



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

**Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto
invernadero.**

AUTOR (A):

Díaz Monge María Emilia

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de:
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Gilberto Martínez Rehpani Mg. Sc.

**Guayaquil, Ecuador
2016**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **María Emilia Díaz Monge**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

OPONENTE

Ing. Gilberto Martínez Rehpani Mg.

Ing. Alexandra Camacho Monar, Mg. Sc.

DIRECTORA DE CARRERA

Ing. Stefany Alcívar Bastidas Mg. Sc.

Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **María Emilia Díaz Monge**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero**, previa a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2016

LA AUTORA

María Emilia Díaz Monge



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **María Emilia Díaz Monge**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2016

LA AUTORA:

María Emilia Díaz Monge

URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TRABAJO DE TITULO MARIA EMILIA DIAZ.pdf (D21636807)
Submitted: 2016-09-07 03:00:00
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 10 %

Sources included in the report:

tesis final helmintos.docx (D19068659)
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4344/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-128.pdf>

Instances where selected sources appear:

32

AGRADECIMIENTO

Gracias a mis padres, que con su ejemplo y apoyo incondicional pude lograr esta meta. A mis hermanos, porque siendo el ejemplo de ellos, motivó diariamente mi esfuerzo y dedicación. A mi tía, que fue mi compañía durante este trayecto, haciéndome las cosas más sencillas.

A mis profesores, en especial a mi tutor, que ha sido parte importante de esta etapa de aprendizaje y de entender que siempre hay que ir más allá de lo común.

A mis amigos que hicieron esta etapa universitaria más divertida.

María Emilia

DEDICATORIA

Dedico este documento a Dios y a mis padres, por el esfuerzo de darme la mejor educación y ejemplo.

María Emilia



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Gilberto Martínez Rehpani Mg. Sc.

TUTOR

Ing. Stefany Alcívar Bastidas Mg. Sc.

DIRECTORA DE CARRERA

Ing. Alexandra Camacho Monar, Mg. Sc.

OPONENTE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

NÚMEROS

LETRAS

Ing. Gilberto Martínez Rehpani Mg. Sc.
TUTOR

Ing. Stefany Alcívar Bastidas Mg. Sc.
DIRECTORA DE CARRERA

Ing. Alexandra Camacho Monar, Mg. Sc.
OPONENTE

Índice general

CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	vii
CALIFICACIÓN	viii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	17
CAPÍTULO I	20
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1. Caracterización del problema	20
1.2. Objetivos de la investigación.....	21
1.2.1. Objetivo General	21
1.2.2. Objetivos Específicos	21
1.3. Alcance	22
CAPÍTULO II	23
MARCO CONCEPTUAL	23
2.1. Las aguas residuales.....	23
2.1.1. Generalidades	23
2.1.2. Tratamiento de Aguas Residuales	24
2.1.3. Tipos de Tratamientos	25
2.1.8. Lagunas de Oxidación	27
2.1.9. Pozos sépticos.....	27
2.2. Lodos y fangos contaminantes.....	28
2.2.1. Generalidades	28
2.2.2. Clasificación de Lodos Residuales	29
2.2.3. Proceso para Obtención de Lodos Residuales.....	31
2.2.4. Constitución de los Lodos Residuales	32
2.2.16. Tratamiento de Lodos Residuales	37
2.2.17. Deshidratación de los Lodos	39
2.2.18. Manejo de Lodos Residuales.....	40
2.3. Secado solar de lodos de depuradora.....	41

2.3.1.	Secado de Lodos Residuales por Efecto Invernadero	42
2.3.2.	Análisis Estructural y Funcional del Sistema de Secado de Lodos por Invernaderos	43
2.4.	Utilización de lodos para obtener materiales de construcción: agregados	48
CAPÍTULO III		52
METODOLOGÍA		52
3.1.	Ubicación	52
3.2.	Características climáticas	53
3.3.	Métodos	53
3.3.1.	Experimental	53
3.4.	Materiales	54
3.4.1.	Construcción de la cámara de secado con efecto invernadero	54
3.4.1.1.	Diseño	54
3.4.1.2.	Proceso de construcción	56
3.4.2.	Fuentes de Lodos Residuales	60
3.4.3.	Método para extracción de los materiales	63
3.5.	Proceso de secado	66
3.6.	Variables estudiadas	69
CAPÍTULO IV		73
RESULTADOS		73
4.1.	Tiempo de secado	73
4.2.	Determinación de humedad	73
4.3.	Determinación de plasticidad	74
4.4.	Determinación del porcentaje de materia orgánica	75
4.5.	Análisis estadístico	79
4.6.	Registros de temperatura	80
4.7.	Resultados de fabricación de materiales de construcción	84
CAPÍTULO V		86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		86
5.1.	Conclusiones	86
5.2.	Recomendaciones	88
Referencias bibliográficas		89
Bibliografía		94
Anexos		99

Índice de tablas

Tabla 1. Límites numéricos a 10 metales	30
Tabla 2. Límite de calidad microbiológica de lodos	31
Tabla 3. Algunas propiedades químicas típicas de lodos tratados o biosólidos	33
Tabla 4. Producción de lodos de un tratamiento de aguas residuales.....	34
Tabla 5. Características de lodos residuales	34
Tabla 6. Resultados para variables de porcentajes de humedad.....	74
Tabla 7. Cálculos para determinación de porcentaje de materia orgánica.....	78
Tabla 8. Prueba de t para medias de la variable porcentaje de humedad	79
Tabla 9. Prueba de t para medias de la variable porcentaje de materia orgánica.....	80

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Características de los principales niveles de tratamiento.....	26
Ilustración 2. Manejo de lodos residuales en diferentes países.....	41
Ilustración 3. Ubicación geográfica del sitio del ensayo Fuente: Google Earth.....	53
Ilustración 4. Estructura de guadua para cámara de secado	55
Ilustración 5. Cubierta de Polietileno.....	55
Ilustración 6. Cámara de secado con diseño hermético	56
Ilustración 7. Detalle de la red de cabuya instalada para efectos de viento en exceso	58
Ilustración 8. Montaje y colocación del plástico.....	59
Ilustración 9. Termómetro digital instalado	59
Ilustración 10. Ubicación geográfica del sector para la extracción de la arcilla expansiva material tipo A.....	60
Ilustración 11. Sitio para la extracción de la arcilla expansiva (material tipo A).	61
Ilustración 12. Sitio para la extracción la arcilla expansiva (material tipo A).	61
Ilustración 13. Ubicación geográfica del sector para la extracción de lodos residuales (material tipo B).....	62
Ilustración 14. Sistema de tratamiento de aguas residuales (Urbanización La Joya) para extracción de lodos residuales (material tipo B).....	62
Ilustración 15. Sistema de tratamiento de aguas residuales (Urbanización La Joya) para extracción de lodos residuales (Material tipo B).	63
Ilustración 16. Sistema de tratamiento de aguas residuales (Urbanización La Joya) para extracción de lodos residuales (material tipo B).....	63
Ilustración 17. Reconocimiento del sitio y vinculación con la comunidad para la extracción de la arcilla expansiva (material tipo A).....	64
Ilustración 18. Arcilla expansiva (material tipo A) extraída y dispuesto para su traslado a la cámara de secado.	64
Ilustración 19. Piscinas de tratamiento de lodos residuales para extracción de los lodos residuales (material tipo B).....	65
Ilustración 20. Muestreo de lodos residuales (material tipo B).	65
Ilustración 21. Muestreo de lodos residuales (material tipo B).	65
Ilustración 22. Muestreo de lodos residuales (material tipo B).	66
Ilustración 23. Arcilla expansiva (material tipo A) dentro de la cámara de secado... ..	66

Ilustración 24. Lodos residuales (material tipo B) ubicado dentro de la cámara de secado.	67
Ilustración 25. Rastrillado del material.	67
Ilustración 26. Rastrillado del material.	68
Ilustración 27. Inicio de registro y medición de temperaturas.	68
Ilustración 28. Lodo residual posterior al proceso de secado.	69
Ilustración 29. Muestras de arcilla expansiva y lodo residual posterior al proceso de secado.	69
Ilustración 30. Ensayos del laboratorio de la arcilla expansiva (material tipo A), proceso de tamizado.	70
Ilustración 31. Ensayos del laboratorio del lodo residual (material tipo B), proceso de tamizado.	70
Ilustración 32. Ensayos del laboratorio para caracterización de los materiales, granulometría.	71
Ilustración 33. Aplicación de ensayo límites de Atterberg.	71
Ilustración 34. Ensayos en el laboratorio de los materiales analizados, ingreso de las muestras al horno.	71
Ilustración 35. Gráfica de porcentajes de humedad de ambos materiales.	73
Ilustración 36. Determinación de plasticidad de la arcilla expansiva (material tipo A), ensayo de Límites de Atterberg.	74
Ilustración 37. Determinación de plasticidad del lodo residual (material tipo B), ensayo de Límites de Atterberg.	75
Ilustración 38. Determinación de porcentaje de materia orgánica.	76
Ilustración 39. Determinación de porcentaje de materia orgánica.	76
Ilustración 40. Determinación de porcentaje de materia orgánica, por ignición con alcohol.	77
Ilustración 41. Determinación de porcentaje de materia orgánica, por ignición con alcohol.	77
Ilustración 42. Determinación de porcentaje de materia orgánica.	78
Ilustración 43. Proceso de condensación del agua durante el proceso de secado.	81
Ilustración 44. Proceso de condensación del agua durante el proceso de secado.	81
Ilustración 45. Gráfica evolutiva de los registros de temperatura durante el ensayo. Datos con frecuencia de 30 minutos.	83

Ilustración 46. Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales.....	84
Ilustración 47. Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales después de cocción.	84
Ilustración 48. Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales en el hormigón ligero.....	85
Ilustración 49. Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales en sub-base de vías.	85
Ilustración 50. Proceso de secado del cacao dentro de la cámara.	85

RESUMEN

La presente investigación titulada proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero, tuvo como finalidad evaluar la viabilidad técnica del proceso de secado de lodos residuales originados en la ciudad de Guayaquil, utilizando efecto invernadero, con el propósito de elaborar materia prima que pueda ser utilizada en la elaboración de diversos materiales de construcción, minimizando de esta manera el impacto ambiental que pudieran producir la disposición final de estos lodos. Para este fin, se planteó una estructura metodológica de tipo experimental a partir del secado de dos tipos de materiales. El primero de naturaleza arcillosa y el segundo originado de lodos residuales de plantas de tratamientos de aguas servidas en la ciudadela La Joya. Con esta orientación, se pudo construir una cámara artesanal de secado, utilizando caña guadua y plástico transparente. Los resultados obtenidos demostraron la eficacia de la cámara logrando el secado de los lodos residuales y de las arcillas en 24 y 48 horas respectivamente. Según el ensayo Atterberg el lodo residual demostró límite líquido del 148 %, límite plástico del 83 % e índice de plasticidad del 65 %. La reducción del porcentaje de humedad fue del 6.85 %, lo que demuestra la factibilidad técnica del uso de cámaras de secado artesanales. Del mismo modo, la concentración de materia orgánica registrada por la muestra lodo residual, fue considerada como *Medianamente Pobre* según el método de ignición. Finalmente, se pudo consolidar una tecnología artesanal para la obtención de materia prima, en la fabricación de diversos materiales de construcción, beneficiando al medioambiente de una manera sostenible, debido a la posibilidad de evitar la exposición ambiental de miles de toneladas de lodo residual.

Palabras Claves:

Secado, lodos residuales, plantas de tratamiento, materiales, humedad, cámara de secado.

ABSTRACT

This research entitled drying process sludge and contaminants sludge using greenhouse, aimed to assess the technical feasibility of the drying process sludge originated in the city of Guayaquil, using greenhouse, with the aim of producing raw material can It is used in the production of various construction materials, thereby minimizing the environmental impact that could produce the final disposal of sludge. To this end, a methodological experimental structure was raised from drying two types of materials. The first of clayey nature and the second originated from residual sludge from treatment plants sewage in the citadel La Joya. With this orientation, could build a craft drying chamber, using bamboo cane and transparent plastic. The results demonstrated the efficacy of the camera making drying sludge and clays in 24 and 48 hours respectively. According to the Atterberg test it showed the sludge liquid limit of 148%, 83% plastic limit and plasticity index of 65%. Reducing the moisture content was 6.85%, demonstrating the technical feasibility of using drying chambers of craft. Similarly, the concentration of organic matter recorded by the sludge sample was considered as Poor Fairly according to the method of ignition. Finally, it could consolidate a craft technology for the production of raw material in the manufacture of various building materials, benefiting the environment in a sustainable way, because of the possibility to avoid environmental exposure of thousands of tons of sludge.

.

Keywords:

Drying, sludge, treatment plants, materials, moisture, drying chamber.

INTRODUCCIÓN

Los lodos residuales son originados a partir del tratamiento del agua consumida y distribuida por las redes sanitarias de los domicilios u otras estructuras civiles a nivel urbano o rural. Toda el agua de consumo domiciliario es dispuesta de manera sistemática por la tubería de los baños, duchas, fregaderos, desagües, entre otros. Esta agua forma parte de una carga-caudal que se combina con las aguas residuales de otros domicilios en un canal subterráneo común, que a su vez se direcciona hacia un depósito de aguas en la que convergen las aguas negras de toda la ciudad.

El depósito destinado a la depuración de la misma está compuesto generalmente por zona de recepción, tratamiento previo, tratamiento profundo y área de descarga. Cada una de estas fases tiene como finalidad depurar el componente líquido separando los sólidos presentes y eliminando la carga microbiana existente en el agua, para finalmente descargarla en al afluente más cercano o al que represente un menor costo ambiental.

La separación de sólidos existentes se regula a nivel nacional por legislatura ambiental que contabiliza la presencia del soluto de diversa naturaleza y exige criterios ambientales estandarizados a normativas internacionales. Este proceso de separación permite que el agua flote y los sólidos sean sedimentados, originando el material experimental de la presente investigación: Lodos residuales o fangos residuales.

Los lodos residuales, generalmente compuestos en más del 90 % por agua, del 4 al 12 % por grasas, 10 al 20 % por proteínas, 0.5 al 1.5 por metales pesados. Según su origen el pH puede estar entre 6.8 y 7.6 y con alta presencia de carga microbiana que puede llegar a ser del 100 % (Oropeza, N., 2.006, pp. 51-58). Debido a estas características, la disposición final de los fangos suele admitir altos costos económicos y sanitarios.

Anualmente, los entes municipales del Ecuador invierten vastos recursos económicos para el manejo posterior de los lodos, generando un gasto corriente que termina incidiendo gravemente en el presupuesto anual institucional, demandando numerosa mano de obra calificada y maquinaria agrícola utilizada, sobre todo en el transporte de este material bio peligroso para su disposición final.

Por su naturaleza como desecho bio peligroso, su disposición final demanda una inversión mayor en virtud de la legislatura vigente en el Ecuador. La construcción de una celda con la instalación geo membrana, chimeneas de gases y sistema de manejo de lixiviados, es obligatoria para el correcto manejo de los fangos. La inobservancia de estas medidas puede acarrear sanciones administrativas y pecuniarias para los GADs municipales por graves contaminación del ambiente (Cedeño, J., 2.015).

Los costos en temas de salud pública son mayores. Se ha identificado en países como Ecuador, fuentes de agua receptoras de lodos residuales con registros de contaminación fuera de los límites admisibles por la ley nacional. Este grado contaminante repercute en la salud pública dada la importancia de las fuentes de agua en agricultura y pesca, productos que son comercializados sin control en las ciudades (Ballesteros, R., 2.013).

Ante esta realidad, la tendencia global en torno a la problemática ha requerido el diseño de propuestas innovadoras con la finalidad de reducir el impacto económico, sanitario y ambiental de los lodos residuales. Existen proyectos investigativos que orientan voluntad y recursos al objetivo de mitigar los problemas sanitarios desencadenados a partir de la defectuosa disposición de lodos residuales. Así, Orellana (2015) en su trabajo investigativo, obtuvo mínimas diferencias en la resistencia a la compresión simple de ladrillos a los que se le adicionó hasta un 20 % de lodos residuales, demostrando de esta manera, la validez técnica de estos materiales bio peligrosos y su aplicación en el sector de la construcción.

Por su parte Bermeo e Idrovo (2014) establecieron en sus ensayos de laboratorio que la muestra experimental proveniente de plantas de tratamiento de aguas residuales, tuvieron mejor comportamiento y resistencia adecuada para posibles usos estructurales. Esta conclusión se fundamenta debido al aporte de aluminio y hierro existentes en la composición del lodo, que aportan significativamente a la formación de la matriz cementante (Bermeo, A.; Idrovo, E., 2.014).

Con esta argumentación fundamentada en los antecedentes académicos y prácticos relacionados a la problemática, se determinó la posibilidad de realizar estudios direccionados al reciclaje de estos materiales bio peligrosos para su uso

constructivo. Estos materiales fueron obtenidos y evaluados en forma de agregados, para la posterior acreditación de la factibilidad técnica como parte de la mezcla común desarrollada para la obtención de concreto en las construcciones civiles.

La investigación, pionera en el área académica ecuatoriana, por disponer de resultados que tendrán gran impacto y utilidad social, representa un cúmulo de esfuerzos concertados por la UCSG y los autores de una serie de ensayos experimentales, que estarán disponibles para el sector constructivo del país. En consecuencia, se debe incrementar y fortalecer el estudio continuo y permanente de la tendencia que evidenció el presente estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Caracterización del problema

Los problemas acarreados por la mala disposición de desechos sólidos y líquidos, han activado una cruzada internacional por el mejoramiento de los sistemas públicos y privados de manejo de estos residuos. La incidencia del problema, ha desarrollado un sinnúmero de instrumentos jurídicos que intentan mejorar la realidad ambiental de las naciones.

A partir de esta primicia, la Constitución Política del Ecuador (2008), en su Art. 14 establece: “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”. (pág. 5). De este modo, se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Fuentes, 2.012).

La creación de estos lineamientos generales en la Carta Magna del país, han complementado los dispositivos jurídicos ambientales a través del establecimiento de derechos, obligaciones y competencias a las diferentes jerarquías estatales.

La legislatura sanitaria y ambiental del Ecuador, obliga a las municipalidades a planificar y regularizar la recolección de desechos a través de sistemas integrales de manejo de residuos. Hasta el 2012, fueron 12 los municipios sancionados, incrementando la problemática relacionada con los presupuestos y las asignaciones presupuestarias para la resolución de estos problemas.

Por otra parte, a partir de la aprobación de la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) 2010, se orienta el quehacer universitario desde múltiples aspectos, incluido el de la responsabilidad ambiental y social. Se creó la obligación socio ambiental de fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que ayuden al mejoramiento y protección del ambiente y promuevan el desarrollo sustentable nacional.

Para este fin, se contemplan además las Normas ISO 26000, que regulan la responsabilidad social de las organizaciones. Desde este contexto, la responsabilidad social se concibe como la responsabilidad de una organización por los impactos que sus decisiones y actividades ocasionan en la sociedad y el medio ambiente, a través de un comportamiento transparente y ético que contribuya al desarrollo sostenible, la salud y el bienestar de la sociedad.

La problemática se extiende exponencialmente cuando no existen alternativas de solución y las pocas existentes se fundamentan en importantes montos de inversión, destinando recursos que las administraciones públicas seccionales prefieren asignar a otras prioridades de la población como agua potable, alcantarillado o vialidad.

1.2. Objetivos de la investigación

El estudio experimental que se presenta, se orientó a partir de la redacción, planeamiento, ejecución y evaluación de tres objetivos específicos. Estas potenciales herramientas de planificación, tuvieron como finalidad encontrar alternativas técnicamente viabilizadas para la solución de la problemática en torno a la mala disposición de los lodos residuales originados a partir del tratamiento de aguas residuales. Con estos antecedentes se plantearon los siguientes objetivos:

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica de realizar un proceso de secado de los lodos y fangos de plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en la ciudad de Guayaquil, utilizando efecto invernadero, con el propósito de elaborar materia prima que pueda ser utilizada en la elaboración de diversos materiales de construcción, que minimicen los impactos ambientales que pudieran producir la disposición final de estos lodos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Construcción de una cámara de secado artesanal ligera, utilizando plástico transparente, donde se pueda secar lodos producidos en una planta de tratamiento de aguas residuales, para lograr la materia prima para la fabricación de diversos materiales de construcción.

- Elaborar un agitador de madera para homogenización de los lodos residuales de plantas de tratamiento, el mismo que funcionará dentro de la cámara de secado.
- Medición de temperaturas y tiempos de secado de los lodos residuales de plantas de tratamiento. Ensayos de humedad antes y después del proceso de secado. Ensayos de contenido de materia orgánica.

1.3. Alcance

La presente investigación pretende determinar el uso del efecto invernadero para preparar y estabilizar de manera práctica, racional y económica, algunos materiales contaminantes que provengan de plantas de tratamiento de aguas residuales, para utilizarlos posteriormente como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en viviendas y caminos.

La metodología experimental utilizada consiste en la deshidratación o secado de otros productos, contribuyendo ambientalmente de manera significativa, al evitar la exposición a la intemperie de toneladas de lodos residuales generadas a diario en la ciudad de Guayaquil, disminuyendo a la vez, los costos operativos que representan usualmente el transporte y la disposición final de estos desechos bio peligrosos.

Con la generación de la tecnología efecto invernadero para el secado de materiales para su posterior uso constructivo, se podrá fomentar de manera sostenible y sistemática, el diseño de futuras investigaciones relacionadas al secado de materiales contaminados para su integración en las fórmulas aleadas de la construcción civil de estructuras para la vivienda, carreteras y caminos.

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL

2.1. Las aguas residuales

2.1.1. Generalidades

Fuentes (2012) afirma:

La contaminación de afluentes por aguas residuales es reconocida a partir del inicio del siglo XX, cuando el agua resultante del uso humano a nivel urbano y también a nivel industrial se descargaba en ríos sin un tratamiento previo. El índice de contaminación fue tal, que se promovió el desarrollo de trampas para evitar que las aguas desemboquen en los afluentes, apareciendo así la fosa séptica (Fuentes, 2.012, p. 11)

Según Fuentes (2012), lejos de terminar con el problema, los reboses de las pozas fueron originando nuevas alternativas inválidas, hasta que aparecieron en Estados Unidos y el centro de Europa, las primeras plantas de tratamiento de aguas residuales. Ortodoxas desde su estructuración, pero con la esencia funcional que hoy se conoce en América Latina.

A partir del proceso de tratamiento de agua utilizada, aparece el término *aguas residuales*. La filosofía del término representa el extracto del modernismo. El ser humano aprendió la eficiencia del manejo del agua, pero descuidó entender qué hacer con el agua una vez utilizada (De Boer, A., 2.013).

De Boer (2013) admite que el dilema de las aguas residuales, sigue siendo una asignatura pendiente con altos costos políticos, financieros y ambientales en casi todos los países del mundo. Castañeda (2013) argumenta que la problemática se ve reflejada con mayor intensidad en los países en vías de desarrollo, quienes deben decidir en financiar proyectos de tratamiento sanitario del agua residual o las obras infraestructurales básicas para el desarrollo integral de sus civilizaciones.

Las aguas residuales son conocidas también como aguas servidas al ser generadas por uso doméstico o industrial. Son residuales, por haber sido usadas en determinadas funciones: limpieza de viviendas y oficinas, descarga de lavabos, limpieza de autos, baño de personas y animales, fregado de las vajillas, entre otros. Estas aguas grises, si no son tratadas independientemente y se mezclan con las aguas

negras, constituyen un residuo, el que no puede reutilizarse para otros usos sin un tratamiento previo, es decir algo que no sirve para el uso directo (Orellana, X., 2.015).

Grefa (2013) publica: “Las aguas residuales se definen como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias” (Grefa, L., 2.013, p. 2)

Las aguas residuales son consideradas dispersiones dada una gran cantidad de impurezas en su constitución. El tamaño de estas partículas varía ampliamente a razón de 10^{-8} centímetros en sustancias solubles y 10^{-2} centímetros para la materia en suspensión (Aguilar, M.; Sáez, J.; Loréns, M.; Soler, A.; Ortuño, J., 2.002).

2.1.2. Tratamiento de Aguas Residuales

Alcívar (2011) expresa que previo a la descarga de las aguas residuales a los cuerpos hídricos que las desalojen definitivamente, se debe realizar un tratamiento que minimice el nivel contaminante del agua. Así se han originado las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) o estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR).

Según Grefa (2013) la finalidad del tratamiento es la reducción contaminante para hacer posible desde la perspectiva ambiental y legal el vertido al medio acuático natural: ríos, mar, lagos, embalses, o al terreno, así como su reutilización para la agricultura, industria u otros fines. A este proceso se le conoce como regeneración de aguas residuales. El grado de depuración necesario para cada tipo de contaminante se define mediante modelos de capacidad de autodepuración del medio receptor y la observación de las normativas ambientales vigentes en cada país o zona.

Grefa (2013) determina:

La complejidad del sistema de tratamiento está en función de los objetivos que se establezca para el efluente resultante de dicho tratamiento. Teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos disponibles para la depuración de las aguas residuales es común hablar de niveles de tratamiento, como: preliminar o pre-tratamiento, tratamiento primario, secundario y tratamiento terciario o avanzado (Grefa, L., 2.013, p. 12)

2.1.3. Tipos de Tratamientos

2.1.4. Pre-tratamiento

Según Grefa (2013) la finalidad principal del pre-tratamiento es eliminar materias gruesas o visibles que lleva el agua residual. El vertido de estas materias al medio receptor produce un impacto fundamentalmente estético. Si pasan etapas posteriores de la línea de depuración se generan problemas y un deficiente funcionamiento de los procesos. Se trata de eliminar:

- Residuos sólidos o basura que se pueden encontrar en un colector. Se evitan problemas que este material grueso podría provocar en otros tratamientos posteriores (estancamiento fundamentalmente).
- Partículas discretas sedimentables o arenas, perjudiciales para los posteriores procesos de eliminación de contaminación (Grefa, L., 2.013).

2.1.5. Tratamiento Primario

Campos (2003) determina:

“El propósito del tratamiento primario es remover el material sólido del agua residual. El material sólido de cierto tamaño, como hojas o palos, puede ser removido por medio de rejillas. Los sólidos orgánicos suspendidos se eliminan por medio de sedimentación. Los desarenadores son dispositivos hidráulicos que reducen la velocidad del agua, de manera que permiten sedimentar las arenas u otros sólidos inorgánicos presentes en el agua. Un tratamiento primario típico debería remover aproximadamente la mitad de los sólidos suspendidos del agua residual tratada”. (Campos, I., 2.003, p. 63)

“El tratamiento primario es sencillo y se basa en los principios de separación mecánica (las rejillas) y separación hidráulica (sedimentador). En el sedimentador primario, denominado también clarificador primario, la bio oxidación se considera despreciable. El tratamiento es de fácil operación y bajo costo, pero su eficiencia es baja; lo cual significa que en algunos casos no se logran alcanzar las normas de calidad de agua establecidas para efluentes de agua residual. Por ejemplo, mediante tratamiento primario se remueven los sólidos suspendidos, pero no los sólidos disueltos” (Campos, I., 2.003).

2.1.6. Tratamiento Secundario

Orellana (2015) asevera:

El tratamiento secundario abarca procesos biológicos tanto aerobios, como anaerobios, así como fisicoquímicos (floculación) que aminoran gran parte de

la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). Tiene como objetivo remover los sólidos en solución y disgregados modificándolos biológicamente y posteriormente sometiéndolos a la sedimentación. Dicho proceso biológico y natural es controlado y en el mismo actúan los microorganismos que se encuentran en el agua servida junto a los que se desarrollan en el contenedor secundario. Estos son fundamentalmente bacterias, que viven de los sólidos coloidales suspendidos, generando en su degradación agua y anhídrido carbónico y formándose como resultado una biomasa bacteriana que cae sobre el estanque secundario (pág. 21).

2.1.7. Tratamiento Terciario

Orellana (2015) asevera:

Direccionado a la disminución final de metales pesados, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y/o contaminantes químicos específicos, así como la erradicación de parásitos y agentes patógenos. Se lleva a cabo con el objetivo de eliminar algunos contaminantes específicos tales como fosfatos derivados del empleo de detergentes domésticos e industriales, los cuales ocasionan un crecimiento vertiginoso de la flora acuática, consumiendo el oxígeno presente y diezmando la fauna propia del sitio del depósito (pág 21-22).

Item	Nivel de tratamiento			
	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
Contaminantes removidos	Sólidos gruesos (basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico (pH)	Sólidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente)	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes patógenos (principalmente)
Eficiencias de remoción	DBO: 0-5% Coliformes: ≈ 0% Nutrientes: ≈ 0%	SS: 60-70% DBO: 30-40% Coliformes: 30-40% Nutrientes: < 20%	SS: 60-99% DBO: 60-99% Coliformes: 60-99% Nutrientes: 10-50%	SS: > 99% DBO: > 99% Coliformes: > 99,9% Nutrientes: > 90%
Mecanismo predominante	Físico	Físico	Biológico o químico	Biológico o químico
Cumple patrón de vertimiento	No	No	Usualmente sí	Sí
Cumple patrón de reuso	No	No	Usualmente sí ¹	Sí ²
Aplicación	Agua arriba de estaciones de bombeo Etapa inicial del tratamiento Indispensable. Independiente de la complejidad del tratamiento y del uso del efluente (vertimiento o reuso agrícola)	Tratamiento parcial Etapa intermedia de tratamiento Su uso depende del tipo de tratamiento posterior Recomendable en reuso para evitar obstrucción de los sistemas de riego	Tratamiento más completo para remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos Para nutrientes con adaptaciones o inclusión de etapas específicas (parcialmente) Adecuada para aplicación en riego (con desinfección)	Tratamiento completo para remoción de material no biodegradables y disuelto Remoción de nutrientes y coliformes Principalmente, para la remoción de patógenos Sin restricción de uso para cualquier tipo de cultivo

Ilustración 1. Características de los principales niveles de tratamiento

SS, sólidos suspendidos; DBO, demanda bioquímica de oxígeno

1 Según forma de nitrógeno y aprovechamiento de los cultivos

2 Sin restricción para cualquier tipo de cultivo (Parreiras, 2005)

Fuente: Adaptado de Silva, Torres, y Madera (2008). Von Sperling, 1996; Torres (2000); Metcalf y Eddy (2003).

2.1.8. Lagunas de Oxidación

Una laguna de oxidación es un depósito de unos 2 m de profundidad y un área superficial que se calcula en función carga en DBO del agua residual y del tiempo de retención, donde la materia orgánica se descompone por los microorganismos de forma aerobia en la superficie y anaerobia en el fondo. Mediante este sistema se consiguen una eliminación de la DBO comprendida entre el 75 y 86%. El efluente que resulta contiene cantidades notables de algas que aumentan su DBO, además la acumulación del detritus final en su fondo hace necesario su drenaje. Otro inconveniente está relacionado con los bajos rendimientos que se consiguen en invierno (Contreras, A. ; Molero, M., 2.011, p. 210).

“Las lagunas facultativas son las más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas en países de desarrollo, y que se les denomina lagunas de oxidación de agua residual doméstica o laguna fotosintéticas. El tiempo de retención hidráulica varía de 5 a 30 días y la profundidad de 1.5 a 2 m, dependiendo de su localización geográfica, clima y del volumen requerido para almacenar el lodo sedimentado. Se recomienda mantener un bordo libre de 0.5 a 0.8 m para minimizar los efectos del viento y el oleaje, así como absorber temporalmente sobrecargas hidráulicas (Martínez, 2003)” (Orellana, X., 2.015, p. 22).

“Las lagunas facultativas poseen una zona aerobia y una anaerobia, ubicadas en la superficie y en el fondo respectivamente. La función de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando por las algas. El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes (Olivos, 2010)” (Orellana, X., 2.015, p. 22).

2.1.9. Pozos sépticos

Según lo expuesto por Alcívar (2011) los pozos sépticos son cámaras sumergidas en el suelo que tienen como finalidad la descomposición de la materia orgánica por efecto de la microbiota existente en el agua residual. La estructura es realizada a base de ladrillos y cemento, dejando el fondo expuesto al suelo, que finalmente será la ruta de escape de agua residuo. El pozo séptico debe estar conectado

al sistema de evacuación sanitario de la casa y debe ser evacuado a través de acción de un carro extractor que disponga los desechos de manera práctica hacia la planta de tratamiento más cercana. Por temas de salubridad es indispensable que no existan fugas de gases hacia el ambiente, evitando malos olores y problemas de contaminación.

2.2. Lodos y fangos contaminantes

2.2.1. Generalidades

Batallas establece:

Las aguas residuales representan un problema para el mundo, sin embargo, estudiar sus características debe ser una obligación moral para el mejoramiento ambiental de las civilizaciones. Las aguas residuales contienen su propio grupo de características como: olor, color, sólidos y materia flotante, siendo los dos últimos los que concentran la materia sólida que se transforma en lodo o fango residual (pág. 19-20).

Partiendo del concepto básico de Trapote (2002) que define a los lodos o fangos como desechos que se producen durante la depuración del agua. Alcívar (2011) los identificó como saturados de agua producto del excedente tangible de materia orgánica producto del tratamiento de aguas residuales. Los lodos residuales son una de las fuentes antrópicas de elementos potencialmente tóxicos que revisten gran importancia ambiental debido a las grandes cantidades generadas (Bautista, F., 1.999).

Rubio (1976) identificó a los lodos como: “Cuerpos contaminantes eliminados de la fase líquida, a lo largo del tratamiento de depuración de aguas, cualquiera que sea su naturaleza, más o menos concentrados en suspensiones acuosas” (Rubio, J., 1.976, pág. 8)

“El lodo es un subproducto no peligroso, semisólido o líquido generado en las plantas de tratamiento de aguas servidas, dentro del subsistema urbano o periurbano. Presenta una composición química variable, atribuible a las diferencias considerables en clima, forma y uso del terreno, distribución de la población, problemas de calidad del agua y del estatus económico de la ciudad (Naidu, *et al.*, 2004)” (Henríquez, O., 2.011, p. 18)

Según Rodríguez (2008), el lodo residual salido de todo tipo de estaciones depuradoras de aguas residuales domésticas, urbanas o de aguas residuales de composición pesada, así como las procedentes de fosas sépticas y de otras

instalaciones de depuración similares, utilizadas para el tratamiento de aguas residuales.

Rubio (1976) asegura que: “Se denomina lodos de aguas residuales a las suspensiones, más o menos concentradas, de las sustancias contaminantes eliminadas de la fase líquida en el proceso de depuración y sustancias añadidas en el tratamiento para mejorarlo” (Rubio, J., 1.976, pág. 8)

Galvis y Rivera (2013) afirman: “Los principales constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamiento incluyen basuras, arena, espuma y lodo” (Galvis, J.; Rivera, X., 2.013, pág. 29)

En este aspecto Alcívar (2011) explica:

Algunos de los métodos de eliminación de lodos residuales son empíricos e impregnados de técnicas obsoletas para la época. La mejor solución es la búsqueda de alternativas viables de reutilización de los mismos, no sin antes comprobar su origen y composición (pág. 7).

“En la mayoría de los procesos de tratamiento primario de aguas residuales, así como en los secundarios, se producen lodos de los que hay que deshacerse de forma adecuada” (Ramalho, R.; Jiménez, D. ; de Lora, F., 2.003, pág. 531)

2.2.2. Clasificación de Lodos Residuales

“Lodo primario: es producido durante los procesos de tratamiento primario de las aguas residuales. Esto ocurre después de las pantallas y desarenado y consiste en productos no disueltos de las aguas residuales. La composición del lodo depende de las características del área de recogida de las aguas. Generalmente contiene una gran cantidad de material orgánica, vegetales, frutas, papel, etc. en un estadio inicial de descomposición. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 92% y 96% (Winkler, 1986)” (Galvis, J.; Rivera, X., 2.013, p. 30).

“Lodo activado: La eliminación de la materia orgánica disuelta y los nutrientes de las aguas residuales tiene lugar durante el tratamiento biológico del agua, por un complejo proceso donde interactúan distintos tipos de bacterias y microorganismos, que requieren oxígeno para vivir, crecer y multiplicarse y consumen materia orgánica. El lodo resultante llama lodo activo. Este lodo, generalmente, está en forma de flóculos que contienen biomasa viva y muerta además de partes minerales y orgánicas absorbida y almacenada. El comportamiento de sedimentación de los flóculos de los lodos activos es de gran importancia para el funcionamiento de la planta de tratamiento biológico. Los flóculos deben ser removidos, para separar la biomasa del agua limpia, y el volumen requerido de lodo activo puede ser bombeado de nuevo en el tanque de aireación (Winkler, 1986)” (Galvis, J.; Rivera, X., 2.013, p. 30).

Exceso de lodo, lodo secundario: En el proceso de tratamiento, es conveniente alcanzar una vida del lodo constante, para lograrlo, la biomasa en exceso debe de eliminarse de la planta biológica de tratamiento de lodo. El lodo secundario es rico en lodo activo (Winkler, 1986)” (Galvis, J.; Rivera, X., 2.013, p. 30).

Lodo terciario: Se produce a través de procesos de tratamiento posteriores, con adición de agentes floculantes (Winkler, 1986)” (Galvis, J.; Rivera, X., 2.013, p. 30).

Según Valderrama (2013) otro tipo de clasificación está acorde al contenido de metales pesados y a su calidad microbiológica, de acuerdo a lo establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos en sus apartados 260 y 261.

- Lodo peligroso, presencia de contaminantes tóxicos.
- Lodo no peligroso, las concentraciones de sus componentes son inferiores a los valores establecidos por la EPA.

A continuación, la reglamentación relacionada a los sólidos biológicos, su uso y disposición bajo el Code of Federal Regulations (CFR), 40 CFR parte 503 de 1993 publicada por la EPA. Ofrece límites numéricos a 10 metales (Orellana, X., 2.015):

Tabla 1. Límites numéricos a 10 metales

#	Elemento	Valor límite (mg/kg de materia Seca)	Tasa de carga acumulativa	Concentración del componente (mg/kg)	Tasa de carga anual
1	Arsénico	75	41	41	2.0
2	Cadmio	85	39	39	1.9
3	Cromo	-	-	-	-
4	Cobre	4300	1500	1500	75
5	Plomo	840	300	300	15
6	Mercurio	57	17	17	0.85
7	Molibdeno	75	-	-	-
8	Níquel	420	420	420	21
9	Selenio	100	100	100	5.0
10	Zinc	7500	2800	2800	140

Fuente: Valderrama (2013). Adaptado de (Orellana, X., 2.015)

Según Orellana (2015): “De acuerdo con los límites de calidad microbiológica de la EPA presentados en el cuadro 2 un lodo de buena calidad, se clasifica como Lodo Clase A o Lodo Clase B”:

- “Lodo Clase A, Los agentes patógenos no pueden ser detectados. Las imposiciones de atracción de vectores y el escaso contenido de metales son satisfechos. Solamente será necesario la demanda de permisos para certificar el cumplimiento de las normas.
- Lodo Clase B, Deben ser tratados y los patógenos se detectan, pero aún contienen niveles detectables de agentes patógenos. A las dos clases de lodo se les debe hacer análisis microbiológicos para determinar ciertos parámetros que se demuestran en el cuadro 3 (Valderrama, 2013)” (Orellana, X., 2.015, p. 27).

Tabla 2. Límite de calidad microbiológica de lodos

Parámetro	Lodo clase A	Lodo clase B
Coliformes fecales o salmonela	<1000 NMP/g o UFC/g <3 NMP/4g	<2000000 NMP/g o UFC/g
Huevos de Helminto	1 huevo viable/4 g	-

Fuente: Valderrama (2013). Adaptado de (Orellana, X., 2.015)

2.2.3. Proceso para Obtención de Lodos Residuales

“Los sistemas de depuración convencionales generan dos tipos fundamentales de lodos, con características diferentes. Los lodos primarios son generalmente de color gris y aspecto grasiento, con un olor extremadamente molesto en la mayoría de los casos, mientras que los secundarios tienen una apariencia floculenta de color marrón que, si el proceso biológico se ha realizado correctamente, tiene el característico olor a tierra que no es molesto, aunque puedan entrar rápidamente en putrefacción. Ambos tipos de lodos se suelen mezclar previamente al inicio del proceso de tratamiento de los mismos en la llamada línea de lodos, antes de su destino final. Esta mezcla de lodos suele ser un líquido o un líquido–semisólido con gran contenido de sólidos entre 0.25–12% (Metcalf y Eddy, 1995)” (Collado, D., 2.002, p. 6). El origen de ambas tipologías se produce a partir de procesos plenamente identificados.

Así, Sainz (2005) expresa: “El proceso de lodos o fangos activos fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett. Supone la producción de una masa activa de microorganismos capaz de estabilizar la materia orgánica biodegradable de un agua residual de manera aerobia” (pág. 233). Manahan (2006) establece: “El tratamiento de las aguas residuales con lodos activados o lodo activo es el ejemplo más común de un proceso aerobio de cultivo en suspensión” (pág. 213).

Lodo activado de retorno: El lodo activo de retorno que proviene del tanque de aireación biológica al clarificador final. Los flóculos de lodo activo sedimentan al fondo y pueden separarse del agua limpia residual. La mayoría del lodo que se lleva de nuevo a tanque de aireación e llama lodo activo de retorno (Winkler, 1986)” (Galvis, J.; Rivera, X., 2.013, p. 30).

Burgos (2005) argumenta sobre el proceso de lodos activos

Consiste en introducir el agua residual al reactor biológico con sustrato y microorganismos bajo determinadas condiciones y con disponibilidad de oxígeno, donde se producirá la estabilización aerobia de materia orgánica. Mediante este procedimiento a la salida del reactor tendremos un afluente con una concentración menor de materia orgánica y con microorganismos en elevada concentración por haber metabolizado el sustrato y crecido en número ante las buenas condiciones ambientales del reactor, se debe agitar el líquido del reactor para que todos los microorganismos tengan similar acceso al alimento, así como controlar el consumo de materia orgánica y la disponibilidad de oxígeno (pág. 20).

Según Aguilar (2011) y Collado (2002) el espesado es un procedimiento empleado para aumentar el contenido de sólidos por eliminación de parte de la fracción líquida del mismo. Se suele llevar a cabo por procedimientos físicos como el espesado por gravedad (sedimentación), flotación (inyección de aire disuelto), centrifugación (espesado y deshidratado), filtros banda por gravedad y espesadores de tambor rotativo.

Collado (2002) y Aguilar (2001) establecen

La estabilización del lodo se desarrolla para reducir la presencia de patógenos, eliminar olores e inhibir la descomposición. Algunos de los medios son:

- “La digestión anaerobia en los que participan microorganismos facultativos y anaerobios que transforman en conjunto compuestos orgánicos en CO_2 y metano, permitiendo la reutilización del biogás producido como fuente de energía (Oorthuys y Lokin, 1992)” (Collado, D., 2.002, p. 6).
- La digestión aerobia es una aireación prolongada de los lodos que destruye los sólidos volátiles de forma biológica. Se emplea para plantas pequeñas¹ (Aguilar, M., 2.001).
- “El tratamiento térmico por su parte, aplica calor con la finalidad de desinfectar o esterilizar el lodo, siendo empleado además para reducir la humedad del residuo (Cuesta, 1992; Permuy, 2000)”. (Collado, D., 2.002, pp. 6-7).

2.2.4. Constitución de los Lodos Residuales

De acuerdo con lo expuesto por Rubio (1976), los lodos residuales están constituidos por:

- “Materias Granulosas minerales (arena, limo, escoria, cascarilla) de elevada masa específica.
- Materias floculadas o gelificadas procedentes generalmente de las partículas coloidales (orgánicas o minerales) que engloban un volumen importante de agua ligada de masa específica reducida (flóculos

biológicos de alto contenido en proteína, flóculos de hidróxidos metálicos).

- Grasas y aceites de pequeña masa volúmica y de carácter hidrófobo” (pág. 8).

“Las propiedades químicas de los lodos tratados o biosólidos son afectadas por varios factores entre ellos, la calidad de las 19 aguas servidas, la extensión del tratamiento, las modalidades de procesos y los métodos de estabilización. Según Metcalf y Eddy (1995), los lodos producidos en las operaciones y procesos de tratamientos de las aguas residuales suelen ser un líquido o líquido semisólido con un contenido en sólidos, dependiendo de las operaciones y procesos de tratamiento variable entre 0,25 y 12% en peso, sus características químicas están relacionadas con su contenido orgánico, nutrientes, concentración de metales y químicos orgánicos tóxicos, a continuación se presentan algunas propiedades (Epstein, 2003)” (Henríquez, O., 2.011, pp. 18-19).

Tabla 3. Algunas propiedades químicas típicas de lodos tratados o biosólidos

Propiedades	Unidad	Rango
Sólidos totales	%	0,83-1,16
Sólidos volátiles	%	59-88
Aceites y grasas	%	0,5-12
Proteínas	%	32-41
Nitrógeno	%	2,4-5
Fósforo	%	1,2-4,8
Potasio	%	0,4-0,5
pH		6,5-8,0
Alcalinidad	mg/l (Ca CO ₃)	580-1.100
Ácidos orgánicos	mg/l (HAc)	1.100-1.700
Contenido de energía	kcal/kg	18.500-23.000

Fuente: Metcalf y Eddy (1995) en Henríquez (2011).

2.2.5. Características de los Lodos

Algunas de las características de mayor incidencia de los lodos residuales se pueden citar a la cantidad esperada, el contenido de nutrientes y de sustancias químicas y el contenido de metales pesados. Estas propiedades varían con el tipo de operación o proceso de aguas residuales que los produce, así como con la concentración del agua residual (Burgos, D., 2.005).

Burgos (2005) asevera:

Todos los lodos crudos tienen un contenido bajo de sólidos, entre el 1 y el 6% Tchobanoglous y Crites (2000). Este es el motivo por el que la disposición de su pequeño contenido de sólidos requiere el manejo de un gran volumen de lodo. Dicho volumen depende principalmente de las características del agua residual, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de sólidos, del contenido de humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos. La cantidad de lodo producido es muy variable, dependiendo del proceso de tratamiento usado y de la concentración de aguas residuales; en los cuadros se resumen los valores típicos de las cantidades y características (pág. 29).

Tabla 4. Producción de lodos de un tratamiento de aguas residuales

PROCESO U OPERACIÓN	LODO SECO, ton/106 gal	
	INTERVALO	VALOR USUAL
Sedimentación primario o tanques Imhoff	0.45 – 0.7	0.60
Lodos activados	0.3 – 0.4	0.35
Filtros percoladores	0.25 – 0.4	0.30
Laguna aireada	0.35 – 0.5	0.40*
Aireación extendida	0.35 – 0.5	0.40*
Filtración	0.05 – 0.1	
0.07* Incluye lodo primario		

Fuente: Sistema de Manejo de Aguas Residuales (Tchobanoglous y Crites, 2000), Tomo 3 en Burgos (2005).

Tabla 5. Características de lodos residuales

PROCESO	HUMEDAD DEL LODO		DENSIDAD RELATIVA	
	INTERVALO	TÍPICO	SÓLIDOS	LODO
Sedimentación primaria	88 – 96	95	1.4	1.02
Filtro percolador	91 – 95	93	1.5	1.025
Precipitación química	---	93	1.7	1.03
Lodos activados	90 – 93	92	1.3	1.005
Tanques sépticos	---	93	1.7	1.03
Tanques Imhoff	90 – 95	90	1.6	1.04
Aireación prolongada	88 – 92	90	1.3	1.015
Lodo primario digerido anaeróbicamente	90 – 95	93	1.4	1.02
Laguna aireada	88 – 92	90	1.3	1.01
Lodo primario digerido aeróbicamente	93 – 97	96	1.4	1.012

Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales (Rojas, 2004), en Burgos (2005).

2.2.6. Concentración en Materia Seca

“Se denomina también sequedad de la suspensión fangosa. No tiene en cuenta las sustancias disueltas y se expresa, generalmente, en gramos litro o en porcentaje de la masa total del lodo” (Rubio, J., 1.976, p. 9).

2.2.7. Contenido en Materias Volátiles

Rubio (1976) determina:

Expresada en porcentaje de masa de la materia seca. En el caso de aguas usadas urbanas o de aguas tratadas biológicamente, este contenido es característico generalmente, del contenido en materias nitrogenadas y constituye un dato valioso sobre las posibilidades de deshidratación mecánica (Rubio, J., 1.976, p. 9).

2.2.8. Viscosidad

Este factor puede alcanzar hasta 30 centipoises con algunos lodos espesados de decantación primaria de aguas residuales urbanas concentradas al 12% aproximadamente (Rubio, J., 1.976).

2.2.9. Tixotropía

Según Miravete (2003): “Tixotropía es la propiedad de un cuerpo que está inicialmente en estado gel de pasar a estado líquido por la acción de una fuerza interior y recuperar el estado de gel cuando vuelve a reposo (permitiendo rellenar huecos y fijarse a superficies verticales)” (pág. 476).

2.2.10. Determinación de pH

Galvis y Rivera (2013) sostienen:

El termino pH es utilizado universalmente para determinar si una solución es acida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidronio de una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, estos valores miden el grado de acidez o basicidad de una disolución. Los valores inferiores a 7 y próximos a 0 indican aumento de acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indica neutralidad (Romero, 2000) (pág. 32).

2.2.11. Determinación de Alcalinidad

“La alcalinidad es una medida de la capacidad de una muestra de neutralizar ácidos. La alcalinidad puede generarse por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o de amonio, siendo la causa más común los bicarbonatos de calcio y magnesio (Montoya, 2011)” (Galvis, J.; Rivera, X., 2.013, p. 29).

2.2.12. Determinación de Acidez

Según Galvis y Rivera (2013):

La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa de neutralizar una base fuerte. La titulación con Hidróxido de Sodio NaOH mide la concentración de ácidos minerales como el ácido sulfúrico, el dióxido de carbono disuelto y de sales de hidrolisis ácida. La acidez se origina en la disolución de Dióxido de Carbono atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en la descarga de aguas residuales industriales (Montoya, 2011) (pág. 32).

2.2.13. Determinación de Humedad

Galvis y Rivera (2013) determinan:

El agua es el único ingrediente que está prácticamente presente en casi todas las materias conocidas, tales como orgánicas e inorgánicas y su cantidad, estado físico y dispersión en estas afectan su aspecto, olor, sabor y textura. Las reacciones químicas y las interacciones físicas del agua y de sus posibles impurezas con otros componentes de los alimentos determinan frecuentemente alteraciones importantes. Cualquier materia en general puede considerarse que está integrada por dos fracciones primarias: su materia seca y cierta cantidad de agua o humedad (Montoya, 2011) (pág. 32).

2.2.14. Determinación de Cenizas

De acuerdo con Galvis y Rivera (2013):

La incineración para destruir toda la materia orgánica de una muestra cambia su naturaleza; las sales metálicas de los ácidos orgánicos se convierten en óxidos o carbonatos o reaccionan durante la incineración para formar fosfatos, sulfatos o haluros y algunos elementos, como el azufre y los halógenos, pueden no ser completamente retenidos en las cenizas perdiéndose por volatilización. En general, las cenizas se componen de carbonatos originados de la materia orgánica y no propiamente de la muestra, la determinación debe cuidando de no sobrepasar la temperatura indicada en la metodología, pues se podrían descomponer los carbonatos presentes y se volatilizarían otras sustancias como los compuestos de fósforo produciendo resultados erróneos (Montoya, 2011) (pág. 32-33).

2.2.15. Características Microbiológicas

Valencia (2008) determina:

- “Salmonella: La Salmonella pertenece a la familia Enterobacteriaceae, género Salmonella. Es un bacilo gramnegativo aerobio y anaerobio facultativo, puede producir ácido a partir de la glucosa. Los microorganismos pertenecientes al grupo Salmonella son gérmenes patógenos causantes de enfermedades en humanos y animales. Existen distintos serotipos, igualmente patógenos para humanos y animales por lo que desde el punto de vista de salud pública es

importante su identificación final. La infección causada por este patógeno lleva el nombre de Salmonellosis y puede producir síntomas tales como fiebre, náuseas, vómito, dolor abdominal y diarrea (Moller, 2004). La determinación de presencia de *Salmonella sp.* es buena representación de la reducción de otros patógenos bacterianos por tener un comportamiento similar a la mayoría de microorganismos que son igual de resistentes (Campos, 2005)” (Valencia, N., 2.008, p. 9).

- “Coliformes Fecales: En general, los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. Las bacterias coliformes, en su mayoría, se encuentran en abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo, por lo que los lodos residuales presentan una gran cantidad de estas bacterias. Debido a la amplia diversidad del grupo coliformes, este ha sido dividido en dos grupos: coliformes totales y coliformes fecales. Los coliformes fecales y *E. coli* en particular, se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras. Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, cuya característica es que son capaces de fermentar la lactosa a 44.5 °C. (Marín, 2005)” (Valencia, N., 2.008, p. 9).
- “Huevos de Helmintos: Los helmintos representan un elevado riesgo a la salud humana debido a que son altamente persistentes en el agua contaminada (huevo embrionado o larvas) e incluso en los lodos crudos, por lo que al ser estos últimos utilizados como acondicionador del suelo representan una fuente directa de contaminación, dando lugar a enfermedades gastrointestinales. Se toman los huevos de helmintos (su presencia y viabilidad) como parásitos representativos debido a su resistencia. (Campos, 2005)” (Valencia, N., 2.008, pp. 9-10).

2.2.16. Tratamiento de Lodos Residuales

De acuerdo con Mendoza y Vigíl (2012) los lodos o biosólidos son una mezcla de aguas negras y sólidos sedimentados. Por su origen reciben el nombre de primarios

y secundarios. Por su estado o tratamiento recibido pueden denominarse crudos o frescos, digeridos, elutriados, húmedos o secos. Como con la porción líquida de las aguas negras, debe disponerse de los sólidos contenidos en los lodos, estos deben someterse en general, a algún tratamiento que sea capaz de modificar las características para que pueda disponerse de ellos sin poner en peligro la salud o causar molestias.

Según Rubio (1976):

Los lodos húmedos deben ser transportarlos desde los lugares de obtención (decantadores, desnatadores, rejillas y tamices) hasta los aparatos donde se acondicionan para su eliminación (espesadores, digestores, filtros, hornos, bombes). El transporte de lodos se realiza generalmente por tubería, ya que es normal tener que sobre elevarlos ya que su obtención, se realiza en las partes profundas de las instalaciones. La conducción puede ser también por gravedad en canal abierto. Hay que considerar que los lodos son sustancias pseudo homogéneas y que por lo tanto su comportamiento hidráulico es complejo. Muchos de ellos son fluidos no newtonianos con propiedades plásticas en lugar de viscosas. Por tanto, su resistencia al flujo será función de su concentración (pág. 14).

Según Oropeza (2006) la tecnología de tratamiento para lodos residuales generados en las PTAR en Estados Unidos y Europa se realiza utilizando alguno de los siguientes cuatro procesos:

Digestión anaerobia: Comprende dos fases, en la primera se forman ácidos volátiles y en la segunda las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de oxígeno molecular (O_2) (Oropeza, N., 2.006, pp. 51-58).

Digestión aerobia: Proceso de aireación prolongada (dotando al sistema de O_2) para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia auto-oxidación, reduciendo así el material celular (Oropeza, N., 2.006, pp. 51-58).

Tratamiento químico: Realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones ácidas. Por su reducido costo y alcalinidad, la cal es el reactivo que más se utiliza (Oropeza, N., 2.006, pp. 51-58).

Incineración: Conduce a la combustión de materias orgánicas de los lodos, y es el proceso con el que se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas

constituídas únicamente por materias minerales del lodo (Oropeza, N., 2.006, pp. 51-58).

“En general, las líneas de tratamiento de lodos residuales se encuentran enfocadas a dos aspectos fundamentales, que son: Reducción de volumen: pueden obtenerse por un simple espesamiento (con el que la sequedad del producto podrá alcanzar en algunos casos el 10 o muy excepcionalmente, el 20%, sin que, por ello, pueda manejarse con pala), deshidratación por drenaje natural, escurrido mecánico, secado térmico, o también y como continuación de una deshidratación, por una incineración.

Reducción del poder de fermentación o estabilización: Consiste en reducir su actividad biológica (tendencia a la putrefacción) y su contenido de microorganismos causantes de enfermedades. La estabilización puede obtenerse mediante procesos tales como: digestión anaerobia o aerobia, estabilización química, pasteurización, cocción, etc. (Dégremon, 1980)” (Oropeza, N., 2.006, p. 64)

2.2.17. Deshidratación de los Lodos

Sainz (2005) identificó a la deshidratación como:

El proceso continuo al espesado y estabilizado, en el que debe ser deshidratado hasta una concentración que permita su evacuación en forma sólida depuradora mediante camión u otro medio de transporte, hasta su destino final. Las concentraciones mínimas de materia seca de las tortas para una buena evacuación, debe ser igual o superior al 20% en materia seca. Para alcanzar esta concentración o superiores, se utilizan diversos sistemas, siendo los más utilizados: Eras de secado, filtración (bandas, vacío, presión, etc.), centrifugación y procesos térmicos. El destino final de los lodos generados, una vez deshidratados, en una planta depuradora de aguas residuales urbanas puede ser vertedero o reutilización con fines agrícolas (pág. 66).

Según Rubio (1976) “el componente principal de los lodos es el agua, pudiendo contener hasta el 95% de agua, en consecuencia, la eliminación del líquido será el principal objetivo. De este modo se facilitará la evacuación del lodo, toda vez que exista menor peso y volumen”. (Rubio, J., 1.976)

Acorde a lo publicado por Gutiérrez (2009) la deshidratación comprende el retiro del agua concentrada en un cuerpo, logrando de esta manera que este tenga unas determinadas características que lo hagan más fácil de manejar, conservar o utilizar. Este efecto se produce dada la condición dependiente de algunas bacterias imposibilitadas de sobrevivir ante la ausencia de agua, en consecuencia, se produce una mayor conservación de los alimentos.

Como ocurre con los alimentos, la deshidratación fomenta la conservación de la materia, favoreciendo su consumo posterior (Gutiérrez, J., 2.011). El uso de éste principio se ha ido desarrollando a lo largo de la historia en la aplicación en diversas áreas de interés del hombre (Iñiguez, H., 2.014).

2.2.18. Manejo de Lodos Residuales

El criterio para la selección del tratamiento idóneo para la estabilización de un lodo en particular depende de varios factores, tales como: la cantidad y calidad de lodos a tratar, las condiciones particulares del sitio y, la situación financiera en cada caso. Algunos países relacionan la utilización del lodo con una infraestructura costosa, pero con fines justificados, ya que soluciona problemas de contaminación e incorpora nutrientes reciclando elementos vitales en los ciclos biológicos naturales; además de convertir un residuo peligroso en un recurso aprovechable y no peligroso. Así, la denominada gestión de excelencia destina cada residuo a su tratamiento: reciclaje, composteo, incineración y vertedero (Oropeza, N., 2.006, pp. 51-58).

Un ejemplo representativo radica en el Plan de Residuos de Holanda. Ellos fijan objetivos del 30% de reciclaje, 30% de compostaje, 30% de recuperación de energía y el 10% de vertido como residuos no aprovechables. Es decir, apenas se desecha el 10%. En Viena por su parte, el esquema es de 50% de valorización energética, 29% de reciclaje, 12% de compostaje y 9% a vertedero (Oropeza, N., 2.006, pp. 51-58).

En Ecuador no existen datos relacionados con el aprovechamiento de los lodos residuales. La reutilización de lodos residuales prácticamente es nula, existiendo apenas rubros utilizados de manera experimental. Las ciudades no cuentan con adecuados sistemas de depuración de aguas residuales, sin embargo, esta realidad va decreciendo en virtud del cumplimiento de la nueva normativa ambiental vigente para el área (Villafuerte, N., 2.012, pp. 16-17).

<i>Pais</i>	<i>Manejo de lodos</i>
Europa, Australia, Estados Unidos y otros países	Actualmente se realizan investigaciones para utilizar los lodos especialmente tratados, como freno a la contaminación de los acuíferos por productos fitosanitarios y sus impurezas, además servirán para acelerar la descontaminación de suelos que ya estén afectados. También se aplican como fertilizantes en tierras agrícolas.
España	Los residuos de materias orgánicas procedentes de la recolección de residuos separados de origen urbano, así como de la industria, aguas residuales y lodos de plantas de tratamiento pretenden ser utilizados en la agricultura ya que se considera que es el destino más adecuado para este tipo de materias desde el punto de vista ambiental y económico. Se estudia la aplicación de lodos residuales en el control de filtraciones de productos fitosanitarios al acuífero.
Dinamarca	La gran parte de los lodos estabilizados se usan como fertilizante en tierras laborales. El porcentaje de reutilización de los lodos de aguas residuales es de 72%, el 20% se destina a la incineración, y 8% se dispone.
Chile	En 1999 fue aprobado el anteproyecto del “Reglamento para manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas” estableciendo que la operación de plantas de tratamiento de agua potable, agua residual urbana y residuos industriales líquidos genera gran cantidad de lodos, los cuales deben ser tratados y dispuestos de manera adecuada para prevenir impactos negativos en el ambiente.
Argentina	Se han instrumentado plantas de compostaje de lodos residuales, para su posterior aplicación como biosólidos en la agricultura.
México	Recientemente se aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 para lodos y biosólidos, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes contenidos para su aprovechamiento y disposición final.

Ilustración 2. Manejo de lodos residuales en diferentes países

Fuente: www.emision.com/161.htm,2000. Adaptado de (Oropeza, N., 2.006)

2.3. Secado solar de lodos de depuradora

En relación a lo publicado por Valencia (2008): “Desde tiempos remotos, el hombre ha recurrido a la utilización de diferentes tipos de energía para generar calor y poder utilizar éste para su beneficio. Uno de estos beneficios es el secado de diferentes productos: desde vestimenta hasta químicos industriales” (pág. 21).

En un medio para el secado de un material poroso e insoluble en una bandeja aislada, el medio por el cual se seca es el aire caliente que circula sobre la superficie y que proporciona directamente por transmisión, el calor necesario para la evaporación del agua y la calefacción del sólido. Si la velocidad del aire es tal que, virtualmente resulten inafectadas su temperatura, su humedad y su velocidad, se obtiene el secado del sustrato (Rubio, J., 1.976).

Por su parte, Orellana (2015) asevera que, en el secado el lodo del agua residual es secado al aire, durante un mínimo de tres meses. Dos de ellos a una temperatura media diaria ambiente superior a 0°C.

Valencia (2008) define:

“El secado es una operación unitaria que remueve el líquido de un material a través de la aplicación de calor: la humedad contenida en el sólido se transfiere por

evaporación hacia la fase gaseosa, trasladándola a un medio no saturado” (Valencia, N., 2.008, pág. 21)

Una modalidad para el secado de lodos es el aprovechamiento de la energía calórica ofertada por el sol. El uso de la energía solar para el secado puede ser considerado como el más eficiente uso de este tipo de energía. Como el proceso de secado es dependiente de la presencia de energía diurna (en generación de energía, el pico de demanda no coincide con el momento máximo de generación de energía) se requiere de almacenamiento de energía. Los rayos del sol golpean la superficie, luego es absorbida y transformada directamente en calor, pudiendo ser utilizada directamente como aire de proceso (Dry Tec Solar;, 2015).

2.3.1. Secado de Lodos Residuales por Efecto Invernadero

Armijos (2012) determina:

El secado de lodos por efecto invernadero es una tendencia actual en países desarrollados. En esos lugares, la limitada presencia de materias primas para su explotación y los graves trastornos ambientales originados por el extractivismo de las civilizaciones modernas, han originado la oportunidad de reúso de algunos componentes, entre ellos los lodos sanitarios o fangos residuales. (Armijos, A., 2.014, pág. 17)

Una de las modalidades existentes es la transformación de la energía solar en energía calórica a través de la transposición desarrollada por una estructura tipo invernadero. La forma de las estructuras varía de acuerdo a las cantidades, disponibilidad de recursos y ubicación, pero la mecánica será la misma: secado de lodos por deshidratación (Armijos, A., 2.014, p. 17).

Este tipo de tecnología aprovecha el recurso solar en función del desarrollo del reúso de lodos residuales en el sector de la construcción a través de la formación de agregados.

Mattfeld (2014) asegura:

El secado solar es una tecnología alternativa que ha surgido en los últimos años. Desde 1994, los sistemas automatizados de secado solar se han aplicado con éxito en Europa en las plantas de gran tamaño. Se estima que hay más de 200 biosólidos secadores solares en operación en Europa en una variedad de climas que van desde las islas españolas calientes y secas, a las regiones alpinas nevadas de Austria y Suiza, hasta las zonas frías y oscuras del norte de Alemania y el Reino Unido. Con el clima más favorable de América del Norte, esta tecnología ha ganado fuerza significativa en los Estados Unidos, con cerca de 18 plantas en funcionamiento o en construcción. (Mattfeld, B., 2.014, pág. 17)

Independientemente a las ventajas del sistema en la operación de una planta de secado de lodos, se obtiene una discordancia con los costes de la energía cada vez mayores durante el secado. La deshidratación mecánica se puede integrar en el almacenamiento. Por lo tanto, hay mucho por hacer en torno al aumento de la calidad, incluso en los primeros pasos del proceso. El sistema es eficiente y sostenible, ya que se integran pequeñas piezas de desgaste sin necesidad de mantenimiento (Dry Tec Solar;, 2015).

Algunas de las ventajas del uso de los sistemas se detallan a continuación:

- No requiere de sistemas de gran complejidad técnica ni altos costos para el mantenimiento.
- Reducción de costes de la demanda de energía primaria, por lo tanto, también para obtener energía calórica.
- Reducción de los altos costos de energía (hasta un 95 %) y emisiones de CO₂.
- Fortalecimiento de la competitividad.
- Control absoluto del proceso de secado (Dry Tec Solar;, 2015).

A partir de las ventajas señaladas, hay que incrementar aquellas que tienen repercusión ambiental. El proceso de reúso de los lodos residuales permite recuperar el sustrato contaminante paralelamente a la elaboración de agregados para su mezcla en morteros y hormigones de la construcción.

2.3.2. Análisis Estructural y Funcional del Sistema de Secado de Lodos por Invernaderos

Algunos ejemplos estructurales implementados en el planeta, se presentan a continuación:

En Alemania, Bogner, científico en aguas residuales diseñó una sala de secado de lodos que funciona según el principio de efecto invernadero. La energía solar que pasa a través del techo de cristal en la sala, se acumula allí, secando el lodo. Para secar los lodos durante todo el año y también en caso de mal tiempo, la sala está equipada con calefacción por suelo radiante. La calefacción por suelo radiante es suministrada por una bomba de calor con la energía. Se utiliza el calor del efluente del tanque de sedimentación (Bogner, sf).

El lodo pasa del digestor en la sala de secado sin eliminarse de ella por un agua centrífuga. El lodo de aguas residuales de manera pre-secado es descargado con un tornillo de la centrífuga y hacia fuera en el suelo. Por lo tanto, el lodo se seca rápidamente y de manera uniforme. Es un giro totalmente automático llamado WendeWolf (Bogner, sf).

La cantidad de agua perdida por el lodo es críticamente dependiente del tiempo expuesto en la sala de secado, y por lo tanto de su longitud total. Cuanto más larga sea la sala, el más largo es el camino de los lodos a través del pasillo a la superficie de apoyo. Dado que el espacio disponible para la sala era el factor limitante en las instalaciones de la EDAR Murnau, la calefacción por suelo radiante se ha instalado para apoyar el secado. Independientemente de los sistemas fotovoltaicos de la planta de secado estaban en el funcionamiento de los edificios de la planta de tratamiento instalados. La corriente se alimenta en la red (Bogner, sf).

El funcionamiento del estereotipo creado por Bogner determina el uso de mediana y alta tecnología, a diferencia del sistema que se utilizará en la actual investigación, en el que la mecánica será básica y el proceso de secado dentro de la cámara se manejará absolutamente manual.

En ese mismo país, se registra la implementación de una secadora solar de lodos residuales construido en 2015. Diseñado para el secado de una producción máxima de 1.800 t/año y un secado/residuo seco de aproximadamente el 27% torta (sustrato total o materia total). Tiene una eficiencia cercana al 70%. En su máxima capacidad la cantidad de agua evaporada es de 1.100 t/año, obteniéndose lodo seco por 700 t/año (Abwasserzweckverband Unterschleißheim, Eching, & Neufahrn, 2.016).

La planta mide 110 m de longitud y 19 m de ancho, para un área útil 1.800 m². La sala de secado consiste en una estructura de perfiles de acero con marco de doble acristalamiento templado. Los paneles de vidrio tienen una alta transmitancia UV¹. Se asegura la resistencia al granizo carga de rotura y la nieve (Abwasserzweckverband Unterschleißheim, Eching, & Neufahrn, 2.016).

¹ Cantidad de energía que atraviesa, en la unidad de tiempo, una unidad de superficie de un elemento constructivo de caras plano paralelas cuando entre dichas caras hay un gradiente térmico unidad.

El proceso representa un proceso de secado en funcionamiento continuo. Se añade el lodo deshidratado por la entrada de la sala y sale por el otro completamente seco. Con un dispositivo de giro, el llamado *administrador de fango*, el lodo se voltea varias veces al día y al mismo tiempo transmite al depósito en la salida de la sala de secado. El proceso de secado propiamente dicho se ejecuta al voltear la parte húmeda del sustrato hacia la superficie, siendo absorbida por el aire seco (Abwasserzweckverband Unterschleißheim, Eching, & Neufahrn, 2.016).

El proceso es complementado desde el techo por la acción de ventiladores montados a lo largo del pasillo, expulsando en simultáneo el aire saturado de agua a través de una chimenea al exterior de la sala. Los ventiladores se controlan automáticamente en función de exterior y la temperatura interior, la humedad y la radiación solar (Abwasserzweckverband Unterschleißheim, Eching, & Neufahrn, 2.016).

La experiencia mexicana fundamentada en HELIANTIS, una empresa dedicada al tratamiento de aguas residuales en América Latina y a la fabricación de equipos de alta tecnología para este fin, es notoria.

La compañía ha presentado un revulsivo en el manejo de los lodos residuales que utiliza tecnología limpia para la depuración y tratamiento ecológico de los mismos. Se trata del proceso de secado solar de lodos deshidratados lodos en un producto seco y granulado para su reutilización agrícola o la producción de energía térmica, capaz de producir hasta contenido de sólidos secos del 85% (HELIANTIS;, 2.016).

La estructura tipo invernadero, es capaz de transformar cualquier tipo de lodo deshidratado en un producto seco, granulado, con contenido de sólidos secos entre el 35% a 85%. Usando el sol como fuente de energía primaria, el lodo se seca en un invernadero y una máquina *scarifying* da la vuelta y se rompe el lodo en gránulos de carbono-neutrales y sin olor (HELIANTIS;, 2.016).

El lodo deshidratado se traslada directamente al invernadero y depositado en una especie de tolva conectada al escarificador rotativo. Éste gira repetidamente al lodo, rompiéndolo en gránulos y moviéndolo gradualmente hacia la salida. A medida que el lecho de lodo se calienta por el sol, el agua que contiene es evaporada. El aire

húmedo es evacuado para mantener los niveles de humedad óptimo en el invernadero (HELIANTIS;, 2.016).

La experiencia estadounidense por su parte es similar. Desde Norteamérica han desarrollado la tecnología y tratan de generalizarla entre los condados del país. Mattfeld (2014) advierte que el principio básico de funcionamiento de un sistema de secado solar, es evaporar el agua del lodo con 95% de su energía de secado procedente de la energía solar. En muchos casos, los biosólidos se extienden dentro de una estructura de tipo de efecto invernadero que sirve como una cámara de secado. La luz del sol entra en la cámara de secado y calienta el aire interior. Como resultado de este calentamiento, la humedad relativa en el interior de la cámara se incrementa permitiendo la evaporación del agua. El proceso no requiere una fuente de combustible o mano de obra cualificada, lo que reduce significativamente los costos de operación.

Los clientes potenciales en las regiones húmedas del sur del país por lo general han visto estas afirmaciones con escepticismo, por lo que la mayor parte de las primeras instalaciones fueron hechas en el oeste de Estados Unidos, donde las condiciones climáticas son favorables (Mattfeld, B., 2.014, pp. 33-37).

En un estudio de caso especial, la Autoridad de Utilidad Okeechobee (OUA) en el centro de la Florida, opera una planta de tratamiento de aguas residuales que trata a 0,6-1,0 millones de galones de aguas residuales por día. En el pasado, el lodo se ha procesado como biosólidos de clase B y se aplica a campos OUA. Originalmente, la instalación comprendió un contrato para deshidratar los lodos y llevarlos a un vertedero a un costo de \$ 100.000 al año. No obstante la planta necesita para encontrar una solución más rentable (Mattfeld, B., 2.014, pp. 33-37).

Después de probar las tecnologías alternativas, la OUA elegido para instalar un sistema con una centrífuga de deshidratación y tres Thermo-Active System® solares de secado de lodos Cámaras de Parkson Corp. Este sistema brinda factores beneficiosos que incluyen menores costos de operación, la facilidad de operación del sistema y su capacidad para producir una lodos de la clase AA, que ofrece una mayor flexibilidad para su eliminación (Mattfeld, B., 2.014, pp. 33-37).

El proceso de Thermo-System fundamentalmente consiste en una estructura de tipo invernadero con hormigón paredes de piso y de contención, que se refiere como

una cámara de secado. Un pequeño vehículo robótico, el Mole® eléctrico, airea y mezcla el lodo contenido en el interior de la cámara de secado. La cámara de secado incluye salidas de aire y ventiladores de aire de escape para el intercambio de aire entre la cámara de secado y el entorno ambiental (Mattfeld, B., 2.014, pp. 33-37).

Todo sistema de secado de lodos debe contener una estructura básica que le permita un funcionamiento eficiente y práctico al margen del nivel tecnológico con el que cuente. Un área de acopiio que recopile el lodo crudo proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Luego áreas de distribución en las que se disponga el material de manera homogénea en capas no mayores a 15 centímetros (en Chile se lo hace comúnmente en capas de 7 cm, en España 10 cm). La relación cantidad de lodo a procesar y la capacidad del sistema es crucial para deterinar el espesor de la capa (Landes, E., 2.013).

Otro actor preponderante es la aireación, debiendo ser suficientemente capaz de evacuar gases producto del secado e ingreso suficiente de aire para el manejo adecuado de la temperatura. Tambien debe existir un sistema de volteo que en pequeñas escalas podría manejarse de manera manual y en grandes capacidades debe manejarse mecánica o electrónicamente. Además es imprescindible contar con un sistema de evacuación de lixiviados que evacúe los excedentes de agua que no hayan sido catalizados por efectos solares. Finalmente es obligatorio concebir un sistema de monitoreo del porcentaje de humedad y calidad de otras características físico-químicas y microbiológicas en virtud del uso que se de al lodo seco (Landes, E., 2.013).

La experiencia europea y norteamericana cargada de tecnología que representan altos montos de inversión, es muy valiosa y orientadora con el fin de globalizar los métodos de mitigación al impacto ambiental de los lodos residuales. No obstante, los costos paquetes tecnológicos disponibles en la literatura consultada quedan lejos del alcance de presupuestos de países en vías de desarrollo como Ecuador.

Sin embargo, los europeos y norteamericanos cuentan con ciertas situaciones mitigantes como la climatología. Al convivir con cuatro estaciones profundamente marcadas, surgen efectos recalcitrantes para la obtención de material e *in situ* para el procedimiento de secado de lodos. El crudo invierno que se registra en tierras

septentrionales limita la extracción de materia prima que en diferente escala contiene hielo en su constitución.

Por su parte países latinoamericanos, en específico Ecuador, sólo registra dos estaciones extremas: Invierno y verano. En invierno las lluvias se propagan desde diciembre hasta mayo, mientras la época seca mantiene un régimen pluvioso muy bajo, considerándose la época seca. En cualquiera de estas circunstancias climáticas, el proceso de secado bajo efecto invernadero es factible. La extracción de materia prima está asegurada, viabilizando la ejecución del tratamiento en la geografía ecuatoriana. Con ello se considera que Ecuador tiene ventajas comparativas para la implementación de la investigación y su posterior ejecución a nivel comercial en relación a los países del norte.

2.4. Utilización de lodos para obtener materiales de construcción: agregados

Según Zuluaga, Ortega, & Alonso (2010):

Dentro de los procesos de elaboración, la cocción es un paso esencial ya que durante este proceso se producen transformaciones del material arcilloso tanto a nivel químico como estructural. La formación de asociaciones minerales concretas está relacionada, entre otros factores, con la temperatura de cocción alcanzada. Estas asociaciones con frecuencia se utilizan para determinar la técnica de fabricación de cerámicas arqueológicas. (pág. 229)

De acuerdo a este autor, se reconoce la existencia de otros fines útiles para los materiales obtenidos a partir del tratamiento de las arcillas. En el área de la construcción, es indispensable contar con materias primas de primera para asegurar en forma y fondo la formación de agregados de calidad para su utilización en la mezcla de materiales. En este caso, la cocción representa la homogenización de los elementos constitutivos de la arcilla para su posterior uso de manera eficiente, por ende, la motivación esencial del proceso de formación de agregados debe ser la seguridad en su uso con los fines representados en la presente investigación.

Conceptualmente las arcillas permiten el acceso y almacenaje del agua en sus espacios intraporosos, constituyendo así agregados de una fuerte constitución difícil de romper (Zea, N., 2.005). De esta manera, se construye la teoría que fundamenta la presente investigación de formación de agregados para su uso en la construcción.

Los materiales que principalmente se utilizan en la construcción son: Caolinita, montmorillonita y la illita, siendo las últimas las de mayor empleo en el sector

constructivo. La cocción de las arcillas para reuso en procesos constructivos se remota a la fabricación de ladrillos, gres, porcelana y azulejos principalmente (Zea, N., 2.005).

Muchos de estos materiales son utilizados en la confección de los materiales de construcción citados, tiene gran utilidad en la práctica común bajo condiciones estabilizadas la obtención de hormigón y morteros debe realizarse en un ambiente controlado, para que las propiedades del hormigón y mortero fresco, como tiempos de fraguado y trabajabilidad no se alteren (Bermeo, A.; Idrovo, E., 2.014).

Algunos de los resultados registrados por Bermeo e Idrovo (2014) en la experimentación con agregados para elaboración de hormigón, demostraron que siete días después de la elaboración, la resistencia del hormigón con el 5% de Lodos Deshidratados de Ucubamba es superior a la resistencia teórica y al testigo; a medida que transcurre el tiempo las resistencias de los hormigones con los diferentes porcentajes de lodo aumentan pero no superan la resistencia teórica; en el caso del hormigón con el 10% de lodo sustituyente, su resistencia a los 28 días, es ligeramente menor (alrededor del 5.43%) del hormigón teórico.

El mismo estudio determinó también que el hormigón elaborado con lodo de una planta depuradora tiene un mejor comportamiento a compresión vs el hormigón elaborado con el lodo de una planta potabilizadora. El incremento del porcentaje al 10% de lodo proveniente de la planta potabilizadora disminuye su resistencia considerablemente, no así en el caso del lodo de depuradora, que incrementa la resistencia con el transcurso del tiempo (Bermeo, A.; Idrovo, E., 2.014).

Estos resultados dejan evidencia que el factor compresión es incidido por el origen del lodo. El lodo originado en plantas de tratamiento de aguas residuales tuvieron mejor comportamiento en la estructura del hormigón en relación a otro tipo de lodo.

Según Bermeo e Idrovo (2014):

El descenso de la resistencia se presenta debido a que durante la reacción del lodo con los constituyentes de la arcilla, se libera un exceso de cal libre CaO (cal viva), que al reaccionar con el agua se transforma en cal apagada $\text{Ca}(\text{OH})_2$; esta reacción es fuertemente expansiva generando un efecto de destrucción de la matriz coloidal que ya avanza en el proceso de fraguado; por lo que este efecto de la “cal libre”, es una reacción indeseable en el proceso de endurecimiento de los materiales, con incidencia directa en la resistencia de los

mismos” (pág 119). Los morteros elaborados con cenizas provenientes de la incineración del lodo de PTAP y PTAR 7, 14 y 28 días registraron que la resistencia del mortero testigo (cemento, arena y agua) es mayor a del mortero bastardo (cal, arena, cemento y agua) y supera notablemente a la resistencia de los morteros con cenizas (ceniza, arena, cemento y agua).

Para la variable tracción indirecta realizada con los hormigones que contienen lodos de la planta potabilizadora se demostró que los efectos de corrosión provocados por la presencia de sulfatos disminuyen la capacidad para resistir cargas puntuales generalmente provocadas en pavimentos, lo que no ocurrió en los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, inclusive superando al testigo convencional (Bermeo, A.; Idrovo, E., 2.014).

Una vez analizadas estas variables (compresión y resistencia a la tracción) se pudo determinar la estabilidad en el comportamiento del hormigón y mortero obtenido a partir de lodos de tratamientos de aguas residuales. Del mismo modo se pudo comprobar un costo de producción del 13% menor que el metro cuadrado realizado de manera convencional.

Finalmente, Bermeo e Idrovo (2014) concluyeron que:

Al reemplazar hasta el 15% del árido fino por el lodo desecado de PTAP y PTAR, se observó una disminución considerable en la resistencia a la compresión y tracción indirecta en las probetas que contenía lodo proveniente de la planta potabilizadora. No así en el caso de las probetas elaboradas con lodo desecado de la planta depuradora, las mismas que presentaron un mejor comportamiento y resistencias adecuadas para posibles usos estructurales; esto posiblemente debido al aporte de aluminio y hierro predominantes en la composición del lodo, que contribuyen a la formación de la matriz cementante. Una aproximación al porcentaje óptimo de sustitución de árido fino es del 10% con lodos provenientes de PTAR, en donde su resistencia a compresión a los 28 días de edad es de 198.61 kg/cm² y al somerla al ensayo de tracción indirecta soporta una carga máxima de 86.20 KN. En el primer caso cercano al valor de resistencia de diseño del hormigón y en el segundo siendo superior en un 22.7% al valor de la probeta usada como testigo. (Bermeo, A.; Idrovo, E., 2.014, pág. 128)

Los mismos autores determinaron que:

El mortero elaborado con cemento, arena, ceniza de lodo PTAR y agua, presenta un comportamiento muy similar al del mortero elaborado con cemento, cal, arena y agua; pudiendo afirmarse que la ceniza obtenida en el proceso de incineración de los lodos deshidratados de PTAR, funciona adecuadamente como sustituyente de la cal. Dándoles un uso estructural en: muros pocos cargados, cimientos y revoques impermeables. (pág. 129)

Se ha comprobado de manera experimental que las características técnicas del lodo de aguas residuales cumplen con las especificaciones mínimas requeridas para utilizarse como material de construcción. Los resultados técnicos obtenidos establecieron un estándar mínimo en la elaboración de hormigones y morteros para la construcción.

En cuanto al componente ambiental, para asegurar una actividad industrial básica y bajo la normativa vigente referente al aire ambiente, el respectivo estudio de emisiones producidas en la incineración de los lodos determinó el control de los principales gases (CO, NO₂, SO₂), pudiendo verificarse que las concentraciones emitidas están dentro de límite permisible, garantizando así un ambiente laboral adecuado (Bermeo, A.; Idrovo, E., 2.014).

En concordancia con Salcedo (2006) los agregados tanto finos como gruesos más frecuentemente usados para concreto de alto desempeño ejercen una influencia decisiva sobre el comportamiento final del concreto y deben cumplir los requisitos de la Norma técnica ecuatoriana. Sus características más importantes son: Configuración geométrica y textura (rugosa), granulometría, propiedades mecánicas, estabilidad química, entre otros.

Agregados finos: El módulo de finura (parámetro que define qué tan gruesa o fina es la arena) es una de las características más relevantes al momento de elegir un agregado fino. A través de diferentes estudios se ha llegado a la conclusión de que arenas gruesas con módulos de finura entre 2.7 y 3.2, resultan recomendables para una buena manejabilidad y resistencia a compresión. Indudablemente, otro aspecto que es determinante en la elección del tipo de agregado fino, es su mineralogía; en nuestro medio, la arena de río, la arena natural o de aluvión y las arenas de escorias granuladas responden a los requisitos de forma redondeada y granulometría continua, dudando mejores resultados que las obtenidas por trituración (Salcedo, M., 2.006).

Agregado grueso: A diferencia del concreto tradicional, en donde la resistencia depende de la calidad de la pasta y su capacidad de adherencia con los agregados, para concretos de alto desempeño, cuanto menor sea el tamaño máximo del agregado grueso, mayor será la resistencia, ya que con la mejora de la pasta los agregados son la causa de la falla (Salcedo, M., 2.006).

Los agregados a desarrollar por la presente investigación tendrán un tamaño óptimo para su mezcla con los morteros y el hormigón a realizar. Se elaborarán según las necesidades específicas de los estudios subsiguientes.

Ambientalmente la propuesta responde a la necesidad de mitigar el impacto producido por las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Guayaquil sobre la línea base del entorno natural. Los desalojos de lodos residuales han configurado una situación ambiental de difícil control. El destino final de los lodos construye toneladas de capas de relleno sobre las mismas lagunas de oxidación o en la desembocadura de los sistemas, originando costos adicionales, contaminación permanente y lixiviación permanente de líquidos residuales.

Ante esta realidad la propuesta de secar los lodos para convertirlos en agregados con fines constructores, representa una idea innovadora para el sector de la construcción y sobre todo para el área ambiental. Los altos costos financieros y ambientales del desalojo del lodo hacia los vertederos son un problema que todos los GADs cantonales buscan evitar y anhelan resolver. Por estos motivos se plantea la siguiente metodología para el trabajo experimental:

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

El presente estudio se efectuó desde el 1 de junio hasta el 10 de agosto del 2016, en el sector posterior Experimental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, ubicada geográficamente a 2°10'50.6'' de la Latitud Sur y 79°54'17,6'' de Longitud Oeste (UTM: X-516032; Y-8871345) (GOOGLE, 2016).



Ilustración 3. Ubicación geográfica del sitio del ensayo Fuente: Google Earth

3.2. Características climáticas

Según INAMHI (2015) la climatología existente en la ciudad de Guayaquil (estación Universidad Estatal) son las siguientes:

Precipitación anual	966,6 mm
Temperatura media anual	27,7 °C
Humedad relativa anual	68%

3.3. Métodos

3.3.1. Experimental

Se empleó el método experimental, ya que se manipuló la variable independiente (efecto invernadero) para evaluar su incidencia sobre las variables dependientes (secado de lodos residuales). La experimentación se produjo a través de la adecuación de una cámara de secado artesanal de tipo invernadero con la finalidad de observar, evaluar y registrar lo ocurrido sobre los materiales experimentales.

También se utilizaron métodos y técnicas de tipo descriptivas para fundamentar y caracterizar los fenómenos registrados en el ensayo experimental. A través del

método descriptivo se logró establecer el nivel de incidencia de la cámara sobre los materiales experimentales en relación al secado de los mismos.

3.4. Materiales

3.4.1. Construcción de la cámara de secado con efecto invernadero

3.4.1.1. Diseño

El objetivo primordial del diseño de la cámara, fue construir una estructura económica, confeccionada con materiales endémicos y nativos del lugar. Así se logró edificar una cámara en base a caña guadua (Ilustración 4), especie vegetal de libre crecimiento en la zona del valle del Río Guayas. La caña, tiene un elevado nivel de resistencia al peso y movimiento, por lo que se eligió como componente principal de la estructura.

El contrapiso fue construido con una cama de arena y caña picada, con la finalidad de evitar contaminación de los sustratos con algún tipo de material ajeno a la investigación. Se cubrió con tierra las áreas laterales inferiores de la cámara para asegurar absoluto hermetismo en la misma (Ilustración 5). Para un correcto funcionamiento de la estructura, se ajustó el diseño a las especificaciones establecidas para el fin, reguladas por la Norma Europea para invernaderos UNE-ENV 1991 2-3: EUROCODIGO 3, aplicadas en Ecuador por los constructores comerciales (Vivas, 2.016), garantizando la calidad constructiva al evaluar el estándar de resistencia de los materiales.

La cubierta fue montada con plástico de polietileno (Ilustración 5) y pendiente pronunciada de 67° para facilitar la fuga de vapor de agua, con la finalidad de disipar el agua condensada bajo la superficie. El plástico utilizado, de naturaleza transparente, con espesor de 150 micras, fue tensado, cubriendo las laterales y frontales, dejando una parte libre para el ingreso humano. Se procedió a colocar cal en la entrada para mitigar efectos contaminantes en el área experimental (Ilustración 6).



Ilustración 4. Estructura de guadua para cámara de secado



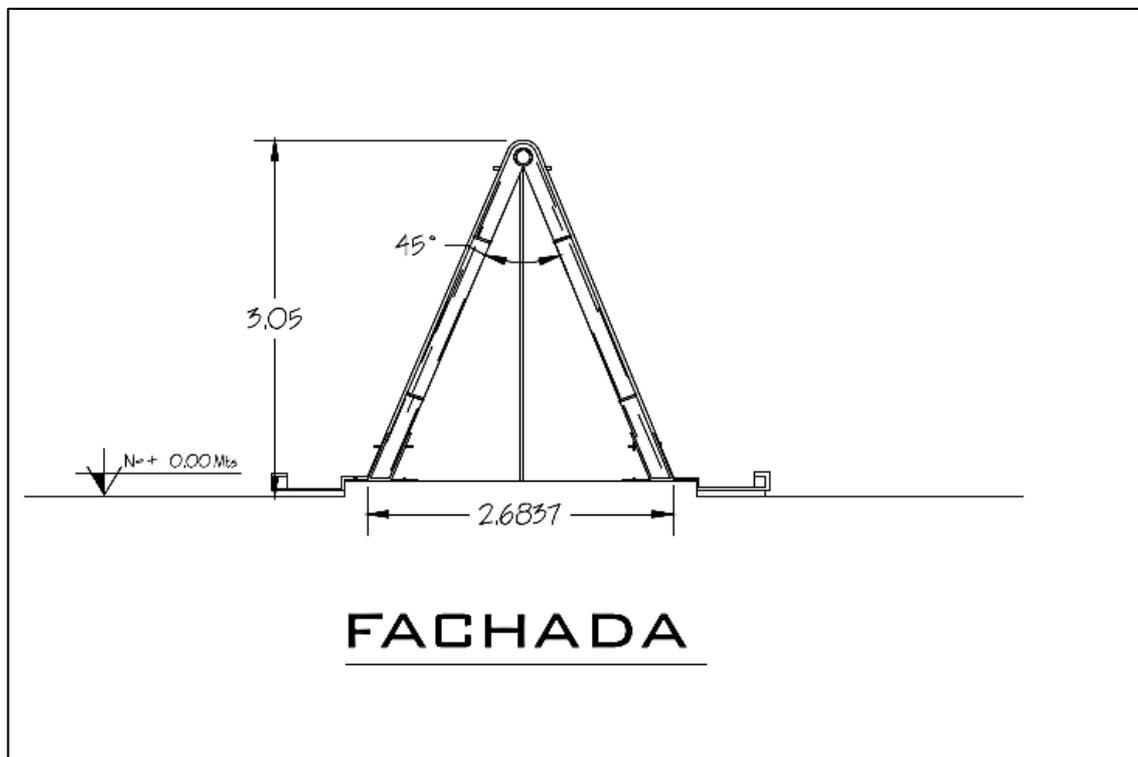
Ilustración 5. Cubierta de Polietileno

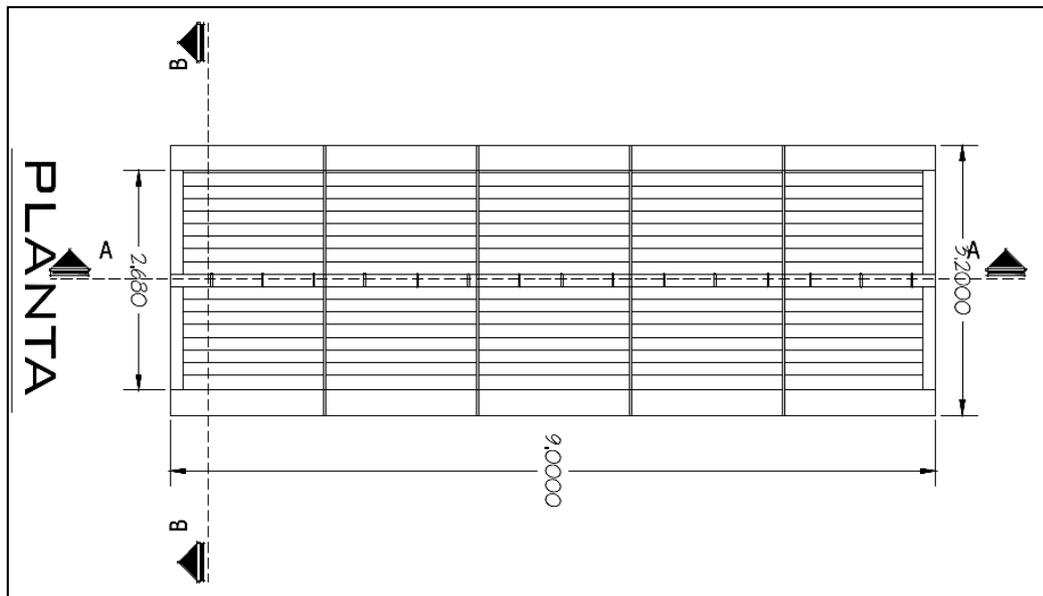
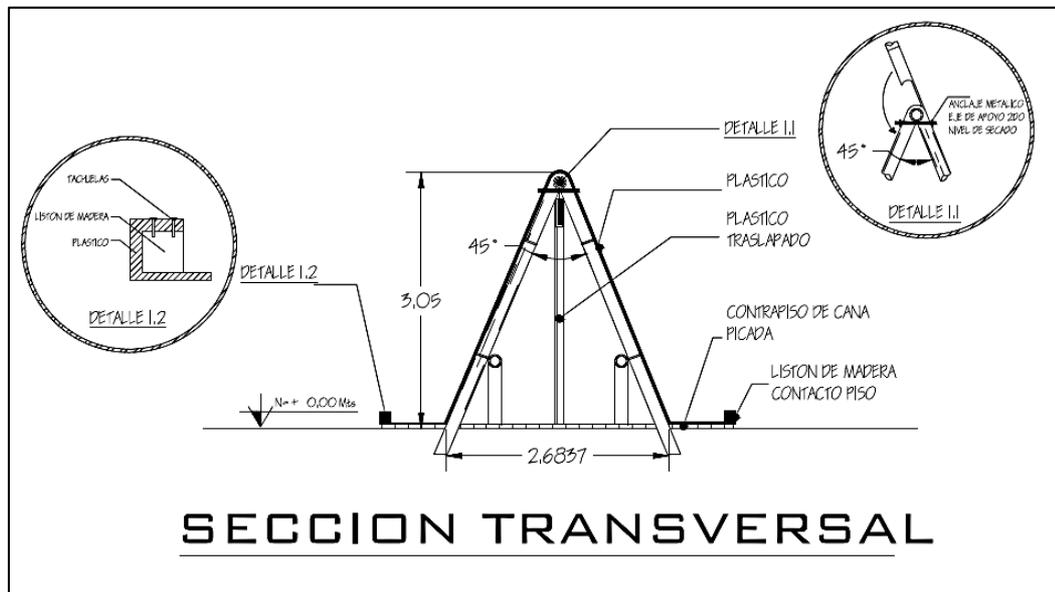
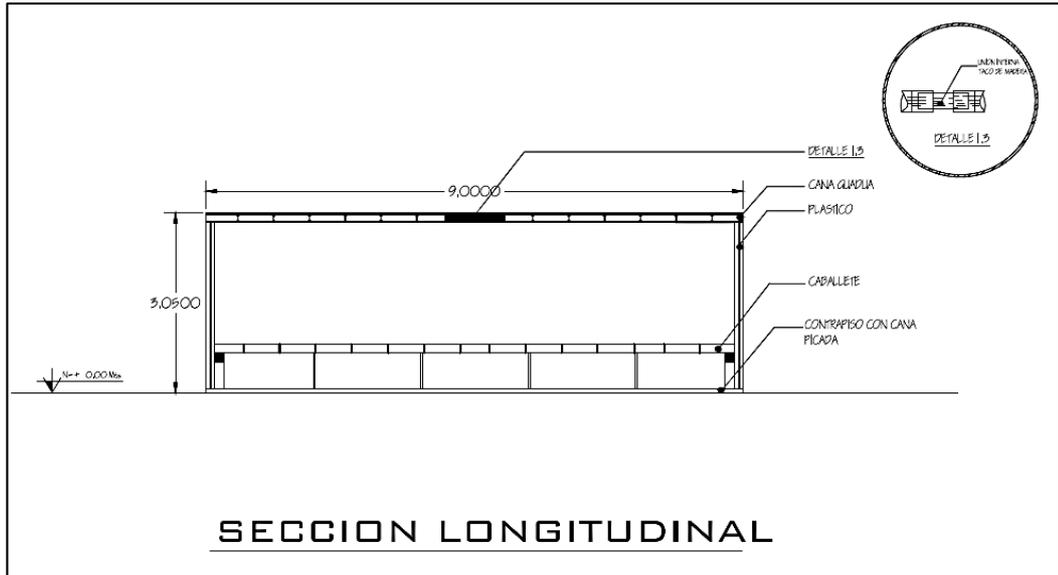


Ilustración 6. Cámara de secado con diseño hermético

3.4.1.2. Proceso de construcción

- Planos: Consistió en el diseño de la estructura de la cámara de secado, haciendo optimo y eficiente el funcionamiento de la misma.





- Limpieza del terreno: Consistió en el desbroce de malezas, desalojo de desechos y nivelación del suelo.
- Instalación de la estructura: Con la ayuda de colaboradores experimentados en carpintería, se procedió a almacenar, picar e instalar los segmentos de caña guadua necesarios de acuerdo al plano arquitectónico, en concordancia a las normas para este fin. (planos disponibles en anexo 3)
- Instalación de contraviento de cabuya: Un contratiempo presentado fue la alta incidencia del viento, sobre todo en horario nocturno. Para evitar lesiones en el plástico, se decidió instalar una red contrapuesta al plástico como elemento que protegía de este fenómeno (Ilustración 7).



Ilustración 7. Detalle de la red de cabuya instalada para efectos de viento en exceso

- Montaje y colocación del plástico: Utilizando herramientas frecuentes en la construcción, se procedió a montar y sellar el plástico sobre la cubierta, así como las laterales de la cámara de secado. Las dimensiones utilizadas fueron de 9 metros de largo, 2.68 metros de ancho y 3 metros de altura (planos disponibles en anexo 3). Los elementos plásticos habitualmente utilizados para cubierta de invernadero, tienen espesores comprendidos entre 80 y 220 micrómetros, con una amplitud de hasta 20 metros.



Ilustración 8. Montaje y colocación del plástico.

- Ubicación de termómetro: Fuera de la cámara, unido al espacio interior por un sensor transmisor de temperatura, se instaló un termómetro digital marca UNI-T digital Thermometer UT320 series, con rango de registro térmico de hasta los 500 °C. Mediante esta herramienta se pudo registrar las temperaturas ocurridas dentro de la cámara durante el tiempo que duró el ensayo (Ilustración 9).



Ilustración 9. Termómetro digital instalado

3.4.2. Fuentes de Lodos Residuales

Con la finalidad de obtener la materia prima para su posterior secado, se procedió a un recorrido por algunos sectores de la ciudad, con el objetivo de verificar la suficiencia de sustrato en algunas fuentes probables. Finalmente se decidió extraer el material a partir de dos fuentes de naturaleza distinta:

Arcilla expansiva (Material tipo A): Arcilla color café oscuro, extraída del noroeste de la ciudad de Guayaquil, según Orellana (2015): “una zona de topografía ondulada, donde las depresiones se han rellenado con sedimentos arcillosos erosionados de las laderas de las elevaciones, constituidas por arcillas residuales de la formación Piñón” (pág. 63-64). (Ilustración 10, 11 y 12).

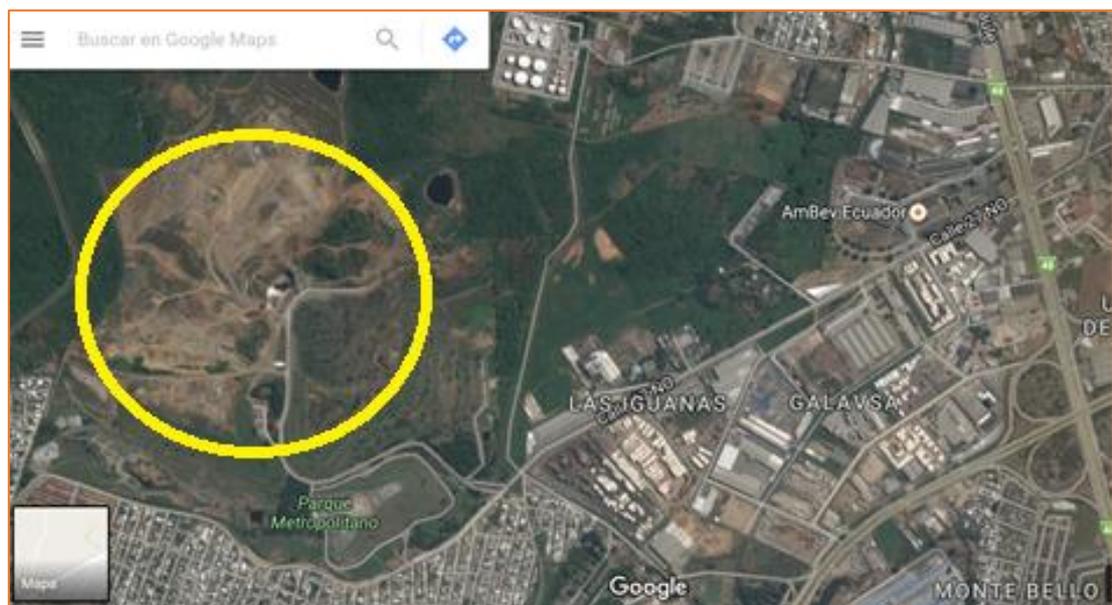


Ilustración 10. Ubicación geográfica del sector para la extracción de la arcilla expansiva material tipo A.



Ilustración 11. Sitio para la extracción de la arcilla expansiva (material tipo A).



Ilustración 12. Sitio para la extracción la arcilla expansiva (material tipo A).

Lodos residuales (material tipo B): Lodos residuales extraídos del sistema de tratamiento de aguas servidas de la Urbanización La Joya, donde se halló material con humedad aproximada al 30 % (Ilustración 13, 14, 15 y 16).

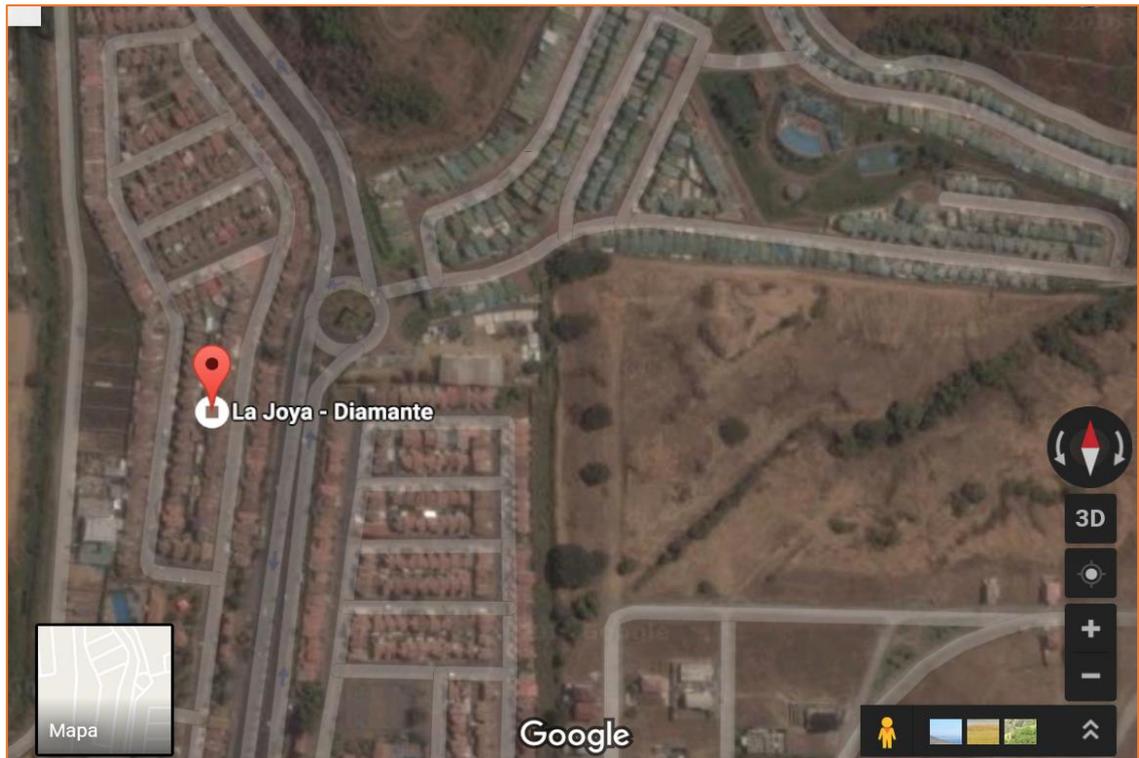


Ilustración 13. Ubicación geográfica del sector para la extracción de lodos residuales (material tipo B).



Ilustración 14. Sistema de tratamiento de aguas residuales (Urbanización La Joya) para extracción de lodos residuales (material tipo B).



Ilustración 15. Sistema de tratamiento de aguas residuales (Urbanización La Joya) para extracción de lodos residuales (Material tipo B).



Ilustración 16. Sistema de tratamiento de aguas residuales (Urbanización La Joya) para extracción de lodos residuales (material tipo B).

3.4.3. Método para extracción de los materiales

La arcilla expansiva (material tipo A) fue obtenida de una ladrillera aledaña a la zona del relleno sanitario La Iguana (noroeste de Guayaquil). Para este fin se trabajó en equipo con la comunidad quienes se dedican a la fabricación de ladrillos, ellos

procedieron a empacar al material en sacos, para ser transportados a la cámara de secado con efecto invernadero. (Ilustración 17 y 18).



Ilustración 17. Reconocimiento del sitio y vinculación con la comunidad para la extracción de la arcilla expansiva (material tipo A).



Ilustración 18. Arcilla expansiva (material tipo A) extraída y dispuesto para su traslado a la cámara de secado.

La extracción del lodo residual (material tipo B), demandó la visita a las piscinas de tratamiento de lodos residuales de la urbanización La Joya (Figura 3.17). La extracción del material se realizó con la protección indicada mediante un muestreo representativo en sacos con la finalidad de embalar correctamente el sustrato experimental (Ilustración 20 y 21).



Ilustración 19. Piscinas de tratamiento de lodos residuales para extracción de los lodos residuales (material tipo B)



Ilustración 20. Muestreo de lodos residuales (material tipo B).



Ilustración 21. Muestreo de lodos residuales (material tipo B).

Por tratarse de desechos bio peligrosos, la extracción de lodos residuales (material tipo B), demandó del uso de la vestimenta de seguridad apropiada. Se utilizó casco de seguridad, mascarilla, gafas, guantes, botas, chaleco y ropa gruesa para evitar riesgos en la salud (Ilustración 22).



Ilustración 22. Muestreo de lodos residuales (material tipo B).

3.5. Proceso de secado

- El ingreso del material experimental se produjo el 5 de julio del 2016 y se retiró dos días después, es decir, el 7 de julio del 2016. El ingreso a la cámara incluyó los cuidados necesarios para evitar la contaminación con agentes externos a la investigación (Figura 23 y 24).



Ilustración 23. Arcilla expansiva (material tipo A) dentro de la cámara de secado.



Ilustración 24. Lodos residuales (material tipo B) ubicado dentro de la cámara de secado.

- Se procedió a disponer el material experimental dentro de la cámara de secado, separando y rotulando cada uno de los tratamientos. La disposición sobre la caña picada no excedió los cuatro centímetros de altura, lo que facilitó el secado.
- El material experimental se rastrillaba dos veces al día, abriendo la puerta una vez al día por las tardes, permitiendo que la humedad salga (Ilustración 25 y 26).



Ilustración 25. Rastrillado del material.



Ilustración 26. Rastrillado del material.

- Con frecuencia de 30 minutos durante el día, se procedió registrar con precisión la temperatura en el dispositivo electrónico (Ilustración 27).



Ilustración 27. Inicio de registro y medición de temperaturas.

- Tras la comprobación visual y mecánica de que el material había sido deshidratado, se procedió a la fabricación de la grava granulométrica para la producir materiales de construcción (Ilustración 28 y 29).



Ilustración 28. Lodo residual posterior al proceso de secado.



Ilustración 29. Muestras de arcilla expansiva y lodo residual posterior al proceso de secado.

3.6. Variables estudiadas

- Temperatura: Utilizando un termómetro digital, se procedió a registrar la temperatura dentro de la cámara, con una frecuencia de 30 minutos.

- Tiempos de secado: Se dispuso de registros de campo para evidenciar el momento del secado, para la posterior recolección de muestras y su traslado al laboratorio. La ilustración 43 expresa los parámetros térmicos entre los que se desarrolló el proceso de secado para ambas muestras.
- Determinación de porcentaje de Humedad y plasticidad: Aplicando el ensayo de límites de Atterberg, se pudo cuantificar el límite líquido y límite plástico, así como los promedios de humedad en cada uno de los materiales, para luego registrar los porcentajes de eficiencia de la cámara de secado.



Ilustración 30. Ensayos del laboratorio de la arcilla expansiva (material tipo A), proceso de tamizado.



Ilustración 31. Ensayos del laboratorio del lodo residual (material tipo B), proceso de tamizado.



Ilustración 32. Ensayos del laboratorio para caracterización de los materiales, granulometría.



Ilustración 33. Aplicación de ensayo límites de Atterberg



Ilustración 34. Ensayos en el laboratorio de los materiales analizados, ingreso de las muestras al horno.

- Determinación del porcentaje de materia orgánica: A través del método de ignición, se procedió a pesar previamente dos muestras del material experimental tipo B (lodo residual); la primera con tamaño original y la segunda con tamizado 40 y posterior lavado en tamiz 200 (Ilustración 30 y 31), para su posterior ingreso al horno por 24 horas (Ilustración 34). A continuación, se efectuó el quemado, agregando alcohol industrial y posterior pesaje después de la incineración, definiendo el porcentaje de materia orgánica por diferencia de peso.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Tiempo de secado

El tiempo de secado para ambas muestras fue de 48 horas, contadas a partir del momento del ingreso de los materiales a la cámara. Se optó por utilizar un rastrillo de metal común, como utilizan los predios agrícolas para mezclar material.

4.2. Determinación de humedad

La determinación del porcentaje de Humedad expresado en la ilustración 35, determinó que la arcilla expansiva (material tipo A) obtuvo el mayor índice de reducción, con una diferencia de 24.85 %, en relación al porcentaje de humedad registrado previo al ingreso a la cámara de secado (Anexo 1).

Por su parte, el lodo residual (material tipo B) obtuvo un índice de humedad de 9.54 % al ingreso del material a la cámara de secado y de 2.79 % después de aplicado el tratamiento de secado con efecto invernadero. Este material tuvo una reducción de humedad del 6.85 %.

La diferencia entre el porcentaje de humedad reducido por ambos materiales, se atribuye principalmente al tiempo de exposición de ambos sustratos dentro de la cámara. La arcilla expansiva (material tipo A) y el lodo residual (material tipo B), se mantuvieron dentro de la cámara por 48 horas completando así su proceso de secado.

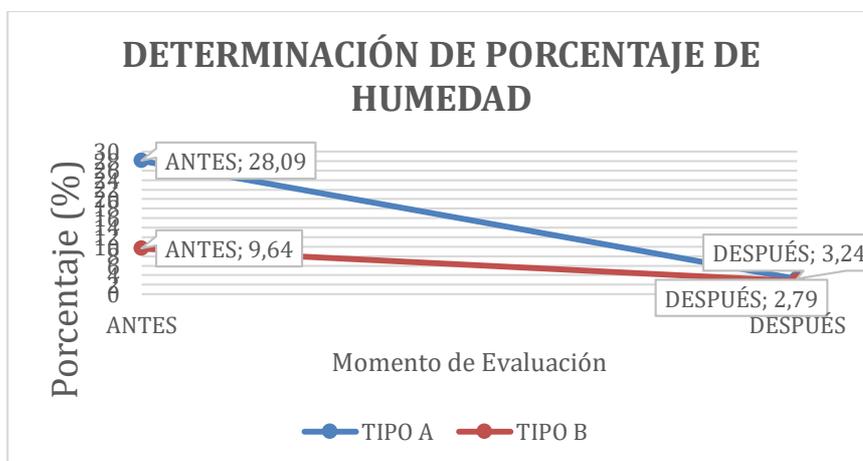


Ilustración 35. Gráfica de porcentajes de humedad de ambos materiales

Tabla 6. Resultados para variables de porcentajes de humedad.

DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD		
MOMENTO/TRATAMIENTOS	TIPO A	TIPO B
ANTES	28.09	9.64
DESPUÉS	3.24	2.79
DIFERENCIA	24.85	6.85

4.3. Determinación de plasticidad

Los valores de plasticidad fueron analizados a través de las muestras del material tipo A (arcilla expansiva) y material tipo B (lodo residual). En la ilustración 36 se puede observar la plasticidad media de la arcilla expansiva, con límite líquido de 46, límite plástico de 16 e índice de plasticidad de 30. En cuanto a la muestra del lodo residual material tipo B (lodo residual), la ilustración 37 determinó índices no plásticos para el material estudiado.

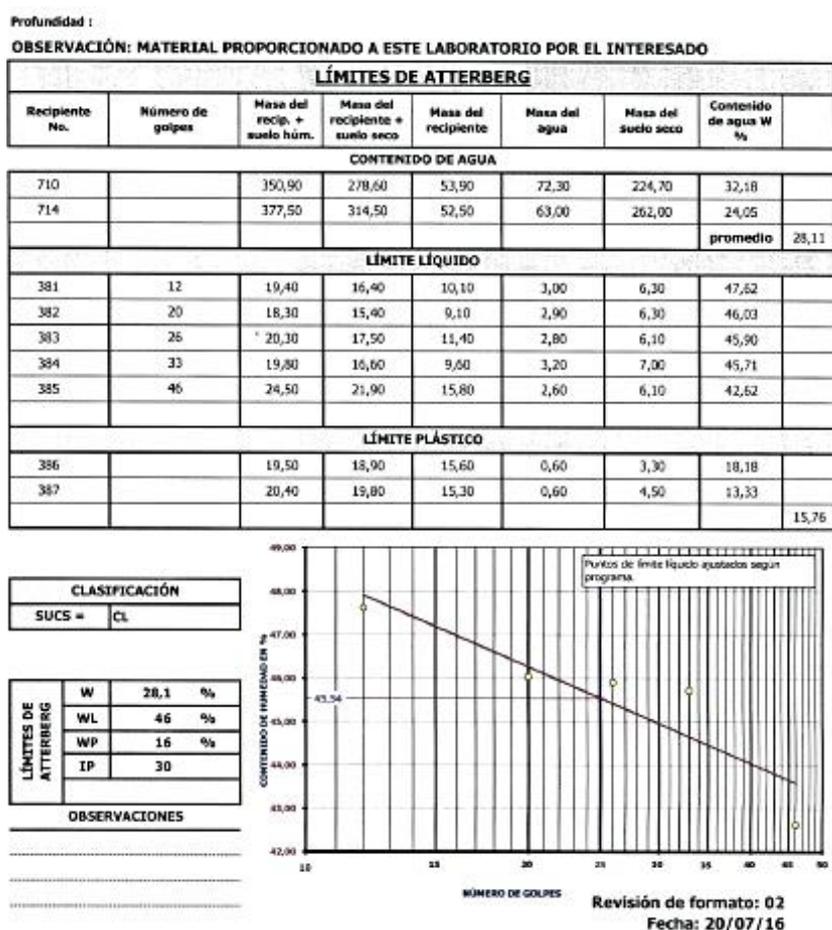


Ilustración 36. Determinación de plasticidad de la arcilla expansiva (material tipo A), ensayo de Límites de Atterberg.

Contratista : SRTA EMILIA DÍAZ MONGE Fiscaliza : ING. GILBERTO MARTÍNEZ
 Solicita : SRTA EMILIA DÍAZ MONGE Temp. Ambiente : 23 °C Muestra : 5
 Obra : PROYECTO DE TITULACIÓN SECADO DE FANGOS Y LODOS RESIDUALES POR EFECTO INVERNADERO
 Fuente del material : USB "LA JOYA" PLANTA DE TRATAMIENTO (MATERIAL PASANTE DEL TAMIZ # 200) Fecha : 15 / 09 / 2016
 Localiz. de la Obra : INSTALACIONES DE UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
 Tipo de material : EXISTENTE
 Profundidad :

OBSERVACIÓN: MATERIAL PROPORCIONADO A ESTE LABORATORIO POR EL INTERESADO

LÍMITES DE ATTERBERG							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recip. + suelo húm.	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA							
LÍMITE LÍQUIDO							
374	11	14,70	10,70	6,10	4,00	2,60	153,85
375	18	16,70	13,00	10,50	3,70	2,50	148,00
376	26	16,90	13,15	10,60	3,75	2,55	147,06
377	34	18,20	14,40	11,80	3,80	2,60	146,15
378	47	17,90	14,00	11,30	3,90	2,70	144,44
LÍMITE PLÁSTICO							
379		13,40	12,20	10,70	1,20	1,50	80,00
380		12,60	11,40	10,00	1,20	1,40	85,71
							82,86

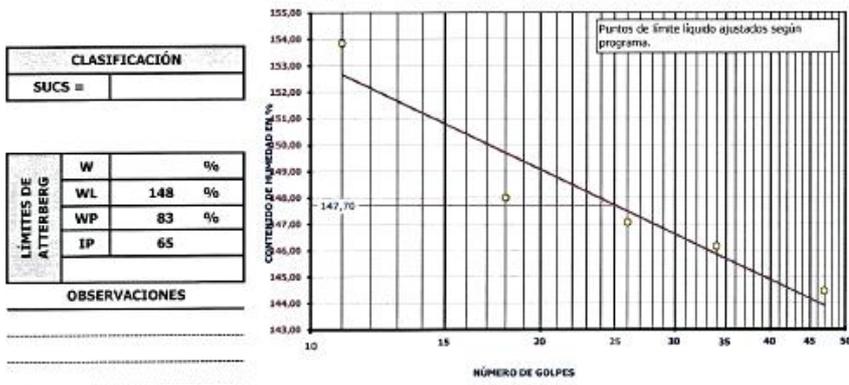


Ilustración 37. Determinación de plasticidad del lodo residual (material tipo B), ensayo de Límites de Atterberg.

4.4. Determinación del porcentaje de materia orgánica

Para la determinación del porcentaje de materia orgánica, se utilizaron dos muestras obtenidas del lodo residual (material tipo B), es decir, lodos residuales originados en la Planta de Tratamiento de aguas servidas.

En la Ilustración 42, se detallan los registros de porcentaje de materia orgánica según el método de ignición. Para la muestra tipo B1 (material sin tamizar), existió una reducción del peso de 101.8 g hasta 100.2 g; mientras que, para la muestra tipo B2 (material tamizado), la reducción fluctuó de 76.2 g hasta 73.2 g.



Ilustración 38. Determinación de porcentaje de materia orgánica



Ilustración 39. Determinación de porcentaje de materia orgánica



Ilustración 40. Determinación de porcentaje de materia orgánica, por ignición con alcohol.



Ilustración 41. Determinación de porcentaje de materia orgánica, por ignición con alcohol.

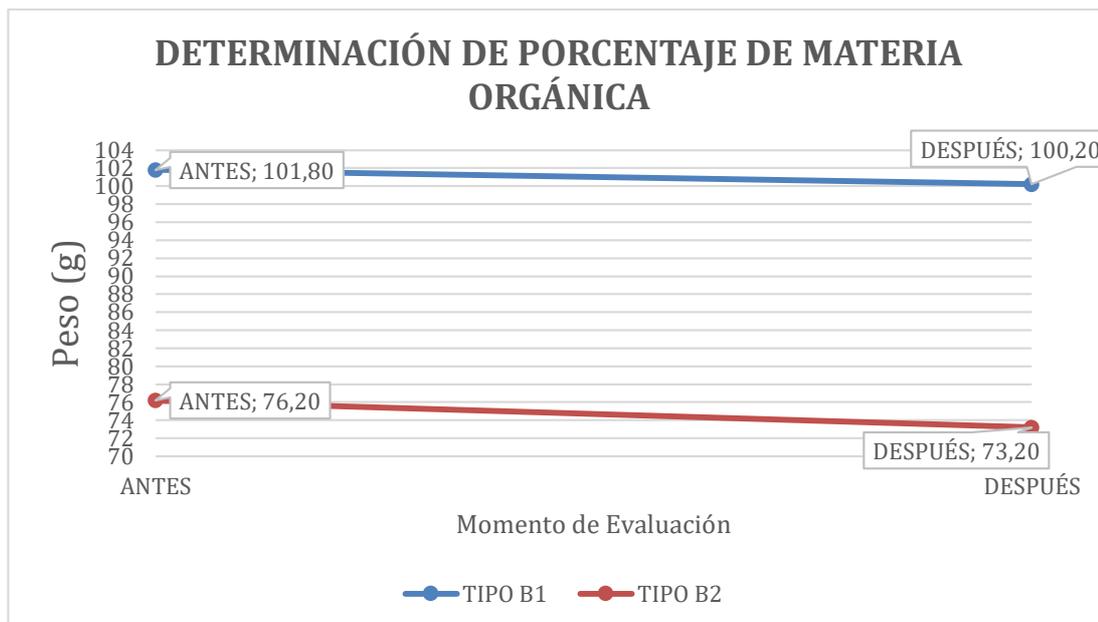


Ilustración 42. Determinación de porcentaje de materia orgánica

En la tabla 7, se expresa el porcentaje de materia orgánica del lodo residual material tipo B. Se pudo constatar que la muestra tipo B1 (muestra sin tamizar) registró 1.57 %, considerándose *Medianamente Pobre* en materia orgánica, según la clasificación de Velazco (1983). En cuanto a la muestra tipo B2, se registró un porcentaje de 3.94 %, considerándose según la misma escala de clasificación (anexo 1) como material *Rico* en materia orgánica.

Tabla 7. Cálculos para determinación de porcentaje de materia orgánica

DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA		
MOMENTO/TRATAMIENTOS	TIPO B1	TIPO B2
ANTES	101.80	76.20
DESPUÉS	100.20	73.20
DIFERENCIA	1.60	3.00
PORCENTAJE	1.57	3.94

Orellana (2015): Los ladrillos que estaban con el 100% de lodos residuales al ser sometido a una temperatura mayor a los 550°C, habían sufrido la quema parcial de la materia sólida ya que la materia orgánica se quema cuando supera esta temperatura.

Consumiendo así el 77% del peso de la materia orgánica sólida, y el 23% restante era material mineral no orgánico.

Concluyendo que para determinar la cantidad de materia orgánica hay que someter el material a una quema con una temperatura mayor a los 550°C, generando la calcinación de la materia orgánica y poder determinar la cantidad real de materia orgánica del material.

4.5. Análisis estadístico

En la tabla 8, se manifiesta la prueba de t para medias de dos muestras emparejadas en la variable determinación de humedad. Estos promedios determinaron que no existen diferencias estadísticas significativas (p-valor 0.4845), entre los valores totales de humedad obtenidos para ambas muestras.

Estos resultados demuestran la certeza del método artesanal utilizado. P-valor corrobora, que no existieron diferencias estadísticas significativas entre las muestras, a pesar de existir un amplio margen aritmético entre el promedio de humedad de la arcilla expansiva (material Tipo A) y el lodo residual (material tipo B). Ésta evidencia expresa que el método implementado para el secado de materiales es eficiente, independientemente del grado de humedad con el que ingresen los materiales a la cámara.

Tabla 8. Prueba de t para medias de la variable porcentaje de humedad

Factores	TIPO A	TIPO B
Media	15.6650	6.2150
Varianza	308.7613	23.4613
Observaciones	2.0000	2.0000
Coeficiente de correlación de Pearson	1.0000	
Diferencia hipotética de las medias	0.0000	
Grados de libertad	1.0000	
Estadístico t	1.0500	
P(T<=t) una cola	0.2422	
Valor crítico de t (una cola)	6.3138	
P(T<=t) dos colas	0.4845	
Valor crítico de t (dos colas)	12.7062	

La tabla 10 contiene la prueba de t para medias de dos muestras emparejadas en la variable del porcentaje de materia orgánica. Esta prueba aseveró que existen diferencias estadísticas significativas (p-valor 0.0169) entre los porcentajes de humedad de ambas muestras.

El bajo porcentaje de materia orgánica evidenciado en la muestra sin tamizar, considerada como *Medianamente Pobre*, es un indicador de calidad del material. Es necesario expresar, que los materiales serán utilizados en pruebas de factibilidad técnica, para su uso en la construcción y en la aplicación como sub base de carreteras.

Tabla 9. Prueba de t para medias de la variable porcentaje de materia orgánica

Factores	TIPO B1	TIPO B2
Media	101.0000	74.7000
Varianza	1.2800	4.5000
Observaciones	2.0000	2.0000
Coeficiente de correlación de Pearson	1.0000	
Diferencia hipotética de las medias	0.0000	
Grados de libertad	1.0000	
Estadístico t	37.5714	
P(T<=t) una cola	0.0085	
Valor crítico de t (una cola)	6.3138	
P(T<=t) dos colas	0.0169	
Valor crítico de t (dos colas)	12.7062	

4.6. Registros de temperatura

En la Ilustración 45 se proyectan los registros de temperatura tomados cada 30 minutos dentro de la cámara de secado. Se puede evidenciar que el pico térmico más alto fue de 58.2 °C, registrado a las 13h00 del segundo día de exposición de los materiales al efecto invernadero de la cámara.

Cabe resaltar que, bajo estas condiciones climatológicas, se generó un exceso de vapor de agua en el ambiente (humedad relativa), incrementando la cantidad de agua evaporada, siendo disipada por el plástico de la cubierta y la pendiente de la misma, lo que evitó contaminación de los materiales con agua evaporada.



Ilustración 43. Proceso de condensación del agua durante el proceso de secado.



Ilustración 44. Proceso de condensación del agua durante el proceso de secado.

En relación a este punto, durante el ensayo, el agua caía en el suelo humedeció los sectores marginales de la cámara, sin que esto haya implicado la contaminación de los materiales experimentales. A pesar de este hecho, sería útil mejorar esta situación en futuras investigaciones.

La solución para esta problemática, no debe incurrir en altos costos de inversión. Según Estévez (2011), los faldones de un invernadero deben estar diseñados para disipar la cantidad de agua a través de una simple conexión común. La estructura que canalice el agua debe estar instalada sobre la superficie del suelo y debe acopiar a partir de la totalidad de extensión del plástico, los lixiviados generados por el efecto rocío del ambiente sobre la cubierta. Para ello, es indispensable contar con una pendiente adecuada a la demanda de agua que se genere. (pág. 37-38)

En cuanto al exceso de humedad relativa, se observó este fenómeno a partir de las altas temperaturas durante el día. El efecto de secado de los materiales, permitió la evaporación del agua hacia la cubierta. Esto generó un ambiente húmedo que debió ser regulado a través de la apertura de los faldones laterales de la cámara, permitiendo la expulsión de la humedad hacia el exterior.

El fundamento teórico de esta asociación de efectos climatológicos, se determinaron a través del diagrama de Mollier: La temperatura y la humedad están directamente relacionadas entre sí. El aire (como si de una esponja se tratara) tiene una máxima capacidad de contención de agua. Si el aire se enfría, disminuye su capacidad de retención de agua (vapor de agua) y se produce el rocío (Yarke, 2005).

Con la salida del sol, el aire del interior del invernadero se calienta rápidamente y el rocío se distribuye por toda el área cerrada. La única forma de sacar este vapor de agua sobrante, es renovando el aire del invernadero por medio de la ventilación (Yarke, 2005).

La ventilación forzada del aire húmedo se realizó especialmente durante las noches. De éste modo se logró evitar la pérdida de calor durante el día. Cabe resaltar que el registro de temperatura fuera y dentro de la cámara, fue bastante similar en horario nocturno.

La temperatura fue un factor clave para el secado de los materiales. Mantener el calor dentro de la cámara, siempre fue la principal prioridad. No obstante, a pesar de los esfuerzos de diseño, estructuración, adecuación y manejo operativo del invernadero, siempre existió la probabilidad de escape de aire caliente durante el día, por lo que, a futuro, es necesario dedicar más tiempo a la observación de estos detalles al momento del diseño de la cámara

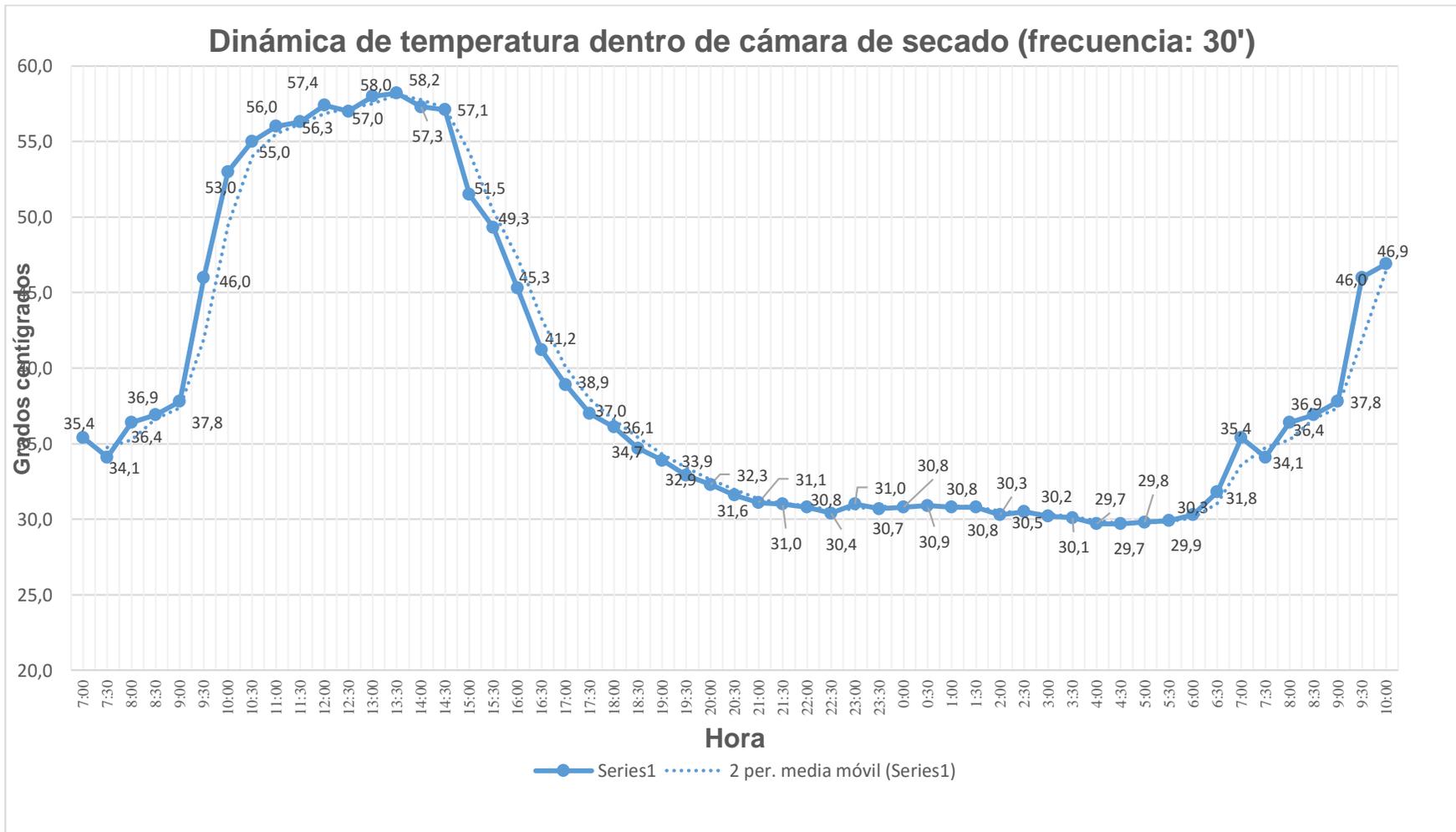


Ilustración 45. Gráfica evolutiva de los registros de temperatura durante el ensayo. Datos con frecuencia de 30 minutos

4.7. Resultados de fabricación de materiales de construcción

Los materiales obtenidos en esta primera etapa, servirán para la fabricación de gravas con la granulometría necesaria para la elaboración de hormigón ligero y material para sub-base de vías. Estos estudios se encuentran en fase de pruebas técnicas dentro del área experimental de la facultad de Ingeniería en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.



Ilustración 46. Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales.



Ilustración 47. Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales después de cocción.



Ilustración 48. Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales en el hormigón ligero.



Ilustración 49. Grava granulométrica, arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales en sub-base de vías.



Ilustración 50. Proceso de secado del cacao dentro de la cámara.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A través del ensayo experimental orientado por la metodología utilizada y representado en los resultados, se logró concluir los siguientes preceptos a utilizarse como teoría científica producto del estudio realizado:

- La Construcción de la cámara de secado artesanal ligera, compuesta de plástico transparente tipo invernadero, fue capaz de secar dos tipos de materiales experimentales: Una muestra arcillosa originaria del sector relleno Las Iguanas, y otra, compuesta por lodos residuales de una planta de tratamiento de la ciudad de Guayaquil, incorporándose después de los estudios de rigor, como materia prima para la fabricación de diversos materiales de construcción.
- La evaluación continua y permanente de las variables temperatura y tiempos de secado de los lodos residuales, permitió un control técnico sobre los procesos físicos dentro de la cámara. La metodología de muestreo, técnicas de laboratorio y de estadística aplicada, fueron determinantes para efectuar ensayos de porcentaje de humedad y de materia orgánica en cada uno de los materiales estudiados, permitiendo llegar a conclusiones de trascendencia en el sector constructivo y ambiental del Ecuador.
- La aplicación del ensayo límites de Atterberg, demostró que el material compuesto por lodos residuales obtuvo un límite líquido fue 148 %, límite plástico del 83 % e índice de plasticidad del 65 %. Así mismo, se comprobó una reducción del porcentaje de humedad del 6.85 %, expresando la factibilidad técnica del uso de la cámara de secado artesanal. Del mismo modo, la concentración de materia orgánica registrada por la muestra del material seco de lodos residuales, se consideró como *Medianamente Pobre* según el método de ignición. Con este registro, se pudo argumentar la aplicabilidad del lodo residual seco en el uso para la fabricación de materiales constructivos.
- La comparación de la humedad entre los materiales, antes y después del secado, así como los tiempos que tomó el proceso de secado, demuestran la

bondad y rapidez de la cámara de artesanal implementada. A través de estos registros, se estableció la viabilidad técnica para su aplicación futura en la obtención de materias primas, así como la fabricación inmediata de gravas con granulometría óptima para elaboración de hormigón ligero y material para sub-base de vías, estudios que ya están en ejecución. En el futuro, materiales secados en cámaras artesanales con efecto invernadero, permitirán obtener materias primas para la fabricación de bloques para paredes y adoquines.

5.2. Recomendaciones

Una vez obtenidas las principales conclusiones a través del presente estudio, es necesario realizar recomendaciones relacionadas a la naturaleza del mismo. Estos campos recogen la necesidad de mejorar las condiciones investigativas, técnicas o económicas de la problemática, resumiéndose de la siguiente manera:

- Efectuar futuros estudios relacionados a la validación de estructuras artesanales que pretendan mejorar las condiciones constructivas en el Ecuador, aumentando la eficiencia de la técnica y reduciendo los costos operativos.
- Efectuar nuevos diseños de cámara con efecto invernadero, utilizando nuevos elementos constitutivos, operativos o de laboratorio, con la finalidad de mejorar las condiciones experimentales de futuros emprendimientos investigativos. Una de las variables que se puede incorporar, es un sistema de gestión del agua canalizada por la pendiente de la cubierta. Este sistema puede elaborarse con tubería PVC, teniendo como finalidad recolectar el agua evaporada como un sistema de lixiviación. Durante el ensayo, el agua producto de la evaporación, caía en el suelo, humedeciendo los sectores marginales de la cámara.
- Continuar la investigación con el uso de los materiales agregados obtenidos a partir del presente estudio, con la finalidad de aportar protocolos constructivos eficientes y de factibilidad ambiental y social.

Referencias bibliográficas

- Abwasserzweckverband Unterschleißheim, Eching, & Neufahrn. (30 de junio de 2.016). *abwasserzweckverband*. Obtenido de Anlagenteile und Verfahrenstechnik: <http://www.abwasserzv.de/solare-klärschlamm-trocknung>
- Aciprensa. (18 de junio de 2015). *Laudaro si*.
- Aguilar, M. (2.001). *Efectos agronómicos de la aplicación de lodos de depuradora compostados en suelos de Olivar*. Córdoba: Tesis de Doctor en Ciencias. Universidad de Córdoba.
- Aguilar, M.; Sáez, J.; Loréns, M.; Soler, A.; Ortuño, J. (2.002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Aragón, C. (2009). *Optimización del proceso de lodos activos para reducir la generación de fangos residuales. Tesis doctoral*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
- Armijos, A. (2.014). Nuevas tecnologías en el manejo de aguas residuales. *Teorema Ambiental*, 17.
- Ballesteros, R. (2.013). *Desechos sólidos y líquidos*. Bogotá: Hispanoamericana.
- Bautista, F. (1.999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Benglio, M. (2002). *Derecho Humano a un medio ambiente sano*.
- Bermeo, A.; Idrovo, E. (2.014). *Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción. Tesis en Ingeniería Civil*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Blanco, P. (2014). *Aprovechamiento de lodos residuales para cerrar el ciclo urbano del agua, mejorar la eficiencia energética y reducir los gei: caso de la pitar nuevo laredo. Tesis de Maestría*. Monterrey: Colegio de la Frontera Norte.
- Bogner, G. (sf). *Energy-Atlas Bayern*. Obtenido de Projektträger: Markt Murnau am Staffelsee. Klärschlamm-trocknung: Klärschlamm wird mit Sonnenenergie und der Wärme des Abwassers getrocknet.: Recuperado de

<https://www.energieatlas.bayern.de/kommunen/praxisbeispiele/details,109.html>

Burgos, D. (2.005). *Diseño para el tratamiento de aguas residuales presente en las Industrias Lácteas TONI (Tesis de tercer nivel)*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

Campos, I. (2.003). *Saneamiento Ambiental*. San José: EUNED.

Cedeño, J. (2.015). *Plan Estratégico Institucional*. Chone: GAD Chone.

Collado, D. (2.002). *Movilización de contaminantes en el terreno a partir de suelos contaminados*. Almería: Universidad Almería.

Contreras, A. ; Molero, M. (2.011). *Ciencia y tecnología del medioambiente*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia Madrid.

De Boer, A. (2.013). *Aguas sucias*. Montpellier: Universidad de Montpellier.

Dry Tec Solar;. (04 de marzo de 2015). *Das Klima und die absolute Luftfeuchte in Gramm Wasser je Kubikmeter Luft*. Obtenido de Warum ist die „Solare Trocknung“ als Zukunftstechnologie so interessant?: http://www.drytec.org/index.php?option=com_content&view=article&id=34:zukunftstechnik-solare-trocknung&catid=51:klaerschlammtrocknung&Itemid=1666

Espí, E. (2012). *Materiales de cubierta para invernaderos*. Cuadernos de estudios agroalimentarios.

Estévez, J. (2011). *Diseño de invernaderos*. México D.F.: ECS.

Fuentes. (2.012)., (pág. 11).

Galvis, J.; Rivera, X. (2.013). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa jugos hit de la ciudad de Pereira. Pereira: Tesis de Grado Tercer Nivel. Universidad Tecnológica de Pereira.

García, O. (2011). *Propuesta de ingeniería básica para el tratamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la central termoeléctrica valle de México. Tesis de Maestría*. México D.f.: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.

GOOGLE. (19 de agosto de 2016). *googlemaps*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/place/2%C2%B010'50.6%22S+79%C2%B054'17.6%22W/@-2.1809383,->

79.9054474,337m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d-
2.180726!4d-79.904903

- Grefa, L. (2.013). En *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales - centro de faenamiento municipal de ganado de Orellana* (pág. 2).
- Grefa, L. (2.013). En *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales- centro de faenamiento municipal de ganado de Orellana*. (pág. 12). Riobamba.
- Grefa, L. (2.013). *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales – centro de faenamiento municipal de ganado de Orellana (tesis de tercer nivel)*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Gutiérrez, J. (2.011). *Leyes de la Física*. Bogotá: CRADLE.
- Guzmán, D. (2011). *Estudio de factibilidad para minimizar los impactos ambientales que son generados por los lodos en el tratamiento de aguas residuales de la empresa tropifrutas*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- HELIANTIS;. (2.016). *DEGREMONT TECHNOLOGIES*. Obtenido de <http://www.degremont-technologies.com/Heliantis-TM-Solar-Sludge-Drying>
- Henríquez, O. (2.011). Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agrosistemas de la provincia de Melipilla, Región Metropolitana, Chile. Santiago: Universidad de Chile.
- INAMHI. (18 de agosto de 2016). *Boletín climatológico anual 2015*. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj88q_JpOLOAhVJFh4KHV4CDcYQFgglMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.serviciometeorologico.gob.ec%2Fmeteorologia%2Fboletines%2Fbol_anu.pdf&usg=AFQjCNGQ-yNAeZXR8B5Lu2vN8ybeiulsnA&s
- INEC;. (29 de junio de 2016). *ecuadorencifras*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- INEN. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- International Organization for Standardization. (2012). *Normas ISO 2600*. ISO.
- Iñiguez, H. (2.014). *Nuevas Tecnologías*. Buenos Aires: Colecciones Tango.

- Landes, E. (2.013). *Secado de Lodos*. Santiago: Universidad de Chile.
- Mattfeld, B. (2.014). Solar Sludge Drying System Helps Reduce Hauling Costs. *Water World*, 33-37.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Proyecto de recuperación de las áreas protegidas de la ciudad de Guayaqui I: Estero Salado e Isla Santay*. Guayaquil: SENPLADES.
- Orellana, X. (2.003). Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales para la fabricación de ladrillos. Guayaquil.
- Orellana, X. (2.015). *Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos (tesis de tercer nivel)*. Guayaquil: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- Oropeza, N. (2.006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 51-58.
- Palacios, C. (2006). Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, Antártida- Verano Austral 2003-2004. *Revista Tecnológica ESPOL*, 185-189.
- Ramalho, R.; Jiménez, D. ; de Lora, F. (2.003). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverté.
- Rubio, J. (1.976). Secado de lodos de aguas residuales por filtración- evaporación natural. Madrid.
- Rubio, J. (1.976). *Secado de lodos de aguas residuales por filtración- evaporación natural. -eras de secado- (Tesis de doctorado)*. Madrid: Tesis de Universidad Politécnica de Madrid.
- Salcedo, M. (2.006). *Concreto de alto desempeño en Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *AGRONOMIA 26-2 -PROFE194*, 347-359.
- Valencia, N. (2.008). *Secado Solar de Lodos (Tesis de Maestría)*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Velazco. (1983). *Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo 2a ed.* Chapingo: Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Suelos.
- Villafuerte, N. (2.012). Energías renovables VII. *Politécnico*, 16-17.

- Vivas, E. (23 de junio de 2.016). Normativas Internacionales para la construcción de invernaderos. (E. Díaz, Entrevistador)
- Von Buchwald, F. (2011). *Proyectos para Guayaquil*. Guayaquil.
- Winkler. (1986).
- Yarke, E. (2005). *Ventilación natural de edificios*. Buenos Aires: Nobuko.
- Zea, N. (2.005). *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. Tesis Ingeniería Civil*. Guatemala: Universidad de San Carlos.

Bibliografía

- Abwasserzweckverband Unterschleißheim, Eching, & Neufahrn. (2016, junio 30). *abwasserzweckverband*. From Anlagenteile und Verfahrenstechnik: <http://www.abwasserzv.de/solare-klaerschlammtrocknung>
- Aciprensa. (2015, junio 18). *Laudaro si*.
- Aguilar, M. (2001). *Efectos agronómicos de la aplicación de lodos de depuradora compostados en suelos de Olivar*. Córdoba: Tesis de Doctor en Ciencias. Universidad de Córdoba.
- Aguilar, M.; Sáez, J.; Loréns, M.; Soler, A.; Ortuño, J. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Aragón, C. (2009). *Optimización del proceso de lodos activos para reducir la generación de fangos residuales. Tesis doctoral*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
- Armijos, A. (2014). Nuevas tecnologías en el manejo de aguas residuales. *Teorema Ambiental*, 17.
- Ballesteros, R. (2013). *Desechos sólidos y líquidos*. Bogotá: Hispanoamericana.
- Bautista, F. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Benglio, M. (2002). *Derecho Humano a un medio ambiente sano*.
- Bermeo, A.; Idrovo, E. (2014). *Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción. Tesis en Ingeniería Civil*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Blanco, P. (2014). *Aprovechamiento de lodos residuales para cerrar el ciclo urbano del agua, mejorar la eficiencia energética y reducir los gei: caso de la pitar nuevo laredo. Tesis de Maestría*. Monterrey: Colegio de la Frontera Norte.
- Bogner, G. (sf). *Energy-Atlas Bayern*. From Projektträger: Markt Murnau am Staffelsee. Klärschlamm-trocknung: Klärschlamm wird mit Sonnenenergie und der Wärme des Abwassers getrocknet.: Recuperado de <https://www.energieatlas.bayern.de/kommunen/praxisbeispiele/details,109.html>

- Burgos, D. (2.005). *Diseño para el tratamiento de aguas residuales presente en las Industrias Lácteas TONI (Tesis de tercer nivel)*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Campos, I. (2.003). *Saneamiento Ambiental*. San José: EUNED.
- Cedeño, J. (2.015). *Plan Estratégico Institucional*. Chone: GAD Chone.
- Collado, D. (2.002). *Movilización de contaminantes en el terreno a partir de suelos contaminados*. Almería: Universidad Almería.
- Contreras, A. ; Molero, M. (2.011). *Ciencia y tecnología del medioambiente*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia Madrid.
- De Boer, A. (2.013). *Aguas sucias*. Montpellier: Universidad de Montpellier.
- Dry Tec Solar;. (2015, marzo 04). *Das Klima und die absolute Luftfeuchte in Gramm Wasser je Kubikmeter Luft*. From Warum ist die „Solare Trocknung“ als Zukunftstechnologie so interessant?: http://www.drytec.org/index.php?option=com_content&view=article&id=34:zukunftstechnik-solare-trocknung&catid=51:klaerschlammtrocknung&Itemid=1666
- Espí, E. (2012). *Materiales de cubierta para invernaderos*. Cuadernos de estudios agroalimentarios.
- Estévez, J. (2011). *Diseño de invernaderos*. México D.F.: ECS.
- Fuentes. (2.012)., (p. 11).
- Galvis, J.; Rivera, X. (2.013). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa jugos hit de la ciudad de Pereira*. Pereira: Tesis de Grado Tercer Nivel. Universidad Tecnológica de Pereira.
- García, O. (2011). *Propuesta de ingeniería básica para el tratamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la central termoeléctrica valle de México*. Tesis de Maestría. México D.f.: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.
- GOOGLE. (2016, agosto 19). *googlemaps*. From <https://www.google.com.ec/maps/place/2%C2%B010'50.6%22S+79%C2%B054'17.6%22W/@-2.1809383,-79.9054474,337m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d-2.180726!4d-79.904903>

- Grefa, L. (2.013). In *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales - centro de faenamiento municipal de ganado de Orellana* (p. 2).
- Grefa, L. (2.013). In *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales- centro de faenamiento municipal de ganado de Orellana.* (p. 12). Riobamba.
- Grefa, L. (2.013). *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales – centro de faenamiento municipal de ganado de Orellana (tesis de tercer nivel)*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Gutiérrez, J. (2.011). *Leyes de la Física*. Bogotá: CRADLE.
- Guzmán, D. (2011). *Estudio de factibilidad para minimizar los impactos ambientales que son generados por los lodos en el tratamiento de aguas residuales de la empresa tropifrutas*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- HELIANTIS;. (2.016). *DEGREMONT TECHNOLOGIES*. From <http://www.degremont-technologies.com/Heliantis-TM-Solar-Sludge-Drying>
- Henríquez, O. (2.011). Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agrosistemas de la provincia de Melipilla, Región Metropolitana, Chile. Santiago: Universidad de Chile.
- INAMHI. (2016, agosto 18). *Boletín climatológico anual 2015*. From https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj88q_JpOLOAhVJFh4KHV4CDcYQFgglMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.serviciometeorologico.gob.ec%2Fmeteorologia%2Fboletines%2Fbol_anu.pdf&usg=AFQjCNGQ-yNAeZXR8B5Lu2vN8ybeiuIsnA&s
- INEC;. (2016, junio 29). *ecuadorencifras*. From <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- INEN. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- International Organization for Standardization. (2012). *Normas ISO 2600*. ISO.
- Iñiguez, H. (2.014). *Nuevas Tecnologías*. Buenos Aires: Colecciones Tango.
- Landes, E. (2.013). *Secado de Lodos*. Santiago: Universidad de Chile.
- Mattfeld, B. (2.014). Solar Sludge Drying System Helps Reduce Hauling Costs. *Water World*, 33-37.

- Ministerio del Ambiente. (2015). *Proyecto de recuperación de las áreas protegidas de la ciudad de Guayaquil I: Estero Salado e Isla Santay*. Guayaquil: SENPLADES.
- Orellana, X. (2003). Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales para la fabricación de ladrillos. Guayaquil.
- Orellana, X. (2015). *Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos (tesis de tercer nivel)*. Guayaquil: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 51-58.
- Palacios, C. (2006). Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, Antártida- Verano Austral 2003- 2004. *Revista Tecnológica ESPOL*, 185-189.
- Ramalho, R.; Jiménez, D. ; de Lora, F. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverté.
- Rubio, J. (1976). Secado de lodos de aguas residuales por filtración- evaporación natural. Madrid.
- Rubio, J. (1976). *Secado de lodos de aguas residuales por filtración- evaporación natural. -eras de secado- (Tesis de doctorado)*. Madrid: Tesis de Universidad Politécnica de Madrid.
- Salcedo, M. (2006). *Concreto de alto desempeño en Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *AGRONOMIA 26-2 -PROFE194*, 347-359.
- Valencia, N. (2008). Secado Solar de Lodos (Tesis de Maestría). México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Velazco. (1983). *Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo 2a ed.* Chapingo: Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Suelos.
- Villafuerte, N. (2012). Energías renovables VII. *Politécnicos*, 16-17.
- Vivas, E. (2016, junio 23). Normativas Internacionales para la construcción de invernaderos. (E. Díaz, Interviewer)
- Von Buchwald, F. (2011). *Proyectos para Guayaquil*. Guayaquil.
- Winkler. (1986).
- Yarke, E. (2005). *Ventilación natural de edificios*. Buenos Aires: Nobuko.

Zea, N. (2.005). *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. Tesis Ingeniería Civil*. Guatemala: Universidad de San Carlos.

Anexos

Anexo 1. Clasificación del Contenido de Materia Orgánica (%)

Clase	M.O. (%)
Extremadamente pobre	< 0.6
Pobre	0.6 – 1.2
Medianamente pobre	1.21 – 1.8
Medio	1.81 – 2.4
Medianamente rico	2.41 – 3.0
Rico	3.1 – 4.2
Extremadamente rico	>4.21

Fuente: Adaptado de: Velazco (1983)

Anexo 2. Resultados de estudios de laboratorio para contenido de agua (muestra tipo a)

HUMEDAD MATERIAL TIPO A						
No.	Masa de recipiente + suelo humedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Contenido de agua W %	TIEMPO (DIAS)
1	350,9	278,6	53,6	72,3	32,13	0
2	377,5	314,5	52,5	63	24,05	0
				PROMEDIO	28,09	
HUMEDAD DESPUES DE LA CAMARA DE SECADO						
No.	Masa de recipiente + suelo humedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Contenido de agua W %	TIEMPO (DIAS)
1	303,9	295,4	42,4	8,5	3,36	2
2	305,3	297,3	41,2	8	3,12	2
				PROMEDIO	3,24	

Anexo 2. Resultados de estudios de laboratorio para contenido de agua (muestra tipo b)

HUMEDAD MATERIAL TIPO B						
No.	Masa de recipiente + suelo humedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Contenido de agua W %	TIEMPO (DIAS)
1	167,8	156,6	40	11,2	9,61	0
2	142,1	133,4	43,5	8,7	9,68	0
				PROMEDIO	9,64	
HUMEDAD DESPUES DE LA CAMARA DE SECADO						
No.	Masa de recipiente + suelo humedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Contenido de agua W %	TIEMPO (DIAS)
1	159,6	156,6	50,5	3	2,83	1
2	132,3	129,8	39	2,5	2,75	1
				PROMEDIO	2,79	



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Díaz Monge María Emilia**, con C.C: # 1313592139 autor/a del trabajo de titulación: **Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **15 de septiembre del 2016**

f. _____

Nombre: **Díaz Monge María Emilia**

C.C: **1313592139**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero		
AUTOR(ES)	María Emilia Díaz Monge		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Gilberto Martínez Rehpani Mg. Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	15 de septiembre del 2016	No. DE PÁGINAS:	100
ÁREAS TEMÁTICAS:	Medio ambiente, lodos residuales, contaminación.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Secado, lodos residuales, plantas de tratamiento, materiales, humedad, cámara de secado.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>La presente investigación titulada proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero, tuvo como finalidad evaluar la viabilidad técnica del proceso de secado de lodos residuales originados en la ciudad de Guayaquil, utilizando efecto invernadero, con el propósito de elaborar materia prima que pueda ser utilizada en la elaboración de diversos materiales de construcción, minimizando de esta manera el impacto ambiental que pudieran producir la disposición final de estos lodos. Para este fin, se planteó una estructura metodológica de tipo experimental a partir del secado de dos tipos de materiales. El primero de naturaleza arcillosa y el segundo originado de lodos residuales de plantas de tratamientos de aguas servidas en la ciudadela La Joya. Con esta orientación, se pudo construir una cámara artesanal de secado, utilizando caña guadua y plástico transparente. Los resultados obtenidos demostraron la eficacia de la cámara logrando el secado de los lodos residuales y de las arcillas en 24 y 48 horas respectivamente. Según el ensayo Atterberg el lodo residual demostró límite líquido del 148 %, límite plástico del 83 % e índice de plasticidad del 65 %. La reducción del porcentaje de humedad fue del 6.85 %, lo que demuestra la factibilidad técnica del uso de cámaras de secado artesanales. Del mismo modo, la concentración de materia orgánica registrada por la muestra lodo residual, fue considerada como como Medianamente Pobre según el método de ignición. Finalmente, se pudo consolidar una tecnología artesanal para la obtención de materia prima, en la fabricación</p>			



de diversos materiales de construcción, beneficiando al medioambiente de una manera sostenible, debido a la posibilidad de evitar la exposición ambiental de miles de toneladas de lodo residual.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-993290543	E-mail: emiliadiazmonge@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Ing. Clara Glas Cevallos, MsC.	
	Teléfono: +593-4-984616792	
	E-mail: claglas@hotmail.com	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		