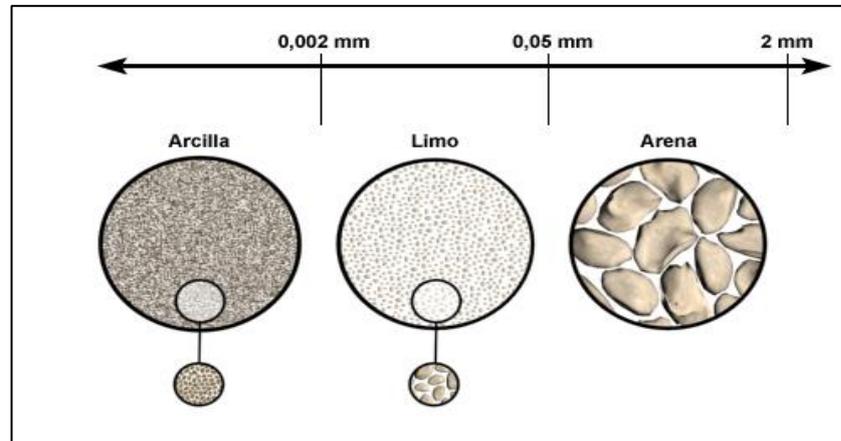


Figura 19. Diámetros de las partículas del suelo, Fuente: The comet program

Luego del proceso de acondicionamiento físico del lodo, se procede a realizar el ensayo de textura del lodo; este procedimiento se realiza con la finalidad de conocer a qué tipo de suelo se asemeja los resultados.

A. Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitado de 10, 25 y 50 mL
- Vaso dispersante de 500 mL
- Vaso de plástico de 10 mL
- Probeta graduada de 50, 100 mL y 1L
- Varilla de vidrio
- Pizeta de 500 mL

B. Equipos

- Mezcladora de dispersión eléctrico de marca HAMILTON BEACH (Conocido también como agitador de Bouyocus)
- Mufla de marca THELCO con Temperatura máxima 120°C
- Balanza analítica JM Electronic con precisión de 0.001

C. Reactivos e insumos

- Agua destilada
- Hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)₆ 1N



D. Procedimiento

1. Pesar 50 g de lodo seco en la balanza analítica, luego colocarlos en un vaso dispersante de 500 mL, tomando la precaución de no desperdiciar la muestra.
2. Se agregará 10 mL de hexametáfosfato de sodio $(\text{NaPO}_3)_6$ 1N cantidad necesaria para humedecer la muestra de lodo.
3. Adicionar agua destilada hasta los $\frac{2}{3}$ del volumen del vaso de dispersión, después agitar la muestra en un mezclador de dispersión por espacio de 15 minutos, con la finalidad de completar la disgregación o espacio de las partículas del lodo.
4. Una vez agitada la muestra, se trasvasará a una probeta graduada de 1 L tomando precaución de no dejar partículas en la base del vaso, enrasar con agua destilada.
5. Una vez enrasada la probeta, agitar con una varilla de vidrio hasta que no queden partículas de lodo asentadas en el fondo de la probeta, luego colocar la probeta en un lugar accesible
6. Dejar transcurrir 40 segundos para tomar la primera pipeteada de 25 mL y colocarla en un vaso de plástico de 10 mL previamente pesada, para someter a secado en la estufa a una temperatura de 50°C durante 24 horas, tomando la precaución de enjuagar la pipeta con agua destilada para sacar las partículas que se quedan en ella.
7. Los 40 segundos que se dejan transcurrir es el tiempo que se considera para que asiente en el fondo de la probeta la partícula de lodo más pesada, es decir, la arena. Quedando arriba la arcilla y el limo que son las partículas que se tomaron en la primera pipeteada.
8. En el momento que se coloca la probeta en un lugar accesible se debe tomar la precaución de no moverla por ningún motivo y pipetear lentamente al extraer una alícuota.
9. Transcurridas 2 horas exactamente, se tomó la segunda pipeteada de 25 mL, tiempo necesario para que se asienten en el fondo de la probeta las partículas de Limo, que son las que más pesan después de la arena quedando solo la arcilla para ser tomada en esta segunda pipeteada, e igualmente colocada en un vaso de plástico de 10 mL previamente pesada para someter a secado en la estufa, por 24 horas y a una temperatura de 50°C .

10. Todas las muestras se someten a secado en la estufa hasta obtener una pesada constante, las muestras previamente a ser pesadas son colocadas en el desecador.

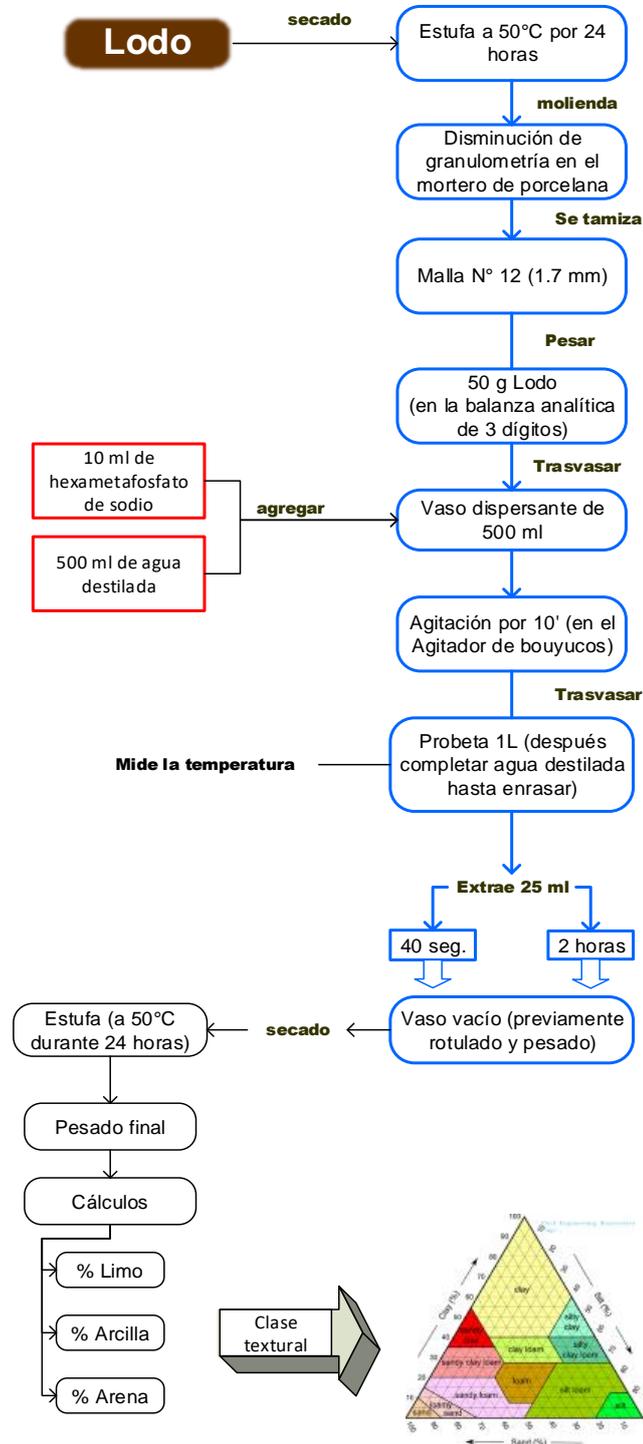


Figura 20. Diagrama de flujo del ensayo de textura del lodo

E. Cálculos y expresión de resultados



$$\%(Limo + Arcilla) = \left(\frac{P_{ms} * 40 - 0.5}{P_i} \right) * 100$$

$$\%Arcilla = \left(\frac{P'_{ms} * 40 - 0.5}{P_i} \right) * 100$$

$$\%Arena = 100 - (\%Limo + \%Arcilla)$$

Dónde:

P_i = Peso inicial de muestra

P_v = Peso del vaso vacío, para muestra extraída a los 40 segundos

P'_v = Peso del vaso vacío, para muestra extraída después de 2h

$P_{(v+m)}$ = Peso (vaso vacío + muestra seca), a los 40 segundos

$P'_{(v+m)}$ = Peso (vaso vacío + muestra seca), después 2h

$P_{ms} = P_{(v+m)} - P_v$

$P'_{ms} = P'_{(v+m)} - P'_v$

3.4.2.1. Determinación de la clase textural

El Diagrama textural de la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) es una herramienta para obtener las clases texturales en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla. Su uso es el siguiente:

- El diagrama textural es un triángulo equilátero, en el que a cada lado de éste se sitúa cada una de las fracciones cuyo valor cero corresponde al 100 de la anterior y su 100 con el cero de la siguiente, siempre según el movimiento de las agujas del reloj.
- Cada muestra de suelo viene definida por un punto del interior del triángulo. Este punto se obtiene al hacer intersectar dos valores de porcentaje de la fracción de partículas (por ejemplo: Arcilla y Limo). La intersección de dichos puntos, se obtiene al trazar una recta desde una fracción textural a la otra fracción en función de los porcentajes.
- Con solo dos líneas queda definido el punto representativo, porque la tercera componente es función de las primeras al tener que ser 100 la suma de todas ellas.

- El triángulo se divide en una serie de áreas que corresponden a las diversas clases texturales, que representan grupos de texturas con aptitudes o propiedades análogas. Las clases suelen asociarse en cuatro grupos principales que corresponden a las texturas arcillosas, limosas, arenosas y francas o equilibradas; según exista un componente dominante o una proporción adecuada de todos ellos (ver figura 20).

Los valores obtenidos del ensayo de textura del lodo, tales como %Arcilla, %Limo y %Arena se trasladan al triángulo de textura, para determinar a qué clase textural corresponde el lodo.

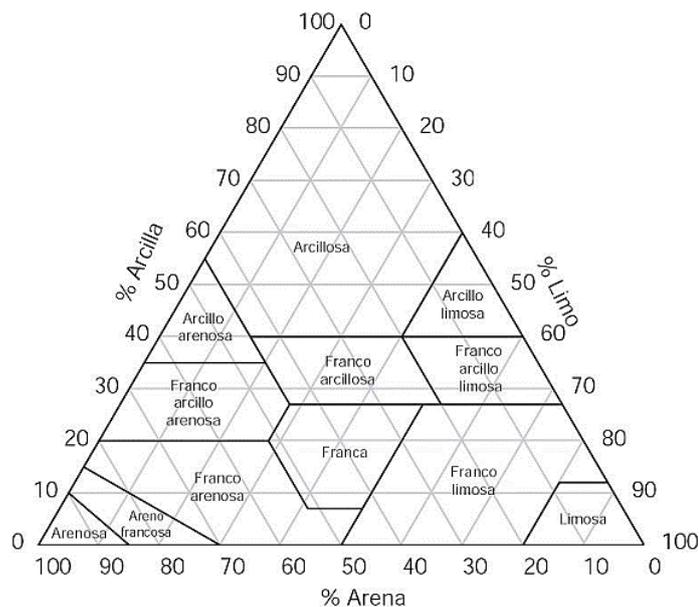


Figura 21. Triángulo de textura. Fuente: USDA

3.5. ELABORACIÓN DE LADRILLOS

El lodo seco posterior al acondicionamiento físico, será utilizado como materia prima para elaborar ladrillos de 12cmx10cmx5.5cm. Según a los resultados obtenidos en el ensayo de textura, se adicionará tierra negra. Para eso se elaborará ladrillos con distintas composiciones de tierra negra, a fin de comparar y evaluar la proporción óptima de lodo a usarse. Cabe mencionar que el ladrillo propuesto es con fines de estudio, se muestra en la Figura 21, y que no es, ni corresponde a ladrillos que existen en el mercado nacional.

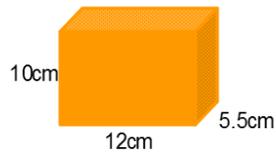


Figura 22. Dimensiones del ladrillo

A. Materiales

- Molde mellizero de madera de 12cm x 10cm x 5.5cm
- Balde de 20 L
- Balde de 5 L
- Papel Kraft
- Madera pequeña de 15cm x 15cm x 2cm para enrasar
- Franela
- Pala pequeña
- Lavador de plástico

B. Insumos

- Lodo seco
- Tierra arcillosa
- Tierra franca
- Agua

C. Equipos

- Horno eléctrico
- Balanza granataria de triple brazo de 10 kg, incluida pesas

D. Procedimientos:

1. Materia prima

La materia prima es el lodo que fue previamente acondicionado, al igual que la tierra roja y negra no caracterizadas traídas del distrito de Juli, provincia Chucuito. Se tomará el lodo y la tierra negra como materia prima principal, se coloca sobre una superficie amplia para facilitar el trabajo, en la figura 22 se observa la materia prima con el cual se va realizar la elaboración de ladrillos.

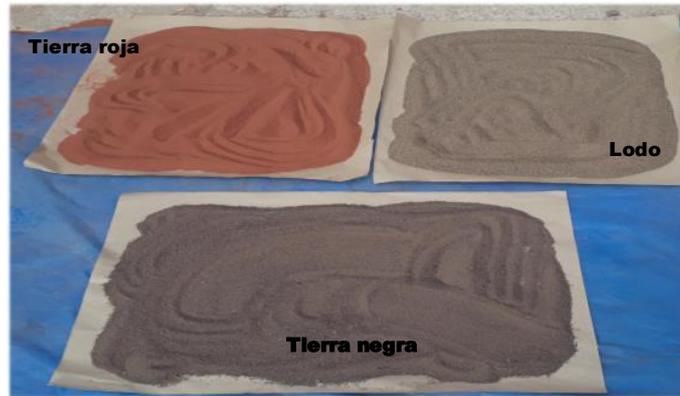


Figura 23. Materia prima (lodo, tierra roja y tierra negra)

2. Dosificación

La dosificación consiste en agregar una proporción de tierra al lodo con la finalidad de mejorar la consistencia de la masa cerámica del ladrillo a elaborar. En la Tabla 10, se muestra las composiciones de lodo y tierra negra respectivamente, se va a elaborar 13 unidades de ladrillos de tres tipos A, B y C.

Tabla 10. Composición de lodo y tierra negra en la elaboración de ladrillo

N°	Muestra de ladrillo (codificación)	COMPOSICIÓN		Cantidad a elaborar (und)
		Lodo (%)	Tierra negra (%)	
1	Tipo A	50	50	4
		60	40	
2	Tipo B	23.79	76.21	4
		45	55	
		66.21	33.79	
3	Tipo C	45	45	5
TOTAL				13

Fuente: Elaboración propia

3. Homogenización

La homogenización se procede a través de la mezcla del lodo en distintos porcentajes con el resto de tierra negra, se realiza sobre un papel kraft haciendo un roleo de 6 veces hasta completar la homogenización. Este procedimiento se realiza para cada tipo de ladrillo.



4. Mezclado

La mezcla se hace manualmente y se inicia con la mezcla homogenizada de los componentes del lodo y la tierra negra y posteriormente se agrega agua hasta obtener una masa cerámica plástica que es colocada en un lavador donde es amasada manualmente.

5. Moldeado

Esta es la etapa, en la que, a la mezcla se le da forma, el proceso de moldeado se puede realizar manualmente, posterior a ello se realiza la codificación.

El proceso de moldeado únicamente consiste en llenar al molde de madera de 12cmx10cmx5.5xm, vaciando las mezclas dentro de ella, compactándola con las manos y después alisándola con un rasero, que es un palo cilíndrico o modera que se usa para quitar la parte que excede de una medida determinada.

6. Secado

El proceso de secado consiste en la pérdida de agua que se encuentra por exceso en la pasta. En esta etapa se realizará el secado de las 13 unidades de ladrillos elaborados, del tipo A, B y C. Los cuáles serán pre-secados, el cual consiste en mantener durante un tiempo el ladrillo recién moldeado en el mismo lugar donde fue hecho para que pierda humedad y sea posible su manipulación y apilamiento.

7. Cocción

El quemado o cocción es la etapa central del proceso de fabricación por ende las 13 unidades de ladrillos elaborados y codificados como Tipo A, B y C previamente secadas, serán sometidos a altas temperaturas por tiempos prolongados en un horno eléctrico, con el fin de que adquieran propiedades mecánicas y físicas, en la Tabla 11 se detalla las condiciones de cocción.

Tabla 11. Condiciones de quema sometidos a los ladrillos elaborados

Muestras de ladrillo (codificado)	N° de pruebas	Cantidad (und)	Pre-cocido		Cocido	
			Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
Tipo A	1	1	400	4	700	10
	2	1	400	4	900	10
	3	1	400	4	700	10
	4	1	400	4	900	10
Tipo B	5	1	400	4	658.58	10
	6	1	400	4	941.42	10
	7	1	400	4	800	10
	8	1	400	4	800	10
Tipo C	9	1	400	4	800	10
	10	1	400	4	800	10
	11	1	400	4	800	10
	12	1	400	4	800	10
	13	1	400	4	800	10

Fuente. Elaboración propia

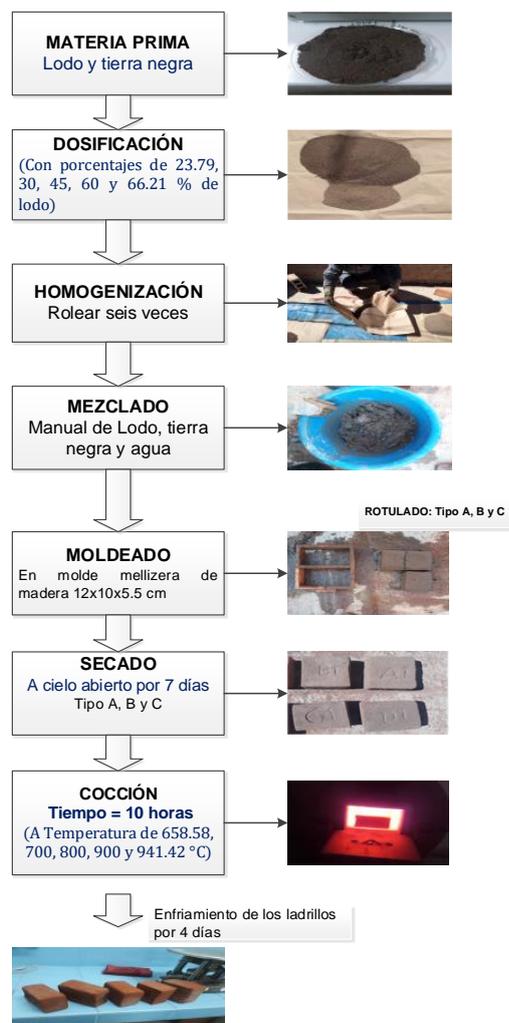


Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del ladrillo a partir de lodo

3.6. ENSAYOS DE CALIDAD A LOS LADRILLOS ELABORADOS

Para la realización de los ensayos, se han seleccionado unidades enteras representativas de un determinado lote como está especificado en la Norma Técnica Peruana 399.613 (2005).

3.6.1. Ensayo de absorción

A. Equipos

- Balanza granataria de triple brazo de 10 kg, incluida pesas
- Estufa de marca EXSICCATOR temperatura máxima de 150°C

B. Materiales e insumos

- Balde de 20 L y 5 L
- Muestras de ladrillos elaborados A, B, C, A1, B1 y C1
- Agua

C. Procedimiento

En la Tabla 12, se muestra la secuencia para el ensayo de absorción de agua según la norma NTP 399.613.

Tabla 12. Procedimientos de ensayo de absorción en los ladrillos elaborado

N° pruebas	Ensayo de absorción (Según NTP 399.613)
1	Se calientan las muestras de ladrillo en una estufa entre 110°C y 115°C y se pesan luego de enfriarlos a temperatura ambiente. Se repite el tratamiento hasta que no se tenga variaciones en el peso obteniéndose (W_s) Nota: Para enfriar las muestras de ladrillo se recomienda colocarlos sin amontonarlos en un espacio abierto con libre circulación de aire manteniéndolos a temperatura ambiente durante 4 horas
2	Se introducen los ladrillos secos en un recipiente lleno de agua destilada, manteniéndolos completamente sumergidos durante 24 h, asegurando que la temperatura del baño esté comprendida entre 15°C y 30°C.
3	Transcurrido el lapso indicado, se retiran los ladrillos del baño, secando el agua superficial con un trapo húmedo y se pesan (W_{sat}). Los ladrillos deben pesarse dentro de los 5 min a partir del instante en que se extraen del recipiente.

Fuente. Elaboración propia

D. Cálculos y expresión de resultados

El contenido de agua absorbida se calcula con la ecuación siguiente:

$$A = \frac{W_{sat} - W_s}{W_s}$$

En donde:

A = Es el contenido agua absorbida, (%)

W_s = Es la masa del ladrillo seco, (g)

W_{sat} = Es la masa del ladrillo saturado, (g)

3.6.2. Resistencia a la Compresión

A. Materiales y equipos

- Prensa digital de rotura marca ELE de 250 1200 kN
- Muestras de ladrillos elaborados A, B, C, A1, B1 y C1
- Yeso
- Agua potable

B. Procedimiento

En la Tabla 13 y 14, se muestra la secuencia del ensayo de resistencia a compresión de las unidades elaboradas según NTP 399.613

Tabla 13. Procedimientos de ensayo de absorción agua (parte I)

N° pruebas	Ensayo de resistencia a la compresión (Según NTP 399.613)
1	Si las caras del espécimen presentan irregularidades se rellenan con una capa delgada de 0.5 cm de pasta de yeso cocido extendiéndola hasta obtener una superficie plana y uniforme.
2	Se comprueba de que ambas caras sean aproximadamente paralelas y se esperó por lo menos 2 h, antes de efectuar el ensayo.

Fuente. Elaboración propia

Tabla 14. Procedimientos de ensayo de absorción agua (parte II)

N° pruebas	Ensayo de resistencia a la compresión (Según NTP 399.613)
3	Se coloca el espécimen una de sus caras mayores sobre el apoyo de la máquina y se hace descender el vástago solidario al cabezal, maniobrando suavemente la rótula hasta obtener un contacto perfecto sobre la cara superior del espécimen, asegurando que el eje de la misma coincida con el eje de la longitud del espécimen.
4	Se aplica la carga cuidando que la velocidad del cabezal de la maquina no sea mayor de 1.27 mm/min

Fuente. Elaboración propia

C. Cálculos y expresión de resultados

Se calcula la resistencia a compresión con la siguiente formula con la siguiente ecuación:

$$f' b = \frac{P}{A}$$

En donde:

$f' b$ = Es la resistencia a la compresión del ladrillo en kg/cm²

P = Es la carga de rotura aplicada indicada por la maquina en kg

A = Es el promedio de las áreas brutas superior e inferior del espécimen en cm²

3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

En el presente trabajo de investigación se va realizar el tratamiento estadístico a través del Diseño de Experimentos ya que es una herramienta que permite planear una prueba o serie de pruebas para obtener conclusiones válidas y objetivas acerca de los procesos, a partir del análisis de los datos recolectados en el campo de la ingeniería, el Diseño de Experimentos cumple un papel importante en los procesos en diversos aspectos, incluyendo la mejora y desarrollo de procesos y el diseño de nuevos productos. En tal caso en se va utilizar la Metodología de Superficie Respuesta de un Diseño Central Compuesto de dos factores.

3.7.1. Diseño de matriz experimental (Metodología Superficie de Respuesta)

Para ver la significancia de las variables y su interrelación aplicamos un modelo de segundo orden de un Diseño Central Compuesto (DCC). Para estos diseños se utilizaron los programas Microsoft Excel 2019 y el software estadístico Minitab 19, donde se realizaron simulaciones, análisis estadístico y procesamiento de datos para su posterior interpretación. El diseño que se va aplicar es factorial: $N = 2^k$ donde: k = Número de factores, N = Número de experimentos. Por lo tanto, el número de experimentos será $N = 2^2 = 4$.

Entonces se desarrolla 4 experimentos de acuerdo al Diseño Factorial 2^2 , más 4 experimentos en los puntos axiales y 5 experimentos en el punto central por ende vendría a ser un Diseño Central Compuesto (DCC), siendo el total 13 experimentos.

Tabla 15. Factores y niveles del diseño experimental

FACTORES	NIVELES	
	NIVEL (-)	NIVEL (+)
X₁: Lodo (%)	23.79	60
X₂: Temperatura (°C)	658.58	941.42

Fuente. Elaboración propia

Tabla 16. Matriz de combinación del Diseño Central Compuesto

N° de Pruebas	Variables Codificadas		Variables de Estudio		Variable Respuesta	
	X ₁	X ₂	Temperatura (°C)	Composición de lodo (%)	Y ₁	Y ₂
1	-1	-1	700	30		
2	1	-1	900	30		
3	-1	1	700	60		
4	1	1	900	60		
5	-α	0	658.58	45		
6	+α	0	941.42	45		
7	0	-α	800	23.79		
8	0	+α	800	66.21		
9	0	0	800	45		
10	0	0	800	45		
11	0	0	800	45		
12	0	0	800	45		
13	0	0	800	45		

Fuente. *Elaboración propia*

En el proceso de elaboración de ladrillos se tiene varios factores, entre ellas las de importancia son dos factores:

X_1 : Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

X_2 : Composición de lodo (%)

También debo señalar que las variables respuestas en el proceso son las siguientes:

Y_1 : Absorción de agua (%)

Y_2 : Resistencia a la compresión (kg/cm^2)

En la Tabla 15, se observa los factores y niveles del diseño experimental; y la Tabla 16 muestra la matriz de un Diseño Central Compuesto donde observa las variables codificadas, variables de estudios y variables respuesta, también la cantidad de experimentos a realizar.

3.7.2. Modelo de segundo orden

Los modelos de segundo orden (cuadrático), se ajustan mejor adicionando nuevos puntos al diseño de un modelo de primer orden (nuevos tratamientos experimentales). Estos puntos adicionales son llamados **Puntos Axiales**, del **Diseño Central Compuesto (DCC)**, ver figura 24.

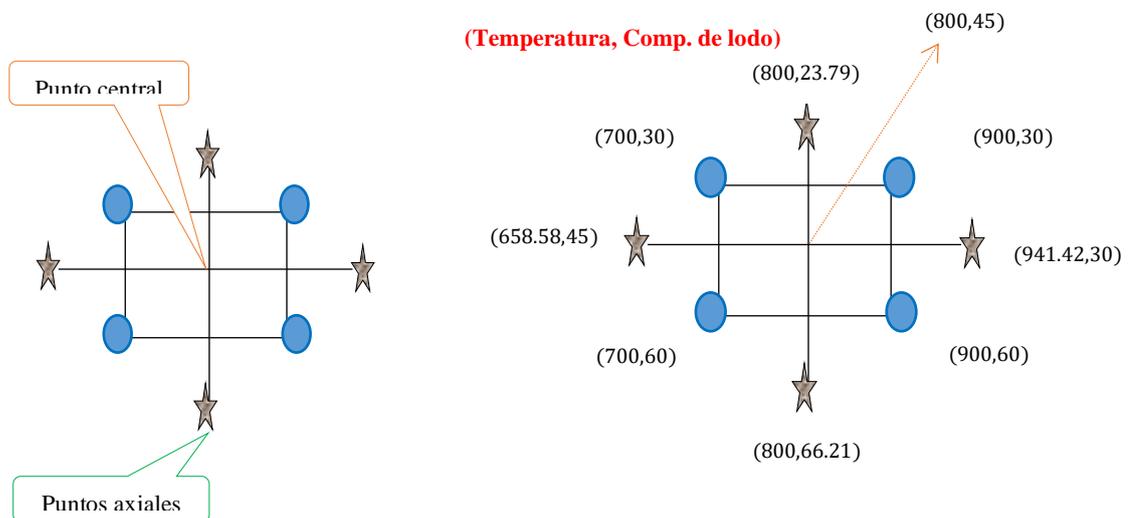


Figura 25. (Izquierda) se puede observar como la unión de puntos al centro, puntos axiales y porción factorial dan como resultado un DCC. (Derecha) puntos de temperatura y composición de lodo en un Diseño Central Compuesto.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presenta los resultados de los análisis y datos obtenidos en la experimentación realizada. En consecuencia, se mostrará la caracterización fisicoquímica, microbiológica y posterior tratamiento del lodo proveniente de la unidad compacta N° 2 de la planta de tratamiento de agua potable – Ayabacas de la EPS Sedajuliaca S.A. También, se detalla los resultados del proceso de la elaboración de ladrillos a partir de distintas composiciones de lodo y tierra negra en consecuencia se expone los datos de los ensayos de pruebas de calidad del ladrillo y su comparación con la Norma Técnica 0.70 de albañilería y la NTP 331.017. Y por último se realiza un tratamiento estadístico del tipo diseño experimental a través de la metodología de Superficie Respuesta, utilizando el Diseño Central Compuesto.

4.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL LODO

4.1.1. Resultados del ensayo de pH

En el cuadro se muestra los valores de los resultados de los valores de pH de las cinco muestras puntuales del lodo se detallan en la Tabla 17.

Tabla 17. Lecturas de pH en muestras de lodo

Muestra	pH	
	Lecturas	Promedio
M-1	7.836	
M-2	7.773	
M-3	7.716	7.781
M-4	7.812	
M-5	7.768	

Fuente: Elaboración propia

Discusión: El pH de los lodos generados en la unidad compacta N° 2 de la planta de tratamiento de agua potable - Ayabacas no tiene variación significativa en ninguna de las muestras colectadas, su valor oscila entre 7.716 y 7.836, el promedio de las lecturas de pH es de 7.781.

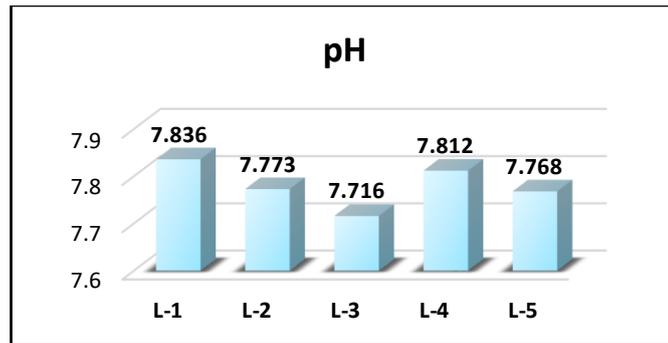


Figura 26. Valores de pH determinados en muestras de Lodo

Discusión: El pH es clasificado como un contaminante secundario por la USEPA con un rango sugerido de 6.5 a 8.5. Como se puede ver en la Figura 26, el pH está dentro de este rango por lo que no representan un riesgo directo en la salud.

4.1.2. Resultados del ensayo de temperatura

En el cuadro se muestra los valores de los resultados los valores de temperatura.

Tabla 18. Lecturas de temperatura en muestras de lodo

Muestra	Temperatura (°C)	
	Lecturas	Promedio
M-1	11.3	
M-2	11.4	
M-3	11.2	11.34
M-4	11.5	
M-5	11.3	

Fuente: Elaboración propia

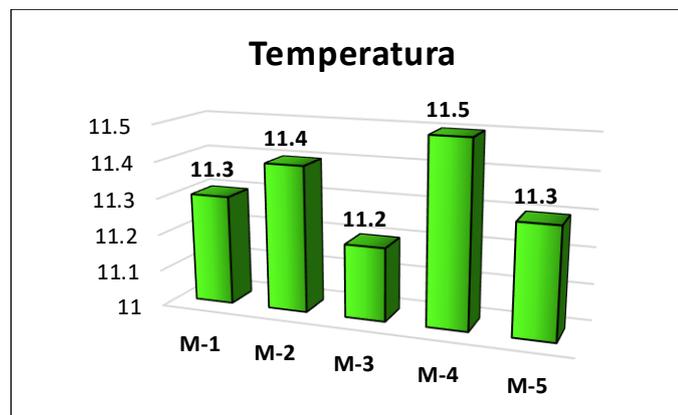


Figura 27. Valores de temperatura determinados en muestras de lodo

Discusión: En la Figura 27, Los valores de temperatura están representados en el gráfico de barras, donde el valor mínimo de temperatura es de 11.2 ° C y el valor

máximo de 11.5 ° C, siendo el valor promedio de las lecturas de temperatura de 11.34 ° C.

4.1.3. Resultados de la determinación de la conductividad eléctrica

En el cuadro se muestra los valores de los resultados para las lecturas de conductividad de los lodos.

Tabla 19. Valores de conductividad eléctrica

Muestra	Conductividad eléctrica (mS/cm)	
	Lectura	Promedio
M-1	0.64	
M-2	0.63	
M-3	0.61	0.63
M-4	0.64	
M-5	0.61	

Fuente: Elaboración propia

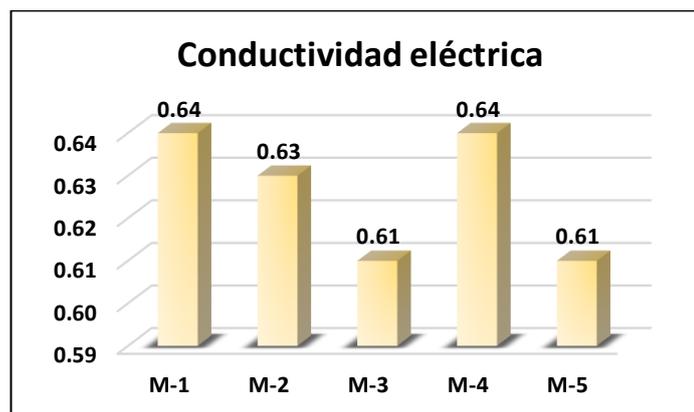


Figura 28. Valores de Conductividad determinados en muestras de lodo

Discusión: Se define la conductividad eléctrica como la capacidad de que una sustancia pueda conducir la corriente eléctrica, y por tanto es lo contrario de la resistencia eléctrica. La unidad de medición utilizada comúnmente es mili Siemens/cm (mS/cm). Por lo expuesto, se puede observar la Figura 28 y la Tabla 19, que la conductividad tiene un valor mínimo de 0.61 mS/cm y un valor máximo de 0.64 mS/cm, el promedio de las lecturas de la conductividad es de 0.63 mS/cm.

4.1.4. Resultados de la determinación del porcentaje de humedad

En el cuadro se muestra los valores de los resultados del porcentaje de humedad de los lodos.

Tabla 20. Valores de porcentajes de humedad

Muestra	W_f (g)	W_{f+mh} (g)	W_{f+ms} (g)	Humedad (%)	Promedio de Humedad (%)
M-1	47.7339	97.7339	48.6083	98.25	98.25
M-2	47.6990	97.6990	48.5696	98.26	
M-3	47.7128	97.7128	48.5937	98.24	
M-4	47.6322	97.6322	48.4992	98.27	
M-5	47.4148	97.4148	48.2998	98.23	

Fuente: Elaboración propia

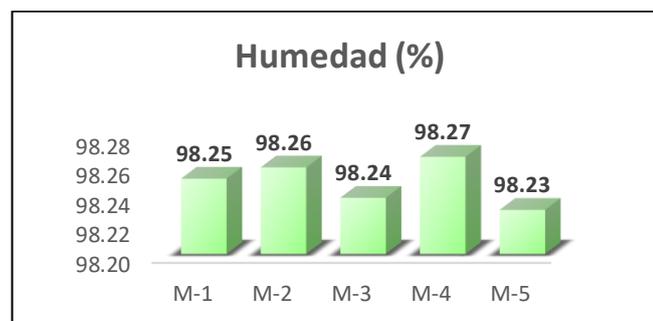


Figura 29. Valores de % humedad determinados en muestras de lodo

Discusión: En la Figura 29, se puede observar que el porcentaje de humedad, no tiene variación significativa en ninguna de las muestras colectadas, su valor mínimo es de 98.23% y el valor máximo de 98.27%, el promedio de la humedad es de 98.25%. Esto indica que el lodo está compuesto por gran cantidad de agua, y el secado del mismo demanda más tiempo. En la Tabla 21, según Cerón (2005) en su estudio respecto a la determinación de humedad en lodos espesados es de 95.96%, en cambio para Chire y Rondan (2014) es de 95.45%

Tabla 21. Valores de humedad respecto a otros estudios

Parámetro físico	Lodo en estudio	Cerón (2005)	Chire y Rondan (2014)
Humedad (%)	98.25	95.96	95.45

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Resultados de las características químicas y microbiológicas del lodo

En el cuadro se muestra los valores de los parámetros analizados a la muestra compósito de lodos.

Tabla 22. Valores fisicoquímicos del lodo en estudio y comparación con otros autores

PARAMETROS	Unidad de Medida	Lodo en estudio	Chire y Rondan (2014)	Cerón (2005)
<i>METALES</i>				
Aluminio (Al)	mg/kg	>10,000.0	2,412.0	82,336.33
Hierro (Fe)	mg/kg	8,880.0	325.5	142.17
Magnesio (Mg)	mg/kg	1,579.0	63.75	106.18
Manganeso (Mn)	mg/kg	291.76	126.4	40.58
Calcio (Ca)	mg/kg	3410.0	196.5	22.83
Sodio (Na)	mg/kg	6,300.0	33.82	314.53
Potasio (K)	mg/kg	>10,000.0	44.59	278
Oxido de Silicio (SiO ₂)	mg/kg	91.98	-	-
Silicio (Si)	mg/kg	-	2,277.0	-

Fuente: Elaboración propia

Discusión: En la Tabla 22, se observa que el lodo en estudio presenta valores de Aluminio >10,000.0 mg/kg, el Hierro tiene 8,880.0 mg/kg y SiO₂ es de 91.98 mg/kg, en comparación a Chire y Rondan (2014) los resultados que obtuvieron de los análisis del lodo son los siguiente: Aluminio tiene un valor de 2,412.0 mg/kg, el Hierro 325.5 mg/kg y Silicio 2,277.0 mg/Kg, para Cerón (2005) sus valores promedios del Aluminio son de 82,336.33 mg/kg y Hierro 194.17 mg/kg. Esto indica que en los estudios realizados por Chire y Rondan (2014) los valores son menores respecto al lodo en estudio, en cambio para Cerón (2005) la caracterización de lodos generados por las plantas de tratamiento de agua potable, es mayor respecto al lodo en el presente trabajo. La variación de resultados entre autores se debe que son fuentes de agua cruda de naturaleza distinta, y diferentes tipos de tratamientos y coagulante utilizado en el proceso.

Discusión: En la Tabla 23, se observa que los parámetros evaluados sobrepasan los valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario según la Norma D.S. 010-2019-VIVIENDA. En la Figura 30, es notable que el aluminio tiene un valor máximo de 10,000.0 mg/kg en el lodo analizado respecto 10.0 mg/kg de la norma en mención. Por lo que urge la

necesidad de realizar el tratamiento y aprovechamiento del mismo de acuerdo a la resolución ministerial N° 128-2017-VIVIENDA.

Tabla 23. Valores de los resultados del lodo con respecto a normas nacionales

PARAMETROS	Unidad de Medida	Lodo en estudio	VMA D.S. 010-2019-VIVIENDA
<i>METALES y METALES PESADOS</i>			
Aluminio (Al)	mg/kg	>10000.0	10
Arsénico (As)	mg/kg	490.4	0.5
Boro (B)	mg/kg	37.42	4
Cadmio (Cd)	mg/kg	291.76	0.2
Cobre (Cu)	mg/kg	108.1	3
Manganeso (Mn)	mg/kg	291.76	4
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.61388	0.02
Níquel (Ni)	mg/kg	3.9999	0.5
Plomo (Pb)	mg/kg	12.1	4
Zinc (Zn)	mg/kg	654.1	10

Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Valores de lodo respecto al D.S.-010-2019-VIVIENDA

Discusión: En la Tabla 24, se observa que los valores de Cerón (2005) respecto a coliformes fecales y salmonella sp., son altos, a los valores del lodo en estudio, en cambio referente a helmintos y parásitos el resultado es menor. Con respecto a los

valores de RM-024-2017-VIVENDA el lodo en estudio, es un indicador de contaminación fecal y parásitos.

Tabla 24. Comparación de los valores microbiológicos del lodo

PARAMETROS <i>Microbiológicos</i>	Unidad de Medida	Lodo en estudio	Cerón (2005)	RM-024-2017- VIVIENDA <i>Clase A y B</i>
Coliformes fecales	NMP/g	4300	28400	<1000
Salmonella sp.	NMP/g	<3	23	<1/10
Helmintos y parásitos	HH/2g	4	0.6	<1/4g

Fuente: Elaboración propia

4.2. TRATAMIENTO FÍSICO DEL LODO

4.2.1. Resultados del ensayo de textura del lodo

En este ensayo se realizó la determinación de la textura del lodo, con la finalidad de conocer los porcentajes de arcilla, limo y arena.

Tabla 25. Valores de la textura del lodo

ENSAYO FÍSICO	
Componente	Lodo
% Arcilla	10.12
% Limo	17.48
% Arena	72.40

Fuente: Elaboración propia

Discusión: En la Tabla 25, se observa los resultados de textura de lodo son 10.12% de Arcilla, 17.48% de Limo y 72.40 % de Arena. Esto quiere decir que el lodo presenta mayor proporción de arena y la cantidad de arcilla es pobre, por lo cual es necesario combinar el lodo con otro tipo de tierra a fin de mejorar la masa cerámica de ladrillo. Los valores de la textura del lodo están representados en la Figura 31.

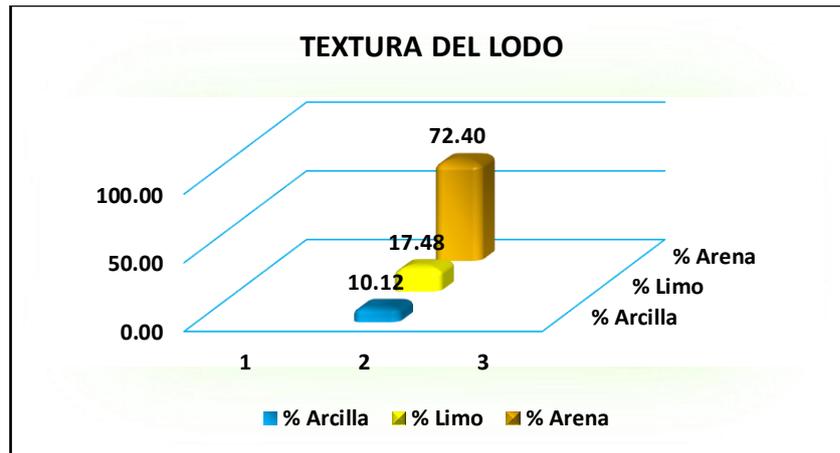


Figura 31. Textura del lodo

Discusión: En la Tabla 26, se puede observar que los resultados de ensayos de textura del lodo con respecto a otros autores varía significativamente, esto se debe a la gran variedad de fuentes de agua que se potabiliza. También cabe mencionar al tipo de tratamiento que efectúan las plantas de tratamiento de agua potable (tecnología convencional y no convencional), por otro lado, tiene gran influencia los tipos de coagulantes que se utiliza en la potabilización. En el caso del lodo en estudio proviene de unidades compactas que utilizan como coagulante el policloruro de aluminio. Los resultados de Chire y Rondan (2014), Cerón (2005) y López y Rivas (2013) son estudios realizados en decantadores de las plantas de tratamiento de agua.

Tabla 26. Comparación de resultados de Textura

Análisis	Lodo en estudio	Chire y Rondan (2014)	Cerón (2005)	López y Rivas (2013)
% Arcilla	10.12	22.94	20.20	8.232
% Limo	17.48	26.63	32.64	70.024
% Arena	72.40	50.43	46.83	21.744

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Clase textural del lodo

En la Figura 32, los resultados se obtienen a partir de la intersección de los tres componentes (Arcilla, Limo y Arena), se observa que el lodo corresponde a clase textural: **Franco Arenoso**, el cual se presenta en la Tabla 26.

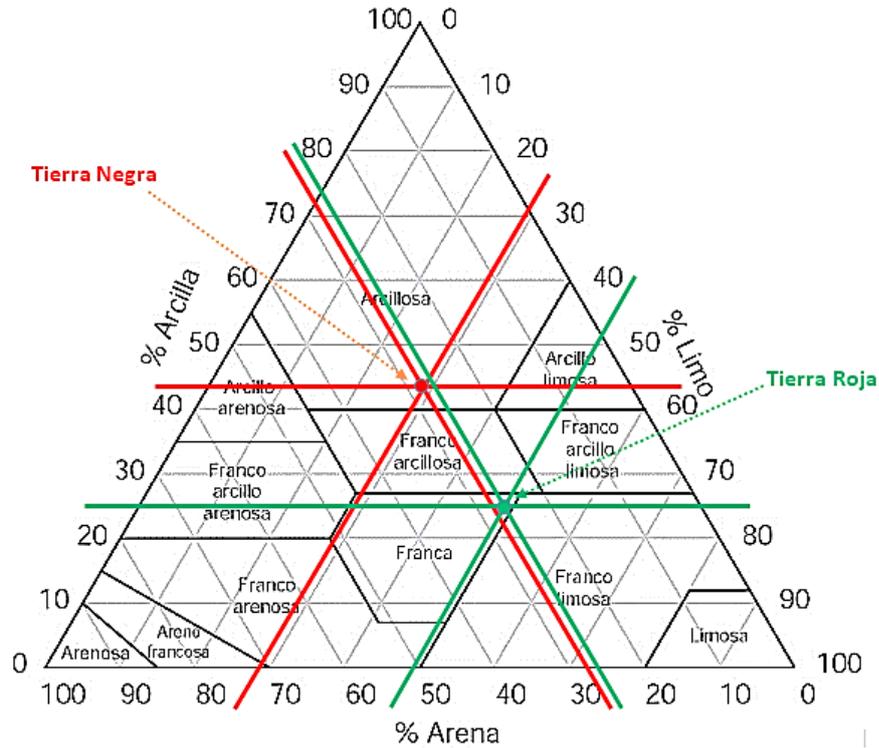


Figura 33. Clasificación de clase textural del lodo

Tabla 28. Clasificación textural del lodo y de dos tipos de tierra

N°	MUESTRA	ARCILLA (%)	LIMO (%)	ARENA (%)	CLASE TEXTURAL
1	Lodo	10.12	17.48	72.40	Franco arenoso
2	Tierra Negra	43.12	28.72	28.16	Arcillosa
3	Tierra roja	24.88	48.68	26.44	Franco

FUENTE: Elaboración propia

4.2.5. Composición química del lodo seco

La composición química del lodo seco (por análisis de fusión alcalina ver anexo 04) es resumida en la Tabla 29.

Tabla 29. Composición química (óxidos) del lodo seco

Descripción	Fórmula	%
1. Óxido de silicio (Sílice)	SiO ₂	46.78
2. Óxido de aluminio (Alúmina)	Al ₂ O ₃	20.07
3. Óxido de hierro (Hematita)	Fe ₂ O ₃	4.28
4. Óxido de magnesio	MgO	0.21
5. Óxido de sodio	Na ₂ O	0.11
6. Óxido de potasio	K ₂ O	16.79
7. Óxido de calcio	CaO	0.05
8. Óxido de manganeso	Mn ₂ O ₃	0.58
9. Pérdida de peso por ignición	LOI	10.21

Fuente: Elaboración propia

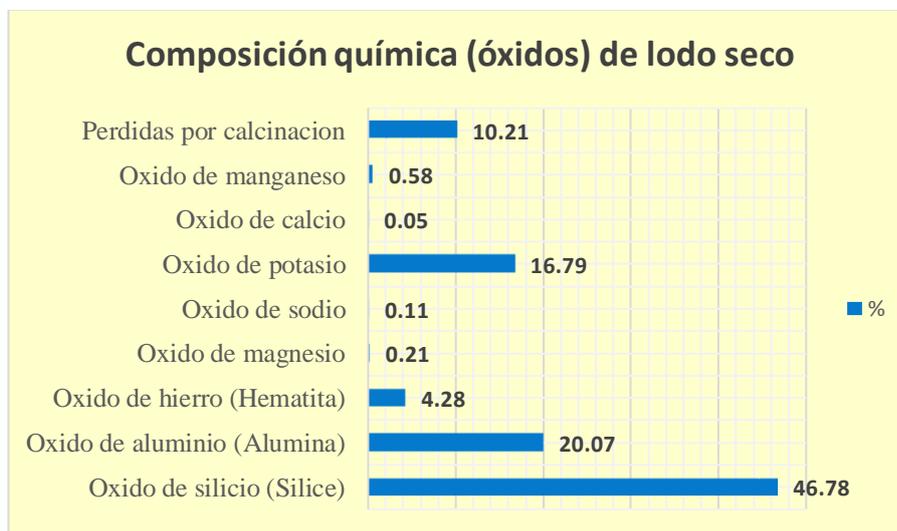


Figura 34. Representación de óxidos del lodo seco en estudio

Discusión: La Tabla 29, muestra los valores de la composición química (óxidos) del lodo seco siendo para SiO₂ (46.78%), Al₂O₃ (20.07%), Fe₂O₃ (4.28%), MgO (0.21%), Na₂O (0.11%), K₂O (16.79%), CaO (0.05%), Mn₂O₃ (0.58%) cuya pérdida por calcinación o pérdida de peso por ignición (LOI) es de 10.21%, estos datos obtenidos también son representados en la Figura 34, resultados que representan la composición mineralógica de lodo, es decir si los valores son cercanos o iguales al de una arcilla.

Tabla 30. Composición química del lodo respecto a otros autores

OXIDOS (%)	Lodo en estudio	Arcilla no plástica	Arcilla Plástica	Peralta (2018)	Ponkarthikeyan et al. (2016)	Igor (2008)
SiO ₂	46.78	55.24	65.75	61.08	43.12	24.68
Al ₂ O ₃	20.07	21.53	18.63	12.45	15.97	30.39
Fe ₂ O ₃	4.28	9.85	3.72	5.15	5.26	11.59
MgO	0.21	9.85	3.72	0.64	0.85	0.17
Na ₂ O	0.11	0.02	0.26	0.90	0.52	-
K ₂ O	16.79	0.17	0.59	0.88	0.26	0.35
CaO	0.05	0.13	0.82	0.49	5.56	0.16
Mn ₂ O ₃	0.58	0.01	0.1	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	0.90
LOI	10.21	-	-	8.46	26.79	30.67

Fuente: Elaboración propia

Discusión: En la Tabla 30, se observa que los resultados de la composición química del lodo respecto a los óxidos SiO₂ (46.78%), Al₂O₃ (20.07%) y Fe₂O₃ (4.28%) están por debajo de los valores de la Arcilla plástica SiO₂ (65.75%) con excepción del Al₂O₃ (20.30%) y Fe₂O₃ (3.72%) en cambio la arcilla no plástica posee valores altos en el SiO₂ (55.24%), Al₂O₃ (21.53%) y Fe₂O₃ (5.15%). Ponkarthikeyan et al. (2016) en el estudio que realizaron el lodo está compuesto por 43.12% (SiO₂), 21.53% (Al₂O₃) y 9.85% (Fe₂O₃) valores que están por debajo del presente estudio. Por otro lado, Peralta. (2018) presentan en su estudio que el Al₂O₃ (12.45%) está por debajo respecto del lodo en estudio a diferencia de SiO₂ (61.08%) y Fe₂O₃ (2.62%) son altos. Finalmente, para Igor (2008) los resultados fueron 24.68% (SiO₂) 30.39% (Al₂O₃) y 11.59% (Fe₂O₃), presenta valores altos en óxidos de aluminio y hierro mas no siendo así para el óxido de silicio. Respecto al LOI el lodo presenta un valor mayor respecto a Peralta (2018), y es menor a los estudios de Ponkarthikeyan et al. (2016) e Igor (2008), en cambio la arcilla plástica y no plástica no presenta ningún valor, esto se debe a que no presenta materia orgánica.

4.3. ELABORACIÓN DE LADRILLOS

La elaboración del ladrillo se realiza después del acondicionamiento físico que es sometido el lodo y de los resultados de la caracterización física del mismo, cabe mencionar que se realizó el mismo proceso de tratamiento a la tierra roja y tierra negra.

Por ende, la “*tierra roja*” es descartada como materia prima, por no poseer composiciones de arcilla, limo y arena similares al de una arcilla común.

4.3.1. Características físicas del ladrillo elaborado a partir de lodo – tierra negra

En el siguiente cuadro se presenta resultados y características físicas del ladrillo elaborado.

Tabla 31. Resultados de la elaboración de ladrillos a partir de lodo y arcilla

	Descripción	TIPO A	TIPO B	TIPO C
Condiciones durante el proceso de elaboración	Materia Prima	Lodo	Lodo	Lodo
	Dosificación	30 y 60 %	23.79, 45 y 66.21 %	45%
	Homogenización	Homogenizado	Homogenizado	Homogenizado
	Mezclado	Lodo, tierra negra y agua	Lodo, tierra negra y agua	Lodo, tierra negra y agua
	Moldeado	Es moldeable	Es moldeable	Es moldeable
	Secado	7 días	7 días	7 días
	Cocción (t=14h)	700 y 900 °C	658.58, 800 y 941.42 °C	800 °C
	Enfriado	2 días	2 días	2 días
	Cantidad de ladrillos	4 unidades	4 unidades	5 unidades
	Dimensiones	12cmx10cmx5.5cm	12cmx10cmx5.5cm	12cmx10cmx5.5cm
Características post elaboración	Peso	1212 g	1217 g	1222 g
	Color	naranja oscuro	naranja oscuro	naranja oscuro
	Textura	Rugoso	Rugoso	Rugoso

Fuente: Elaboración propia

Discusión: En la Tabla 31, se observa que las muestras de ladrillos codificados A (4 unidades), B (4 unidades) y C (5 unidades) respectivamente, siendo el total de 13 unidades de ladrillos, de dimensiones 12x10x5.5cm, a partir de la mezcla de lodo en composiciones de 23.79%, 30%, 45%, 60% y 66.21% con tierra negra. Después del proceso de moldeo se realizó el secado de los mismos a temperatura ambiente por 7 días, posterior a ello se prosiguió con la quema o cocción del ladrillo a temperaturas de 658.58, 700, 800, 900 y 941.42 °C. Cabe indicar que la temperatura de pre cocción fue

de 4 horas a temperatura de 400 °C y el aumento fue progresivo, hasta llegar a una temperatura constante por un tiempo de 10 horas para cada uno de los ladrillos. Las características post elaboración fueron lo siguiente: textura rugosa, color anaranjado rojizo y los pesos promedios fluctúan entre 1212, 1217 y 1222 gramos de peso seco del ladrillo.

4.3.2. Resultados de los ensayos físicos – mecánicos a los ladrillos

4.3.2.1. Resultados de los ensayos de absorción de agua

En la Tabla 32, se muestra los resultados de las pruebas de ensayo realizados a las trece muestras de ladrillos elaborados y codificados como tipo A, B y C.

Tabla 32. Valores de absorción de agua en pruebas de ladrillo

Muestra de ladrillos (codificados)	Comp. Lodo (%)	Temp. cocción (°C)	N° Muestras	W _s (g)	t = 24 horas	
					W _{abs} (g)	Absorción (%)
Tipo A	30	700	M-1	1220.0	1404.22	15.10
	30	900	M-2	1204.5	1318.33	9.45
	60	700	M-3	1231.8	1523.12	23.65
	60	900	M-4	1222.3	1380.22	12.92
Tipo B	45	658.58	M-5	1212.9	1558.70	28.51
	45	941.42	M-6	1231.2	1343.98	9.16
	23.79	800	M-7	1227.6	1367.81	11.42
	66.21	800	M-8	1229.7	1449.16	17.85
Tipo C	45	800	M-9	1231.7	1423.25	15.55
	45	800	M-10	1233.8	1419.20	15.03
	45	800	M-11	1235.8	1412.04	14.26
	45	800	M-12	1237.9	1421.19	14.81
	45	800	M-13	1239.9	1425.40	14.96

Fuente: Elaboración propia

Discusión: En la Tabla 33, se observa que la muestra de ladrillo M-6 presenta un valor mínimo 9.16% de absorción de agua (esto indica que es un ladrillo con 45% de lodo y sometido a una temperatura de cocción de 941.42°C) y el valor máximo es de 28.51% correspondiente a la muestra de M-5 (ladrillo de 45% de lodo y una temperatura de cocción de 658.58°C). Y el valor promedio es de 15.59% de absorción de agua. Se observa la influencia de la temperatura de cocción sobre los valores de absorción, siendo la tendencia de que a mayor temperatura sea sometido el ladrillo en el horno, los valores del grado de absorción disminuyen.

Tabla 33. Comparación de los valores de absorción de agua con normas nacionales

Muestras	Valores de absorción de agua (%)		
	Valores de las muestras	Norma Técnica E.070 Albañilería (2006)	NTP 331.017 (2003)
M-2	9.45		
M-4	12.92	22.0	22.0
M-6	9.16		
M-7	11.42		

Fuente: Elaboración propia

Discusión: Según San Bartolomé (2008) indica que “cuanto más elevada sea la absorción de la unidad, ésta será más porosa y, por tanto, menos resistente al intemperismo”; es por ello que el límite máximo de absorción permitido es del 22%. Según los resultados mostrados en la Tabla 33, los valores de absorción de agua son aceptables en las muestras M-2, M-4, M-6 y M-7 que están por debajo del 22% en comparación con normas nacionales peruanas tales como la Norma Técnica de Edificaciones E.070 Albañilería (2006) y NTP 331.017 (2003), por ende, está dentro de las normas nacionales peruanas.

4.3.2.2. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión

Se muestra los resultados de las pruebas de ensayo de resistencia a la compresión realizados a los ladrillos de composiciones A, B y C.

Discusión: En la Tabla 34, se observa que la muestra M-5 presenta un valor mínimo de 28.88 kg/cm² respecto a la resistencia a compresión (para un ladrillo elaborado con 45% de lodo y sometido a una temperatura de cocción de 658.58°C) por otro lado el valor máximo es de 54.16 kg/cm² (ladrillo a base 45% de lodo y sometido a una temperatura de cocción de 941.42°C) y el valor promedio es de 45.49 kg/cm².

Tabla 34. Valores de resistencia a compresión

Muestra de ladrillos (codificados)	Comp. Lodo (%)	Temp. cocción (°C)	N° Muestras	f'b (kg/cm ²)
Tipo A	30	700	M-1	38.55
	30	900	M-2	52.71
	60	700	M-3	33.45
	60	900	M-4	50.31
Tipo B	45	658.58	M-5	28.88
	45	941.42	M-6	54.16
	23.79	800	M-7	49.85
	66.21	800	M-8	44.62
Tipo C	45	800	M-9	47.7
	45	800	M-10	47.31
	45	800	M-11	47.26
	45	800	M-12	48.44
	45	800	M-13	48.08

Fuente: Elaboración propia

Discusión: Según los resultados mostrados en la Tabla 35, se observa que las muestras M-2, M-4 y M-6 presentan valores de resistencia a la compresión por encima de 50 kg/cm² de la Norma Técnica E.070 de Albañilería (2006) y por debajo de la norma NTP 331.017 (2003). Por lo tanto, las muestras en mención cumplen con una de las normas nacionales respecto a la resistencia a compresión para ladrillos del tipo I.

Tabla 35. Comparación de los valores de resistencia con normas nacionales

Muestras	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
	Valores de las muestras	Norma Técnica E.070 Albañilería (2006)	NTP 331.017 (2003)
M-2	52.71		
M-4	50.31	50 (Tipo I)	60 (Tipo I)
M-6	54.16		

Fuente: Elaboración propia

4.4. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

A continuación, presentamos los resultados obtenidos del diseño experimental aplicado de acuerdo a la metodología de superficie respuesta de un tipo de diseño central compuesto (DCC), ver Tabla 36.

Tabla 36. Diseño Central compuesto de dos variables

N° de Pruebas	Variables Codificadas		Variables de Estudio		Variables Respuesta	
	X ₁	X ₂	Temperatura (°C)	Composición de lodo (%)	Absorción de agua (%)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
1	-1	-1	700	30	15.10	38.55
2	1	-1	900	30	9.45	52.71
3	-1	1	700	60	23.65	33.45
4	1	1	900	60	12.92	50.31
5	- α	0	658.58	45	28.51	28.88
6	+ α	0	941.42	45	9.16	54.16
7	0	- α	800	23.79	11.42	49.85
8	0	+ α	800	66.21	17.85	44.62
9	0	0	800	45	15.55	47.70
10	0	0	800	45	15.03	47.31
11	0	0	800	45	15.26	47.26
12	0	0	800	45	14.81	48.44
13	0	0	800	45	14.96	48.08

Fuente: Elaboración propia

4.4.1. Análisis de resultados de las variables respuesta

4.4.1.1. Absorción de agua (Y₁)

1. Análisis de Residuales

A. Normalidad

Los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. El valor p (0.385) es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, NO se puede rechazar la hipótesis nula ya que los datos siguen una distribución normal. Ver figura 35.

B. Independencia

Los *residuos* son independientes ya que no muestran tendencias ni patrones en el *orden cronológico*. No hay evidencia de patrones ni correlación. Los puntos se ubican aleatoriamente alrededor de la línea central. Ver figura 35.

C. Varianza

Los residuos están distribuidos aleatoriamente y la varianza en los diferentes tratamientos son aproximadamente iguales. Ver figura 35.

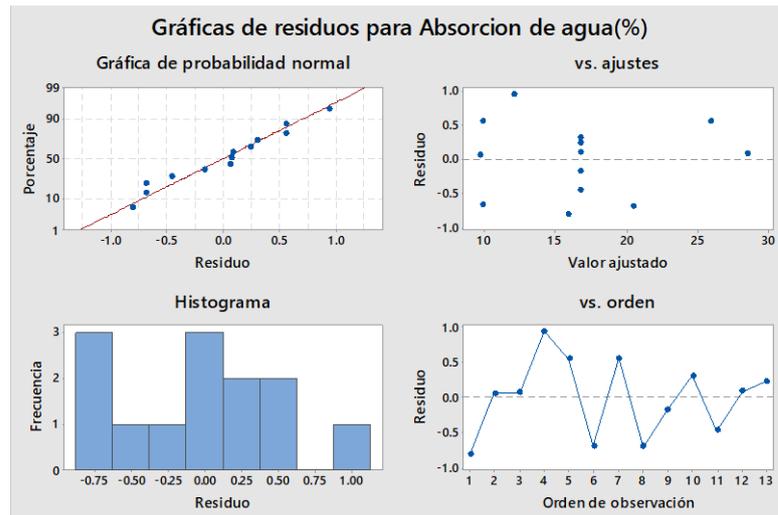


Figura 35. Graficas de residuos para absorción de agua

2. Gráfica de Probabilidad Normal

- **Hipótesis alterna (H_1):** Los datos NO siguen una distribución normal.
- **Hipótesis nula (H_0):** Los datos siguen una distribución normal.

Valor $p > \alpha$: Usted no puede concluir que los datos no siguen una distribución normal (No puede rechazar H_0).

Valor $p \leq \alpha$: Los datos no siguen una distribución normal (No puede rechazar H_0).

Discusión: En estos resultados la hipótesis nula indica que los datos siguen una distribución normal. Puesto que el valor p es 0.385, que es mayor que el nivel de significancia de 0.05, la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula.

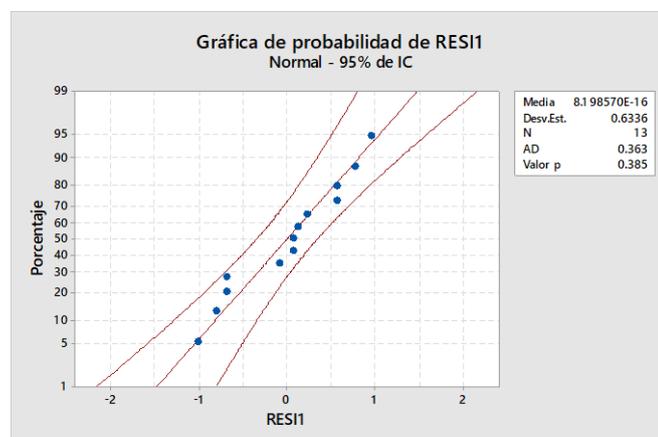


Figura 36. Grafica de probabilidad

3. Análisis de varianza (ANOVA)

Debemos realizar un análisis de varianza para probar la hipótesis de las a distintas temperaturas y composición del lodo afectan al proceso de elaboración del ladrillo (ver Tabla 37). Las hipótesis son:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4$$

$H_1: \tau_i \neq 0$, por lo menos una media es diferente

$\alpha = 0.05$, nivel de significancia

Tabla 37. Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	407.841	81.568	118.53	0.000
Lineal	2	373.590	186.795	271.44	0.000
Temperatura (°C)	1	259.539	259.539	377.15	0.000
Composición de lodo (%)	1	114.051	114.051	165.73	0.000
Cuadrado	2	8.088	4.044	5.88	0.032
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	6.012	6.012	8.74	0.021
Composición de lodo (%)*Composición de lodo (%)	1	1.229	1.229	1.79	0.223
Interacción de 2 factores	1	26.163	26.163	38.02	0.000
Temperatura (°C)*Composición de lodo (%)	1	26.163	26.163	38.02	0.000
Error	7	4.817	0.688		
Falta de ajuste	3	3.133	1.044	2.48	0.200
Error puro	4	1.684	0.421		
Total	12	412.658			

Fuente: Minitab 18

Discusión: Los valores **p** son menores que el nivel de significancia (**0.05**) a excepción composición de lodo (modelo cuadrático). Se concluye que las medias de los tratamientos difieren, es decir, la temperatura y la composición de lodo de manera significativa en el ensayo de absorción de agua.

Verificamos la falta de ajuste del modelo de segundo orden mediante el valor **p** el cual resultó mayor a 0.05, por lo tanto, concluimos que este modelo se ajusta adecuadamente a un modelo de segundo orden.

Tabla 38. Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred.)
0.829556	98.83%	98.00%	93.96%

Fuente: Minitab 18

Del R cuadrado ajustado cerca del 98.00%. Quiere decir que 98.00% de la variabilidad de absorción de agua es influenciada por la temperatura y la composición de lodo. Ver Tabla 38, siendo el siguiente el modelo matemático:

$$\text{Absorción de agua (\%)} = 44.6 - 0.1290A + 1.784B + 0.000093A^2 - 0.00187B^2 - 0.001705AB$$

4. Diagrama de Pareto

Discusión: Se utiliza el diagrama de Pareto de los efectos para comparar la magnitud relativa y la significancia estadística tanto de los efectos principales como de interacción. La temperatura (A), la composición del lodo (B) y la interacción entre ellas (AB) influyen de manera significativa en la absorción de agua. Ver Figura 37.

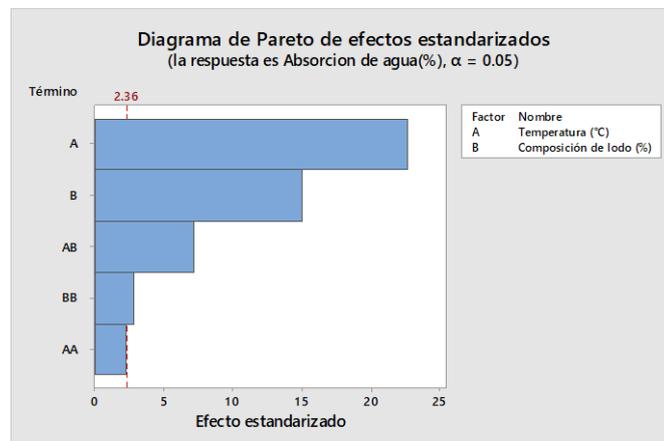


Figura 37. Diagrama de Pareto

5. Grafica de efectos principales

Discusión: En la Figura 38, se observa que la temperatura (°C) y la composición de lodo son variables que influyen en el proceso de elaboración de ladrillo. Es decir, a una temperatura de **941.42°C** y **45% de lodo** produce mejores resultados respecto a la absorción de agua en el ladrillo.

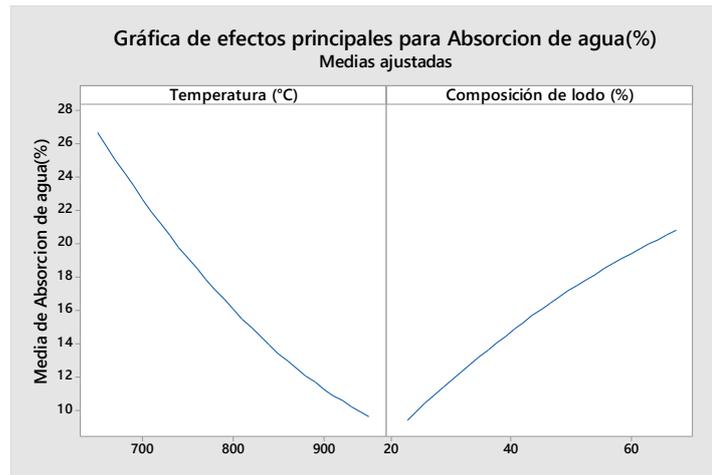


Figura 38. Grafica de efectos principales

6. Grafica de efectos de interacción

Discusión: En forma general, a una temperatura de **941.42°C** y **una dosis de 45% de lodo** produce mejores resultados respecto a la absorción de agua en el ladrillo. Se observa en la Figura 39, que existe una interacción entre ambas variables.

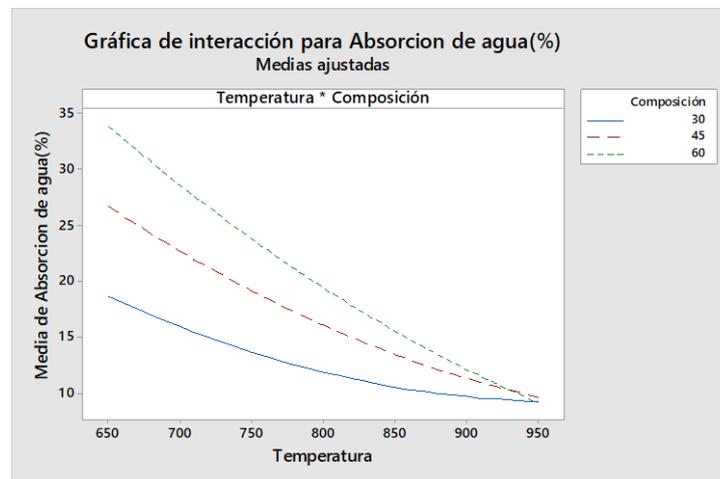


Figura 39. Grafica de interacción entre variables

7. Grafica de contorno

Discusión: En la Figura 40, se observa que una absorción de agua al **9.16%** está en el área de color azul, a temperaturas de 900°C y 941.42°C y una composición de lodo al 25 y 35 %.

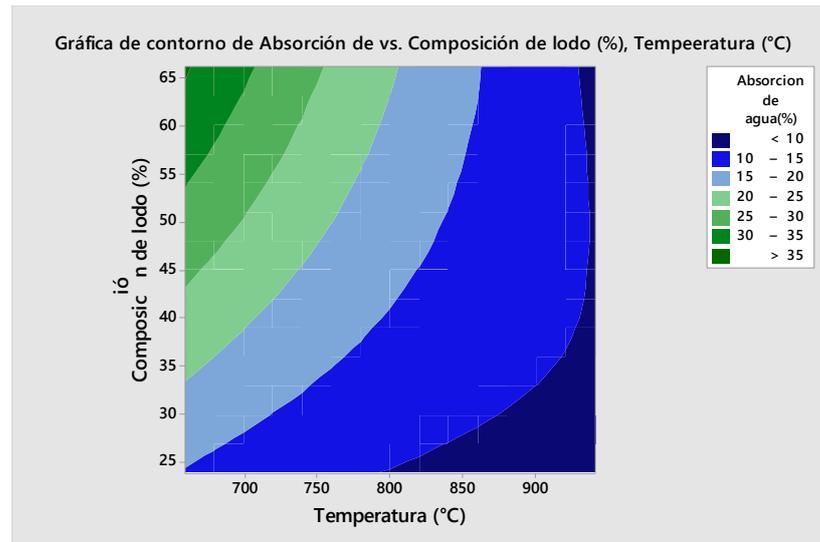


Figura 40. Grafica de contorno de absorción de agua (%)

8. Grafica de superficie

Discusión: En esta gráfica de superficie 3D se muestra que la absorción mínima se debe a temperatura altas que es sometido el ladrillo (>900°C) y una composición menor del 50% lodo (ver Figura 41).

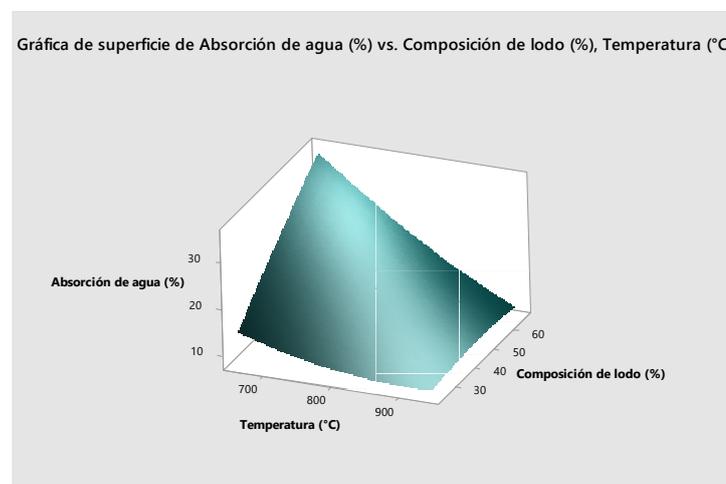


Figura 41. Grafica de superficie de absorción de agua (%)

4.4.1.2. Resistencia a la compresión (Y_2)

1. Análisis de Residuales

A. Normalidad

Los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. El valor p (0.265) es mayor que el nivel de significancia de 0.05.

Por lo tanto, NO se puede rechazar la hipótesis nula ya que los datos siguen una distribución normal. Ver Figura 42.

B. Independencia

Los *residuos* son independientes ya que no muestran tendencias ni patrones en el *orden cronológico*. No hay evidencia de patrones ni correlación. Los puntos se ubican aleatoriamente alrededor de la línea central. Ver Figura 42.

C. Varianza

Los residuos están distribuidos aleatoriamente y la varianza en los diferentes tratamientos son aproximadamente iguales. Ver Figura 42.

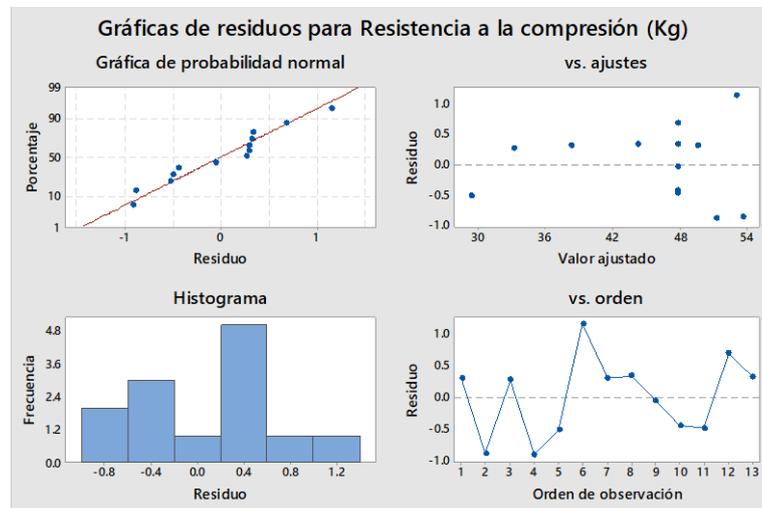


Figura 42. Grafica de residuos para resistencia a la compresión (kg/cm^2)

2. Gráfica de Probabilidad Normal

- **Hipótesis alterna (H_1):** Los datos NO siguen una distribución normal.
- **Hipótesis nula (H_0):** Los datos siguen una distribución normal.

Valor $p > \alpha$: Usted no puede concluir que los datos no siguen una distribución normal (No puede rechazar H_0).

Valor $p \leq \alpha$: Los datos no siguen una distribución normal (No puede rechazar H_0).

Discusión: En estos resultados la hipótesis nula indica que los datos siguen una distribución normal. Puesto que el valor p es 0.265, que es mayor que el nivel de significancia de 0.05, la decisión es que no se puede rechazar la hipótesis nula.

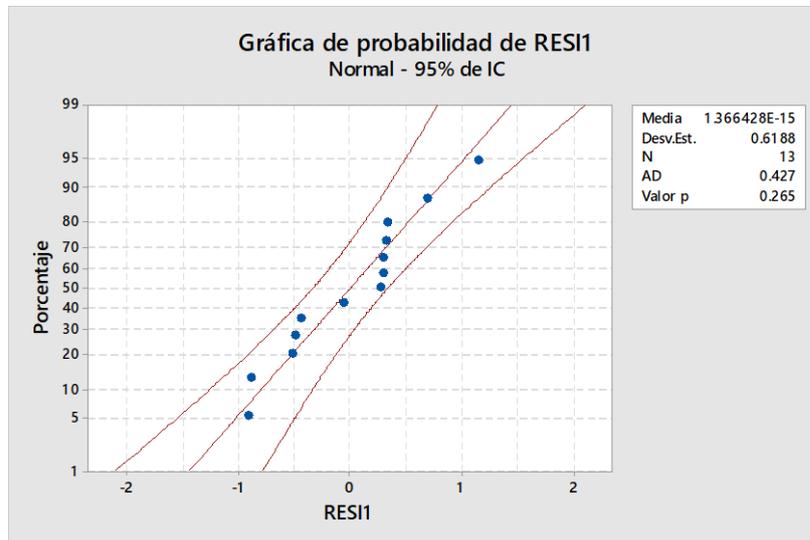


Figura 43. Grafica de probabilidad

3. Análisis de varianza (ANOVA)

Debemos realizar un análisis de varianza para probar la hipótesis de la temperatura y composición del lodo afectan a la resistencia del ladrillo (ver Tabla 39).

Las hipótesis son:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4$$

$H_1: \tau_i \neq 0$, por lo menos una media es diferente

$\alpha = 0.05$, nivel de significancia

Tabla 39. Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	661.458	132.292	201.51	0.000
Lineal	2	585.039	292.519	445.58	0.000
Temperatura (°C)	1	557.301	557.301	848.91	0.000
Composición de lodo (%)	1	27.738	27.738	42.25	0.000
Cuadrado	2	74.597	37.298	56.82	0.000
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	74.596	74.596	113.63	0.000
Composición de lodo (%)*Composición de lodo (%)	1	1.210	1.210	1.84	0.217
Interacción de 2 factores	1	1.822	1.822	2.78	0.140
Temperatura (°C)*Composición de lodo (%)	1	1.822	1.822	2.78	0.140
Error	7	4.595	0.656		
Falta de ajuste	3	3.575	1.192	4.67	0.085
Error puro	4	1.021	0.255		
Total	12	666.053			

Fuente: Minitab 18

Discusión: Los valores p son menores que el nivel de significancia (0.05) a excepción composición de lodo (modelo cuadrático). Se concluye que las medias de los tratamientos difieren, es decir, la temperatura y la composición de lodo de manera significativa en el ensayo de absorción de agua.

Verificamos la falta de ajuste del modelo de segundo orden mediante el Valor p el cual resultó mayor a 0.05, por lo tanto, concluimos que este modelo se ajusta adecuadamente a un modelo de segundo orden.

Tabla 40. Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred.)
0.810239	99.31%	98.82%	95.94%

Fuente: Minitab 18

Del R cuadrado ajustado cerca del 98.82%. Quiere decir que 98.82% de la variabilidad de la resistencia a la compresión es influenciada por la temperatura y la composición de lodo (ver Tabla 40). Siendo el siguiente el modelo matemático:

$$\text{Resistencia a la compresión (kg/cm}^2\text{)} = -210.6 + 0.5872A - 0.317B - 0.000327A^2 - 0.00185B^2 + 0.000450AB$$

4. Diagrama de Pareto

Discusión: Se utiliza el diagrama de Pareto de los efectos para comparar la magnitud relativa y la significancia estadística tanto de los efectos principales como de interacción. La temperatura (A), la composición del lodo (B) y la interacción entre ellas (AB) influyen de manera significativa en la resistencia del ladrillo. Ver Figura 44.

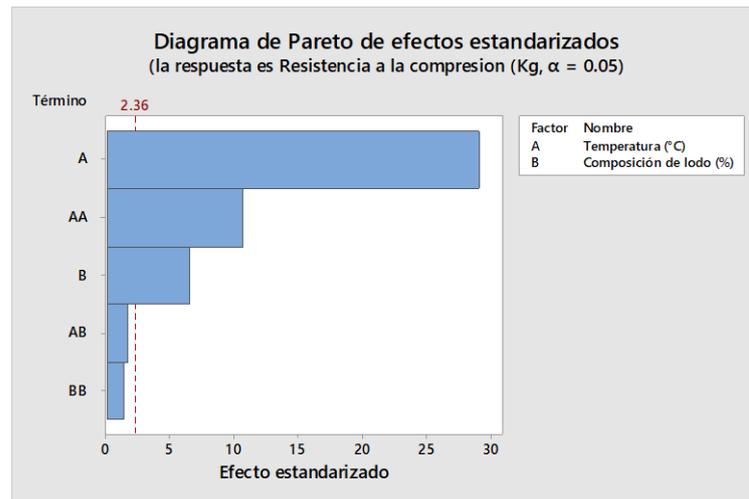


Figura 44. Diagrama de Pareto

5. Grafica de efectos principales

Discusión: En la Figura 45, se observa que la temperatura (°C) y la composición de lodo son variables que influyen en la resistencia del ladrillo. Es decir, a una temperatura de **941.42°C** y **45% de lodo** produce mejores resultados.

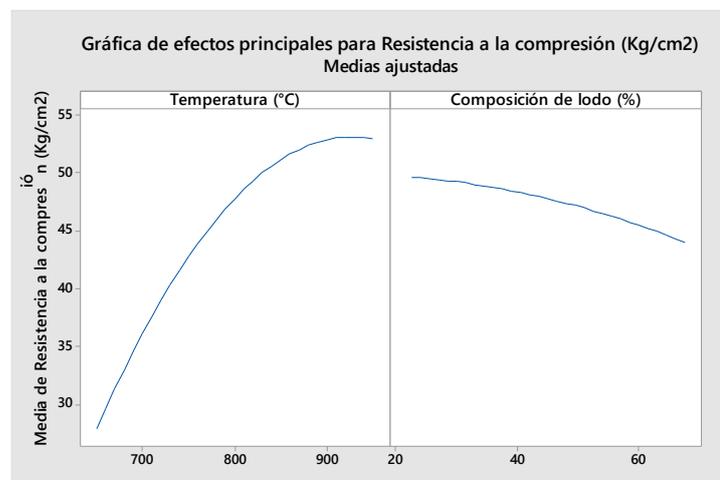


Figura 45. Grafica de efectos principales

6. Grafica de efectos de interacción

Discusión: En forma general, a una temperatura de **941.42°C** y una dosis de **45% de lodo** produce mejores resultados respecto a la resistencia a la compresión del ladrillo, en la Figura 46 se observa que existe una interacción entre ambas variables.

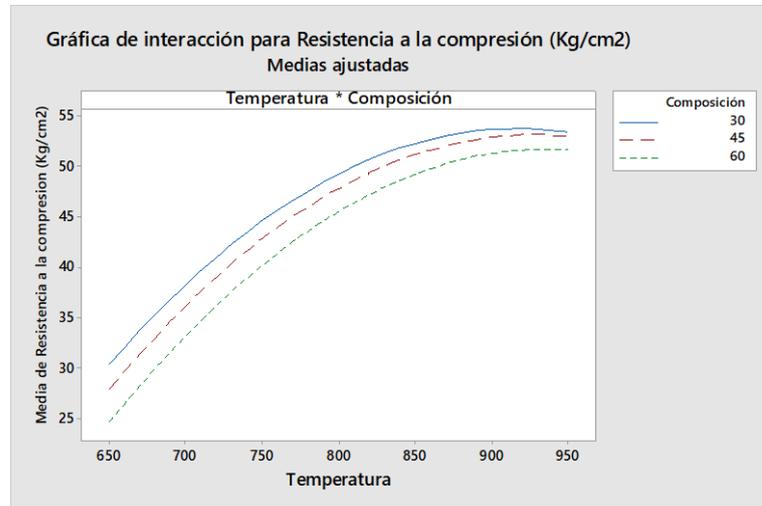


Figura 46. Grafica de interacción entre variables

7. Grafica de Contorno

Discusión: En la Figura 47, se observa que una resistencia a la compresión optima es **54.16%** que está en el área de color verde oscuro, a temperatura de **941.42°C** y una composición de lodo al **45 %**.

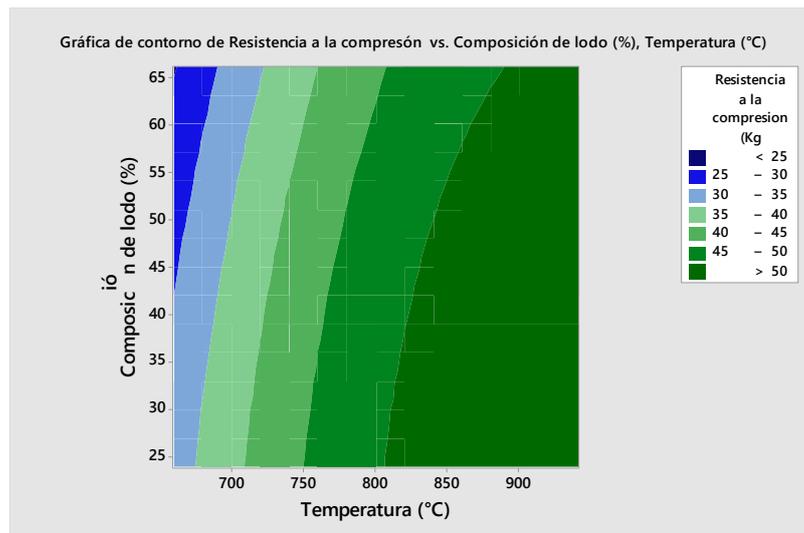


Figura 47. Grafica de contorno

8. Grafica de Superficie

Discusión: En esta gráfica de superficie 3D se muestra que la resistencia se debe a la temperatura alta (>900) y una composición menor al 50% de lodo (ver Figura 48).

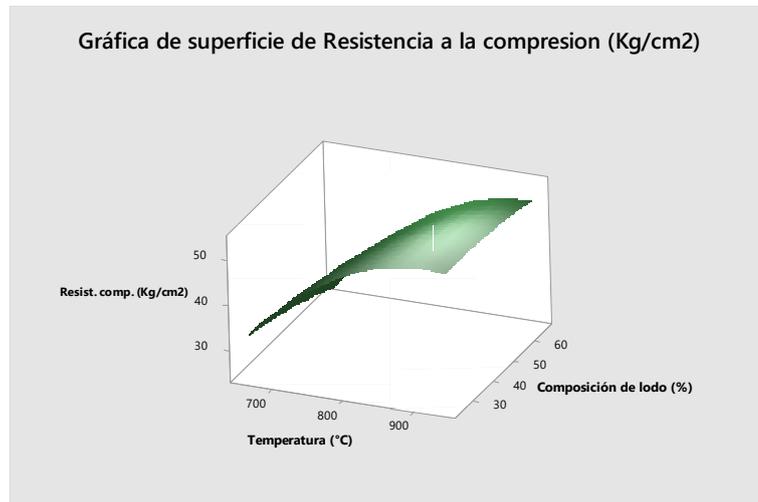


Figura 48. Grafica de superficie de resistencia a la compresión



V. CONCLUSIONES

Para las condiciones bajo las cuales se desarrolló el estudio, se concluye que:

1. En la caracterización fisicoquímica y microbiológica realizada al lodo colectado de la unidad compacta N° 02 de la planta de tratamiento de agua potable – Ayabacas (EPS Sedajuliaca S.A.) presentaron los siguientes resultados: El lodo posee un pH promedio de 7.781, temperatura promedio 11.34 °C, y una conductividad promedio de 0.63 mS/cm; con respecto a la humedad su valor promedio es de 98.25% y el 1.75% restante es sólido. Cabe mencionar que los parámetros de metales, metales pesados y microbiológicos evaluados sobrepasan los valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario según la norma D.S. 010-2019-VIVIENDA. Por otro lado, la presencia del aluminio es mayor a 10,000.0 mg/kg, el hierro 8,880.0 mg/kg y el valor de la sílice como óxido de silicio es 91.98 mg/kg.
2. En la etapa de tratamiento (secado, triturado y homogenizado), se determinaron propiedades físicas del lodo deshidratado o seco, obteniéndose los siguientes resultados: Con respecto a la textura, el lodo contiene 72.40% de arena, 17.48% de limo y 10.12% de arcilla, pertenece a la clase textural franco arenosa, finalmente los valores de la composición química (óxidos) del lodo seco es de 46.78% de SiO₂, 20.07% de Al₂O₃, 4.28% de Fe₂O₃, 0.21% de MgO, 0.11% de Na₂O, 16.79% de K₂O, 0.05% de CaO, 0.58% de Mn₂O₃ cuya pérdida de peso por ignición es de 10.21%, estos valores están dentro del rango de una arcilla plástica y no plástica con la diferencia del valor de pérdida de peso por ignición. Por lo tanto, la alta cantidad de arena que posee el lodo dificulta la elaboración del ladrillo, es por eso que se realizó la mezcla de lodo – tierra negra.
3. Se elaboraron trece unidades de ladrillo conformado por una clase textural franco arenosa y arcilla, de composiciones 23.79, 30, 45, 60 y 66.21 % de lodo. Las muestras de ladrillos (tipos A, B y C) fueron sometidos a temperaturas de 658.58, 700, 800, 900 y 941.42 °C, sus características obtenidas son ladrillo macizo, con dimensiones de 12x10x5.5 cm de color anaranjado rojizo, con textura rugosa y con peso promedio de 1217 g.



4. En el proceso de la elaboración de ladrillo se identificó como factores con efecto significativo: la temperatura y la composición de lodo. Según la técnica Metodología de Superficie Respuesta de un Diseño Central Compuesto, corresponde un valor más eficiente para la absorción de agua de 9.16% a un nivel de temperatura de 941.42°C y una composición del lodo al 45%, con respecto a la resistencia a la compresión se obtuvo un valor óptimo de 54.16 kg/cm² para un nivel de temperatura de 941.42°C y una dosis de 45% de lodo.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un plan integral de manejo y disposición final de lodos de PTAP – Ayabacas (EPS SEDAJULIACA S.A.). Dentro del cual se contemplen todas las opciones de reutilización de lodos, de acuerdo a la R.M.-128-2017-VIVIENDA.
- Se recomienda un estudio más detallado de los lodos procedentes de las potabilizadoras; con respecto a la caracterización física y química.
- Se recomienda determinar el volumen de lodos que se produce en las potabilizadoras de la región de Puno y estudiar su reaprovechamiento del mismo.
- Se recomienda elaborar ladrillos, utilizando el lodo en composiciones menores al 50% en peso y el resto completar con tierras arcillosas para optimizar la masa cerámica del ladrillo.
- En la etapa de cocción o quema de ladrillo es recomendable trabajar con temperaturas entre 900 y 1000 °C, para mejorar sus propiedades físico – mecánicas.
- Realizar Pruebas de mezclado en porcentajes de lodo y arcilla para luego ensayar la textura de la muestra.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, D. R. (2004). *Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región central de Junín*. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima
- Andreoli, C. V. (2006). *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final Rio de Janeiro*. Projeto PROSAB, seção 2 Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs).
- Anfalit (2002). *Diagnóstico de la industria ladrillera nacional*. Bogotá: Camargo y Asociados Ingenieros Consultores.
- ASCE y AWWA (1996). *Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residual*. New York.
- AWWA (1987). *Handbook of practice: water treatment plant waste management*. Denver: AWWA.
- Ayala, J. y Pardo, R. (1995). *Optimización por diseños experimentales con aplicación en ingeniería*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Lima. Perú.
- Barranzuela, J. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura*. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura. Perú.
- Cerón, O. (2006). *Aplicación de lodos de plantas potabilizadoras en materiales cementantes para elaborar productos de la construcción*. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma México.
- Chire, Y. P. y Rondan, G. B. (2014). *Uso de lodos generados en los decantadores de una planta de tratamiento de agua potable como materia prima para la elaboración de ladrillos de construcción*. Universidad Nacional San Agustín. Arequipa.
- Cordeiro, J. S. (1993). *O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água*. São Carlos: Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- Cornwell, D. A. et al. (1987). *Handbook of Practice - Water Treatment Plant Waste Management*. Denver: American Water Works Association.



- Di Bernardo, L. y Paz, L. P. S. (2008). *Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água*. São Carlos. LDiBe Editora, v. II.
- Dias, L. M. (2004). *Alternativa de destinação final do lodo de estação de tratamento de água - fabricação de blocos cerâmicos*. Apresentado em: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29, San Juan.
- Gallegos, H. (2005). *Albañilería estructural*. Perú: Fondo editorial PUCP.
- Guimarães, G. C. (2007). *Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA- Brasília*. Dissertação (mestrado), Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília.
- Hendry, AW, Sinha, BP, y Davies, SR. (1997). *Design of masonry structures*. Reino Unido: E&FN Spon.
- Hernández, D. et al. (2006). *Aprovechamiento de lodos aluminosos generados en sistemas de potabilización, mediante su incorporación como agregado en materiales de construcción*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín.
- IBGE (2010). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008*. Rio de Janeiro.
- Igor, J. (2008). *Caracterização e incorporação de lodo de decantação de estação de tratamento de água (E.T.A.) em cerâmica vermelha*. Laboratório de Materiais Avançados – CCT. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF.
- Jiménez, A., y Salazar, O. (2005). *Transferencia de tecnología a ladrilleras en Cholula elaborando un manual de capacitación y diseñando un horno para pruebas de laboratorio con capacidad para cocer veinte ladrillos de arcilla, para analizar y mejorar el proceso de producción*. Universidad de Las Américas, Puebla. México.
- Kuehl, R.O. (2001). *Diseño de experimentos: principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*. Segunda edición. International Thomson Editores, S.A. Impreso en México. 663 p.
- Libânio, M. (2010). *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3ra. ed. Campinas: Átomo.
- Limusa, S.A. de C.V. México D.F, México. 686 p.



- López, J. H. y Rivas, J. G. (2013). *Estabilización de los lodos generados en la planta potabilizadora de agua Emaars-Ep en la estancilla, mediante compostaje*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- Montgomery, D. (2002). *Diseño y análisis de experimentos*. Segunda edición. Editorial
- Moreno, F. (1981). *El ladrillo en la construcción*. España: Ediciones CEAC.
- Morita, D. M. (2016). *Usos benéficos e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Apresentação realizada na Univercedae no dia 31/08/2016.
- Muñoz (2016). *Propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo*. Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Química, Bogotá, D. C.
- Norma Técnica Peruana (2003). *Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos (NTP 331.017:2003)*. Lima: INDECOPI
- Peralta, J. R. (2018). *Elaboración de ladrillos cerámicos utilizando lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable de tixán en la ciudad de cuenca*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Maestría en Construcciones, Programa Especial de Titulación. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Ponkarthikeyan, P. et al. (2016). *Experimental Study on Bricks Using Water Treatment Sludge*. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET).
- R.M.-128-2017-VIVIENDA (2017). *Condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final*. Lima. Perú.
- Ramírez F. (2005). *Tratamiento de desinfección del agua potable*. Editorial Canal Educa, Madrid.
- Realli, M. A. P. (1999). *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2006). *Norma Técnica E.070 Albañilería*. Lima. Perú.
- Rhodes, D. (1990). *Arcilla y vidriado para el ceramista*. España: Ediciones CEAC.



- Richter, C. A. (2001). *Tratamiento de lodos de estaciones de tratamiento de agua*. São Paulo: Blucher.
- Robusté, E. (1969). *Técnica y práctica de la industria ladrillera*. Barcelona: CEAC.
- Silva, E. R. A. D. (2015). *Avaliação estratégica para a recuperação das águas residuais da ETA Laranjal/RJ*. Rio de Janeiro: Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental.
- Simpson, A., Burgess, P. y Coleman, J. (2002). *The management of potable water treatment sludge: present situation in the UK*. In: Management of wastes from drinking water treatment. Londres: International Conference, organised by The Chartered Institution of Water and Environmental Management.
- Somayaji, S. (2001). *Civil engineering materials*. 2ª New Jersey: Prentice Hall.
- Tsutiya, M. T. y Hirata, A. Y. (2001). *Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do Estado de São Paulo*. Trabalho Técnico apresentado no 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Villareal, LA. (2004). *Uso de lodo y papel para la fabricación de ladrillos y tabla roca*. Tesis de Título. Universidad de Las Américas, Puebla, México.
- Weber, W. (2003). *Control de la calidad del agua: Procesos físicos químicos*. Barcelona. Reverte.



ANEXOS

Anexo 01.

Permiso para la toma de muestras de lodo de la planta de tratamiento de agua potable - EPS SEDAJULIACA S.A.

Anexo 02.

Certificado de análisis de metales, metales pesados y microbiológico - Laboratorios Analíticos de Sur E.I.R.L.

Anexo 03.

Constancia de haber realizado ensayos en el laboratorio de agua y suelos de la facultad de ciencias agrarias

Anexo 04.

Certificado de análisis de composición química (óxidos) del lodo seco - Laboratorios Analíticos de Sur E.I.R.L.

Anexo 05.

Certificado de ensayo resistencia a la compresión de muestras de ladrillo – Laboratorio de Construcción (Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura)

Anexo 06.

Condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición R.M. – 128 – 2017 – VIVIENDA

Anexo 07.

Registro fotográfico

Anexo 08.

Registro de datos de producción y calidad PTAP – Ayabacas



"DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES"
"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

Juliaca, 13 de mayo del 2019.

CARTA N° 001-2019-EPS.SEDA.JULIACA S.A./GO/DPCMA.-

PARA : Sr. Edgar Espillico Quispe
Bachiller de Ingeniería Química UNA.

ASUNTO : Permiso para toma de muestras de lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable.

REFERENCIA : Solicitud Registro de Mesa Partes N° 1288 fecha 29/04/2019.

FECHA : Juliaca, 13 de Mayo del 2019.

Mediante el presente me dirijo a usted, en atención al documento de la referencia, concerniente al trabajo de investigación para completar su formación académica sobre "Elaboración de Ladrillos a partir de Lodos generados por Plantas de Tratamiento de agua potable y su uso en la Construcción" con la finalidad de comunicarle lo siguiente:

Queda autorizado la toma de muestras de lodos de la planta de tratamiento de agua potable para su caracterización y su posterior uso, para lo cual deberá presentar una nueva programación de las actividades que se desarrollaran en el marco de su proyecto, debiendo coordinar con el personal de apoyo cada una de las actividades que tenga a bien desarrollar.

Sin otro particular, agradeciendo su cordial atención con la presente, le expreso mis cordiales saludos.

Atentamente,

EPS. SEDA JULIACA S.A.

Ing° Nany Carmen Guerra Diaz
CIP N° 85964
Ingeniera de Producción - Agua y Medio Ambiente

C.c.

- G.O.
- Arch.

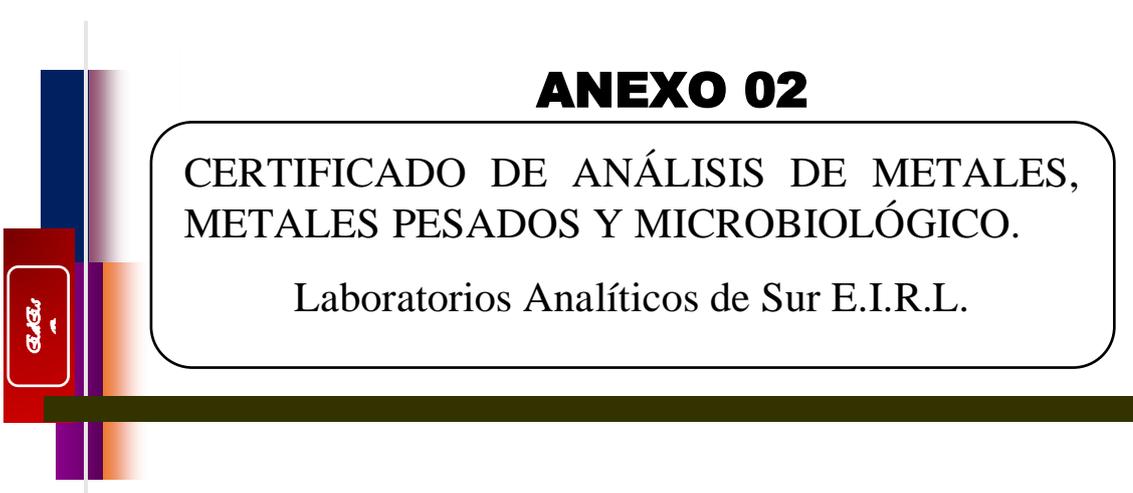
OFICINA: Jr. Mariano Pandía 383 Urb. La Rinconada
Teléfonos: (051) 321933-321402 www.sedajuliaca.com



ANEXO 02

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE METALES,
METALES PESADOS Y MICROBIOLÓGICO.**

Laboratorios Analíticos de Sur E.I.R.L.





Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Centro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444592
www.laboratoriosanaliticosdesur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-19-00025

Pág: 1/3

Hoja de datos

Señores: Bach. EDGAR ESPILLO QUISPE
Dirección: PUNO, URB. AZIRUNI III ETAPA MZ-R LT-05
Atención: Bach. EDGAR ESPILLO QUISPE
Proyecto: TESIS: "ELABORACION DE LADRILLOS A PARTIR DE LODOS GENERADOS POR LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y SU USO EN LA CONSTRUCCION"

Producto(s) Declarado(s): Lodo
Nro de muestras: 1
Muestro a cargo de(s): Bach. EDGAR ESPILLO QUISPE
Registro de muestreo: 015-19
Fecha de recepción: 21/08/2019
Fecha de ensayo: 21/08/2019
Fecha de emisión: 11/07/2019
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones : -----

Método de ensayo aplicado

*7102 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP-OES, Revisión 4.4.
*7103 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP-OES, Revisión 4.4.
*7120 Recuento Huevos y larvas de Helmintos patógenos.
*7122 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP-OES, Revisión 4.4.
*7107 Numeración de Coliformes Fecales ISO 4831:2006. Horizontal method for the enumeration of coliforms - Most probable number technique en sedimentos
*7087 Método de Ensayo para Sílice por Fusión Alcalina - Gravimetría
*7114 Detección de Salmonella: SNEW-ALPHA-AWWA-WEF. Part-9269 B(Edm1 2d,3,4,6,7,8), 22nd Ed. Detección de Patógeno Bacteria Salmonella en sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD19000030	LODO	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE - AYABACAS / JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	UNIDAD COMPACTA N° 02	20/08/19	11:40 a.m.

Edgar Espillo Quispe
Laboratorio Analítico del Sur E.I.R.L.
Lugar de muestreo: Ayabacas / Juliaca / San Roman / Puno
Código: SD19000030
Ing. Daniel Tapay

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producción, ya que el muestreo no es representativo del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 0168

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-19-00025

Hoja de resultados

1/07/2019

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003 Ag MT mg/kg	*7001 Al MT mg/kg	*7002 As MT mg/kg	*7003 B MT mg/kg	*7003 Ba MT mg/kg	*7003 Be MT mg/kg	*7003 Ca MT mg/kg	*7003 Cd MT mg/kg	*7003 Co MT mg/kg	*7003 Cr MT mg/kg	*7003 Cu MT mg/kg	*7003 Fe MT mg/kg	*7022 Hg MT mg/kg	*7003 K MT mg/kg	*7003 Li MT mg/kg	*7003 Mg MT mg/kg	*7003 Mn MT mg/kg	*7001 Mo MT mg/kg	*7003 Na MT mg/kg	*7003 Ni MT mg/kg	*7001 P MT mg/kg
SD19000030	LODO	≤0,24	>10.000	490,4	37,42	118,53	0,110622	3 410	5,3985	2,11416	7 2579	108,1	8 880	0,61388	>10.000	47,010	1 579	281,76	≤0,038	6 300	3,9999	958,4

S. P. A.
Laboratorio Neobios del Sur E.I.R.L.
Laboratorio Neobios del Sur E.I.R.L.
SABO Vicosillo, Arequipa
Calle Comercio 100, Arequipa C.I.B. 06114

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 0169

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdesur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-19-00025

Hoja de resultados

1/07/2019

Pág.: 3/3

Código Interno	Nombre de Muestra	*7003 Pb MT mg/kg	*7003 Sb MT mg/kg	*7003 Se MT mg/kg	*7003 Si MT mg/kg	*7003 Sr MT mg/kg	*7003 Ti MT mg/kg	*7003 V MT mg/kg	*7003 Zn MT mg/kg	*7087 S02 FA Grav mg/kg	*7079 Coliforme Fecal NMP/Plg	*7114 Salmonella NMP/Plg materia seca	*7020 Helminfos y Parásitos
SD19000030	LODO	12,10 ≤0,049	≤0,049	≤0,2	≤0,085	94,88	157,19 ≤0,13	38,195	654,1	91,98	43x10 ⁷	<3	0

[Handwritten signatures and stamps]
 LABORATORIOS ANALITICOS DEL SUR E.I.R.L.
 Calle Comercio 1000, Arequipa, Perú
 José A. Ortiz Condori
 Microbiología
 Biólogo C.B.P. 13162

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 0170



ANEXO 03

CONSTANCIA DE HABER REALIZADO
ENSAYOS EXPERIMENTALES EN EL
LABORATORIO DE AGUA Y SUELOS DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



CONSTANCIA

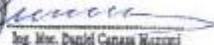
El que suscribe Jefe de **LABORATORIO DE AGUAS, SUELOS Y PLANTAS** de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.

HACE CONSTAR:

Que, el **Bach. Edgar Espillico Quispe**, identificado con **DNI N° 46608048**, Tesista del proyecto de investigación "ELABORACIÓN DE LADRILLOS A PARTIR DE LODOS GENERADOS POR PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y EL USO EN LA CONSTRUCCIÓN", ha realizado pruebas para determinar pH, temperatura, conductividad eléctrica y porcentajes de humedad de muestras de lodo; así como el tratamiento físico del lodo, ensayo de textura y el proceso de elaboración del ladrillo, con la finalidad de obtener resultados para dicha investigación, en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, en los meses de Junio, Julio, Agosto y Setiembre.

Se expide la presente constancia, a solicitud del interesado, para los fines que vea por conveniente.

Puno, C.U., 30 de Setiembre del 2019



Ing. Msc. Daniel Canasa Marrero
Jefe del Laboratorio de Aguas y Suelos



ANEXO 04

CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE
COMPOSICIÓN QUÍMICA (ÓXIDOS) DEL
LODO SECO - Laboratorios Analíticos de Sur
E.I.R.L.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdesur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-04181

Fecha de emisión: 30/07/2019
Pág.: 1/1

Señores: Bach. EDGAR ESPILLICO QUISPE
Dirección: URB. AZERUNI III ETAPA MZ. RLT-05 - SALCEDO - PUÑO
Atención: Bach. EDGAR ESPILLICO QUISPE
Recepción: 23/07/2019
Realización: 23/07/2019

Proyecto: TESIS: "ELABORACION DE LADRILLOS A PARTIR DE LODOS GENERADOS POR LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y SU USO EN LA CONSTRUCCION."

Observación: Laboratorio No realiza la toma de muestra.

Método de ensayo aplicado

*592 Método de Ensayo para Rocas Fusión alcalina (SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Mn₂O₃, Na₂O, K₂O, LOI)

Muestra	Nombre de muestra	Descripción de muestra	Procedencia de la muestra	*592 SiO ₂ %	*592 CaO %	*592 MgO %	*592 Al ₂ O ₃ %	*592 Fe ₂ O ₃ %	*592 Mn ₂ O ₃ %	*592 Na ₂ O %	*592 K ₂ O %	*592 LOI %
MN19006379	LODO	Lodo Seco	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE - AYABACAS - JULIACA - PUÑO	46,78	0,05	0,21	20,07	4,28	0,58	0,11	16,79	10,21

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sr. Víctor Juárez Nieira
Gerente General
V.O. Químico C.F.P. 10421

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 0298



ANEXO 05

CERTIFICADO DE ENSAYO RESISTENCIA A
LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE
LADRILLO – Laboratorio de Construcción
(Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura)

UNAP



SOLICITANTE : Bach. Edgar Espillico Quispe
PROYECTO : "ELABORACION DE LADRILLOS A PARTIR DE LODOS GENERADOS POR PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y EL USO EN LA CONSTRUCCION"
UBICACIÓN : Distrito de Puno - Provincia de Puno - Departamento de Puno.
MUESTRA : Ladrillo artesanal
ENSAYO : Resistencia a la compresión en unidades de albañilería
NORMA : Norma técnica E.070 albañilería
FECHA : 13 de Setiembre del 2019

MUESTRA	ANCHO (cm)		LARGO (cm)	AREA	CARGA DE	f'b
	ap	lp	lp	cm2	ROTURA	(Kg/cm2)
M-1	10.25	12.18	12.18	124.85	4813	38.55
M-2	10.41	12.25	12.25	127.52	6722	52.71
M-3	10.15	12.34	12.34	125.25	4190	33.45
M-4	10.36	12.09	12.09	125.25	6301	50.31
M-5	10.54	12.07	12.07	127.22	3674	28.88
M-6	10.62	12.09	12.09	128.40	6954	54.16
M-7	10.63	12.05	12.05	128.09	6385	49.85
M-8	10.70	12.01	12.01	128.55	5736	44.62
M-9	10.77	11.98	11.98	129.01	6154	47.70
M-10	10.84	11.94	11.94	129.47	6125	47.31
M-11	10.91	11.90	11.90	129.92	6140	47.26
M-12	10.98	11.87	11.87	130.36	6315	48.44
M-13	11.05	11.83	11.83	130.80	6289	48.08

La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

No se ha considerado los datos estadísticos de media y desviación estándar debido a número mínimo de muestra proporcionada.


 Bach. YVANNI VICTOR ARAGON CHOQUE
 TÉCNICO DE LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES Y ESTRUCTURAS
 EPIC - UNAP

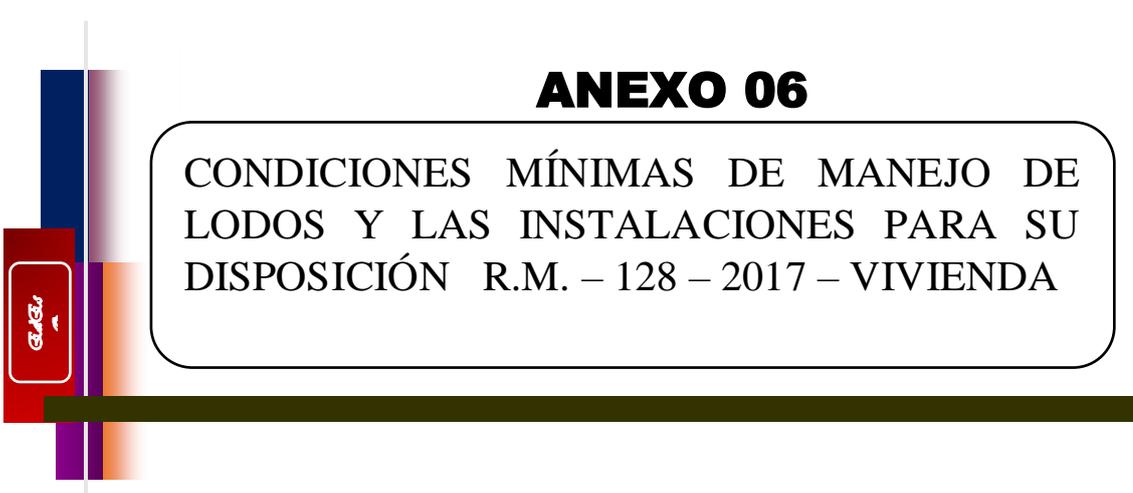



 MSc. Ing. Gino P. Laque Córdova
 JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 06

CONDICIONES MÍNIMAS DE MANEJO DE
LODOS Y LAS INSTALACIONES PARA SU
DISPOSICIÓN R.M. – 128 – 2017 – VIVIENDA



Permanente de Actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones, a fin que se encargue de analizar y formular las propuestas para su actualización; la que está integrada, entre otros, por un representante del Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, quien lo presidirá, un representante del Viceministerio de Vivienda y Urbanismo y un representante del Viceministerio de Construcción y Saneamiento;

Que, con Resolución Ministerial N° 374-2014-VIVIENDA, se designa, entre otros, al señor Luis Obdulio Tagle Pizarro, Director General de la Dirección General de Políticas y Regulación en Vivienda y Urbanismo, como representante del Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento ante la Comisión Permanente de Actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones, quien lo presidirá;

Que, a través de la Resolución Ministerial N° 073-2017-VIVIENDA se acepta la renuncia del señor Luis Obdulio Tagle Pizarro, al cargo de Director General de la Dirección General de Políticas y Regulación en Vivienda y Urbanismo, designado mediante Resolución Ministerial N° 274-2014-VIVIENDA; procediéndose a designar en el citado cargo, mediante Resolución Ministerial N° 074-2017-VIVIENDA, al señor Manuel Pablo Fernandini Capurro;

Que, con el documento del visto, la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento propone dar por concluido la designación del señor Luis Obdulio Tagle Pizarro, como representante del Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento ante la Comisión Permanente de Actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones y nombrar, en su reemplazo, al señor Manuel Pablo Fernandini Capurro;

Que, en consecuencia, es necesario dar por concluida la designación efectuada con Resolución Ministerial N° 374-2014-VIVIENDA, conforme a lo indicado en el considerando anterior, y designar a su reemplazo;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; la Ley N° 27594, Ley que regula la participación del Poder Ejecutivo en el nombramiento y designación de funcionarios públicos; la Ley N° 30158, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado por Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, modificado por Decreto Supremo N° 006-2015-VIVIENDA; y, el Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA;

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Dar por concluida la designación del señor Luis Obdulio Tagle Pizarro como representante del Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento ante la Comisión Permanente de Actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones, efectuada por Resolución Ministerial N° 374-2014-VIVIENDA.

Artículo 2.- Designar al señor Manuel Pablo Fernandini Capurro, Director General de la Dirección General de Políticas y Regulación en Vivienda y Urbanismo, como representante del Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento ante la Comisión Permanente de Actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones, quien lo presidirá.

Artículo 3.- Notificar la presente Resolución a la Secretaría Técnica de la Comisión Permanente de Actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones y al representante designado en el artículo 2 de la presente Resolución Ministerial, para los fines pertinentes.

Artículo 4.- Publicar la presente Resolución Ministerial, en el Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (www.vivienda.gob.pe), el mismo día de su publicación en el diario oficial El Peruano.

Regístrate, comuníquese y publíquese.

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

1506028-2

Aprueban Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 128-2017-VIVIENDA

Lima, 5 de abril de 2017

VISTO, el Informe Técnico - Legal N° 001-2017-VIVIENDA/VMCS-DGAA, complementado con Informe Técnico - Legal N° 002-2017-VIVIENDA/VMCS-DGAA de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y el Informe N° 502-2017-VIVIENDA/OGAJ de la Oficina General de Asesoría Jurídica;

CONSIDERANDO:

Que, la Ley N° 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;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1278, se aprobó la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos la cual tiene por objeto establecer derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, con la finalidad de propender hacia la maximización constante de la eficiencia en el uso de los materiales y asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos económica, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción las obligaciones, principios y lineamientos del citado Decreto Legislativo;

Que, la Tercera Disposición Complementaria Final del mencionado Decreto Legislativo establece que este entrará en vigencia a partir del día siguiente de la publicación de su Reglamento en el diario oficial El Peruano, salvo la Quinta, Sexta y Séptima Disposición Complementaria Final, la Cuarta Disposición Complementaria Transitoria; y la Primera y la Segunda Disposición Complementaria Modificatoria;

Que, la Quinta Disposición Complementaria Final del mencionado Decreto Legislativo señala que los lodos generados por las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, las plantas de tratamiento de aguas residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento, son manejados como residuos sólidos no peligrosos, salvo en los casos que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento determine lo contrario;

Que, la citada disposición establece que en ningún caso los lodos provenientes de los mencionados sistemas son utilizados sin considerar condiciones sanitarias y ambientales mínimas apropiadas, conforme lo dispone el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento;

Que, la Séptima Disposición Complementaria Final del mismo Decreto Legislativo, indica que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en el término de sesenta (60) días calendario, contado a partir de la entrada en vigencia del Decreto Legislativo, establece mediante Resolución Ministerial la regulación de las condiciones mínimas de manejo de lodos, así como lo referido a las instalaciones donde se realiza la disposición final de los lodos;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley 27314, Ley General de Residuos Sólidos; la Quinta y Séptima Disposición Complementaria Final del Decreto Legislativo 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos; la Ley N° 30158, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado por Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, modificado por Decreto Supremo N° 006-2015-VIVIENDA;

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Aprobación de las Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final

Aprobar las Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final que como anexo forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 2.- Publicación

Disponer la publicación de la presente Resolución Ministerial, con su respectivo anexo, en el Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (www.vivienda.gob.pe) el mismo día de su publicación en el diario oficial El Peruano.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

EDMER TRUJILLO MORI

Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

CONDICIONES MÍNIMAS DE MANEJO DE LODOS Y LAS INSTALACIONES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL

CAPÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. Objeto

La presente norma tiene por objeto regular las condiciones mínimas para el manejo de los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y los provenientes de los servicios de disposición sanitaria de excretas y biosólidos. Incluye la regulación de las instalaciones donde se realiza la disposición final de lodos.

Artículo 2. Finalidad

La presente norma tiene como finalidad minimizar posibles impactos al ambiente, prevenir riesgos ambientales, proteger la salud y el bienestar de la persona y contribuir al desarrollo sostenible de los servicios de saneamiento.

Artículo 3. Ámbito de aplicación

Las condiciones, requisitos y procedimientos previstos en la presente norma se aplican a:

1. Los prestadores de servicios de saneamiento previstos en el párrafo 15.1 del artículo 15 del Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
2. Otros actores involucrados en el manejo de lodos indicados en la presente norma.

Artículo 4. Autoridad competente

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es el Ente Rector del sector saneamiento que, a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA), supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las disposiciones establecidas en la presente norma.

Artículo 5. Definiciones

Para los efectos de la presente norma se consideran las siguientes definiciones:

1. **Almacenamiento:** Es el proceso u operación de acumulación temporal de lodos estabilizados o biosólidos en recipientes que resistan esfuerzos de corte y ataque químico. Dichos recipientes son impermeables y con dispositivo de cierre o cobertura.
2. **Biosólido:** Es el subproducto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su reaprovechamiento como acondicionador del suelo. No son biosólidos las cenizas producto de la incineración de lodos.

3. **Disposición final:** Es el proceso u operación para confinar en un lugar los lodos o biosólidos como último proceso de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.

4. **Estabilización de lodo:** Es el proceso de reducción de fracción orgánica (Sólidos Volátiles) en relación a la materia seca (Sólidos Totales) para controlar la degradación biológica en el producto, los potenciales de generación de olores, de atracción de vectores y de patogenicidad, aplicados a lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

5. **Generador:** Se denomina así a los prestadores de servicio de saneamiento y/u operadores privados que generen residuos sólidos y lodos en la prestación del servicio de agua potable, servicio de alcantarillado sanitario, servicio de tratamiento de agua residual y servicio de disposición sanitaria de excretas.

6. **Humedad:** Es la concentración de agua contenida en los lodos y biosólidos.

7. **Instalaciones para disposición final de lodos:** Es la infraestructura que permite disponer los lodos. Son instalaciones para disposición final de lodos: los rellenos sanitarios y los monorellenos.

8. **Línea de tratamiento de lodos:** Son los procesos y operaciones unitarias que en forma secuencial permiten el adensamiento, estabilización, conducción y/o deshidratación de lodos en una planta de tratamiento de aguas residuales.

9. **Lodo generado en PTAP:** Es el sedimento acuoso o pastoso en el que se concentran los sólidos sedimentados o decantados del agua y lavado de filtros.

10. **Lodo generado en PTAR:** Es el sedimento acuoso o pastoso en el que concentran los sólidos sedimentados o decantados del agua residual, del reactor biológico o de un proceso terciario.

11. **Lodos fecales:** Son los lodos extraídos periódicamente del servicio de disposición sanitaria de excretas tales como letrinas, pozos ciegos y tanques sépticos.

12. **Minimización:** Es la reducción del volumen de residuos sólidos y lodos por deshidratación y reducción de la carga contaminante por procesos de estabilización.

13. **Monorelleno:** Es la infraestructura de disposición final exclusiva para lodos tratados de plantas de tratamiento de aguas residuales.

14. **Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos:** Es el documento de planificación que describe las acciones de minimización y gestión de los residuos sólidos que el generador debe seguir con la finalidad de garantizar un manejo ambiental y sanitariamente adecuado. A efectos de la presente norma, el Plan incluye la gestión y manejo de los lodos.

15. **Reaprovechamiento:** Es el proceso a través del cual se vuelve a obtener un beneficio del lodo o biosólido, permitiendo su reutilización para otros fines.

16. **Recolección:** Es la acción de recoger los lodos para transferirlos mediante un medio de locomoción apropiado, y luego continuar su posterior manejo, en forma sanitaria, segura y ambientalmente adecuada.

17. **Residuos sólidos de saneamiento:** Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento retirado de las labores de mantenimiento de los sistemas que conforman los servicios de saneamiento: alcantarillado sanitario, y del pretratamiento aplicado en una PTAP o PTAR. Comprende además los lodos obtenidos del tratamiento de agua potable, del tratamiento de aguas residuales, y del servicio de disposición sanitaria de excretas.

18. **Sólidos Totales (ST):** Es la materia seca concentrada en los lodos y/o biosólidos que han sido deshidratados hasta alcanzar un peso constante. El valor que se ha evaporado en este proceso corresponde a la humedad.

19. **Sólidos Volátiles (SV):** Son los sólidos orgánicos presentes en los Sólidos Totales (ST) que se volatilizan cuando una muestra secada se quema en condiciones controladas.

20. **Transporte:** Es el proceso de manejo de residuos sólidos, lodos y/o biosólidos que consiste en su traslado apropiado hasta las instalaciones de valorización, reaprovechamiento o disposición final, según corresponda, empleando vehículos y medidas de seguridad apropiadas con las especificaciones establecidas por la autoridad competente sectorial.

21. **Tratamiento:** Es cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo o lodo, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente, con el objetivo de prepararlo para su posterior valorización o disposición final.

22. **Vectores:** Son organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos, tales como roedores, moscas, mosquitos, entre otros.

CAPÍTULO II

LODOS

Artículo 6. Lodos

6.1 Los lodos cuyo manejo se regulan en la presente norma, son aquellos generados en las siguientes instalaciones:

1. Lodos generados en las PTAP y PTAR:

- a) Lodos generados en los estanques reguladores de agua cruda, decantadores y del lavado de filtros de las PTAP. Incluye el rechazo de las unidades de membranas.
- b) Lodos generados en el tratamiento primario, secundario y terciario de las PTAR.

2. Lodos provenientes del servicio de disposición sanitaria de excretas:

- a) Lodos fecales que son admitidos en una PTAR para su tratamiento conjunto con las aguas residuales o lodos en una PTAR.

6.2 El manejo de biosólidos producidos de acuerdo a los parámetros establecidos en la norma que apruebe el Ministerio de Vivienda, Construcción, y Saneamiento se regula conforme a las disposiciones contenidas en la presente norma.

Artículo 7. Manejo de lodos

7.1 Los lodos, según su procedencia, son manejados a través de un sistema que incluye las siguientes operaciones o procesos: Recolección, almacenamiento, tratamiento, reaprovechamiento, transporte y disposición final.

7.2 El manejo de biosólidos comprende las operaciones o procesos de transporte, transferencia y disposición final.

CAPÍTULO III

PLANES DE MINIMIZACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y LA DECLARACIÓN ANUAL DE MANEJO RESIDUOS SÓLIDOS

Artículo 8. Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos

El Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos que debe presentar el generador, forma parte del contenido del Instrumento de Gestión Ambiental que corresponda. Este Plan incluye los procedimientos técnicos y administrativos necesarios para lograr una adecuada gestión de los lodos.

Artículo 9. Contenido del Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos

9.1 El Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos debe cumplir con la finalidad de la presente norma y lo señalado en su Anexo I.

9.2 Los datos y el manejo que se consigne en el Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos son exigibles desde la aprobación del Instrumento de Gestión Ambiental que corresponda.

Artículo 10. Declaración Anual de Manejo de Residuos

10.1 Los generadores de lodos presentan a la DGAA del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

dentro de los primeros quince (15) días hábiles de cada año una Declaración Anual del Manejo de Residuos Sólidos, a través de su aplicativo virtual del Portal Institucional (www.vivienda.gob.pe).

10.2 La DGAA es responsable de procesar, sistematizar la información obtenida de los generadores de lodos y de reportar la información sobre la planificación, gestión y manejo de los residuos sólidos y lodos del sector a través del Sistema de Información para la Gestión de Residuos (SIGERSOL).

CAPÍTULO IV

RECOLECCIÓN DE LOS LODOS PROVENIENTES DEL SERVICIO DE DISPOSICIÓN SANITARIA DE EXCRETAS

Artículo 11. Recolección de lodos fecales provenientes del servicio de disposición sanitaria de excretas

11.1 Las PTAR pueden recibir los lodos fecales retirados y transportados por el prestador de servicios de saneamiento o empresas autorizadas para la succión y transporte de lodos fecales de letrinas, pozos ciegos o tanques sépticos. Para tal efecto, la PTAR debe contar con capacidad para recibir la carga adicional, orgánica y de sólidos producto de los lodos fecales que requieren de tratamiento.

11.2 Las PTAR deben estar acondicionadas para recibir los lodos fecales antes de las unidades de pretratamiento o al inicio de la línea de tratamiento de lodos. El acondicionamiento debe incluir rampas de acceso, dispositivos de descarga, estaciones de bombeo, entre otros, con los dispositivos de seguridad y control de olores apropiados.

CAPÍTULO V

ALMACENAMIENTO DE LODOS

Artículo 12. Almacenamiento de lodos

12.1 Los lodos generados en las PTAP y PTAR son separados obligatoriamente de los residuos sólidos generados en las unidades de pretratamiento de dichos sistemas.

12.2 El almacenamiento de lodos en una PTAR por período mayor al establecido en el Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos para los procesos de estabilización y deshidratación, se realiza, de manera excepcional, en caso de problemas operativos en la línea de tratamiento de lodos.

12.3 En el supuesto anterior, el generador pone en conocimiento de la DGAA del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento dicha circunstancia en un plazo no superior a veinticuatro (24) horas hábiles contadas desde el momento de la producción del problema operativo. La referida DGAA, conforme a sus atribuciones, establece el plazo en que este almacenamiento excepcional puede ser llevado a cabo por el generador.

12.4 El generador debe contemplar las medidas necesarias para que el almacenamiento excepcional se realice en condiciones que garanticen un adecuado control de la emanación de gases y olores, de la infiltración de líquidos y de la proliferación de vectores.

12.5 Solo se permite el almacenamiento en la PTAR de los lodos estabilizados y deshidratados en cantidades equivalentes a la producción de no más de siete (7) días calendario. El diseño y operación del sitio de almacenamiento de lodos estabilizados y deshidratados debe garantizar que no existan riesgos para la salud, el bienestar de la población y el medio ambiente, debiendo considerar un sistema de impermeabilización y, en caso sea necesario, de control de gases y olores.

Artículo 13. Prohibición de abandono

Se encuentra prohibido abandonar lodos en los espacios públicos (vías, parques, entre otros) así como en áreas arqueológicas, áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento, playas, cuerpos de

agua y fajas marginales de ríos u otros bienes de uso público.

CAPÍTULO VI

TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN PTAP Y PTAR

Artículo 14. Tratamiento de los lodos generados en las PTAP

14.1 El tratamiento mínimo de los lodos generados en una PTAP es la deshidratación, excepto en el caso de plantas desalinizadoras donde se haya previsto un emisario submarino para la disposición final del agua de rechazo. La deshidratación debe permitir como mínimo un porcentaje de ST de veinticinco por ciento (25 %).

14.2 Los lodos de los estanques de regulación se almacenan dentro de su propia estructura y deben retirarse periódicamente para restituir la capacidad de regulación. La deshidratación debe ser aplicada a los lodos retirados de los estanques reguladores de las PTAP, previo a su transporte y disposición final.

14.3 El sobrenadante, percolado o filtrado de los procesos de deshidratación pueden ser descargados a la red de alcantarillado. En lo posible se debe recuperar y reciclar este volumen de agua, enviándolos a cabecera de la PTAP.

Artículo 15. Tratamiento de los lodos generados en las PTAR

15.1 Los lodos generados en las PTAR deben ser sometidos a procesos de estabilización y deshidratación como parte de los procesos de tratamiento de la línea de lodos siendo un requisito para su transporte, disposición final o reaprovechamiento.

15.2 Se consideran lodos estabilizados o con reducción del potencial de atracción de vectores cuando la relación de SV a ST es menor o igual que 60 % (0,6). Las opciones técnicas para llegar a este objetivo se indican en el acápite A del Anexo II. En caso, en la línea de tratamiento de lodos se supere la relación del 60 % se debe evaluar las causas y los posibles correctivos de acuerdo al acápite B del Anexo II.

CAPÍTULO VII

REAPROVECHAMIENTO DE LOS LODOS

Artículo 16. Reaprovechamiento de los lodos

Los generadores de lodos se encuentran facultados para realizar el reaprovechamiento y comercialización de conformidad con la normativa vigente vinculada a la gestión y manejo de residuos sólidos, así como a la prestación de los servicios de saneamiento.

Artículo 17. Reaprovechamiento y comercialización de los lodos deshidratados de PTAP

A efectos del reaprovechamiento y comercialización, los lodos de PTAP deben estar previamente deshidratados. El detalle de las condiciones mínimas para reaprovechamiento de lodos de PTAP se señala en el Anexo IV.

Artículo 18. Reaprovechamiento y comercialización de los lodos de PTAR y los provenientes del servicio sanitario de disposición de excretas

A efectos del reaprovechamiento y comercialización, los lodos de PTAR y los provenientes del servicio sanitario de disposición de excretas deben estar estabilizados. El detalle de las condiciones mínimas para su reaprovechamiento se señala en el Anexo IV.

CAPÍTULO VIII

TRANSPORTE DE LODOS GENERADOS EN LAS PTAP Y PTAR

Artículo 19. Transporte de lodos generados en las PTAP y PTAR dentro de las instalaciones

El traslado de los lodos generados en las PTAP y PTAR dentro de las instalaciones del generador debe realizarse

en vehículos completamente herméticos que impidan escurrimientos, derrames y minimicen la emanación de olores durante su traslado.

Artículo 20. Transporte de lodos generados en las PTAP y PTAR fuera de las instalaciones

20.1 El transporte de los lodos generados en las PTAP y PTAR para disposición final fuera de las instalaciones de los prestadores de servicio de saneamiento o de aquellas instalaciones de empresas privadas que mantengan vínculo contractual con el prestador de los servicios de saneamiento, se debe realizar por una empresa operadora de residuos sólidos debidamente registrada por el Ministerio del Ambiente.

20.2 En el caso de que en el ámbito de responsabilidad del prestador no existan servicios de empresas operadoras de residuos sólidos, excepcionalmente, los lodos pueden ser transportados por los municipios o los prestadores de servicios de saneamiento en su calidad de empresas municipales de acuerdo a las condiciones establecidas en el artículo 19.

20.3 Los vehículos de las empresas de transportes deben contar con coberturas que eviten la dispersión de partículas en suspensión a partir de los lodos deshidratados transportados.

CAPÍTULO IX

DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS E INSTALACIONES

Artículo 21. Disposición final de lodos

Cuando no tengan posibilidad de reaprovechamiento, se dispone en un relleno sanitario:

1. Los lodos de PTAP deshidratados.
2. Los lodos de PTAR estabilizados y deshidratados.
3. Los lodos provenientes del servicio de disposición sanitaria de excretas estabilizados y deshidratados.

Artículo 22. Instalaciones para la disposición final de lodos tratados de PTAR

En caso no exista un relleno sanitario dentro del ámbito de responsabilidad del prestador, los generadores de lodos deben instalar un monorelleno para la disposición final exclusivamente de lodos tratados de PTAR. Dicho monorelleno puede estar dentro del área destinada a la PTAR o en otra área cercana. En dicha área se implantan barreras naturales o artificiales que protejan al personal del generador de lodos de los posibles riesgos sanitarios y ambientales.

Artículo 23. Monorellenos para lodos estabilizados de PTAR

23.1 En caso que la disposición final se realice en monorellenos, para dicho fin se debe cumplir alternativamente con alguna de las opciones de estabilización señaladas en el acápite A del Anexo II de la presente norma.

23.2 Los monorellenos para lodos estabilizados pueden ser proyectados como instalaciones anexas a las PTAR o independientes de estas, en caso no se tenga la disponibilidad de terrenos.

Artículo 24. Requisitos para monorelleno

24.1 El diseño y operación de los monorellenos, sin perjuicio de la normativa vigente aplicable a la disposición final de residuos sólidos, considera lo siguiente:

1. Impermeabilización de la base y los taludes del relleno para evitar la contaminación por lixiviados. También debe contar con un sistema de colecta de lixiviados.
2. Sistemas de monitoreo y control de gases y lixiviados.
3. Recubrimiento diario de los lodos durante la operación del mono-relleno. La DGAA del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento se encuentra facultada a exigir una mayor frecuencia si se generan problemas de olores durante la operación del sitio.

24.2 Asimismo, en aquellos monorellenos que se encuentren en operación según lo señalado en el inciso precedente, la DGAA del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento puede autorizar una frecuencia menor de recubrimiento de los lodos. Para estos efectos, el titular del mono-relleno debe presentar a la DGAA una solicitud en la que se adjunte una justificación técnica sustentada, entre otros, en antecedentes operacionales de la instalación.

Artículo 25. Restricciones para la localización de monorelleno

Se encuentra prohibido que el monorelleno se ubique en áreas arqueológicas, zonas reservadas o áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento, fajas marginales, riberas y playas.

Artículo 26. Autorización de proyectos de monorellenos

La DGAA del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento autoriza los proyectos de monorelleno para lo cual establece los requerimientos que deben cumplir la instalación, la disponibilidad de material de cobertura y de maquinaria. La verificación del cumplimiento de dichos requerimientos se realiza en el trámite de certificación ambiental, que se encuentra regulado en el Reglamento de Protección Ambiental para proyectos vinculados a las actividades de Vivienda, Urbanismo, Construcción y Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2012-VIVIENDA.

CAPÍTULO X

**MANEJO DE LOS BIOSÓLIDOS
GENERADOS EN EL SERVICIO DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES**

Artículo 27. Transporte de los biosólidos para su comercialización

El transporte de los biosólidos fuera de las instalaciones se realiza facultativamente por empresas operadoras de residuos sólidos debidamente registradas por el Ministerio del Ambiente, la municipalidad competente, los prestadores de servicios de saneamiento o por cualquier empresa de transporte que garantice su indemnidad y evite contacto con otros elementos del ambiente. El transporte se realiza a través de vehículos acondicionados de modo que se evite su dispersión en el ambiente durante su traslado.

Artículo 28. Unidades de transferencia de biosólidos

Las empresas prestadoras de servicios de saneamiento con un ámbito de responsabilidad mayor o igual a 60,000 habitantes pueden instalar unidades de transferencia de biosólidos, que permitan almacenarlos temporalmente para su comercialización. La ubicación de las unidades de transferencia debe planificarse tomando en cuenta un estudio de la ubicación de los potenciales usuarios de los biosólidos. Las características técnicas de las unidades de transferencia de biosólidos se establecen en el Anexo III.

Artículo 29. Reaprovechamiento de los biosólidos

Los biosólidos producidos a partir de la estabilización y/o higienización de los lodos provenientes de las PTAR pueden ser comercializados para su reaprovechamiento con fines agrícolas, forestales y otros. La clasificación, parámetros, tipos de aplicación, condiciones técnicas, prohibiciones y otras disposiciones para el reaprovechamiento de biosólidos son establecidos en la norma que apruebe el Ministerio de Vivienda, Construcción, y Saneamiento.

Artículo 30. De la disposición final de biosólidos no reaprovechados

La disposición final de biosólidos no reaprovechados se realiza en rellenos sanitarios o, en su defecto, en monorellenos.

Artículo 31. Prohibición de abandono

La prohibición a que se refiere el artículo 13 de la presente norma, también es aplicable para los biosólidos.

CAPÍTULO XI

**OBLIGACIONES DE LOS ACTORES INVOLUCRADOS
EN EL MANEJO DE LOS LODOS Y BIOSÓLIDOS**

Artículo 32. Obligaciones del generador

El generador de lodos debe cumplir con las siguientes obligaciones:

1. Obtener las autorizaciones, permisos, licencias y certificaciones necesarias para la realización de sus actividades.
2. Presentar una Declaración Anual de Manejo de Residuos Sólidos a la DGAA, los primeros quince (15) días hábiles de cada año.
3. Presentar el Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos a la DGAA en el instrumento de gestión ambiental que corresponda.
4. Caracterizar los lodos y biosólidos según las pautas indicadas en la presente norma.
5. Manejar de forma diferenciada los residuos sólidos respecto de los lodos y biosólidos.
6. Brindar las facilidades necesarias a las autoridades competentes para que cumplan con sus funciones de supervisión y fiscalización.
7. Recolectar, almacenar, tratar, reaprovechar, transportar o disponer, según corresponda, en forma segura, sanitaria y ambientalmente adecuada.
8. Contar con un registro que contenga información sobre la generación y manejo de los lodos y biosólidos en las instalaciones, bajo su responsabilidad.
9. Cumplir con otros requerimientos previstos en la presente norma y otras disposiciones emitidas en la normativa vigente sobre la materia.

Artículo 33. Obligaciones del servicio de transporte

Los prestadores de servicios de saneamiento o las empresas operadoras de residuos sólidos, según corresponda, deben cumplir con las obligaciones siguientes:

1. Contar con una planificación para el mantenimiento preventivo de los equipos y vehículos de transporte señalados en la presente norma.
2. Contar con el equipo de protección personal para los operarios de los vehículos.
3. Capacitar al personal operario respecto a las características y riesgos en relación a los lodos o biosólidos que transportan.
4. Contar con las autorizaciones correspondientes para el traslado de lodos y biosólidos fuera de las instalaciones, según corresponda en el marco normativo vigente sobre la materia.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

PRIMERA. Aplicación supletoria

Para lo no previsto en la presente norma, se aplica de forma supletoria la normativa vigente referida a la gestión y manejo de residuos sólidos.

SEGUNDA. Aplicación de normas técnicas

Las Normas Técnicas Peruanas y otras complementarias que regulan los aspectos técnicos del manejo de lodos son de aplicación en cuanto no se opongan a las disposiciones establecidas en la presente norma.

TERCERA. Disposición final de residuos sólidos

Los residuos sólidos del servicio de alcantarillado sanitario, así como del pretratamiento aplicado en una Planta de Tratamiento de Agua Potable y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, son dispuestos en un relleno sanitario en tanto el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento apruebe el reglamento para la gestión y manejo de residuos sólidos del sector saneamiento.

CUARTA. Proceso de reaprovechamiento de lodos

Para efectos de la presente norma, toda mención al proceso de reaprovechamiento de lodos se entiende

referida al de valorización, una vez que entre en vigencia el Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

ANEXO I

CONTENIDO DEL PLAN DE MINIMIZACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

El contenido del Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos debe incluir los siguientes elementos:

1. Datos Generales de la actividad

- El Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos debe estar sellado y firmado por el generador y un ingeniero sanitario o ambiental colegiado, con especialización y experiencia en gestión y manejo de residuos sólidos certificada por el Colegio de Ingenieros del Perú.
- Descripción de la actividad que desarrolla, incluyendo el flujo de insumos e identificando los puntos en que se generan los lodos y se producen biosólidos.
- Descripción de los lodos de acuerdo a su origen dentro de la actividad, estimando además los volúmenes generados en cada caso e indicando la concentración de los Sólidos Totales para el caso de lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) e indicar la concentración de Sólidos Totales y Sólidos Volátiles para el caso de lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), biosólidos, y lodos fecales.

2. Manejo de lodos y biosólidos

- Determinación de los procedimientos internos de recojo, almacenamiento y traslado de los lodos y biosólidos.
- Definición de los equipos, rutas, frecuencia y señalización que deben emplearse para el manejo interno de los lodos y biosólidos (adjuntando un plano con la infraestructura básica).
- Indicación del período máximo de almacenamiento de los lodos y biosólidos, en razón al tipo de tecnología y procesos de tratamiento empleados.
- Inclusión, en el Plan de Contingencia del Instrumento de Gestión Ambiental correspondiente, de los posibles eventos inesperados que puedan generar derrame o incendio de los lodos o biosólidos, o fallas operacionales de los procesos en la línea de tratamiento de lodos.
- Determinación de un Plan de Reaprovechamiento de Lodos y Biosólidos donde se establezca los mecanismos de recuperación, estabilización y programa de monitoreo que correspondan. En los casos donde se determine que no se puede realizar el reaprovechamiento de lodos o biosólidos, el generador deberá justificar las razones de dicha decisión.
- Otros que pudieran ser considerados y aprobados por la normatividad vigente.

3. Educación ambiental en manejo de lodos y biosólidos

- Elaboración de un programa de capacitación para el personal responsable del manejo de los lodos provenientes de PTAP, PTAR, biosólidos y servicio sanitario de disposición de excretas.
- Diseño de actividades de difusión y educación ambiental relacionados al buen uso del servicio de alcantarillado y de los beneficios de uso de lodos y biosólidos con sus trabajadores, usuarios, instituciones y/u otros grupos de interés haciendo uso de los diversos medios de comunicación.

ANEXO II

A. CONDICIONES MÍNIMAS PARA LA ESTABILIZACIÓN O REDUCCIÓN DEL POTENCIAL DE ATRACCIÓN DE VECTORES DE LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR)

El proceso de estabilización es aplicable para aquellos lodos con contenido de materia orgánica susceptible de

descomposición, donde la relación de Sólidos Volátiles (SV) a Sólidos Totales (ST) es menor o igual que 60 % (0,6).

Los prestadores de servicios de saneamiento podrán aplicar alguna de las siguientes opciones para el control de atracción de vectores o cualquier otra en la que se demuestre que dicho control es efectivo.

Opción 1: Aplicación de procesos biológicos de tratamiento para la estabilización

La aplicación de procesos biológicos de tratamiento es necesario para aquellos lodos con alta concentración de materia orgánica (relación de SV a ST es mayor que 60 % (0,6). Estos lodos se considerarán estabilizados con atracción de vectores reducida cuando la relación de SV a ST es menor o igual que 60 % (0,6). Las tecnologías que permiten cumplir con el parámetro indicado son:

- Proceso de tratamiento de aguas residuales que permitan la permanencia de lodo por varios años: lagunas de estabilización, lagunas anaerobias, facultativas, aireadas y lagunas con macrofitas.
- Procesos de tratamiento de aguas residuales con tiempo prolongado de permanencia de lodo en ambiente aerobio: lodos activados por aireación extendida, filtro percolador con recirculación del efluente.
- Procesos de tratamiento de aguas residuales con tiempo prolongado de permanencia de lodo en ambiente anaerobio: tanques Imhoff, RAFAML (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente y Manto de Lodos) u otros sistemas anaerobios debidamente justificados en los que se demuestre un tiempo prolongado de permanencia de lodos.
- Procesos de digestión anaerobia y aerobia de lodos: digestor anaerobio de lodo, digestor aerobio de lodo que permite cumplir una edad total del lodo (tiempo de permanencia del lodo en el reactor de lodos activados y adicionalmente el tanque digestor airado) similar a la edad del lodo en un sistema de tratamiento de lodos activados por aireación extendida y compostaje de lodo.

Los procesos señalados para la digestión anaerobia y aerobia de lodos corresponden a tecnologías independientes al proceso de tratamiento de aguas residuales. Su implementación tiene por finalidad continuar con el proceso de estabilización de lodos separados del proceso de tratamiento de las aguas residuales en condiciones no estabilizadas o donde no se cuenta con condiciones operativas que permitan el control operacional del grado de estabilización esperado. Dichas tecnologías se aplican para los siguientes tipos de lodos de PTAR:

- Lodo primario separado de aguas residuales crudas en el sedimentador primario.
- Lodo secundario con poco tiempo de retención del lodo. Por ejemplo: PTAR de lodo activado convencional, filtro percolador sin recirculación del efluente.
- Lodos provenientes de plantas de tratamiento sobrecargadas o no operado de acuerdo con el diseño (por falta de energía u otros problemas operacionales).
- Excretas de instalaciones de saneamiento in situ: tanque séptico; letrinas con o sin arrastre hidráulico, con o sin hoyo impermeabilizado y letrinas de compostaje de una o doble cámara.

Opción 2: Aplicación de procesos alternativos de tratamiento para la estabilización

El proceso de estabilización de lodos con alto contenido en materia orgánica puede demostrarse, alternativamente a los procesos biológicos, conforme a los procesos que se indican a continuación:

- Secado al aire:** Proceso de secado sobre una cama de arena en lechos de poca profundidad. El proceso debe comprender un tiempo mínimo de tres (3) meses de secado.
- Secado avanzado:** Se considera que la habilidad para atraer vectores de cualquier lodo se reduce adecuadamente si su contenido de sólidos se incrementa

al 90 %. El incremento debe conseguirse removiendo agua y no mediante la dilución con sólidos inertes.

La manera en que se manejan los lodos secos, incluyendo su almacenamiento antes de la disposición final, puede propiciar la atracción de vectores. Si estos se exponen a una humedad alta, la superficie exterior tendrá un alto contenido de humedad y posiblemente atraerá vectores. Esto debe ser prevenido adecuadamente.

c) **Mineralización:** Proceso de secado de lodo combinado con la fitodepuración (lechos de lodo sembrado con macrofitas) que permitan la permanencia de lodo por tiempo prolongado de varios meses hasta años.

d) **Estabilización con cal:** Procedimiento en el cual se agrega cal, viva o apagada, para lograr lo siguiente:

a. Elevar el pH por lo menos hasta 12 medido a 25°C, y sin añadir más materia alcalina, mantenerlo por 2 horas; y

b. Mantener un pH de al menos 11,5 sin la adición de más materia alcalina durante otras 22 horas.

e) Proceso de tratamiento equivalente: Cuyo uso sea previamente aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

B. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL GRADO DE ESTABILIZACIÓN A APLICARSE EN CASO DE SUPERAR EL RATIO DE 0.6 (SV/ST)

En caso se verifique que en la línea de tratamiento de lodos no se logra reducir la ratio 0.6 (SV/ST) se deberá aplicar alguno de los siguientes métodos para determinar el proceso correctivo a aplicar en la línea de tratamiento de lodos:

1. Digestión adicional de los lodos digeridos en procesos anaerobios

Frecuentemente, los lodos han sido recirculados a través del tratamiento biológico de las aguas residuales o han transitado durante largos periodos por los sistemas de alcantarillado sanitario. Durante este tiempo, sufren una degradación biológica sustancial. Si los lodos son subsecuentemente tratados mediante digestión anaerobia, su atracción de vectores será reducida adecuadamente. Debido a que ingresan a los digestores parcialmente estabilizados, la reducción de SV después del tratamiento frecuentemente es menor de 38 %. Bajo estas circunstancias, pudiera no ser factible la relación de 60 % requerida. El presente método permite al prestador de servicios de saneamiento demostrar la reducción de atracción de vectores probando una porción de los lodos previamente digeridos en una unidad a escala de laboratorio. Se demuestra la reducción de los SV en los lodos si después de la digestión anaerobia de los lodos por 40 días adicionales a una temperatura entre 30°C y 37°C, esta es menor a de 17 %.

2. Digestión adicional de los lodos digeridos en procesos aerobios

Esta opción es apropiada para los lodos digeridos en procesos aerobios incluye a aquellos producidos por plantas de aireación extendida donde el tiempo mínimo de residencia para los lodos en la línea de tratamiento de aguas generalmente excede de 20 días. En estos casos, los lodos ya estarán sustancialmente degradados antes de la digestión aerobia.

Bajo esta opción, se considera que los lodos digeridos en procesos aerobios con 2 % de sólidos o menos han logrado la reducción de atracción de vectores si después de 30 días de digestión aerobia en una prueba de laboratorio a 20°C, la reducción de los SV es menor de 15%. Esta prueba solamente es aplicable a los lodos líquidos digeridos en procesos aerobios.

3. Procesos aerobios a más de 40° C

Esta opción se aplica primordialmente a los lodos sometidos a compostaje que también contienen agentes abultadores orgánicos parcialmente descompuestos. Los lodos deben ser tratados en condiciones aerobias por 14 días o más, tiempo durante el cual la temperatura deberá rebasar siempre los 40°C y el promedio será mayor de

45°C. Este método puede aplicarse a otros procesos aerobios, tales como la digestión aerobia.

4. Prueba de tasa específica de absorción de oxígeno (TEAO) para lodos digeridos en condiciones aerobias

Frecuentemente, los lodos digeridos en procesos aerobios son recirculados a través de los procesos biológicos de tratamiento aerobio de las aguas residuales hasta por 30 días. En estos casos, los lodos que entran al digestor aerobio ya están parcialmente digeridos.

Esta prueba se aplica cuando no se pueda aplicar el método 2 o 3.

La Tasa Específica de Absorción de Oxígeno (TEAO) es la masa de oxígeno consumida por unidad de tiempo y por unidad de masa en peso seco de los ST de los lodos. La reducción en la atracción de vectores puede demostrarse si la TEAO de los lodos que son aplicados, determinada a 20°C, es igual o menor de 1,5 mg de O₂/hg de ST (peso seco).

Esta prueba se basa en el hecho de que, si los lodos consumen muy poco oxígeno, su valor como fuente alimenticia para los microorganismos es muy baja como para atraerlos. Se pueden utilizar otras temperaturas para la prueba si los resultados se corrigen sobre la base de 20°C. Esta prueba solamente es aplicable a los lodos generados en procesos aerobios.

ANEXO III

INSTALACIONES DE UNIDADES DE TRANSFERENCIA DE BIOSÓLIDOS (CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS)

Los biosólidos que cumplan con los parámetros que establezca el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrán ser almacenados hasta por un período máximo de seis (6) meses en condiciones que garanticen su calidad. El sitio de almacenamiento deberá contar con un sistema de gestión de aguas residuales.

El almacenamiento de los biosólidos se puede realizar en silos, tolvas o almacenes y deberá estar adecuadamente amontonado, contando con facilidades de carga y descarga de los vehículos transportadores.

Las instalaciones de transferencia deben contar con cerco perimétrico y sistemas apropiados de mitigación de impactos, de modo que el manejo de sustancias orgánicas y secas (de ser el caso semi-polvoriento) que pueden contener bacterias fecales, patógenos (virus, protozoarios) y parásitos (especialmente en caso del manejo de biosólido de la clase B) sean adecuadamente tratadas. Dichos sistemas pueden ser, entre otros:

1. Dispositivos de control de nubes de polvo, especialmente cerca de posibles fuentes de ignición observando una limpieza completa del área y evitando levantar polvo (preferentemente con el uso de aspiradores) para su control.

2. Control de fuentes de ignición: calor, equipos electrónicos, energía estática, herramientas, llamas abiertas, chispas, etc.

3. Puesta a tierra de todos los contenedores metálicos donde exista flujo de partículas, líquidos o electricidad para evitar la acumulación de cargas estáticas.

Dentro de la instalación de transferencia se deberá contar con instrucciones y señalización con indicaciones sobre medidas de seguridad a operar la instalación de transferencia, entre otras:

- No fumar, beber o comer dentro de las instalaciones y evitar otras posibilidades de contacto de objetos de uso personal.

- Utilizar aspirador o máscara, lentes de protección, botas, guantes de protección y uniforme de trabajo que deben ser colocados antes del ingreso a las instalaciones y otras medidas seguridad de trabajo definidas por la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el trabajo.

- Evitar levantar polvo (biosólidos secos), salpicar u otro tipo de pérdida o escurrimiento del sustrato.

- Realizar una limpieza completa del área y todos los objetos que hayan tenido contacto con el lodo/biosólidos (material de seguridad, vestimentas, etc.).
- Evitar la caída de objetos o materiales que puedan generar chispas.
- Seguir los procedimientos de seguridad de las máquinas.
- Prohibir en el área, operaciones en caliente (soldadura, corte, pulido, etc.). Estas operaciones de ser necesarias deben realizarse de acuerdo con un protocolo previamente revisado y aprobado.
- Utilizar equipos eléctricos seguros.

Para el traslado de biosólidos hacia los vehículos transportadores se debe contar con dispositivos apropiados tales como tornillos sin fin, bandas transportadoras o maquinaria semipesada (cargadores frontales, plumas de izaje, otros similares.).

ANEXO IV

A: CONDICIONES MÍNIMAS DE LODOS DESHIDRATADOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) PARA SU REAPROVECHAMIENTO

Los lodos de una PTAP convenientemente deshidratados (con un contenido de sólidos igual o mayor de 25 %) podrán ser reaprovechados como:

1. Material de construcción;
2. Material de cobertura de rellenos sanitarios;
3. Material de recuperación de sitios contaminados, si cumplen con los estándares de calidad para la aplicación en suelos, con especial énfasis en la posible presencia de metales pesados;
4. Aplicación en suelos (elaboración de brechas cortafuego en suelos forestales y, en menor grado, aprovechado como mejorador de suelos en invernaderos), si cumplen con los estándares de calidad para la aplicación en suelos, con especial énfasis en la posible presencia de metales pesados;
5. Elaboración de productos cerámicos de alfarería (vasijas ornamentales y ladrillos); y,
6. Elaboración de adsorbentes y catalizadores por sus altas concentraciones de Hierro (Fe), Aluminio (Al), Manganeseo (Mn) o cal (CaOH), así por ejemplo:

- I. Proceso de tratamiento de efluentes domésticas o industriales (p.ej. la reducción de fósforo o el aumento de alcalinidad).
- II. Proceso de tratamiento de lodos de las plantas de efluentes domésticas o industriales (p.ej. la deshidratación mecánica).
- III. Proceso de tratamiento y purificación de gases (p.ej. la reducción de sulfitos en biogás).

B: CONDICIONES MÍNIMAS DE LODOS ESTABILIZADOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR) PARA SU REAPROVECHAMIENTO

Los lodos estabilizados de una PTAR pueden ser reaprovechados para:

1. La producción de biosólidos y de otros acondicionadores del suelo (humus, compost). Para la producción de biosólidos deberá considerarse la regulación que establece el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
2. La incineración con aprovechamiento de energía térmica se aplica debido a la concentración de materia orgánica contenida en los lodos estabilizados, también pueden aplicarse a los biosólidos que no pueden ser reaprovechados. La materia seca de lodos estabilizados de la PTAR tiene un poder calorífico entre 11 – 19 MJ/kg, dependiendo del grado de su estabilización. La condición óptima para la incineración en un horno adecuado, es la evaporación completa de la humedad del lodo. Por esto, el rendimiento del aprovechamiento térmico del lodo depende de la humedad del mismo. Generalmente se debe alimentar el proceso de incineración con lodos con

contenido en sólidos igual o mayor de 30% para asegurar un rendimiento positivo de la incineración del lodo. El producto final es ceniza que debe ser destinado al relleno sanitario, mono-relleno o, alternativamente, para su reaprovechamiento como material de construcción. Esta opción de reaprovechamiento también resulta aplicable para lodos que no se encuentren estabilizados si la incineración se realiza en la propia PTAR.

3. El reaprovechamiento para material de construcción tal como cemento y cerámicas se aplica a arenas y lodos con alta concentración de minerales que principalmente son provenientes de PTAP o del tratamiento terciario en la PTAR, adicionalmente es posible utilizar las cenizas provenientes de incineración de lodos (numeral B).

4. La recuperación, mejoramiento o restauración de suelos degradados y material de cobertura final de rellenos sanitarios para su cierre.

1506028-3

ORGANISMOS EJECUTORES

DESPACHO PRESIDENCIAL

Aprueban modificación del Clasificador de Cargos del Despacho Presidencial

RESOLUCIÓN DE SECRETARÍA GENERAL N° 037-2017-DP/SG

Lima, 5 de abril de 2017

VISTO: El Informe N° 076-2017-DP-OGA/ORH de la Oficina de Recursos Humanos e Informe N° 013-2017-DP/OGPM-JBR de la Oficina General de Planeamiento, Presupuesto y Modernización, mediante los cuales proponen y sustentan técnicamente la modificación del Clasificador de Cargos del Despacho Presidencial;

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Supremo N° 077-2016-PCM se aprueba el Reglamento de Organización y Funciones – ROF del Despacho Presidencial, así como el organigrama del mismo;

Que, la Primera Disposición Complementaria Final del citado dispositivo legal faculta al Despacho Presidencial a dictar, mediante Resolución de Secretaría General, las disposiciones complementarias para la adecuada implementación del citado Reglamento de Organización y Funciones;

Que, mediante Resolución de Secretaría General N° 078-2016-DP/SG, de fecha 8 de noviembre de 2016, Resolución de Secretaría General N° 087-2016-DP/SG, de fecha 14 de diciembre de 2016 y Resolución de Secretaría General N° 008-2017-DP/SG, de fecha 13 de enero de 2017, se aprobaron las modificaciones del Clasificador de Cargos del Despacho Presidencial;

Que, con fecha 2 de abril de 2017 se publica en el Diario Oficial "El Peruano", el Decreto Supremo N° 037-2017-PCM que modifica el Reglamento de Organización y Funciones del Despacho Presidencial, así como el organigrama del mismo;

Que, al amparo de lo señalado en el considerando precedente, mediante Informe N° 076-2017-DP-OGA/ORH, la Oficina de Recursos Humanos solicita y sustenta la modificación del Clasificador de Cargos del Despacho Presidencial, que adecúa dicho instrumento técnico a la nueva estructura orgánica institucional; proponiendo incorporar en el Clasificador de Cargos del Despacho Presidencial los cargos de Jefe (a) de Gabinete Técnico y Secretario de Comunicación Estratégica y Prensa, ambos con una calificación del cargo de Empleado de Confianza (EC), que posteriormente serán incluidos en el respectivo Cuadro para Asignación de Personal Provisional (CAP);

Que, mediante Informe N° 013-2017-DP/OGPM-JBR, la Oficina General de Planeamiento, Presupuesto y



ANEXO 07

REGISTRO FOTOGRÁFICO

REGISTRO FOTOGRAFICO



IMAGEN N° 01. Realizando la toma de muestras de lodo, de la unidad compacta N° 02.



IMAGEN N° 02. Se extendió y acondiciono plástico en el suelo, con la finalidad de verter el lodo sobre ella y posterior secado natural.



IMAGEN N° 03. Muestras puntuales de lodo en bolsa zifloc rotulados como: M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5. Y Composito de muestras puntuales con el nombre de "LODO", para análisis en laboratorio.



IMAGEN N° 04. Análisis de pH, temperatura y conductividad a las cinco muestras puntuales de lodo.



IMAGEN N° 05. Muestras de lodos trasvasados en vasos precipitados rotulados de capacidad de 100 mL, para posterior pesado y secado.

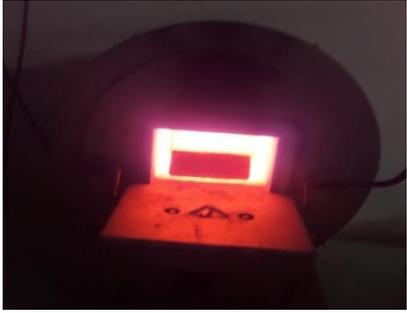


IMAGEN N° 06. Muestras de lodo contenido en vasos precipitados, puestos a secar en una mufla a una temperatura de 105.5 °C por 24 horas.

REGISTRO FOTOGRAFICO

<p>IMAGEN N° 08. Se realizaron las cinco muestras de lodo retirado de la mufla después de 24 horas, para luego enfriarlos a temperatura ambiente y pesados de las cinco muestras.</p>	<p>IMAGEN N° 09. Se realizaron las cinco muestras de lodo retiradas de la mufla después de haber sido secado por 24 horas y a una temperatura de 50 °C.</p>
<p>IMAGEN N° 09. Se realizó el proceso de molido y triturado, tamizado, homogenizado y almacenado de la muestra de lodo seco, para posterior determinación de las propiedades físicas.</p>	<p>IMAGEN N° 10. Pesado de 50 gramos de las muestras de lodo seco, tierra negra y tierra roja. Para posterior ensayo de textura.</p>
<p>IMAGEN N° 11. Se coloca el vaso contenido de la muestra, dispersante y agua destilada a la mezcladora eléctrica por 15 min. Se extrae 25 mL de muestra de la probeta a los 40 segundos y 2 horas en el vaso. Luego secar en una mufla.</p>	<p>IMAGEN N° 12. Después del secado durante 24 horas a temperatura constante de 50 °C, se realiza el pesado de los vasos con muestra para posteriores cálculos del ensayo de textura.</p>

REGISTRO FOTOGRAFICO

<p>IMAGEN N° 13. Composición de 30% y 60% de lodo y el resto completar con tierra negra respectivamente y luego homogenizar ambos, para elaborar ladrillos de tipo A, B y C.</p>	<p>IMAGEN N° 14. Mezclar lodo, tierra y agua; luego amasar los componentes para posterior vaciado en un molde de madera de 10 x 10 x 5.5</p>
	
<p>IMAGEN N° 19. Ensayo de absorción: Muestras de ladrillo, colocados en un balde con agua después del secado por 24 horas.</p>	<p>IMAGEN N° 20. Ensayo de absorción: Se retira las muestras de ladrillos del balde y se seca la humedad para luego pesarlás.</p>
<p>IMAGEN N° 15. Secado de las muestras de ladrillo de tipo A, B y C después del moldeo a temperatura ambiente.</p>	<p>IMAGEN N° 16. Almacenar las muestras de ladrillo del tipo A, B y C después del secado por 7 días.</p>
	
<p>IMAGEN N° 17. Precocido de las muestras de ladrillo del tipo A, B y C en un horno eléctrico a temperatura constante de 400 °C, durante 4 horas.</p>	<p>IMAGEN N° 18. Cocción de las muestras de ladrillo del tipo A, B y C en un horno eléctrico a temperatura constante, durante 10 horas.</p>

REGISTRO FOTOGRAFICO



IMAGEN N° 21. Tesista junto al equipo de prensa digital de rotura de marca ELE de 2501112 kN, en Laboratorio de Construcciones.



IMAGEN N° 22. Muestras de ladrillo sometidos a compresión a la resistencia en el equipo de prensa digital de rotura.



IMAGEN N° 23. Técnico laboratorista realizando el ensayo de resistencia a la compresión de las muestras de ladrillo.



IMAGEN N° 24. Se observa rotura de la muestra de ladrillo después de haber sido sometido con una carga, para posterior a ello calcular la resistencia a la compresión.

REGISTROS DE DATOS PRODUCCION Y CALIDAD AÑO 2018

1.- DATOS DE LA EMPRESA:

EMPRESA PRESATADORA DE SERVICIOS SEDAJULIACA S.A.

GERENCIA : GERENCIA DE OPERACIONES

DIVISION : DIVISION DE PRODUCCION, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE

JEFE DEL AREA : ING. NANCY C. GUERRA DIAZ

2.- DATOS DEL SOLICITANTE:

TESISTA : Bach. EDGAR ESPILICO QUISEP

PROYECTO TESIS : "ELABORACION DE LADRILLOS A PARTIR DE LODOS GENERADOS POR LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y SU USO EN LA CONSTRUCCION"

380 l/s

Capacidad de tratamiento de agua cruda en la actualidad

ITEM	DESCRIPCION	U.M.	AÑO - 2018											
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1	Captacion de agua cruda	m3	939,000	650,139	964,596	928,607	971,437	929,366	955,790	964,969	935,100	1,020,909	1,020,740	1,046,063
2	Produccion de agua Tratada	m3	864,750	601,337	912,032	877,457	910,121	876,836	934,424	907,923	890,320	960,304	955,674	976,939
3	Eliminacion de Lodo	m3	179.2	179.2	179.2	179.2	-	537.6	-	537.6	-	590.2	-	590.5
4	Dosisificacion de policloruro de Aluminio (PAC)	mg/L	12.0	12.0	12.5	12.0	12.0	10.0	12.0	13.0	14.0	14.0	14.0	14.0
5	Ingreso de Agua Cruda													
1	Turbiedad	NTU	47.120	137.160	90.000	3.697	2.539	3.147	2.652	2.056	2.205	2.406	1.677	3.657
2	Potencial de hidrogeno	pH	7.672	7.484	7.515	7.946	6.136	6.073	6.119	6.404	6.336	6.519	6.612	6.429
3	Temperatura	°C	14.620	13.500	12.800	12.660	10.660	10.190	10.300	11.700	13.330	14.560	14.730	14.820
4	Conductividad electrica	µohm/cm	312.23	245.27	220.54	656.24	925.11	1117.53	1206.14	1231.40	1273.95	1275.80	1194.97	1226.01
1	Bacterias Coliformes totales	UFC/100 mL	455.00	366.40	490.00	166.75	66.00	76.50	75.00	52.00	67.50	176.80	71.75	343.75
2	Bacterias Coliformes Termotolerantes o fecales	UFC/100 mL	336.75	334.00	380.00	147.50	75.20	67.25	62.50	36.40	50.75	125.20	55.90	267.50
5	Salida de Agua Tratada													
1	Turbiedad	NTU	1.010	1.901	1.500	0.877	0.626	0.624	0.511	0.446	0.442	0.424	0.361	0.307
2	Potencial de hidrogeno	pH	7.261	7.166	7.136	7.446	7.569	7.562	7.697	7.993	7.956	6.073	6.127	6.044
3	Temperatura	°C	14.56	13.44	13.63	12.65	10.39	9.84	10.00	11.90	13.45	14.50	14.52	14.03
4	Conductividad electrica	µohm/cm	322.26	257.75	223.96	656.10	926.16	1120.76	1214.45	1235.09	1275.59	1276.69	1195.26	1226.77
1	Bacterias Coliformes totales	UFC/100 mL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	Bacterias Coliformes Termotolerantes o fecales	UFC/100 mL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

by EdFsq