

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO
SÁNCHEZ CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“USO DE LOS LODOS PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES COMO ADITIVO PARA CONCRETO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

CRYSTEL CLAUDIA RIOS JOAQUIN

HUACHO – PERÚ

2021

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO
SÁNCHEZ CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“USO DE LOS LODOS PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES COMO ADITIVO PARA CONCRETO”**

Sustentado y aprobado ante el Jurado evaluador



Dr. José Vicente NUNJA GARCÍA
Presidente



Mg Sc. Teodosio Celso QUISPE
OJEDA
Secretario



Mg. Fredy Román P AREDES
AGUIRRE
Vocal



Ing. Víctor Raúl COCA
RAMÍREZ
Asesor

HUACHO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Primeramente, agradezco a Dios por la vida y también a mis familiares que siempre confiaron en mí, me apoyaron y motivaron, siempre estuvieron allí, haciéndome llegar lo orgullosos que estaban de mi persona.

Lleno de regocijo, de amor y esperanza, dedico este proyecto, a cada uno de mis seres amados, quienes han sido mis pilares y motivación para seguir adelante.

Es para mi persona una gran satisfacción poder dedicarles a ellos, que con mucho esfuerzo, esmero y trabajo me lo he ganado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión por haberme abierto su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante día a día. Agradezco también a mi asesor de tesis el Ing. Víctor Raúl Coca Ramírez por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante el desarrollo de la tesis. También agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todos los ciclos de la universidad. Y para finalizar, también agradezco a la vida, por este nuevo triunfo

INDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	3
1.2.1 Problema General.	3
1.2.2 Problemas Específicos.	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.	4
1.4 Justificación de la investigación.	4
1.5 Delimitación del estudio	4
1.6 Viabilidad del estudio	5
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	6
2.2 Bases teóricas.....	11
2.2.1 Bases teóricas de Lodos Residuales.....	11
2.2.2 Mecanismos para tratamiento de lodos.....	15
2.2.3 Bases teóricas de Aditivos para concreto.	17
2.3 Definiciones Conceptuales.....	20
2.4 Formulación de Hipótesis	22
2.4.1 Hipótesis general.....	22
2.4.2 Hipótesis específicas.....	23

CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	24
3.1 Diseño Metodológico.....	24
3.1.1 Tipo de Investigación.....	24
3.1.2 Nivel.	24
3.1.3 Diseño.	24
3.1.4 Enfoque.	24
3.2 Población y Muestra	24
3.2.1 Población.	24
3.2.2 Muestra.	25
3.3 Operacionalización de Variables e Indicadores.....	25
3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	25
3.5 Técnicas para procesar la información.	25
3.3. Operacionalización de variables.....	26
3.6 Caracterización de lodos en base húmeda	27
3.6.1 Ensayos de laboratorio.....	27
3.7 Características de los lodos en base seca.....	30
3.7.1 Ensayos de laboratorio.....	30
3.8 Elaboración de probetas de lodocemento	31
3.8.1 Elaboración de diseños de mezcla de lodo-cemento.	31
3.8.2 Elaboración de probetas cilíndricas.	32
3.9 Ensayo de las probetas.....	34
3.9.1 Ensayo de resistencia a la compresión.....	34
CAPITULO IV: RESULTADOS	35
4.1 Resultados de la caracterización de los lodos en base húmeda	35
4.1.1 Peso específico.....	35

4.1.2	Contenido de materia orgánica.	36
4.1.3	Contenido de humedad.	36
4.2	Análisis del lodo en base seca.....	37
4.2.1	Contenido de materia orgánica.	37
4.2.2	Contenido de humedad.	38
4.2.3	Granulometría.	39
4.3	Análisis de las mezclas de lodo-cemento.	40
4.3.1	Ensayo de resistencia a la compresión simple.	40
CAPITULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....		42
5.1	Discusión	42
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		43
6.1	Conclusión	43
6.2	Recomendaciones	44
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de metales y tasas de carga según la regulación 503 de la Environmental Protection Agency (EPA).....	14
Tabla 2. Límite de calidad microbiológica de lodos.....	15
Tabla 3. Operacionalización de variables.....	26
Tabla 4. Parámetros evaluados en el lodo en base húmeda.....	27
Tabla 5. Mezclas elaboradas para el desarrollo de la investigación.....	32
Tabla 6. Proporciones de arena y lodo en las mezclas.....	32
Tabla 7. Número de golpes para construcción.....	33
Tabla 8. Resultados de los parámetros fisicoquímicos de lodo en bases húmeda.....	35
Tabla 9. Valores obtenidos de peso específico.....	36
Tabla 10. Valores usuales de las relaciones peso volumen de los agregados no livianos.....	36
Tabla 11. Valores obtenidos del contenido de humedad de lodo en base húmeda.....	37
Tabla 12. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del lodo en base seca.....	37
Tabla 13. Valores obtenidos del contenido de humedad de lodo en base seca.....	39
Tabla 14. Valores obtenidos de granulometría.....	39
Tabla 15. Valores obtenidos de resistencia a la compresión de las probetas.....	40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Escala de Gardner.....	29
Figura 2: Reducción de humedad.....	51
Figura 3: Prueba de granulometría.....	51
Figura 4: Probetas lodo-cemento.....	52
Figura 5: Prueba de resistencia a la compresión.....	52

“Uso de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales como aditivo para concreto”

Crystel Claudia Rios Joaquin¹, Víctor Raúl Coca Ramirez²

RESUMEN

Objetivo: Utilizar los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales como aditivo para concreto.

Metodología: El estudio se llevó a cabo en los entornos de la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho”, en 2018, donde se desarrolló en la gestión de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales públicas y privadas de nuestro país y en su uso eficiente, específicamente en los desechos sólidos de las PTAR de la Junta Administradora de Servicio de Saneamiento del Asentamiento Humano Contigo Perú, ubicado en la provincia Huaral.

El método fue basado en la investigación teórica y experimental para determinar el comportamiento mecánico y físico-químico del lodo mediante pruebas de resistencia.

Resultados: Las propiedades físicas del lodo en su estado natural se determinaron de inmediato, entre las cuales un contenido de humedad era aproximadamente igual al 85,67% y se destacó un alto contenido de materia orgánica. Como en este estado no era posible utilizar el lodo en mezclas estructurales, por lo tanto se tuvo que reducir el contenido de humedad y volver a determinarse nuevamente y las propiedades físicas del material, esta vez con el nuevo contenido de humedad del 55,91%. En este caso, el contenido de materia orgánica se mantuvo elevado, pero se determinaron otras propiedades como la granulometría.

Después de los parámetros y dadas las diferencias conocidas de estos parámetros y establecer las diferencias con el estado anterior del material, se establecieron los diseños de las mezclas de lodo y cemento, diferenciadas por el tamaño de piedra que se utilizaron. Se realizaron 3 secuencias de mezclas con diferentes tamaños de piedras (1", 3/4", 1/2") y cantidad de cemento (5.8875, 6.0445, 6,0916) Kg. Las muestras se evaluaron con pruebas de resistencia a la compresión.

Conclusiones: Como resultado de las pruebas realizadas, se determinó que el cemento de lodo no debe usarse como material de construcción, ya que es un material de baja resistencia y durabilidad. Sin embargo, se recomienda que las características del lodo se investiguen más específicamente, incluyendo diferentes materiales.

Palabras claves: Lodo residual, lodo-cemento, materiales de construcción, resistencia.

1. Tesista. Facultas de Ingenieria Agrarias, -Industrias Alimentarias y Ambiental. Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion, Huacho, Perú.
2. Asesor. Facultas de Ingenieria Agrarias, -Industrias Alimentarias y Ambiental. Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion, Huacho, Perú.

ABSTRACT

Objective: To use the sludge from wastewater treatment as an additive for concrete.

Methodology: The study was carried out in the surroundings of the "National University José Faustino Sánchez Carrión, Huacho", in 2018, where it was developed in the management of sludge from the treatment of public and private wastewater in our country and in its efficient use, specifically in the solid waste of the WWTP of the Administrative Board of Sanitation Service of the Human Settlement Contigo Peru, located in the Huaral province.

Results: The physical properties of the mud in its natural state were determined immediately, among which a moisture content was approximately equal to 85.67% and a high content of organic matter stood out. As in this state it was not possible to use the sludge in structural mixtures, therefore the moisture content had to be reduced and the physical properties of the material had to be re-determined again, this time with the new moisture content of 55.91%. . In this case, the organic matter content remained high, but other properties such as granulometry were determined.

After the parameters and given the known differences of these parameters and establishing the differences with the previous state of the material, the designs of the mud and cement mixtures were established, differentiated by the size of the stone used. 3 sequences of mixtures were made with different sizes of stones (1 ", 3/4 ", 1/2 ") and quantity of cement (5.8875, 6.0445, 6.0916) Kg. The samples were evaluated with tests of compressive strength.

Conclusions: As a result of the tests carried out, it was determined that mud cement should not be used as a construction material, since it is a material with low resistance and durability. However, it is recommended that the characteristics of the mud be investigated more specifically, including different materials.

Keywords: Rresidual sludge, cement-mud, construction materials, resistance.

INTRODUCCIÓN

Las aguas destinadas al consumo deben cumplir ciertas características físicas- químicas y bacteriológicas para que no sean perjudiciales para la salud del consumidor. Estas características se logran mediante un proceso de purificación que, como cualquier proceso industrial, requiere materias primas como agua cruda, insumos, incluido el coagulante, y genera residuos, donde el lodo es el más significativo. Tradicionalmente, estos lodos se descargan directamente en el entorno no tratado, generalmente en los canales de agua más cercanos, y contienen todos los componentes eliminados de la fase acuosa del agua cruda, así como los componentes químicos resultantes del uso de coagulantes. Durante el proceso estos lodos causan un impacto ambiental, por lo que se genera la necesidad de una eliminación adecuada, y la búsqueda de un método de aplicación de lodo es importante para que beneficie tanto al medio ambiente como a la planta que lo produce. La reutilización del lodo como material de construcción constituye una serie interesante de investigación no desarrollada que, de materializarse, proporcionaría una solución para su eliminación y una reducción del impacto ambiental en los canales de agua debido a la reducción de las cantidades de derrames en el medio ambiente. Entre los aspectos a investigar se sintetizaron los contenidos fundamentales para analizar el comportamiento mecánico de la mezcla de cemento y lodo con fines constructivos. El cemento añadido a una mezcla pretende a una modificación en el comportamiento de las partículas, mejorando la relación en su estabilidad y transformando, y considerando la masa resultante en una estructura difícil de alterar, de mayor resistencia y durabilidad. Para usar el cemento en la construcción, es necesario proponer "diseños de mezcla", un proceso por el cual se puede hallar las cantidades de cada componente involucrados durante el mezclado, para así generar un material con la trabajabilidad, resistencia y uniformidad deseadas. La idea fundamental de estudiar la posibilidad de preparar mezclas con estos lodos provenientes de las plantas de potabilización, radica en la oportunidad que pretende en reutilizar un material que de por sí es desecho, formando con él mezclas de lodo cemento que se puedan demostrar ser encofradas y que al fraguar, posea un comportamiento mecánico que es importante como para formar un elemento que se trate de ser usado en la industria de la construcción, como un material alternativo, inerte al medio ambiente.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática.

El deterioro del medio ambiente es causado por los núcleos industriales y las zonas urbanas. En los últimos años el deterioro se va incrementando de manera alarmante debido al crecimiento de la población, y la demanda de estas ya que es una sociedad consumista.

El crecimiento industrial y junto con el de la población se ha incrementado desmesuradamente en las últimas décadas, principalmente la poblacional, situándose ésta alrededor de las ciudades y conformando los asentamientos humanos (AAHH) que son agrupaciones de familias y que carecen de algunos de los servicios básicos (agua, desagüe, electrificación, pistas, etc).

De acuerdo con Holguín, Morales, Vicencio y Morales (2014), en la actualidad, la mayoría de las poblaciones cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), cuyo objetivo es remover los contaminantes del agua para evitar daños al ambiente y poderla usar en otras actividades. Uno de los subproductos que se forman durante este tratamiento son los lodos residuales, y con el incremento de estas PTAR se han generado problemas de almacenamiento y aprovechamiento de los lodos, ocasionando una nueva carga de contaminación que se suma a la gran cantidad de residuos sólidos que se producen en la actualidad, lo que conlleva a la búsqueda de alternativas de uso para este residuo.

Actualmente, en las PTAR (urbanas o industriales), se originan sedimentos llamados residuos sólidos, que generan impactos ambientales y ponen en riesgo la biodiversidad. El lodo está compuesto por materia orgánica y agua y polvo cuando se separa del agua residual, deben someterse a espesamiento, estabilización y procesos antisépticos antes de finalmente eliminarlos. Dados los compuestos químicos y biológicos presentes en ellos y la naturaleza de su origen, es necesario aplicar un pretratamiento a estos lodos para que su uso en la construcción sea beneficioso.

Los destinos para este lodo son generalmente tres: cuerpos de agua, rellenos sanitarios diseñados para este propósito y suelos agrícolas o forestales. Estos lodos residuales tradicionalmente han sido vertidos directamente al medio ambiente sin ningún tratamiento, generalmente a los cauces de aguas más cercanos, y contienen todos los constituyentes

eliminados de la fase acuosa del agua cruda, así como con los componentes químicos consecuencia del uso de coagulantes durante el proceso. Estos lodos causan impacto en el ambiente por lo que se genera la necesidad de una correcta disposición, siendo importante la búsqueda de un método de reutilización del lodo de manera que redunde en beneficio tanto del ambiente como de la planta que lo produce.

La reutilización de los lodos como aditivo para concreto plantea una interesante línea de investigación no desarrollada que, de concretarse, representaría una solución para la disposición de los mismos y una disminución en el impacto ambiental en los cauces de aguas debido a la reducción de las cantidades vertidas al ambiente.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1 Problema General.

¿Será posible poder utilizar los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales como aditivo para concreto?

1.2.2 Problemas Específicos.

- ¿Cuál es el tratamiento de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales para utilizarlo como aditivo para concreto?
- ¿Cuáles son las variables de análisis utilizadas para obtener concreto a partir de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales?
- ¿Cuál es la mejor fórmula para preparar concreto utilizando los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales como aditivo?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general.

- Utilizar los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales como aditivo para concreto.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Establecer el tratamiento adecuado de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales para utilizarlo como aditivo para concreto.
- Definir las variables de análisis utilizadas para obtener concreto a partir de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales.
- Evaluar la mejor fórmula para preparar concreto utilizando los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales como aditivo.

1.4 Justificación de la investigación.

Este estudio tiene como justificación principal en hacer una pequeña contribución al problema presentado para el tratamiento de lodos originados en los tratamientos de aguas residuales urbanas, permitiendo que este residuo se use como un aditivo en el desarrollo de concreto, el mismo que podría usarse. En la construcción de canales de riego, construcción de caminos, etc. Esto le permitiría competir favorablemente con otras opciones, tanto económica como socialmente.

Académicamente, se justifica debido a que se puede desarrollar, profundizar y comprender el tratamiento, la disposición final y los principios fisicoquímicos de los residuos obtenidos en plantas de tratamiento, al igual los procedimientos, técnicas estadísticas, principios analíticos, mecánicos y de ingeniería.

1.5 Delimitación del estudio

El estudio actual se llevará a cabo en los entornos de la “Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho”, en 2018.

Su aplicación se puede desarrollar en la gestión de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales públicas y privadas de nuestro país y en su uso eficiente, específicamente en los desechos sólidos de las PTAR de la Junta Administradora de Servicio de Saneamiento del Asentamiento Humano Contigo Perú, ubicado en la provincia Huaral.

1.6 Viabilidad del estudio

La tesis resulta viable debido a que cuenta con los recursos suficientes ya sean financieros para el desarrollo de la investigación, tendrá asesoría de profesionales en el tema, existe información suficiente y tiempo para desarrollo.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Herrera (2006), en su tesis de investigación: “Análisis del comportamiento del lodo-cemento como material de construcción” llevada a cabo en la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, llegó a las siguientes conclusiones:

- El lodo es una arcilla con composición alta en materia orgánica y de alta plasticidad.
- El contenido de material fino del lodo es muy elevado para ser utilizado en mezclas de materiales de construcción que utilicen cemento como conglomerante, ya que prácticamente su totalidad es pasante del tamiz 200.
- El lodo-cemento, en caso de que fuera considerado una mezcla de construcción y en comparación con otras mezclas de este tipo, puede considerarse liviano.
- Los valores arrojados por los ensayos (resistencia a la compresión-resistencia a la tracción indirecta) hacen del lodo-cemento un material poco resistente, no apto para solicitaciones tradicionales de diseño de estructuras.
- Los valores arrojados por los ensayos de absorción y de erosión hacen del lodo-cemento un material poco durable.
- El contenido de humedad del lodo influye en el proceso de fraguado del lodo-cemento, dado que al disminuir éste, el material endurece en menor tiempo.
- El contenido de humedad del lodo influye en las propiedades de durabilidad del lodo-cemento, dado ya que, al reducirse este parámetro, se disminuyen también la capacidad absorción y la pérdida de material por erosión de los elementos fabricados con este material.
- El lodo-cemento mejora sus características como material de construcción si un agregado convencional (incluyendo suelo) forma parte de su mezcla.
- El lodo proveniente del proceso de potabilización de agua utilizado en esta experiencia no debe formar parte de una mezcla para la construcción que utilice cemento como conglomerante, por su alto contenido de materia y su alto contenido de material fino.
- Es importante resaltar la influencia del contenido de materia orgánica y el

tamaño de partículas finas en el proceso de fijación de mezclas de materiales de construcción estabilizados con cemento, lo que se reflejó en el largo tiempo de fijación y la contracción de las muestras hechas con lodo de cemento. objeto de estudio de este Trabajo Especial de Grado. Sin embargo, en este sentido, el tamaño de partícula del lodo es más decisivo, ya que el problema de la materia orgánica puede resolverse mediante métodos viables de ejecución, como el uso de cal o someter el material a altas temperaturas.

Orellana (2015), en su tesis de investigación: “uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos” realizada en la Universidad Católica De Santiago De Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Concluyó (p. 54), que:

- No existe diferencia significativa entre el ladrillo constituido del 20% de lodo residual y el ladrillo sin el lodo.
- Un ladrillo constituido del 10% de lodos residuales tiene mayor resistencia que los ladrillos sin el lodo.
- Hubo una dispersión en los datos que se obtuvo en la compresión simple del material con la adición de lodo residual, posiblemente porque la mezcla se hizo manualmente. La mezcla mecanizada posiblemente reduce esta dispersión, que fue más notable en ladrillos con 10% de adición de lodo residual.
- En el momento de su elaboración y quema del ladrillo con contenido al 100% de lodo residual, se aprecia la pérdida de contenido de agua en el secado. También se pudo identificar que el 77% de la masa de la materia orgánica se consumió. Con esto se puede concluir que el resto que es el 23% es de materia inorgánica.
- La elaboración de los ladrillos añadiendo los lodos residuales de las PTAR de la ciudad de Guayaquil nos brinda la idea de desarrollar una planta automática que podría procesarse en el futuro, junto con las arcillas residuales y sedimentarias en nuestras instalaciones. lodos de depuradora y otros contaminantes industriales que son difíciles de eliminar, así como los materiales obtenidos para limpiar los canales de depuración.
- Los resultados encontrados en este documento son los primeros para materiales como los ladrillos artesanales realizados a base de arcillas en el noroeste de Guayaquil, agregando lodo residual. El análisis se debe seguir realizando con la

misma muestra que se cortan y colocan en paneles en la segunda etapa, posiblemente para su uso en paneles de viviendas sociales. Por lo tanto, aún no deben extrapolarse a suelos de otras regiones.

Dreyse (2016), en su trabajo de investigación: “Factibilidad de uso de cenizas de lodos residuales provenientes de la fabricación de papel como potencial reemplazante parcial de cemento en la fabricación de hormigones” realizada en la Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile, concluyó que:

- Desde la fase I del proyecto, para optimizar el potencial puzolánico y / o hidráulico del lodo, el lodo debe calcinarse a 750 ° C durante 3 horas, ya que la muestra realizada a base de las cenizas tuvieron valores altos de resistencia. El más alto en la compresión. Como se calcinan a una temperatura más baja, requieren menos gasto de energía, lo que los hace más viables en plano económico y ambiental.
- En la segunda fase, es muy necesario observar la ceniza obviamente no es una sustancia inerte al agregar a la mezcla, es decir varía con la cantidad de cemento, proporciona una buena resistencia algunas veces, lo que demuestra que tener puzolanas y / o hidráulicas características.
- Si esta ceniza se usa para la producción de concreto, se desea que haya un incremento en la resistencia en el mezclado a la primera edad entre 7 y 14 días con porcentajes de reemplazo bajos, mientras que a valores de reemplazo más altos se logran valores comparables como con el concreto sin cenizas. 56 días.
- Reemplazar el cemento con 2% y 3% de cenizas muestra un mayor rendimiento, con estas muestras logrando valores de resistencia que estaban por encima del estándar en casi todos los grupos de edad.
- Para los porcentajes más altos de reemplazo, las muestras recibieron valores de resistencia más bajos al estándar durante todo el proceso de curado, con una resistencia comparable después de 56 días. Sin embargo, este resultado es buena, porque describe que cuando se reemplaza el 8% de cemento en la mezcla, todavía se puede lograr alta resistencia a la compresión, debido a esto las cenizas están consideradas valiosas, ya que al disminuir una gran cantidad de cemento, todavía es posible adquirir un comportamiento parecido al hormigón hechos sin aditivos.

- Por lo tanto, podemos concluir que la ceniza es una sustancia muy adecuada para la utilización en la industria del cemento, porque al utilizar una cantidad de reemplazo bajo, se pueden generar incrementos en la resistencia, por otro lado cuando la cantidad de reemplazo es mayor el rendimiento en la resistencia es normal.
- Las ventajas de las cenizas, además de ser utilizadas en la mezcla como sustitutos sobre todo del cemento, también producen una mejora ambiental sobre el cemento, ya que el lodo que actualmente se deposita en un vertedero se utiliza para crear un producto en otro sector, reduciendo costos y la huella de carbono de las industrias de cemento y papel.

Vargas y Mavis (2006), en su trabajo de investigación titulado: “Estudio del uso del lodo residual de la Empresa Extralum S. A. como material alternativo en la fabricación de cementos especiales” llevada a cabo en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, llegó a las siguientes conclusiones:

- VIVIENDA, el valor máximo que fue establecida es de 10 mg / L y de igual manera sobrepasa los 5 mg / L establecidas en el Decreto Supremo 002-2008 MINAM. También se determinó una gran cantidad de Fe y Si (325.5 y 277 mg / L) en ambos casos, la cual es adecuada para la elaboración de ladrillos.
- La textura del lodo generado en la PTAP es Franco-Clay-Sandy, que da a conocer la existencia de Si y Al₂O₃ que da un aspecto de plasticidad al estar húmedos y resistentes cuando la temperatura está por encima de los 900 °C, estas 2 propiedades sirven como bases para la elaboración del material de construcción, el bajo contenido de arcilla (22.93%) hace difícil el moldeado, que se resolvió mediante la combinación del barro y barro negro, esta incrementa la plasticidad.
- Al verificar el contenido del lodo con otra clase de tierra que se usan en otras fábricas de ladrillos, se puede concluir que una buena mezcla de lodo se obtiene con la combinación con el barro negro (tierra arcillosa limosa), la cual da mejores resultados. Los resultados que se obtuvieron fueron 55.91 Kg / cm² de la resistencia a la compresión y 8.51% de absorción de agua, si el lodo se encuentra al 50%, por otro lado el menor valor que se encontró fue de 51.52 Kg / cm² con una composición del ladrillo al 100% de lodo.

- Haciendo uso de los resultados que se obtuvo en la parte experimental, se realizó un modelo matemático que permite identificar la resistencia del material, la determinación de la resistencia de compresión, con los parámetros de porcentaje de lodo y humedad afecta de manera directa al resultado final y así mismo se apreció una interacción de estos 2 parámetros (% lodo y % humedad) con la temperatura.
- Para la determinación de la absorción del H₂O en el ladrillo se hace uso del modelo matemático que determina los parámetros de lodo y de humedad afectan de manera directa el resultado final; también hay una interacción entre los porcentajes de la humedad y el lodo y poca interacción de los 3 parámetros de estudio.

Saravia (2017), en su trabajo de tesis: “Gestión y manejo de residuos sólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilpina Sedapar S.A. – Provincia de Arequipa – Departamento de Arequipa” realizada en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, llegó a las siguientes conclusiones:

- Se estableció a través de una evaluación de desechos sólidos aproximadamente 318.2 toneladas son generadas anualmente, que se reutilizan en diversas actividades según su calidad, con esto puede obtener una recolección de impuestos especiales para así poder sostener el plan. De igual modo, como desechos sólidos no reciclables del tratamiento de aguas residuales, se producen aproximadamente 106.76 toneladas cada año, que tiene un manejo inadecuado, directo e indirecto sobre la calidad del medio ambiente en la planta. Es de destacar que en Arequipa metropolitana la educación sanitaria genera problemas en la calidad de las aguas de esta municipalidad, por lo tanto, afecta el incremento de los residuos sólidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que también afecta su proceso.
- En cuanto a los desperdicios generados por el área de administración, existe una observación de la extensión de gestionar los desperdicios de la municipalidad, sin separar los desperdicios según sus características, así como su gestión y algunas veces su disposición no se debe de realizar.
- Del mismo modo, en el manejo y almacenamiento de residuos peligrosos, como son los productos químicos, el trabajador no se encuentra bien capacitado

y no es consciente del daño que causa a la salud y al ambiente. De igual modo, no existe un concepto de gestionar residuos peligrosos, mantener los elementos hidráulicas y algunos otros productos secundarios del tratamiento de agua, mediante su eliminación en el vertedero no se encuentra autorizado "El Cebollar", localizado Paucarpata.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Bases teóricas de Lodos Residuales.

2.2.1.1 Lodos de aguas residuales.

Es un producto secundario del tratamiento de aguas residuales, pueden ser originadas en tratamientos fisicoquímicos o también llamado primario, tratamiento biológico o secundario y tercer tratamiento en este sentido el lodo está representado en forma desechos acuoso, regularmente diluido, constituido por 2 o más fases; entre los contaminantes peligrosos que puedan existir son sales, contaminantes orgánicos y metales pesados. Los tratamientos aerobios generan más lodo que anaerobios. (Colomer et al, 2010)

Las aguas residuales son generadas por la utilización doméstica o industrial del agua; también se llaman aguas residuales. Esta agua residual no sirve al usuario directo, tiene un color negro y es transportada por los recolectores, por lo que también se llama agua residual, que consiste en el agua que es conducida por el sistema de aguas residuales, incluida la infiltración de aguas pluviales y subterráneas. (Valderrama, 2013)

En gran parte las aguas residuales son originados por actividades domésticas e industriales, que poseen diversos contaminantes. Para reutilizar y mejorar su calidad, se le tiene que realizar un tratamiento en las PTAR. Este tratamiento normalmente tiene 4 etapas e incluidos los procesos físico-químicos y biológicos. (Valderrama, 2013)

Dentro del tratamiento de aguas residuales se tienen etapas donde una de ellas es el tratamiento preliminar. Rujano (2016) afirma "El tratamiento preliminar: está destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación".

Su desarrollo debe consistir en procesos físicos-mecánicos, entre ella se encuentran

equipos como (rejillas, desarenadores y trampas de grasa), ubicados en los lugares adecuados para retener y separar de sustancias o partículas presentes en las aguas negras que posteriormente pueda interferir en el tratamiento. Estos procesos tienen las siguientes funciones: (a) con el caudal que entra al sistema mide y regula, haciendo uso de las canaletas Parshall, vertederos, piezómetros, etc. (b) Separar las partículas sólidas mediante tamices o cribas. (Valderrama, 2013)

El investigador propone la aplicación de operaciones unitarias (rejillas, desarenadores y trampas de grasa) para la separación de sustancias peligrosas.

Tratamiento primario, que interpreta los procesos de sedimentación. El objetivo de este tratamiento es la separación de sólidos en suspensión mediante un simple proceso de sedimentación. También puede agregar productos químicos para precipitar fósforo, sólidos suspendidos muy finos o aquellos en estado coloidal.

Segundo tratamiento, se desarrollan en su mayoría procesos biológicos (anaeróbicos y aeróbicos) y fisicoquímicos (floculación) con la finalidad de disminuir la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), de acuerdo a Valderrama (2013), menciona que tiene como “objetivo remover los sólidos en solución y en estado coloidal mediante un proceso de naturaleza biológica seguido de sedimentación”.

El proceso biológico se desarrolla de manera natural es decir se separan los sólidos en suspensión del estado coloidal, es llevada a cabo por los microorganismos en su mayoría bacterias, los sólidos suspendidos y partículas que se encuentran en estado coloidal sirve como alimento para estos microorganismos generando dióxido de carbono.

Tercer tratamiento o también conocido como avanzado que está orientada a la reducción final de la DBO, sustancias químicas y microorganismos biológicos. El objetivo del tratamiento terciario es la separación de agentes contaminantes con son los fosfatos originados por los detergentes domésticos e industriales, la presencia de fosfatos en el agua origina el crecimiento acelerado de la vegetación acuática, reduciendo la presencia de oxígeno, matando la biodiversidad en el lugar, este fenómeno es llamado eutrofización. Es por eso que tiene una gran importancia realizar la determinación de la composición del agua servida para realizarle un tratamiento adecuado para evitar la contaminación ambiental.

2.2.1.2 Tipos de lodos.

Según su tratamiento:

a. Decantación primaria:

- Obtenido de este tratamiento.
- Color marrón a gris.
- Tiene una consistencia limosa.
- Desprende difusión del olor con gran rapidez.

b. Precipitación química:

- Apariencia negra.
- Tiene un olor menor el lodo de la decantación primaria.
- Se descompone lentamente

c. Tratamiento secundario:

- Color marrón en caso si se encuentra aireado y color negro si no se encuentra aireados.
- La emisión de olor es lenta con respecto a los lodos primarios si están aireados y un olor muy fuerte si no está aireados.

d. Originados en los lechos bacterianos:

- Apariencia marrón.
- El olor no es desagradable si el lodo se obtuvo recientemente.
- La velocidad de descomposición es más lenta que los lodos del tratamiento secundario, pero si existe la presencia de gusanos la velocidad aumenta.

e. Lodos digeridos:

- Color marrón oscuro a negro
- La presencia de gas es muy alta
- Olor no desagradable si se encuentra bien digerido.

2.2.1.3 Clases de los lodos.

De acuerdo a la concentración de los metales pesados y a la calidad microbiológica se clasifica en lodos peligrosos y no peligrosos.

- Lodo peligroso: La EPA menciona las sustancias toxicas en las páginas 260 y 261.
- Lodo no peligroso: La composición de contaminantes deben encontrarse menores a los valores establecidos por la EPA en las páginas 260 y 261.

Según el contenido de metales pesados se determina si la calidad del lodo no peligroso es buena o mal, también se puede determinar de acuerdo a la normatividad propuesta por la EPA, "Concentración del componente para una calidad excepcional".

Tabla 1.

Concentración de metales y tasas de carga según la regulación 503 de la Environmental Protection Agency (EPA).

Elementos	Valores límite (mg/Kg mat.Seca)	Tasa de carga acumulativa elemento, (Kg/Ha)	Tasa de carga del elemento, (Kg/Ha)	Concentración del componente una excepcional, (mg/Kg)	Tasa de carga anual del elemento (Kg/Ha/año)
Arsénico	75	41	41	41	2.0
Cadmio	85	39	39	39	1.9
Cromo	-	-	-	-	-
Cobre	4300	1500	1500	1500	75
Plomo	840	300	300	300	15
Mercurio	57	17	17	17	0.85
Molibdeno	75	-	-	-	-
Niquel	420	420	420	420	21
Selenio	100	100	100	100	5.0
Zinc	7500	2800	2800	2800	140

Nota: Según los límites de la calidad microbiológica de un lodo con buenas características, adquiere las clases A y B, de acuerdo a la Tabla 2, establecido por la EPA.

Lodo Clase A: El nivel de patógenos y metales pesados son menores, cumple con lo que

establece en la norma.

Lodo Clase B: Tiene presencia de agentes patógenos, es por esto que se evita el acceso al público. La composición de este lodo hace que sea aplicable a los campos de cultivo en cantidades adecuadas.

Tabla 2.

Límite de calidad microbiológica de lodos.

Parámetro	Lodo clase A	Lodo clase B
Coliformes Fecales o Salmonella	<1000 NMP/g UFC/g <3 NMP/4g	<2000000 NMP/g o UFC/g
Huevos de helminto	1 huevo viable/4 g	

Nota: La EPA (Agencia de Protección Ambiental), dio a conocer el reglamento, uso y disposición de los sólidos biológicos. Para el uso en suelos el reglamento propone que valorlímite de 10 metales, mediante una guía de aplicación, tiene que tener un seguimiento y los datos obtenidos se tienen que publicar.

2.2.2 Mecanismos para tratamiento de lodos.

Orellana (2015), subraya al controlar al patógeno y la atracción de vectores en el lodo esto generar una buena calidad microbiológica de este material con métodos análisis y procesos de muestreo. Los tratamientos de este material sólido se clasifican de acuerdo al grado de separación de microorganismos como en procedimientos significativos de disminución de patógenos (PSRP) y procedimiento avanzado de disminución de patógenos (PFRP).

Para reducir los patógenos la EPA recomienda lo siguiente:

- Secado, a condiciones ambientales en un periodo de 3 meses.
- Estabilización térmica, “el lodo obtenido es de tipo A”, de acuerdo a la condición dada por Valderrama (2013) tomada de la norma EPA 40, la composición de microorganismos es mínima.
- Compostaje, es un proceso en donde se obtiene un producto estable en base a la descomposición biológica del material orgánico, también como subproductos

se obtiene dióxido de carbono.

- El producto obtenido mediante este proceso tiene como objetivo aumentar la capacidad de producción, mejorar sus propiedades y la composición del suelo optimizar la calidad y estructura del suelo, el suministro de C, N, S, K, P y otros macronutrientes (Zn, Fe y Cu) que promueven el crecimiento del cultivo. Pero su uso se pone riesgo por la presencia de metales pesados en el lodo. (Torres, Madera, & Martinez, 2008)
- Fermentación aeróbica, en este proceso el aire agita el lodo de agua residual, el tiempo de residencia promedio es de 40 días a 20 ° C y 60 días a 15 ° C. Los sistemas con baja capacidad utilizan la digestión aeróbica.

Las ventajas de este proceso son:

- Bajas concentración de DBO
- Un producto biológicamente inalterable
- No tiene olor

Las desventajas son:

- No puede ser aplicado la deshidratación mecánica.
- El manejo debe ser delicado
- La DBO regula que la materia se oxide o se consuma por los agentes biológicos.
- Digestión anaerobia, en este proceso la materia orgánica se consume sin oxígeno con tiempo medio de retención de 15 días, entre 35°C - 55°C y 60 días a 20°C, formando metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). El proceso se desarrolla en un reactor hermético. Al extraer el lodo del proceso tiene una baja concentración de materia orgánica y de microorganismos patógenos vivos. (Lorenzo & Obaya, 2005)
- Tratamiento químico, en este proceso se busca aumentar el pH para ello se le añade cal, ya que es económico y alcalino, esta última propiedad permite eliminar los patógenos y estabilizar los lodos, esto se desarrolla con un pH mayor de 12 durante 3 días a mas, este medio alcalino impide el crecimiento y supervivencia de organismos tan resistentes como los huevos de helmintos.

(Valderrama, 2013)

- La Norma EPA 40. Para estabilizar el lodo se toma en cuenta los siguientes factores: la calidad y cantidad de lodos a tratar, las condiciones propias del lugar y el aspecto económico. (Oropeza, 2006)

2.2.3 Bases teóricas de Aditivos para concreto.

2.2.3.1 Concreto.

SENCICO (2014), menciona que el concreto es un producto que se obtiene a partir de la combinación cemento con el agua, en ello también se encuentra partículas que absorben el agua, estas partículas tienen diferentes tamaños.

Porrero, Ramos y Grases (2014), definen: El concreto u hormigón es un material producto de una mezcla de agua y cemento, esta mezcla con el paso del tiempo adquiere una dureza. Durante el mezclado de agua y cemento (aglomerante o conglomerante) se tiene la formación de una pasta. La mezcla tiene que tener fluidez y esto se obtiene mediante el agua, que a su vez es la reacciona químicamente con el cemento, endureciéndolo.

El concreto es un material obtenido a partir de la mezcla agregados (arena, piedra, pasta agua y cemento), con el paso del tiempo esta mezcla tiende a volverse duro por la reacción química del agua y el cemento.

La pasta se encuentra constituida por agua, cemento Portland y aire atrapado intencionalmente durante la mezcla. La pasta está constituida de cemento (7% a 15 %) y agua (14% a 21 %), adicionalmente a estos componentes durante la mezcla es incluido el aire intencionalmente en un máximo de 8% de aire, el contenido de aire dependerá de la cantidad de pasta, a mayor cantidad pasta habrá mayor contenido de aire.

El volumen de concreto está constituido de 25% al 40 % de pasta y el resto de agregados aproximadamente del 60% al 75 %. Es muy importante que los agregados tengan resistencia a condiciones ambientales, no deben estar constituidos por partículas que pueda dañar el concreto y también debe tener una granulometría uniforme, para que la formación de la pasta se realice fácilmente.

Durante la mezcla al obtener una buena calidad de pasta, se obtendrá una buena calidad de concreto. Cuando la pasta cubre todas las partículas agregadas y no hay espacios vacíos, se dice que el concreto está bien hecho.

Para todos los conjuntos de materiales y situaciones de curado, el proceso de curado del concreto en gran parte dependerá del volumen de se añada.

Cuando la cantidad de agua que se utiliza es poca, el concreto tiene una mayor calidad. La mezcla se vuelve más rígida al disminuir la cantidad de agua, pero mediante la vibración de la mezcla adquiere más rigidez, económicamente la mezcla rígida tiene un menor precio. Por lo tanto, una mezcla mediante la vibración tiene una mejor calidad y es económica.

El añadir aditivos al concreto, se genera un cambio en las características del concreto ya sea reciente o cuando ya este duro, normalmente se utiliza aditivos líquidos durante la dosificación. Los aditivos se utilizan con finalidad de:

- Ajustar el tiempo de fraguado.
- Utilizar menor cantidad de agua.
- Aumentar la trabajabilidad.
- Incorporar intencionalmente aire en la mezcla.
- Cambiar otras propiedades del concreto.

Existen varios métodos para calcular el diseño de mezcla del concreto, que toman en cuenta diferentes cantidades y tipos de variables. El más utilizado por contemplar menor número de variables y por estar respaldado por una gran cantidad de ensayos de laboratorio es el que vincula dos leyes básicas: la Ley de Abrams y la Relación Triangular, y toma en cuenta como variables a porcentaje de cemento, la manipulación, la resistencia y la relación agua-cemento.

2.2.3.2 Aditivos de concreto.

Aguirre (2007), manifiesta que, existen diversas definiciones para aditivos, una de ellas es la siguiente: los aditivos son los insumos que se le añade a la mezcla de cemento, para modificar las propiedades del concreto, sobre todo para aumentar la resistencia a la

compresión.

Por lo expuesto se deduce que un aditivo es aquel material que se le puede controlar en la dosificación, es decir se le añade individualmente al concreto. Se puede considerar aditivos a la puzolana y la escoria si se les maneja por separado del cemento Portland. Pero cualitativamente sus efectos son los mismos, si se maneja por separado o en conjunto. (Aguirre, 2007)

En la construcción dependiendo de las condiciones ambientales, el uso de los aditivos es muy importante.

2.2.3.3 Propiedades de un material de construcción.

Las propiedades mecánicas-durabilidad definen la respuesta de los materiales cuando se les somete a la acción de fuerzas externas. Para poder analizar esta respuesta se deben definir previamente dos parámetros fundamentales:

- Tensión: Es la (fuerza/unidad de área). En general en cuerpos sometidos a la acción de cargas, se calcula la tensión promedio asumiendo una distribución uniforme de la carga sobre el área en la que actúa.
- Deformación: Cambio de la estructura física del material por acción de una fuerza.

Las propiedades mecánicas describen la capacidad del material en soportar fuerzas aplicadas sobre ellas. Entre ellas se encuentran:

- Tenacidad: capacidad de un material en soportar sin deformarse.
- Elasticidad: capacidad del material de volver a su estado de origen.
- Dureza: capacidad del material en ser penetrado.
- Fragilidad: capacidad de la materia en romperse fácilmente por la acción de un choque.
- Plasticidad: capacidad del material en deformarse sin romperse
- Ductilidad: capacidad del material en formar hilos.

Las propiedades de durabilidad son aquellas que determinan la respuesta que tiene el

material endurecido al acción que sobre él ejercen agentes externos típicos cuyo efecto prologando pueda ocasionar fallas significativas, tales como la presencia de agua (por humedad o en forma de lluvia) o cambios de temperatura. Dentro de estas propiedades, destacan particularmente dos: la erosión y la absorción.

La erosión mide la pérdida de material. Su estudio se puede hacer de dos formas: erosión por rociado, simulando el efecto lluvia o humedad, y erosión por cepillado, simulando el efecto de contacto físico.

La absorción se define como la diferencia de masa dividida con el material totalmente seco y el mismo material saturado, referido al peso seco. Esta propiedad ofrece una referencia de la capacidad de impermeabilidad del material.

2.3 Definiciones Conceptuales

- Agua residual

Ministerio de Desarrollo Económico (2000) Contiene material disuelto y en suspensión luego de ser usada por una comunidad o industria.

- Aprovechamiento

Mogollón y Carrillo (2016) Procedimiento mediante el cual los materiales orgánicos son recuperados de los residuos sólidos y líquidos, previamente separados, tratados y transformados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente.

- Arcilla

Suelo de grano fino, cuando se encuentra seca tiene gran resistencia al aire.

- Biomasa

Rivera (2013) Volumen o masa total de todos los organismos vivientes de una zona particular.

- Biosólido

Mogollón y Carrillo (2016) Obtenido en la estabilización de los materiales orgánicos (lodos) producto del tratamiento de aguas residuales municipales e industriales.

- Carga orgánica

Mogollón y Carrillo (2016) Producto de la concentración de DBO o la DQO por el caudal; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

- Descomposición de la materia orgánica

Mogollón y Carrillo (2016) Capacidad de descomposición biológica o química de los compuestos orgánicos. Se desarrolla principalmente, en razón de los procesos metabólicos de microorganismos.

- Digestión aerobia

Ortega (2015) Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

- Digestión anaerobia

Márquez y Parra (2009) Utilización de microorganismos, en ausencia de oxígeno, para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos incluyendo dióxido de carbono.

- Efluente

Márquez y Parra (2009) Agua residual u otro líquido que sale de un proceso de tratamiento.

- Estabilización

Ministerio de vivienda, ciudad y territorio (2014) Proceso que comprende los tratamientos destinados a reducir la capacidad de fermentación, atracción de vectores y patogenicidad de los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e

industriales.

- Lodo secundario

El producto acuoso obtenido en el tratamiento biológicos en aguas residuales, en su mayoría, son los patógenos generados que aumentan de manera exagerada en el sistema.

- Materia orgánica

Márquez y Parra (2009) Es la combinación de carbono, hidrogeno, y nitrógeno.

- pH

Márquez y Parra (2009) Medida de la concentración del ion hidrogeno en el agua expresado como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrogeno.

- PTAR.

Superintendencia de servicios públicos (2015) Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

- Resistencia a la compresión

Geoseismic Exploraciones (2017) Se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial.

- Resistencia a la flexión

Mogollón y Carrillo (2016) También llamada módulo de ruptura corresponde a la fuerza máxima para romper un espécimen de concreto o de mortero de determinado tamaño.

2.4 Formulación de Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general.

Los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales se pueden utilizar como aditivo para concreto

2.4.2 Hipótesis específicas.

- Un tratamiento adecuado de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales permite utilizarlo como aditivo para concreto
- Es posible definir a las variables de análisis para obtener concreto a partir de lodos activados como aditivo
- Es factible obtener una fórmula para elaborar concreto utilizando lodos activados como aditivo.

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1 Diseño Metodológico

El estudio se realizó en el AA HH Contigo Perú, distrito de Huaral, provincia de Huaral, departamento de Lima. El desarrollo experimental se llevó a cabo en la Universidad Nacional de José Faustino Sánchez Carrión, específicamente en el laboratorio de materiales de la facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

3.1.1 Tipo de Investigación.

Experimental, debido a que se han realizado diferentes mediciones de la resistencia a la compresión de diferentes mezclas del lodo residual como aditivo de concreto.

3.1.2 Nivel.

Este estudio tiene un nivel descriptivo – explicativo.

3.1.3 Diseño.

El diseño de la investigación es experimental, a nivel de laboratorio.

3.1.4 Enfoque.

De acuerdo con la naturaleza de la investigación el enfoque es de tipo cuantitativo, deductivo y aplicado.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población.

El lodo de la planta de saneamiento urbano o doméstico de la Junta Administradora de Servicios y Saneamiento (JASS) Contigo Perú, ubicado en la provincia de Huaral, se utilizará como población.

3.2.2 Muestra.

Para el estudio actual, el tipo de muestreo es aleatorio, el tipo de muestra es compuesto y de acuerdo con las normas y protocolos establecidos de manejo adecuado del lodo.

3.3 Operacionalización de Variables e Indicadores

- V. Dependiente: Aditivo para concreto
- V. Independiente: Lodos

3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Se utilizarán técnicas como la observación directa y la información documental. Los instrumentos para obtención de datos están basados en los reglamentos y normas técnicas actuales para la gestión y reutilización de los desechos sólidos originadas en las PTAR, así como los relacionados con determinar la resistencia a la compresión y otras pruebas para hormigones.

Para la validación de la variable dependiente, se debe medir la resistencia a la compresión del concreto modificado sustituyendo el agregado fino por los lodos residuales, esto se mide fracturando cilindros de concreto en una máquina de ensayos a compresión, ejecutando los procedimientos según lo establecido en la Norma ASTM C39/C39M-05 se da a conocer la prueba de ruptura de probetas a una determinada presión este es resultado que se obtiene donde posteriormente será analizado y comparado con el patrón de referencia.

3.5 Técnicas para procesar la información.

Se harán en el uso de programas específicos y software como Microsoft Excel, para que se pueda procesar la información y posteriormente se pueda realizar el análisis.

Tabla 3.

Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Aditivo para concreto	Es toda sustancia pero menos agua, para esta investigación es ingrediente para concreto o mortero y se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante la mezcla.	La resistencia a la compresión del concreto modificado sustituyendo el agregado fino por lodos se mide fracturando cilindros de concreto en una máquina de ensayos a compresión, ejecutando los procedimientos según lo establecido en la Norma ASTM C39/C39M-05 esta prueba consta en la ruptura de la probeta, es así como se obtiene los resultados y que posteriormente serán analizados y secompararan estos resultados con el patrón de referencia.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia a la compresión ▪ Módulo de rotura 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carga (kg) ▪ Área (cm²) ▪ Resistencia (kgf /cm²)

Fuente: Elaboración propia

3.6 Caracterización de lodos en base húmeda

La caracterización del lodo, permite evaluar las variables de fisicoquímicas que se puede observar en la tabla 4, que se tomó en referencia a la norma EPA 40CFR- 503: Disposición y Uso de los Biosólidos.

Tabla 4.

Parámetros evaluados en el lodo en base húmeda

Parámetro	Análisis en base humedad	Referencia
Fisicoquímico	Peso específico	ASTM C127
	Contenido de materia orgánica	ASTM C40
	Contenido de humedad	ASTM C566

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1 Ensayos de laboratorio.

3.6.1.1 *Peso específico.*

Este ensayo se llevó a cabo a través del siguiente procedimiento:

- a) Se colocó en un matraz, una muestra de agua destilada de 250 ml y se pesó cuidadosamente, midiendo a su vez la temperatura del agua.
- b) Se vació el matraz y se procedió a secarlo al horno a una temperatura de 105 °C durante una hora.
- c) Se extrajo el matraz del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador durante media hora.
- d) En el matraz se colocó una muestra de 250 ml de lodo, conservando la temperatura de ésta igual a la del agua destilada.
- e) La muestra de lodo se pesó con el uso de una balanza analítica.
- f) La muestra fue llevada a un peso constante secándola en el horno a una temperatura de 105 °C durante 24 horas.
- g) Se extrajo la muestra seca del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador durante media hora.

h) Se pesó la muestra seca de lodo con el uso de una balanza analítica.

Partiendo de la diferencia de peso entre el matraz con agua destilada y el matraz con agua y lodo, el peso específico se puede calcular con la fórmula 1.

$$S_s = \frac{P_L}{V_L} = \frac{P_L}{\frac{P_a}{\gamma_a} - \frac{P_b - P_L}{\gamma'_a}}$$

Formula 1: Peso Específico

En donde:

- **Ss:** representa el peso específico del lodo.
- **PL:** representa el peso del lodo seco, expresado en g.
- **VL:** representa el volumen del lodo seco, expresado en ml.
- **Pa:** representa el peso del matraz con agua destilada, expresado en g.
- **Pb:** representa el peso del matraz con lodo, expresado en g.
- **Ya:** representa el peso específico del agua destilada.
- **Y' a:** representa el peso específico de la muestra de lodo.

Sin embargo, al ser la temperatura del agua destilada igual al de la muestra de lodo, $Y_a = Y'_a$, por lo que el peso específico se calculó según la Fórmula 2, simplificando así la Fórmula 1.

$$S_s = \frac{P_L}{P_a - P_b + P_L} = \frac{P_L}{P_L - (P_b - P_a)}$$

Formula 2: Peso Específico Simplificada

3.6.1.2 Contenido de materia orgánica.

Para determinar el contenido de materia orgánica presente en el lodo utilizado en las mezclas se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se colocó una muestra de lodo en un cilindro graduado, hasta llegar a una medida entre los 200 ml y los 300 ml y se le agregó una solución al 3% de hidróxido de sodio hasta que se cubrió por completo la muestra.
- Se agitó el cilindro, hasta que su contenido se homogeneizó y se dejó reposar durante veinticuatro (24) horas.
- Se comparó el color del líquido presente en el cilindro con la escala de referencia, conocida como escala de Gardner, y se tomó nota del número correspondiente al color de la muestra.

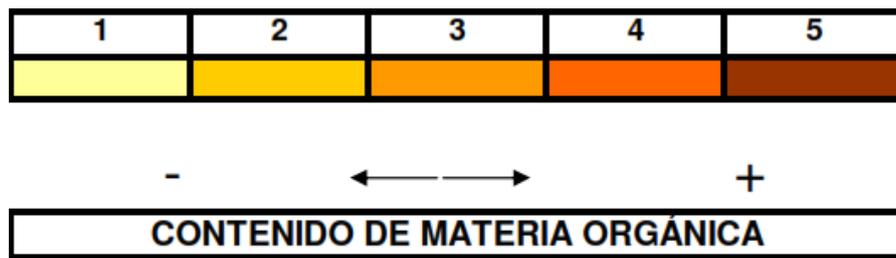


Figura 1: Escala de Gardner

3.6.1.3 Contenido de humedad.

Para determinar el contenido de humedad del lodo se realizó el siguiente procedimiento:

- Se llevaron las cápsulas utilizadas en esta prueba a peso constante a través de secado al horno a una temperatura de 105 ° C durante doce (12) horas.
- Se extrajeron las cápsulas del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador durante media hora.
- Se pesaron las cápsulas con el uso de una balanza analítica.
- Se colocaron las muestras de lodo en las cápsulas y se secaron al horno a una temperatura de 105 °C durante veinticuatro (24) horas.

Una vez retiradas las muestras del horno y enfriadas a temperatura ambiente, se procedió a pesarlas con el uso de una balanza analítica.

A partir de la diferencia de peso entre la muestra húmeda y de la muestra seca se calculó el contenido de humedad utilizando la Fórmula 3.

$$\omega(\%) = \frac{P_H - P_S}{P_H} \times 100$$

Formula 3: Contenido de Humedad

En donde:

- ω : representa el contenido de humedad del lodo, expresado en porcentaje.
- PH: representa el peso de la muestra de lodo húmeda, expresado en g.
- PS: representa el peso de la muestra de lodo seca, expresado en g.

Para llevar a cabo esta prueba se analizaron seis (6) muestras.

3.7 Características de los lodos en base seca.

Se realizaron ensayos para las nuevas muestras de lodo, ya que éstas fueron posteriormente utilizadas en la elaboración de las mezclas. Se le aplicó la prueba de granulometría.

3.7.1 Ensayos de laboratorio.

3.7.1.1 Granulometría.

Para llevar a cabo el análisis granulométrico se realizó un tamizado por lavado del material utilizando para ello los cedazos 10, 20, 40, 60, 100 y 200. Luego, debido a la característica

de finura que presenta el lodo, se realizó un ensayo de sedimentación. Se utilizó el método del hidrómetro.

Una vez tomada la lectura final del hidrómetro, se procedió a realizar el análisis de la fracción fina del material contenido en el cilindro de sedimentación siguiendo las especificaciones de la Norma ASTM C136 - 01 “Método de Ensayo Normalizado para determinar el Análisis Granulométrico de los Áridos Finos y Gruesos”

3.8 Elaboración de probetas de lodocemento

3.8.1 Elaboración de diseños de mezcla de lodo-cemento.

Los diseños de mezcla elaborados en este trabajo experimental siguieron los procedimientos de acuerdo la dosificación del cemento sol, los materiales como cemento, piedra y agua permanecieron constante solo variaron la arena que fue reemplazado por el lodo.

Se diseñaron cuatro (4) mezclas, siendo el parámetro que las diferencia el contenido de humedad del lodo y tamaño de la piedra.

Tabla 5.

Mezclas elaboradas para el desarrollo de la investigación.

Mezcla	Tamaño de piedra	Materiales				
		Cemento (kg)	Agua (L)	Arena (kg)	Piedra (kg)	Lodo (kg)
Patrón	1"	5,89	3,61	11,54	16,25	0
				8,65		2,88
Mezcla 1	1"	5,89	3,61	8,65	16,25	2,88
				8,65		2,88
				8,65		2,88
Mezcla 2	1"	5,89	3,61	5,77	16,25	5,77
				5,77		5,77

				5,77		5,77
				2,88		8,65
Mezcla 3	1"	5,89	3,61	2,88	16,25	8,65
				2,88		8,65
				2,88		8,65
				0		11,54
Mezcla 4	1"	5,89	3,61	0	16,25	11,54
				0		11,54
				0		11,54
				0		11,54

Fuente: elaboración propia

Tabla 6.

Proporciones de arena y lodo en las mezclas

Materiales	Mezclas			
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4
Lodo	1	1	3	1
Arena	3	1	1	0

Nota: El resto de los materiales permanecieron constantes.

3.8.2 Elaboración de probetas cilíndricas.

Para la elaboración de las probetas a ensayar se tomó como referencia la norma ASTM C31, en donde se siguieron una serie de pasos que son explicados a continuación.

Antes de la elaboración del cilindro se verificó:

- Que el sitio de elaboración de los cilindros no estaba expuesto a condiciones severas de sol, lluvia o viento.
- Que los moldes metálicos cumplieran con las dimensiones correctas y no

contengan residuos de concreto adheridos en las paredes internas.

- Que la varilla de compactación tenía aproximadamente sesenta (60) cm de longitud dieciséis (16) mm de diámetro, de acero liso y de extremo redondeado.
- Que la superficie sobre la cual estaba por realizarse el ensayo fuera plana y libre de vibraciones.
- Que el sitio de elaboración de los cilindros estaba lo más cerca posible del sitio donde se almacenarían durante las primeras veinticuatro (24) horas.
- Se tuvieron preparados todos los materiales a utilizar para la realización de la mezcla, es decir, se habían pesado todos los materiales para tener la dosificación específica y así no perder tiempo entre la colocación de un material y otro en la mezcladora.

La elaboración se llevó a cabo a través del siguiente procedimiento:

- a) Los materiales fueron colocados con sumo cuidado, uno por uno, manteniendo la mezcladora encendida.
- b) Primero se colocó el agregado grueso, después el agregado fino seguido del cemento y por último el agua de forma cuidadosa.
- c) Se remezcla para asegurar la uniformidad del material.
- d) Los cilindros se elaboraron llenando los moldes con tres (3) capas de igual volumen, con una altura aproximada de un tercio de la altura del molde por cada capa. volumen, con una altura aproximada de un tercio de la altura del molde por cada capa.
- e) A cada capa se le dieron el número de golpes requerido (Tabla 6) con la varilla de compactación, procurando no penetrar demasiado en la capa inmediatamente anterior ni tampoco golpear el molde.

Tabla 7.

Número de golpes para construcción.

Ensayo	Número de Golpes
--------	------------------

Cilindro 30*15 cm	25
Cilindro 20*10 cm	15
Cilindro 10*5 cm	10

Fuente: elaboración propia.

- f) Una vez retirada la varilla compactadora se les dieron golpes suaves a las paredes del molde para cerrar los huecos.
- g) Se enrasó la parte superior del cilindro con la misma barra compactadora, desde el centro de la probeta hacia los extremos, para garantizar una superficie lisa y uniforme.
- h) Se transportaron las probetas del sitio de elaboración al sitio de almacenamiento, cerciorándose de que no fueran golpeadas, inclinadas o alteradas en su superficie.
- i) Se identificaron las probetas con el uso de un marcador.

3.9 Ensayo de las probetas

3.9.1 Ensayo de resistencia a la compresión.

Se llevó a cabo una comparación de los resultados de resistencia a la compresión obtenidos con las probetas con la correspondiente mezcla, en referencia de la norma ASTM C39.

CAPITULO IV: RESULTADOS

Los resultados arrojados por los distintos ensayos realizados durante la ejecución de la etapa experimental se utilizaron con la finalidad de calcular los parámetros de las mezclas de lodo-cemento, y así poder determinar la capacidad del uso de dicho material en la construcción, en caso de que sus propiedades se encuentren dentro de los valores propios de materiales comúnmente utilizados.

El análisis de los resultados se puede desglosar en tres grandes etapas del proceso: en la primera etapa se explican los análisis realizados a la muestra de lodo en base húmeda es decir cuando recién es obtenida de una PTAR; la segunda etapa corresponde los ensayos realizados a las muestras de lodo en base seca es decir cuando se procedió a un secado. Por último, se procedió a realizar los ensayos de resistencia de las mezclas de lodo-cemento.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos (y sus respectivos análisis) de las pruebas y ensayos llevados a cabo durante la etapa experimental. En los anexos se encuentran contenidas todas las tablas de los resultados de forma numérica.

4.1 Resultados de la caracterización de los lodos en base húmeda

Tabla 8.

Resultados de los parámetros fisicoquímicos de lodo en bases húmeda

	Parámetros fisicoquímicos	Promedio
Lodo	Peso específico (kg/m)	2,57
	Contenido de materia orgánica	5
	Contenido de humedad (%)	85,67

Fuente: elaboración propia.

4.1.1 Peso específico.

El lodo estudiado en este ensayo posee un peso específico igual a 2,57 kg/m, valor que se encuentra por encima del rango de la Tabla 10, por lo que puede considerarse no liviano.

Tabla 9.

Valores obtenidos de peso específico

Muestra	Peso de matraz y agua destilada(g)	Peso de matraz y lodo(g)	Peso de lodo seco (g)	Volumende lodo seco (ml)	Peso específico (kg/m)	P.E. Promedio (kg/m)
1	249,67	275,23	43,71	18,74	2,41	
2	249,82	274,31	44,62	20,69	2,22	
3	250,03	278,78	43,72	19,48	2,92	2,57
4	249,37	277,84	44,23	19,89	2,81	
5	249,56	276,34	44,85	21,65	2,48	

Fuente: elaboración propia

Tabla 10.

Valores usuales de las relaciones peso volumen de los agregados no livianos.

Propiedad	Gruesos	Finos
Peso específico (kg/m)	2,55	2,55

4.1.2 Contenido de materia orgánica.

De acuerdo a la figura 1, el color obtuvo en el ensayo colorimétrico en la muestra de lodo corresponde al número 5 en la escala de Gardner, característico de un material con alto contenido de materia orgánica.

4.1.3 Contenido de humedad.

El contenido de humedad del lodo en base húmeda fue calculado a fin de conocer la cantidad de agua contenida en el material y, por ende, la cantidad de agua que es capaz de aportar a la mezcla, resulto 85,67% de humedad.

El contenido de humedad del lodo en base húmeda obtenido en este ensayo indica que éste posee una elevada cantidad de agua, la cual puede ser aportada a la mezcla de

lodocemento. Este es un factor a tomar en consideración ya que las características que presenta una mezcla para la construcción dependen en gran medida de la cantidad de agua que contiene.

Tabla 11.

Valores obtenidos del contenido de humedad de lodo en base húmeda

Cápsula	Peso de cápsula (g)	Peso lodo (g)	Peso lodo seco + cápsula (g)	Peso lodo seco (g)	Humedad (%)	Humedad promedio(%)
1	1,1822	10,2342	2,7423	1,5601	84,75	
2	1,2122	10,5423	2,6732	1,461	86,14	
3	1,1923	10,7623	2,6832	1,4909	86,14	85,67
4	1,1956	10,8231	2,7283	1,5327	85,83	
5	1,2243	10,3723	2,7173	1,493	85,60	
6	1,1982	10,3532	2,6934	1,4952	85,55	

Fuente: elaboración propia

4.2 Análisis del lodo en base seca

Antes de realizar el ensayo se disminuyó el contenido de humedad de lodo por medio del primer procedimiento, el cual consistió en exposición del lodo a la intemperie, durante un período de 72 horas.

Tabla 12.

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del lodo en base seca.

Parámetros fisicoquímicos		Promedio
Lodo	Contenido de materia orgánica	5
	Contenido de humedad (%)	55,91
	Granulometría	Pasante de tamiz 200

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Contenido de materia orgánica.

Una vez realizado el ensayo colorimétrico a las 3 muestras de lodo en base seca, con la ayuda de la escala Gardner, mostrada en la figura 1, se obtuvieron los siguientes

resultados:

- Los contenidos de materia orgánica obtenidos en las 3 muestras a través del ensayo colorimétrico dieron como resultado colores superiores al número 5 en la escala de Gardner (aunque no iguales entre sí), lo cual corresponde a un alto contenido de materia orgánica.
- Los colores correspondientes a las 3 muestras de lodo en base seca son más oscuros que el color correspondiente al lodo en base húmeda.
- El color más oscuro corresponde a la muestra 3, seguido de la muestra 2 y por último la muestra 1.

El color resultado del ensayo colorimétrico se hace más oscuro a medida que se reduce el contenido de humedad. Sin embargo, no puede decirse que esto se deba a que el material aumente (de algún modo) su contenido de materia orgánica, sino que se debe a un aumento de la concentración de la misma.

4.2.2 Contenido de humedad.

Una vez realizado el ensayo de contenido de humedad y utilizando el valor respectivo al lodo en base húmeda como referencia, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13.

Valores obtenidos del contenido de humedad de lodo en base seca

Capsula	Peso de capsula (g)	Peso lodo (g)	Peso lodo seco + capsula (g)	Peso lodo seco (g)	Humedad (%)	Humedad promedio (%)
1	1,2132	9,2134	5,1342	3,9210	57,44	
2	1,2092	9,1234	5,8376	4,6284	49,26	
3	1,2283	9,3245	5,1266	3,8983	58,19	55,91
4	1,2102	9,1323	5,1342	3,9240	57,03	
5	1,2302	9,1345	5,2643	4,0341	55,83	
6	1,2145	9,5346	5,2454	4,0309	57,72	

Fuente: elaboración propia

4.2.3 Granulometría.

Con los resultados obtenidos del tamizado y el ensayo del hidrómetro del lodo, se dibujó la curva granulométrica contenida en el siguiente Gráfico.

Considerando los resultados obtenidos en los ensayos para determinar la curva granulométrica del lodo, se puede mencionar que:

- Se trata de un material constituido por partículas muy finas ya que prácticamente sutotalidad es pasante del tamiz 200.
- Es un material bien gradado.

Tabla 14.

Valores obtenidos de granulometría.

Número de Tamiz	Peso de cápsula (g)	Peso retenido + cápsula (g)	Peso retenido (g)	Retenido (%)	Pasante (%)
10	29,438	29,438	0,000	0	100
20	29,438	29,455	0,017	0.034	99.966
40	29,438	29,452	0,014	0.028	99.972

100	29,438	29,456	0,018	0.036	99.964
200	29,438	29,488	0,050	0.1	99.9

Fuente: elaboración propia

4.3 Análisis de las mezclas de lodo-cemento.

4.3.1 Ensayo de resistencia a la compresión simple.

La resistencia promedio que se obtuvo a los 28 días fue de 189,25 kg/cm² de la mezcla 1; 165,75 kg/cm² de la mezcla 2; 146,25 kg/cm² de la mezcla 3 y 130,5 kg/cm² de la mezcla 4.

La Tabla 15 contiene valores de resistencia a compresión de las diferentes mezclas, después de 28 días.

Tabla 15.

Valores obtenidos de resistencia a la compresión de las probetas

Mezclas	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	R.C. Promedio (Kg/cm ²)
Mezcla 1A	2347	9,97	19,96	187	189,25
Mezcla 1B	2368	9,95	19,98	192	
Mezcla 1C	2346	9,98	19,97	188	
Mezcla 1D	2345	9,94	19,89	190	
Mezcla 2A	2368	9,95	19,98	165	165,75
Mezcla 2B	2337	9,96	19,94	168	
Mezcla 2C	2354	10	20,01	163	
Mezcla 2D	2343	10,02	19,92	167	
Mezcla 3A	2349	10	20,05	146	146,25
Mezcla 3B	2354	9,96	20,01	143	
Mezcla 3C	2346	10,01	19,93	149	
Mezcla 3D	2341	9,94	19,98	147	
Mezcla 4A	2339	9,95	19,97	130	130,5

Mezcla 4B	2366	9,99	20,04	132
Mezcla 4C	2372	10,05	20	129
Mezcla 4D	2338	9,93	20,02	131

Fuente: elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos se menciona que:

- La falla generalizada fue horizontal (perpendicular a la dirección de la carga), desprendiéndose material de la parte central del cilindro.
- Una característica que presentaron todas las probetas fue la tendencia al desmoronamiento, incluso con la aplicación de tensiones bajas. Considerando los valores de resistencia obtenidos se puede mencionar que:
- La mezcla que presentó mayor resistencia a la compresión fue la mezcla 1, seguida de la mezcla 2; 3 y por último la mezcla 4.
- La falla generalizada, fue horizontal. Sin embargo, no hubo una tendencia tan marcada al desmoronamiento.

CAPITULO V: DISCUSIONES

5.1 Discusión

Se determinó la resistencia a la compresión de las probetas a los 28 días, observando que la resistencia disminuye con la adición de lodo en comparación del patrón. Se puede mencionar que a los 28 días se ha desarrollado la máxima capacidad de resistencia a la compresión.

Considerando los resultados de resistencia a la compresión de las mezclas de lodocemento que se presentan en la Tabla 15 y los en el anexo 3 y los valores correspondientes a las diferentes dosificaciones que se presentan en el anexo 3 se distingue que: en forma general, las resistencias a la compresión presentada las mezclas de lodo-cemento fueron menores al patrón, es decir menores a 210 Kg/cm².

Hay que recalcar que las mezclas lodo-cemento sin arena presentan una mayor porosidad de la probeta, a diferencia de una mezcla con arena. Esto quiere decir que, la porosidad de la probeta es directamente proporcional a la cantidad de lodo en la mezcla.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Una vez obtenidos los resultados, se llegan a un conjunto de conclusiones sobre el trabajo experimental que son necesarias mencionar.

El tratamiento se desarrolló de acuerdo a lo siguiente:

- Disminución de humedad: Debido a que el contenido de humedad del lodo era de 85,67%, esto es muy elevado. Esto se traduce en que gran cantidad de agua es aportada a la mezcla, afectando así su resistencia final, por lo tanto, se procedió a secado a temperatura ambiente, llegando a una humedad de 55,91 %, el lodo disminuido su contenido de humedad presento mejores características para que sea utilizado en mezclas de construcción que el lodo en estado natural.
- Entre las variables utilizadas en la obtención de concreto son los siguientes:

Humedad: De acuerdo al tratamiento desarrollado el contenido de humedad debe ser bajo, ya que influye negativamente en la resistencia del material.

Es importante destacar la influencia que tienen tanto el contenido de materia orgánica como la granulometría en la mezcla de materiales de construcción estabilizadas con cemento, lo cual quedó reflejado en poca resistencia de las probetas.

- Entre las mejores fórmulas se puede mencionar a lo siguiente:

La mezcla que presentó mejores características como material de construcción fueron las mezclas 1 y 2, las demás mezclas obtuvieron valores de ensayos de resistencia a la compresión bajas esto hace que el material sea poco resistente, pero puede ser usada para la realización de concreto simple, sobrecimiento reforzado, piso y falso piso.

6.2 Recomendaciones

A fin de continuar con la línea de investigación establecida, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Llevar a cabo una investigación que determine las características de los lodos provenientes de una PTAR en una forma más específica que la presentada en esta investigación. Dicha investigación debe incluir lodos de distintas plantas, de distintas épocas y sus características como material de construcción.
- Establecer un método para reducir (en lo posible) el contenido de materia orgánica presente en los lodos provenientes de la PTAR, a fin de ser utilizados como material de construcción, y que incluya el estudio de la aplicación de cal y de altas temperaturas.
- Estudiar la influencia del lodo proveniente de una PTAR como adición a mezclas de materiales de construcción y no como materia prima.
- Desarrollar un trabajo de investigación que analice el comportamiento de mezclas de materiales de construcción que cuente entre sus componentes a lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales.
- Desarrollar un método eficiente para disminuir el contenido de humedad de los lodos a ser utilizados como material de construcción.
- Establecer métodos alternativos y adecuados para medir las propiedades de las mezclas y probetas.
- Investigar el uso del lodo en mezclas secas. ▪ Determinar el tipo de arcilla que es el lodo, incluyendo análisis químico, capacidad de expansión y usos o aplicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguirre, D. (2007). *Uso de aditivos para concreto*. Recupero den https://issuu.com/jaquemialva/docs/uso_de_aditivos_para_concreto_a6e7ed787e2dd0
- Chire, Y. P., & Rondan, G. (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* (tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3959/IQchsayp035.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Colomer Mendoza, F. J., Gallardo Izquierdo, A., Robles Martínez, F., Bovea, Ma. D., Herrera Prats, L. (2010, 2 de diciembre). Opción de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales. *Ingeniería Revista Académica*. Recuperado de <http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/32417/47051.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dreyse, M. T. (2016). *Factibilidad de uso de cenizas de lodos residuales provenientes de la fabricación de papel como potencial reemplazante parcial de cemento en la fabricación de hormigones*. (Tesis de pregrado). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/319703074_FACTIBILIDAD_DE_USO_DE_CENIZAS_DE_LODOS_RESIDUALES_PROVENIENTES_DE_LA_FABRICACION_DE_PAPEL_COMO_POTENCIAL_REEMPLAZANTE_PARCIAL_DE_CEMENTO_EN_LA_FABRICACION_DE_HORMIGONES/link/59ba6d2ba6fdcc6872353c4a/download
- Geoseismic Exploraciones. (01 de 12 de 2017). Propiedades del Concreto. *Geoseismic*. Recuperado de <http://www.geoseismic.cl/propi>
- Herrera, W. (2006). *Análisis del comportamiento del lodo-cemento como material de construcción* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/11137/1/TEG%20LODO-CEMENTO.pdf>
- Holguín, E., Morales, M., Vicencio, M., & Morales, M. (2014, 20 de noviembre). Lodos

Residuales: Métodos de tratamiento, estabilización y aprovechamiento. *Vidsupra*. Recuperado de <https://docplayer.es/82748444-Lodos-residuales-metodos-de-tratamiento-estabilizacion-y-aprovechamiento.html>

Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2005). Digestión Anaerobia. Aspectos Teóricos. Parte 1. *Icidca*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>

Márquez, K., & Parra, C. (2009). *Estudio de dos alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios de sistemas aerobios provenientes de PTAR's jurisdicción de la Car (Tesis de pregrado)*. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1637&context=ing_ambiental_sanitaria

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico*. Recuperado de https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483

Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2014). *Decreto 1287 del 10 de julio de 2014 por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales*. Colombia. Ministerio de vivienda, ciudad y territorio.

Mogollon, S., & Carrillo, C. (2016). *Evaluación técnica, económica y ambiental de lodos provenientes de la ptar de la compañía internacional de alimentos agropecuarios (Cialta S.A.S) como alternativa de aprovechamiento para producción de ladrillos cerámicos (Tesis de pregrado)*. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1184&context=ing_ambiental_sanitaria

Orellana, X. O. (2015). *Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos (Tesis de pregrado)*. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4344/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-128.pdf>

Oropeza, N. (2006, 11 de noviembre). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Estrucplan*. Recuperado de <https://estrucplan.com.ar/lodos-residuales-estabilizacion-y-manejo/>

- Ortega, E. (2015). *Tratamiento de aguas residuales* (Tesis de pregrado) <https://es.slideshare.net/erosinning/momento-individual-eberto-ortegasinning-tratamiento-de-aedades-del-concreto/>
- Porrero, J., Ramos, C., Velazco G. & Grases, J. (2014). *Manual del concreto estructural*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/osgonbri/manual-del-concreto-estructural-g-velazco>
- Rivera, J. (2013). *Calomeo glorioso*. Calomeo glorioso. Recuperado de <https://es.calameo.com/books/005284810273e346d8b7c>
- Rujano, E. (2016). *Tratamiento de aguas residuales y sistemas de tratamientos*. Ciudad de Ojeda, Venezuela: Prezi. Recuperado de <https://prezi.com/dq-twobczlcf/tratamiento-de-aguas-residuales-ysistemas-de-tratamientos/>
- Saravia, G. A. (2017). *Gestión y manejo de residuos sólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilpina Sedapar S.A.* (Título de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5333>
- Ore, T. (2014). *Manual de preparación, colocación y cuidados del concreto*. Lima: Cartolan Editores SRL. Recuperado de https://issuu.com/sencico_documentosdigitales/docs/manual_de_preparaci_oacute_n__coloc
- Superintendencia de servicios públicos. (2015). *Informe técnico sobre sistema de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Bogotá. Recuperado de https://issuu.com/luisespinoso7/docs/informe_t__cnico_sobre__sistemas_de
- Torres, P., Madera, C., & Martínez, G. (2008, 20 de noviembre). Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas para aprovechamiento agrícola. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24743/25304>
- Valderrama, M. (2013). *Factibilidad de aprovechamiento de los lodos residuales de la PTAR del municipio de Chinavita (Boyaca)* (Título de magister). Recuperado de

https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/944/Martha_noviembre2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Vargas, M., & Mavis, M. (2006, julio). Estudio del uso del lodo residual de la empresa Extralum S. A. como material alternativo en la fabricación de cementos especiales. Universidad de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Recuperado de dialnet.unirioja.es

ANEXOS

ANEXO 1. NORMA EPA 40CFR- 503 PC –EQ QUALITY: USO Y DISPOSICIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS

Parámetros Físicoquímicos para los Biosólidos Categoría A.

Parámetro	Valor de Referencia
Contenido de Humedad (%)	< 35,0
Contenido de Cenizas (%)	≤ 60,0
Contenido de Carbono Orgánico Oxidable Total (%)	> 15,0
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	> 30,0
Capacidad de Retención de Humedad (%)	> 100,0
pH (Unidades)	5,0 < pH < 9,0
Densidad Real (g/cm ³ Base Seca)	< 0,6
N total, P ₂ O ₅ y K ₂ O (%)	Declararlos si cada uno es > 1,0

Parámetros Físicoquímicos para los Biosólidos Categoría B.

Parámetro	Valor de Referencia
Contenido de humedad (%)	≤ 70,0
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	> 20,0
Capacidad de retención de humedad (%)	> 100,0
pH (Unidades)	4,0 < pH < 9,0
Densidad real (g/cm ³ Base Seca)	< 0,6

ANEXO 2: ENSAYOS Y PRUEBAS REALIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN



Lodo fresco



Lodo seco

Figura 2: Reducción de humedad



Tamices



Ensayo de hidrómetro

Figura 3: Prueba de granulometría



Figura 4: *Probetas lodo-cemento*



Figura 5: *Prueba de resistencia a la compresión*

ANEXO 3: Dosificaciones para diferentes elementos estructurales de concreto
(dosificaciones por m³ de concreto con cemento sol, tipo v y atlas)

ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	f'c Resistencia a 28 días Kg/cm ²	TAMAÑO DE PIEDRA	PESO				
				CEMENTO Kg (bolsas)	AGUA (Litros)	ARENA Kg	PIEDRA Kg	HORMIGÓN Kg
1- CIMENTO	1.1- CIMENTO CORRIDO							
	1.1.1-CON ADICIÓN DE PIEDRA GRANDE (8")	100	1"	242 (5.7)	171	774	1,170	--
		100	--	242 (5.7)	178	--	--	1,885
	1.1.2-CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--
		140	--	283 (6.7)	200	--	--	1,792
	1.2- FALSA ZAPATA							
	1.2.1-CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--
1.3-ZAPATA CON O SIN REFUERZO	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--	
2- SOBRECIMIENTO	2.1- SOBRECIMIENTO							
	2.1.1- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--
		140	--	283 (6.7)	200	--	--	1,792
	2.1.2- CONCRETO SIMPLE	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--
		175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--
		175	3/4"	324 (7.6)	209	829	993	--
	2.1.3- SOBRECIMIENTO REFORZADO	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--
	175	3/4"	324 (7.6)	209	829	993	--	
3- ELEMENTOS VERTICALES	3.1- COLUMNAS Y PLACAS							
		210	1"	375 (8.8)	230	735	1,035	--
		210	3/4"	385 (9.1)	235	780	955	--
		210	1/2"	388 (9.1)	237	849	841	--
		280	1"	443 (10.4)	222	629	990	--
		280	3/4"	460 (10.8)	230	655	924	--
		280	1/2"	463 (10.9)	232	730	810	--
	3.2- MUROS DE CONTENCIÓN							
	3.2.1- DE CONCRETO CICLOPEO							
	3.2.1.1- CON ADICIÓN DE PIEDRA GRANDE (8")	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--
	3.2.1.2- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--
	3.2.2- DE CONCRETO REFORZADO							
		175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--
		210	1"	375 (8.8)	230	735	1,035	--
		210	3/4"	385 (9.1)	235	780	955	--
		280	1"	443 (10.4)	222	629	990	--
	280	3/4"	460 (10.8)	230	655	924	--	
	280	1/2"	463 (10.9)	232	730	810	--	

ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	f _c Resistencia a 28 días Kg/cm ²	TAMAÑO DE PIEDRA	PESO				
				CEMENTO Kg (bolsas)	AGUA (Litros)	ARENA Kg	PIEDRA Kg	HORMIGÓN Kg
4- ELEMENTOS HORIZONTALES	4.1- FALSO PISO	100	1"	242 (5.7)	171	774	1,170	--
		100	--	242 (5.7)	178	--	--	1,885
	4.2- PISO	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--
	4.3- VIGAS, LOSAS MACIZAS Y TECHOS ALIGERADOS	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--
		210	1"	375 (8.8)	230	735	1,035	--
		210	3/4"	385 (9.1)	235	780	955	--
		280	1"	443 (10.4)	222	629	990	--
		280	3/4"	460 (10.8)	230	924	655	--
		280	1/2"	463 (10.9)	232	810	730	--
	5- ELEMENTOS INCLINADOS	5.1- GRADAS						
5.1.1-DE CONCRETO CICLÓPEO CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")		140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--
		175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--
5.1.2-DE CONCRETO SIMPLE		175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--
5.2- ESCALERAS REFORZADAS		175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--
		210	1"	375 (8.8)	230	735	1,035	--
		210	3/4"	385 (9.1)	235	780	955	--
		280	1"	443 (10.4)	222	629	990	--
		280	3/4"	460 (10.8)	230	924	655	--
		280	1/2"	463 (10.9)	232	810	730	--