



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

TÍTULO:

**Fabricación de sub-base para vías utilizando lodos remanentes de plantas de
tratamiento de aguas residuales.**

AUTOR (A):

Feijóo González Andrés Emilio

**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 **Andrés Emilio Feijóo González**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

Ing. Gilberto Martínez Rehpani Mg. Sc.

DIRECTORA DE CARRERA

Ing. Stefany Alcívar Bastidas Mg. Sc.

Guayaquil, a los 19 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, Andrés Emilio Feijóo González

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Fabricación de sub-base para vías utilizando lodos remanentes de plantas de tratamiento de aguas residuales**, 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 19 días del mes de septiembre del año 2016

EL AUTOR

Andrés Emilio Feijóo González



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

AUTORIZACIÓN

Yo, Andrés Emilio Feijóo González

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Fabricación de sub-base para vías utilizando lodos remanentes de plantas de tratamiento de aguas residuales**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 19 días del mes de septiembre del año 2016

EL AUTOR:

Andrés Emilio Feijóo González

Urkund Analysis Result

Analysed Document: ANDRES FEIJOO REV 1. 27.09.16.docx (D22039611)
Submitted: 2016-09-28 18:45:00
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 10 %

Sources included in the report:

Tesis_revisión antiplagio.docx (D15010626)
TESIS EDER TOAREZ.docx (D16478146)
Tesis Carmen Soledispa Cantos.docx (D13282676)
Monica Alvarez Cap 6.docx (D12993353)
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26051/TFM%20Rafael%20Mu%C3%B1oz%20Est%C3%A9vez.pdf;sequence=1>
<http://www.redalyc.org/pdf/1803/180314732020.pdf>
http://web.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/TLAXCALA%202009/REVISTA/contaminacion/acervo/vol_24_4/2.pdf
<http://unalmed.edu.co/~geotecni/GG-17.pdf>
<http://es.slideshare.net/jorgehazarmas/especificaciones-de-vias>
<http://www.redalyc.org/pdf/370/37011665002.pdf>
<http://myslide.es/documents/memoria-definitiva-malacatos-san-agustindocx.html>
<http://autodesarrollo.com/COLECCION%20DE%20NEGOCIOS%20Y%20ECONOMIA.xls>
<http://myslide.es/documents/presupuesto-de-obra-vial.html>
http://www.drytec.org/index.php?option=com_content&view=article&id=34:zukunftsstechnik-solare-trocknung&catid=51:klaerschlammtrocknung&Itemid=1666
<http://www.slideshare.net/miriamxita/lagunas-de-oxidacion-42867986>

Instances where selected sources appear:

Agradecimiento

A mis padres Roosevelt Feijoo Cruz y Jacqueline González Franco por inculcarme buenos valores desde mi hogar, a mi tutor Ing. Gilberto Martínez por enseñarme que todo se puede lograr, a mis compañeros y amigos quienes estuvieron conmigo cuando los necesité.

Andrés

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres y mi tutor por mostrarme el camino que sigo; a mis colegas y amigos con quienes lo recorro; y a mi hermano cuyo camino lo espera.

Andrés



**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. Rolando Vila Romani, PhD

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. Rolando Vila Romani, PhD

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1. Caracterización del problema	17
1.2. Objetivos de la investigación.....	18
1.2.1. Objetivo General	18
1.2.2. Objetivos Específicos.....	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO CONCEPTUAL	19
2.1. Aguas residuales	19
2.1.1. Generalidades	19
2.1.2. Clasificación de Aguas Residuales	20
2.1.3. Proceso de Depuración de Aguas Residuales	22
2.1.4. Tipos de Tratamientos.....	23
2.2. Lodos y fangos contaminantes	25
2.2.1. Generalidades.....	25
2.2.2. Clasificación de Lodos Residuales.....	26
2.2.3. Proceso de Manejo de los Lodos Residuales	27
2.2.4. Características de los Lodos.....	29
2.2.5. Deshidratación de los Lodos	31
2.2.6. Secado Solar de Lodos de Depuradora	31
2.2.7. Uso de Lodos Residuales en Construcciones Civiles	32
2.3. Sub-base para vías	34
2.3.1. Generalidades.....	34
2.3.2. Especificaciones Técnicas (NORMA ECUATORIANA VIAL. NEVI-12-MTOP).....	35
2.3.3. Especificaciones Generales propuestas por el Ministerio de Transporte para la contracción	37
2.3.4. Ensayos para evaluar fiabilidad de Materiales Constructivos.....	38
CAPÍTULO III.....	43
METODOLOGÍA	43
3.1. Ubicación.....	43
3.2. Métodos	43
3.3. Materiales	43
3.3.1. Obtención de los Materiales Utilizados	43

3.3.1.1.	Extracción.....	43
3.3.1.2.	Fabricación	45
3.3.1.3.	Empaque y transporte	45
3.3.1.4.	Cocción.....	45
3.3.2.	Evaluación en Laboratorio de Materiales Utilizados	47
3.3.3.	Elaboración de Terraplén de prueba	47
CAPÍTULO IV	49
RESULTADOS	49
4.1.	Caracterización de los materiales estudiados	49
4.1.1.	Ensayo de Composición Granulométrica	49
4.1.2.	Límites de Plasticidad.....	50
4.1.3.	Ensayo de Compactación Proctor.....	52
4.1.4.	Ensayo de masa unitaria suelta y de masa unitaria varillada.....	53
4.1.5.	Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado grueso	53
4.1.6.	Ensayos de Resistencia en Terraplén	53
CAPÍTULO V	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
5.1.	Conclusiones.....	56
5.2.	Recomendaciones	58
Bibliografía	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Características de los principales niveles de tratamiento.....	25
Ilustración 2. Límites numéricos a 10 metales.....	26
Ilustración 3. Límite de calidad microbiológica de lodos.....	27
Ilustración 4. Propiedades químicas estándar de lodos residuales.....	28
Ilustración 5. Humedad y Densidad relativa en lodos residuales.....	29
Ilustración 6. Ubicación del sitio del ensayo.....	43
Ilustración 7. Lodo residual obtenido después del secado.....	44
Ilustración 8. Lodo residual deshidratado y molido.....	44
Ilustración 9. Colocación de las arenas y gravas de arcillas con adiciones de lodos residuales en el horno artesanal.....	46
Ilustración 10. Colocación de las arenas y gravas de arcillas con adiciones de lodos residuales en el horno artesana.....	46
Ilustración 11. Disposición de los compuestos de arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales en horno artesanal.....	46
Ilustración 12. Compuestos de arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales cocidos.....	47
Ilustración 13. Ensayo de resistencia en terraplén.....	48
Ilustración 14. Determinación de porcentaje de humedad por método de ignición. Fuente: Díaz (2016).....	49
Ilustración 15. Granulometría de las gravas y arena después del proceso de compactación en comparación al huso para subbase clase 3.....	50
Ilustración 16. Resultados de ensayo de Atterberg. Plasticidad.....	51
Ilustración 17. Ensayo de Soporte C.B.R.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 18. Resultados para ensayo de soporte C.B.R.....	52
Ilustración 19. Determinación de Densidad seca máxima y porcentaje de humedad óptima.....	52
Ilustración 20. Granulometría de las gravas y arena después del proceso de compactación en comparación al huso para subbase clase 3.....	53
Ilustración 21. Curva de distribución granulométrica material compactado en terraplén de prueba.....	54
Ilustración 22. Granulometría de la arena y la grava antes y después del proceso de compactación en comparación al huso granulométrico para subbase clase 3.....	54

Ilustración 23. Comparación entre granulometría antes y después del proceso de compactación.....	55
Ilustración 24. Densidad de los Suelos (Método del Cono y Arena).....	55

Resumen

El presente estudio titulado fabricación de sub-base para vías utilizando lodos remanentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, tuvo como finalidad evaluar la viabilidad técnica al emplear lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en la ciudad de Guayaquil, en la elaboración de sub-base para calles y vías, minimizando así el impacto ambiental que pudiera producir la disposición final de estos lodos. Para este fin, se realizó un planteamiento metodológico experimental, a partir de la fabricación de un material aleado en proporciones 90 % arcilla expansiva y 10 % lodo residual, siendo cocinado en hornos artesanales y posteriormente expuesto a ensayos de campo y laboratorio. Los resultados advertidos determinaron inexistencia de plasticidad según el ensayo de límites de Atterberg y granulometría dentro de los parámetros para el fin estipulado. Se pudo determinar una densidad seca máxima de 1308 kg/m^3 y porcentaje de humedad óptima del 35 %. Así mismo una densidad específica de volumen de 2.05, porosidad de 42.8 % y una absorción del 22.69 %. El porcentaje de C.B.R. obtenido fue del 20 %, porcentaje menor al 30 % mínimo admitido por el Ministerio de Transporte en Ecuador para un material constituyente de sub-base en la construcción de caminos, vías y/o carreteras. No obstante, el requerimiento estándar de calidad establecido en la Norma Ecuatoriana Vial. NEVI-12 – MTOP señala que este material puede usarse como material de mejoramiento. La aplicación de este material, permitirá utilizar lodo residual en actividades de la construcción, mitigando el impacto ambiental que supondría el desalojo de estos fangos biopeligrosos acuerpos de agua.

Palabras Claves:

Lodo residual, aguas residuales, sub-base, plasticidad, granulometría, humedad óptima.

ABSTRACT

This study titled manufacturing sub-base for roads using remaining sludge treatment plant wastewater, aimed to assess the technical feasibility by using plant sludge wastewater treatment installed in the city of Guayaquil, in developing sub-base for streets and roads, thus minimizing the environmental impact that could produce the final disposal of sludge. To this end, an experimental methodological approach was made, from the manufacture of an alloy material proportions 90 % and 10 % local clay sludge, being cooked in handcrafted ovens and subsequently exposed to field and laboratory tests. The lack of results determined warned by the Atterberg plasticity testing and grading within the parameters stipulated for the purpose. It was possible to determine a maximum dry density of 1308 kg/m³ and optimum moisture percentage of 35 %. Also a specific bulk density of 2.05, percentage of voids of 42.8 % and 22.69 % absorption. The percentage of C.B.R. obtained was 16%, lower than the 30 % minimum supported by the Ministry of Transport in Ecuador for a constituent sub-base material in road construction, roads and/or roads. However, the standard quality requirement established in the Standard Ecuadorian Vial. NEVI-12 - MTOP and parameters evidenced in test results and laboratory tests show that the alloy material discovered, can be used as breeding material in admixture with another component. The application of this new material, allow use sludge in construction activities, mitigating the environmental impact that would involve weathering of these biohazardous sludge.

Keywords: sewage sludge, sewage, sub -base, plasticity, particle size, optimum moisture.

Introducción

El estudio que se presenta, tuvo como finalidad la continuidad a los trabajos de investigación relacionados a la utilización de lodos residuales en materiales constructivos que se desarrollan en la facultad de Ingeniería, en el área de la contaminación ambiental.

En la ciudad de Guayaquil, existe el problema del manejo de las aguas residuales, las mismas que, al no ser debidamente tratadas, son descargadas a los ríos, incrementando el nivel de contaminación y futuros costos de potabilización del agua. La fabricación y/o explotación de los materiales de construcción convencionales, generalmente conllevan un gran coste medioambiental, debido a que su extracción y/o producción, demanda un alto gasto energético, al igual que el transporte y su transformación.

En algunas ciudades del Ecuador, las aguas residuales son tiradas al mar, en otros casos, son dispuestas en lagunas o en ríos, contraviniendo específicas normas ambientales, de salud física y mental, y los perjuicios en el área del turismo.

Para mitigar los impactos ambientales generados por la presencia del ser humano en nuestros ecosistemas, disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, y, por ende, contribuir con la disminución del efecto invernadero y del calentamiento global, se plantea investigar en el campo de los lodos residuales en la ciudad de Guayaquil y su aprovechamiento como materiales de construcción.

Una de las maneras prácticas para el aprovechamiento de lodos residuales, es el procesamiento artesanal de los materiales a través del método de secado por efecto invernadero, obteniendo materia prima para la elaboración de materiales constructivos experimentales. A través de ésta iniciativa, se podrá validar el procesamiento del material que luego de pasar por una cámara de secado con efecto invernadero, se podrá eliminar gran parte de su contenido de humedad(Díaz, M., 2.016).

La mezcla que se plantea se efectúa con arcilla, en una proporción adecuada, siendo cocinada en un horno a más de 900 grados centígrados, con la finalidad de obtener un producto más resistente y sin residuos de materia orgánica.

Estudios realizados por Orellana (2015), demostraron que la combinación idónea para la elaboración de ladrillos artesanales, debe contener una mezcla arcilla + lodos residuales + agua + aserrín, a través de la cual se moldearon 300 ladrillos, 60 ladrillos por cada tipo de muestra, en la que se planteó analizar 0%, 10%, 20%, 30% y 100% de adiciones de lodos residuales.

No obstante, se demostró a través del mencionado estudio científico, que el aumento de lodo residual como constituyente de la mezcla, incrementa paralelamente el nivel de plasticidad de ésta, por ende, se incorpora un factor de poca utilidad: reducida capacidad de manipulación en el molde, en consecuencia, se requirió incrementar el contenido de humedad para retirar el ladrillo crudo del molde.

Esto muestra con claridad que el uso exagerado de altas proporciones de lodo residual en la mezcla, origina problemas en la manipulación de los materiales constructivos. Además, este factor afecta la calidad de los productos (ladrillo), originando visibles fisuras del bloque, lo que no es aceptable ni preferible para estándares de calidad en materiales constructivos.

La ejecución de la presente investigación experimental, podrá definir de manera teórica y práctica la factibilidad del reúso de fangos residuales para la elaboración de materiales para la construcción. Con el estudio, la Universidad Católica Santiago de Guayaquil (UCSG), fomenta la generación de información científica y académica de primera mano que fundamente la investigación continua y permanente en la innovación de nuevas metodologías aplicables a la construcción, dirigida a la satisfacción social de vivienda en los estratos más desposeídos de la sociedad. Al mismo tiempo, se busca encontrar solución práctica y eficiente a una problemática de interés ambiental, como es la mala y costosa disposición final de los lodos residuales en el entorno natural de la ciudad de Guayaquil.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Caracterización del problema

La disposición final de los desechos originados del proceso de tratamiento de aguas residuales, representan una problemática que aún prevalece en la ciudad de Guayaquil. Los estamentos públicos encargados de darle manejo a los fangos residuales, esconden su incapacidad de tratarlos detrás de múltiples razones, que a su criterio son de mayor significancia para la población.

En Ecuador, la última década representó un paso adelante en el ámbito de legislación ambiental y sanitaria. Los instrumentos jurídicos creados, direccionan mejorar el manejo sanitario de los residuos a las municipalidades, incrementando los recursos humanos, logísticos, operativos y económicos para implementar el tratamiento adecuado a los lodos sanitarios.

El mecanismo utilizado para la disposición final de los lodos residuales en la ciudad de Guayaquil, es el secado a la intemperie. Toneladas de lodos residuales son transportadas al relleno sanitario Las Iguanas, siendo dispuestos en zonas apartadas a los residuos domiciliarios que ingresan comúnmente al sector. Según Cota y Ponce (2008), a partir de esta práctica de secado a la intemperie, se originan olores fétidos y dispersión incontrolada de patógenos a causa de vientos y organismos vectores de enfermedades. Los grandes volúmenes de lodos generados hacen difícil y costoso su manejo y disposición (Cota, A.; Ponce, C., 2008, pp. 27-28).

La fabricación y/o explotación de los materiales de construcción convencionales, generalmente conllevan un gran coste medioambiental, debido a que su extracción y/o producción demanda un alto gasto energético, al igual que el transporte y su transformación.

Esto, sumado a los costos originados por el tratamiento de lodos residuales, ha configurado un problema de dimensiones significativas. Un problema al que la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, en su rol de entidad responsable desde la academia y ciencia, consecuente a su Misión y Visión, debe afrontar para encontrar respuestas eficientes y sostenibles.

1.2. Objetivos de la investigación

La investigación de tipo experimental que se expone, tuvo como origen en el diseño, elección de la teoría científica habilitantes y los instrumentos metodológicos pertinentes para la determinación de conclusiones significativas, a partir del cumplimiento estricto de un objetivo general y tres objetivos específicos que articularon el cumplimiento del primero. Con este argumento técnico se plantearon y desarrollaron los siguientes objetivos:

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica de emplear lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en la ciudad, en la elaboración de sub-base para calles y vías, para que se pueda dar otro uso a este residuo, que se puedan minimizar los impactos ambientales que pudiera producir la disposición final de estos lodos, y al mismo tiempo que contribuya a la elaboración de un producto necesario para la construcción de vías y de bajo impacto ambiental.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Muestrear y caracterizar los lodos producidos en una planta de tratamiento de aguas residuales, para utilizarlos como adición en la elaboración de agregados para la fabricación de subbase para calles y vías.
- Elaborar y caracterizar los agregados y un terraplén de prueba utilizando arcillas coaccionadas del norte de Guayaquil, adicionadas con diferentes proporciones de lodos residuales de plantas de tratamiento, para desarrollar una metodología de fabricación artesanal de agregados que pruebe su viabilidad ejecutiva.
- Realizar ensayos de laboratorio en el terraplén de prueba construido utilizando agregados con adiciones de lodos residuales de plantas de tratamiento, para analizar la viabilidad técnica de construir parte de la estructura de futuras vías y calles con materiales alternativos y que contaminan el medio ambiente.

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL

2.1. Aguas residuales

2.1.1. Generalidades

Según Cotillas (2015):

“desde principios del siglo XX, los requerimientos de agua a nivel municipal e industrial han ido en aumento. El uso y consumo de agua se ha elevado a un ritmo dos veces superior a la tasa de crecimiento de la población, haciendo notoria la gran brecha entre el desarrollo demográfico y la demanda de agua, de tal forma que el agua ha pasado de ser considerada un recurso disponible infinito a uno escaso en algunos países” (pág. 47).

El uso del agua, produce la contaminación de la misma. Alrededor de esta situación en la composición natural del líquido vital, se genera un proceso de transformación del agua en *aguas servidas* o *aguas residuales* (Armijos, A., 2.014, p. 17).

El ser humano aprendió la eficiencia del manejo del agua, pero descuidó entender qué hacer con el agua una vez utilizada (De Boer, 2013). Los parámetros de eficiencia alcanzados por los procesos de remediación del efecto contaminante, han fracasado, volviendo la realidad ecológica de los recursos naturales en un caos, que ha coincidido con los últimos sucesos de cambios climáticos en el planeta (Frikman, A., 2.014, pp. 278-279).

Según Frikman (2014) la contaminación del agua y su tratamiento, se volvió un problema para los entes públicos de las naciones. Los países en vías de desarrollo encuentran una problemática mayor, pues las pocas soluciones que existentes representan grandes montos de inversión para el tratamiento de sus aguas residuales. (Frikman, A., 2.014, p. 257).

Orellana (2015) expone que:

“Las aguas residuales se denominan también como aguas servidas. Este producto de la actividad antropogénica, 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” (Díaz, M., 2.016).

Según Seoáñez (2004) Se denomina aguas residuales urbanas a las que se han canalizado en los núcleos urbanos, que se han utilizado en usos domésticos (inodoros, fregaderos, lavadoras, lavabos, baños). Además, pueden contener residuos provenientes de los arrastres que las aguas de lluvias y actividades industriales urbanas (Bermeo, L.; Santín, J., 2.010).

El agua residual tiene su origen en residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Estas aguas negras en ocasiones son tratadas en el propio medio en el que se generan. Basta con la instalación de alguna mini estructura que realice el trabajo, para determinar un tratamiento eficiente, previo a la descarga en el sistema de transporte común. Para el caso de los industriales, el sistema de traslado del agua sufre la regulación de normas ambientales y de calidad de acción internacional y local, precisando muchas veces un proceso específico y especializado para el procesamiento de ciertas sustancias existentes en el agua(Villacís, A., 2.011).

Se pueden identificar desde el criterio de Villacís (2011) como: “aguas que se descargan después de haber sido usadas en un proceso o producidas por este, y no tienen ningún valor inmediato para este proceso”.(Villacís, A., 2.011, p. 9)

2.1.2. Clasificación de Aguas Residuales

Las aguas residuales tienen diferentes factores limitantes e incidentes que predisponen su clasificación. Grefa (2013) determinó el siguiente sistema de clasificación:

2.1.2.1. Aguas Residuales Domesticas

Con el término aguas residuales, nos referimos al concentrado soluto y líquido existente en el agua producto de la actividad humana, sea de tipo residencial, institucional (oficinas), comerciales (locales) o industriales (fábricas). A través de su descarga a una red de traslado y disposición para su depuración, el ser humano ha logrado equilibrar la eficiencia técnica en el manejo de sus residuos (Alcívar, S., 2.011, pp. 6-7).

Aguas Negras: Consideradas como el soluto disuelto en sí, registrando altas concentraciones de sólidos que provocan el efecto contaminante. Este soluto puede eventualmente estar constituido por materia orgánica y micro fauna (Alcívar, S., 2.011, pp. 6-7).

Aguas Blancas: Son las que han sido empleadas para limpieza(Grefa, L., 2.013).

2.1.2.2. Aguas Residuales de Industria

Considerados así, los residuos de fábricas y otras entidades manufactureras que se originan a partir de la actividad natural de la producción de bienes industriales (Alcívar, S., 2.011, pp. 6-7).

Aguas Orgánicas: Se originan a raíz de la actividad en la industria de láctea, alimenticia, textil, entre otras. El residuo líquido de estos procesos, originan altos porcentajes de concentración de materia orgánica, siendo una fuente de alto nivel contaminante (Machado, E., 2.011).

Aguas Tóxicas: Se trata de uno de los residuos con mayor severidad contaminante. Estas aguas se originan del proceso industrial de la síntesis de elementos y productos químicos, la industria metalúrgica, entre otros, que provocan corrosión en el ambiente (Alcívar, S., 2.011).

Aguas Inertes: Producto de la actividad en cerámica, mármol, refrigeración, entre otros, que crean contaminación física, es decir la concentración de agregados por consolidación de los materiales y la consecuente obstrucción de cañerías y tuberías (Machado, E., 2.011).

2.1.2.3. Agua de Infiltración

Las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza (Grefa, L., 2.013).

2.1.2.4. Aguas Pluviales

Las aguas pluviales representan la recolección de aguas de lluvia que se orientan hacia un desagüe conectado con algún efluente cercano. Esta agua puede contener materiales orgánicos e inorgánicos originados a partir del arrastre a su paso (Alcívar, S., 2.011, pp. 6-7).

2.1.3. Proceso de Depuración de Aguas Residuales

La contaminación permanente está ligada a los desechos industriales, a las aguas residuales de origen urbano, al empleo en la agricultura de pesticidas y abonos, y a la contaminación ocasional debida a las actividades turísticas o de ocio. Prácticamente, cuanto más disminuye la calidad del agua, más indispensable es la necesidad de llevar a cabo procesos de tratamiento (de depuración) para adecuar la calidad del agua antes de su devolución al medio natural (Cotillas, S., 2.015).

Previo a la descarga de las aguas residuales en campos de infiltración, se exige la implementación de un protocolo sanitario con la finalidad de mitigar el nivel contaminante del agua. Los niveles contaminantes permitidos, son regulados por la legislación ambiental del Ecuador y contemplan la construcción y adecuación de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) o estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) (Machado, E., 2.011).

Menéndez y Pérez (2008) establecen que el agua contaminada se caracteriza por sus propiedades físicas como:

Color: A través del color se puede estimar cálculos de tiempo. El color característico es el gris, en cambio en períodos prolongados de conservación, las aguas residuales se tornan de color negro (ausencia de oxígeno, proliferación de microorganismo anaeróbico) (Villacís, A., 2.011, p. 9).

Olor: Los olores característicos de las aguas residuales se originan debido a los gases liberados durante el proceso de desintegración de la materia orgánica. Estos guardan relación directa con la concentración de materia orgánica presente en el medio y el entorno de degradación en que se descompone (entorno anaeróbico genera sulfuro de hidrogeno, componente característico de olores sépticos). (Villacís, A., 2.011, p. 9)

Temperatura: la temperatura representa un parámetro elemental para el funcionamiento adecuado de los sistemas de tratamiento en su fase secundaria. Irregularidades en la temperatura podrían descontrolar el proceso, haciéndolo ineficiente (tratamiento biológico)(Villacís, A., 2.011, p. 10)

Turbidez: A través del grado de turbidez del agua, se puede detectar los sólidos que se registran en suspensión debido a su densidad y características en el medio receptor.(Villacís, A., 2.011, p. 10)

Sólidos: Los sólidos suspendidos se evidencian a manera de sólidos floculados, suspendidos y sedimentados. Son los componentes que originan los depósitos de fango y condiciones anaeróbicas en entornos acuáticos sin tratar. Es indispensable efectuar la remoción de sólidos sedimentados para evitar la destrucción de equipos (bombas, tuberías, etc.) por efectos de abrasión (Villacís, A., 2.011, p. 10).

La finalidad técnica del tratamiento es la degradación del efecto contaminante para viabilizar la descarga legal y ambiental de las aguas tratadas sobre cauces naturales como: ríos, mar, lagos, embalses, o la reutilización en actividades agrícolas, industriales, construcción civil, entre otras actividades. El nivel de la depuración dependerá directamente de los modelos de capacidad de autodepuración del medio receptor y la legislatura ambiental inherente a cada nación o mancomunidad (Alcívar, S., 2.011, pp. 6-7).

Los sistemas de tratamientos de aguas residuales implementados en Ecuador, contienen características diversas en función de la disponibilidad de recursos, del caudal a depurar, de las condiciones en las que se reciben las aguas negras, entre otras (Pineda, B., 2.015).

2.1.4. Tipos de Tratamientos

2.1.4.1. Pretratamiento

La finalidad principal del pretratamiento es desaparecer las materias gruesas o visibles propias de las aguas negras. Este residuo contamina física, química y microbiológicamente al medio, originando problemas en el traslado del vertido. A través de proceso se busca reducir o eliminar los siguientes elementos: (Alcívar, S., 2.011, pp. 6-7)

- Elementos sólidos o basuras mayores que son arrastrados por las redes. Para su corrección se utilizan trampas metálicas o recolectores de elementos contundentes (Machado, E., 2.011).
- Partículas discretas sedimentables o arenas, originadas principalmente por la energía cinética del arrastre del agua, la acumulación provoca sedimentación y probable obstrucción del canal(Machado, E., 2.011).

2.1.4.2. Tratamiento Primario

El propósito del tratamiento primario es remover el soluto disuelto en el agua residual. Los constituyentes contundentes con cierto tamaño, como hojas o palos, pueden ser separados del vertido a través de rejillas. Los sólidos orgánicos suspendidos se eliminan por medio de sedimentación. También lo constituyen desarenadores, estructurados a su vez por dispositivos hidráulicos que mitigan la rapidez del agua, al mismo tiempo que atrapan materiales inorgánicos del medio como arenas y gravas. La eficiencia de este componente debe estar alrededor del 50 % de atrapado de materiales (Campos, I., 2.003).

Campos (2003: pág. 63) determina: “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 biooxidación 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” (Díaz, M., 2.016, p. 25).

2.1.4.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario comprende procesos biológicos de naturaleza aerobia y anaerobia, como también procesos fisicoquímicos. De esta manera se reduce la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). La finalidad es la separación de sólidos presentes, alterando su consistencia biológica logrando que éstos se sedimenten. Este proceso es principalmente de naturaleza biológica, siendo manejado de manera natural por microorganismos propios del medio. Estos procesos están asociados principalmente a la existencia de bacterias (Orellana, X., 2.015).

2.1.4.4. Tratamiento Terciario

Usualmente, la combinación de los tratamientos expuestos, resultan suficientes para alcanzar el estándar de calidad en el efluente previo a su descarga. No obstante, en caso de su necesidad, se suele realizar el tratamiento terciario, para eliminar ciertos componentes de sólidos suspendidos o reducir la consistencia de ciertos nutrientes como nitrógeno o fósforo. Para este fin se utilizan métodos físicos, químicos, biológicos o la recombinación de éstos (Campos, I., 2.003).

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	Si
Cumple patrón de reuso	No	No	Usualmente sí ¹	Sí ²
Aplicación	Aguas 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).

2.2. Lodos y fangos contaminantes

2.2.1. Generalidades

Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales dependen del tipo de planta de tratamiento y de la operación de ésta. En una planta de aguas residuales domésticas, los lodos se generan principalmente en las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario (Limón, J., 2.013).

2.2.2. Clasificación de Lodos Residuales

Los lodos primarios se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal (Limón, J., 2.013).

Los lodos primarios se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal (Limón, J., 2.013).

Se reconoce de manera internacional otro tipo de clasificación que observa la concentración de metales pesados y su carga microbiológica: Lodo peligroso, existencia de contaminantes tóxicos y presencia de lodo no peligroso, con porcentajes de presencia menores que los valores establecidos por la EPA (Orellana, X., 2.015).

A continuación, Orellana (2015) establece 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 (Díaz, M., 2.016):

#	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

Ilustración 2. Límites numéricos a 10 metales
Fuente: Valderrama (2013), adaptado de Díaz (2016).

De acuerdo con los límites de calidad microbiológica de la EPA presentados en la ilustración 2, el lodo según su calidad se determina como lodo tipo A, donde se dificulta la detección de los organismos patógenos, pero se cumple la norma para el parámetro atracción de vectores y contenido de metales. Por su parte, para el caso del lodo tipo B, los actores patógenos se logran detectar, resultando necesaria una intervención en este aspecto. Para este fin, ambos tipos de lodo deben pasar por exámenes microbiológicos, con lo que se puede establecer parámetros citados en la ilustración 3. (Orellana, X., 2.015, p. 27); adaptado de Díaz (2016).

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	-

Ilustración 3. Límite de calidad microbiológica de lodos

Fuente: Valderrama (2013). Adaptado de Orellana (2015); disponible en (Díaz, M., 2.016)

Los lodos secundarios se producen en los reactores biológicos y se sedimentan o separan del agua en los sedimentadores secundarios. Estos sedimentadores tienen en su base una tolva para almacenar y concentrar los lodos sedimentados. La extracción del lodo sedimentado se efectúa por carga hidráulica y por el accionamiento mecánico de las rastras que “barren” el fondo del tanque, empujando los lodos sedimentados a la tolva para su extracción (Limón, J., 2.013).

2.2.3. Proceso de Manejo de los Lodos Residuales

En general, el proceso de lodos activos (lodos activados o fangos activados) es el sistema biológico de depuración más extendido actualmente para tratar aguas residuales, tanto domésticas como industriales y sus aplicaciones han aumentado a medida que se ha avanzado en el conocimiento de la microbiología, cinética y bioquímica relacionada con el proceso (Aragón, C., 2.009).

En este aspecto, Aragón (2009) nos entrega varias ideas centrales sobre el manejo de estos residuos biopeligrosos. La producción de lodos es un proceso continuo que requiere salidas para su disposición final que sean flexibles, seguras, económica y medioambientalmente aceptables. Los lodos pueden ser utilizados en procesos de importancia como la agricultura. En Europa Occidental, el 40 - 50% de los lodos son

utilizados en la producción de alimentos. El alto contenido en metales con frecuencia limita su utilización en agricultura; el vertido al mar queda prohibido y la incineración es cara y contamina con la emisión de gases (Aragón, C., 2.009).

En cuanto a la constitución de los fangos residuales, Rubio (1976) aporta su teoría relacionada a la constitución de los fangos:

- “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) adaptado de (Díaz, M., 2.016).

Según (Henríquez, O., 2.011, págs. 18-19):

“Las propiedades químicas de los lodos tratados son incididos por varios factores entre ellos, la calidad del agua originarias, tipo de tratamiento, métodos de estabilización, entre otros. Metcalf y Eddy (1995) determinaron algunas características generales hasta hoy vigentes para el estudio de los lodos. 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”. Adaptado de Díaz (2016)

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

Ilustración 4. Propiedades químicas estándar de lodos residuales
Fuente: Metcalf y Eddy (1995) en Henríquez (2011); Díaz (2016).

2.2.4. Características de los Lodos

El nivel de humedad del lodo y la densidad relativa del mismo se han caracterizado en la siguiente tabla:

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

Ilustración 5. Humedad y Densidad relativa en lodos residuales
Fuente: Burgos (2005); Díaz 2016

2.2.4.1. Acidez volátil

Para su determinación se sigue un método indirecto, que consiste en una destilación ácida por arrastre de vapor. Este método se basa en la propiedad que presentan los ácidos grasos de cadena corta, de arrastre con vapor de agua en medio ácido. Es una técnica de gran precisión y con ella se obtienen recuperaciones de hasta el 98% de los ácidos grasos volátiles presentes en la muestra (González, I., 2.015).

El procedimiento que se sigue es tomar un volumen de muestra, normalmente 20 mililitros y se determina la cantidad de ácido sulfúrico al 10 % necesario para llevar el pH de la muestra tomada hasta $\text{pH} = 3.5$. Se toma otro volumen igual de muestra filtrado, se añade una gota de antiespumante y se introduce en el destilador. Inmediatamente después se añade la cantidad de ácido sulfúrico determinada previamente, evitándose de esta forma, la pérdida de ácidos volátiles (González, I., 2.015).

Se destila a una velocidad tal que se recoja un volumen de 200 mililitros en aproximadamente 20 minutos; pasados estos, se recogerá una fracción de 50 mililitros más para asegurarnos de haber recogido todas las fracciones de ácidos. El destilado se recoge en un matraz Erlenmeyer tapado con papel de parafina. Este destilado se valora con NaOH 0.1 N, utilizando fenolftaleína como indicador (González, I., 2.015).

2.2.4.2. Alcalinidad

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y representa la capacidad buffer y estabilidad de la misma. El valor medio puede variar significativamente con el pH de punto final utilizado. La alcalinidad también es la medida de una propiedad agregada del agua, y solamente puede expresarse en términos de sustancias específicas cuando se conoce la composición química de la muestra (González, I., 2.015).

Además, es importante en muchos usos y tratamientos de aguas naturales y residuales porque es función, fundamentalmente del contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, si bien los valores medios de alcalinidad incluyen, también, la contribución de boratos, fosfatos, silicatos y otras bases presentes (González, I., 2.015).

Para su determinación se realiza una valoración potenciométrica con ácido sulfúrico, de un volumen dado de muestra, hasta $\text{pH} = 4.5$. La determinación se realiza tomando un volumen conocido de muestra, normalmente 20 mililitros en un vaso de precipitado y se le añade, lentamente, la solución de ácido sulfúrico, desde la bureta, hasta alcanzar un $\text{pH} 4.5$. Se mide el volumen gastado de ácido (González, I., 2.015).

2.2.4.3. Conductividad

La conductividad ha sido determinada con la utilización de un conductímetro modelo micro CM 2200, que dispone de dos electrodos de vidrio los cuales se sumergen en la muestra que va a ser analizada. Uno de ellos determina la temperatura, ya que la conductividad de un líquido depende de la temperatura el mismo, y el otro realiza la medida de la conductividad. Dispone de una pantalla digital que muestra la conductividad expresada en mS/cm o $\mu\text{S/cm}$. Requiere de una calibración previa a la realización de la medida para la cual se utiliza una muestra patrón de KCl 0,01 molar con una conductividad de $1413 \mu\text{S/cm}$, a 24°C (González, I., 2.015).

2.2.4.4. Determinación de Humedad

Galvis y Rivera (2013) determinaron: “El agua es el único ingrediente que está prácticamente presente en casi todas las materias conocidas, tales como orgánicas e inorgánicas. Cualquier materia en general puede considerarse que está integrada por dos fracciones primarias: su materia seca y cierta cantidad de agua o humedad” (Díaz, M., 2.016, págs. 38-39).

2.2.5. Deshidratación de los Lodos

Es 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 (Sáinz 2005: pág. 66), adaptado de Díaz (2016).

Los lodos residuales pueden estar constituido en hasta un 95% de agua, por ellos, la deshidratación del material representará un aspecto clave en su manipulación. Así se facilita la manipulación del lodo, toda vez que exista menor peso y volumen (Rubio, J., 1.976).

La deshidratación es el proceso de 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 (Gutiérrez, 2009) disponible en Díaz (2016).

2.2.6. Secado Solar de Lodos de Depuradora

Valencia (2008), citado por Díaz (2016), estableció que “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. 44)

Según Rubio (1976), adaptado de Díaz (2016), “en un medio para el secado de un material poroso e insoluble en una bandeja aislada, el medio secante es 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”. (pág. 44-45)

Dry Tec Solar (2015) determinó: “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”. Disponible en Díaz (2016: pág. 45).

2.2.7. Uso de Lodos Residuales en Construcciones Civiles

Zuluaga, Ortega, & Alonso (2010) aseguran que la cocción es un paso fundamental para la estabilización de materiales constructivos. A través de esta fase se producen transformaciones del material constructivo desde la perspectiva químico y estructural. La estructuración de agregados coloidales se fundamenta en la temperatura de cocción al que se exponen los materiales. A través de estos procesos se logran estabilizar materiales que ingresan al proceso constructivo.

Se han experimentado algunos ensayos como el evidenciado 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 (Díaz, M., 2016).

Entre otras experiencias con materiales reciclados y su uso como materiales constructivos, se puede citar el trabajo de Quinchía, Valencia y Giraldo (2007), quienes establecieron: “La construcción de paneles a partir de lodos de industrias manufactureras de papel constituye un valioso aporte, no solo por el desarrollo de un

material que puede ofrecer ventajas competitivas en el mercado de la construcción como material no estructural, sino por el reciclaje de un residuo industrial de alta generación” (Quinchía, A.; Valencia , M.; Giraldo, J., 2.007).

Además Quinchía, Valencia y Giraldo (2007) argumentan: “Las mezclas realizadas con el 20% en peso de yeso y el 80% de lodo de papel, mostraron un adecuado comportamiento según las especificaciones establecidas por la ASTM para resistencia, dureza en los bordes y alma, por lo que se espera que puedan ser usadas en construcción como elementos no estructurales sin sufrir fácilmente desbordamientos o daños en los extremos”

“Los paneles estudiados presentan un 24% menos en peso que los paneles comerciales de yeso y un 64,7% menos que las de fibrocemento. Esta diferencia se constituye en una ventaja al momento de transportar y armar las estructuras, además de representar una menor carga de los paneles sobre la estructura. Para garantizar homogeneidad en la distribución del material y mejorar los resultados sería recomendable la estandarización industrial del formado, así como el secado en hornos a baja temperatura que aceleren el tiempo final de conformación.y secado de los paneles.” (Quinchía, A.; Valencia , M.; Giraldo, J., 2.007).

Los autores Hernández, Villegas, Castaño y Paredes (2006), en su estudio aprovechamiento de lodos aluminosos generados en sistemas de potabilización, mediante su incorporación como agregado en materiales de construcción, establecieron: “La composición mineralógica, el tamaño de partícula y la plasticidad de los lodos aluminosos generados en la planta de potabilización de agua de la ciudad de Pereira, constituyen a los lodos aluminosos residuales como un material no apto para ser utilizados como agregado en la fabricación de ladrillos cerámicos” (pág. 119-132).

Según Hernández, *et al* (2006):

“Los análisis mineralógicos, la plasticidad y las pruebas de resistencia a la compresión y absorción de humedad permitieron identificar a la arena como el material a ser reemplazado por los lodos aluminosos, en la fabricación de ladrillos cerámicos. Existe una tendencia a disminuir la resistencia a la compresión de las unidades experimentales, en la medida que se incrementa el porcentaje de lodo aluminoso adicionado. Existe una tendencia a incrementar la absorción de humedad en las unidades experimentales, en la medida que se incrementa el porcentaje de lodo aluminoso adicionad” (pág. 119-132).

Hernández, *et al* (2006) concluyen:

“Desde el punto de vista técnico, no es posible utilizar lodos aluminosos como agregado en la fabricación de ladrillos cerámicos. Con valores superiores al 50% de reemplazo de arena por lodo aluminoso, se empieza a comprometer de manera significativa la resistencia a la compresión. Las probetas cuya resistencia a la compresión fue mayor presentaron menor porcentaje de absorción de humedad, relacionado con menor porosidad. Lo anterior permite asumir una relación inversa entre la absorción de humedad y la resistencia a la compresión” (pág. 119-132).

Las unidades experimentales en las cuales se reemplazó arena por lodo aluminoso recolectado en época de invierno, y cuyo porcentaje de reemplazo fue hasta del 40%, cumplen como unidades de mampostería no estructural, frente a los parámetros de resistencia a la compresión (kgf/cm²) y absorción de humedad (%), según la Norma Técnica Colombiana NTC 4205. Aunque las normas técnicas no son de obligatorio cumplimiento, los resultados arrojados por el presente estudio permiten suponer como una alternativa no viable la incorporación de lodo aluminoso como agregado en la fabricación de ladrillos cerámicos. Lo anterior obliga a pensar en la necesidad de continuar estudiando esta alternativa, hasta encontrar las condiciones óptimas de la incorporación de los lodos aluminosos en ladrillos cerámicos (Hernández, D.; Villegas, J.; Castaño, J.; Paredes, D., 2.006, pp. 119-132).

2.3. Sub-base para vías

2.3.1. Generalidades

La sub-base en la construcción de caminos y vías, es un elemento fundamental para el funcionamiento integral de la estructura. Según Mendoza (2008), sobre la naturaleza de la sub-base expone: “Una carpeta ya sea rígida o flexible, cuando se coloca directamente sobre el terreno nos prestara un buen servicio, en caso de que el suelo reúna las condiciones ideales. Cuando no reúne las características adecuadas, se puede mejorar con una base o bien una base y una subbase, entre el terreno y la superficie de trabajo” (Mendoza, M.; Guadarrama, J., 2.008, p. 37).

2.3.2. Especificaciones Técnicas (NORMA ECUATORIANA VIAL. NEVI-12-MTOP)

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013) en su norma NEVI-12-MTOP (2.013): “Los áridos empleados en la construcción de Capas de Sub-base deberán graduarse uniformemente de grueso a fino y cumplirán las exigencias de granulometría que se indican en la tabla de Áridos para Base estabilizada con cemento y Suelo para base estabilizada suelo - cemento (anexo 1-2), de conformidad a la Clase señalada en los documentos contractuales, lo cual será comprobado mediante ensayos granulométricos, siguiendo lo establecido en la NTE INEN 696 Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso, así como se verificará la cantidad de material más fino que el tamiz N° 200 según la NTE 697 (AASHTO T.11 y T.27 respectivamente)”. (pág. 944)

La norma NEVI-12-MTOP (2.013) sostiene: “El árido grueso no presentará porcentaje a la degradación mayor a 50% en cualquiera de los métodos de ensayo utilizados; NTE INEN 860 Áridos Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. o NTE INEN 861 Áridos Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 19 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. El valor del índice de soporte CBR no será menor de 30 %. La porción del agregado que pase el tamiz N° 40, incluyendo el relleno mineral, deberá carecer de plasticidad o tener un límite líquido menor de 25 y un índice de plasticidad menor de 6, al ensayarse de acuerdo a los métodos establecidos en las Normas ASTM D 4318 (AASHTO T.89 y T.90)”. (pág. 944)

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013) en su norma NEVI-12-MTOP (2.013) determina: “Cuando los finos naturales existentes en los materiales originales de la cantera o yacimiento tengan un límite líquido o un índice plástico superiores a los máximos especificados, el Fiscalizador ordenará la mezcla con material adecuado, para reducir los valores de la plasticidad hasta el límite especificado. De no ser factible esto, se procederá como se indica a continuación. El valor del índice de soporte CBR deberá ser mayor o igual a 30 %”. (pág. 944)

2.3.2.1. Subbase Clase 1

De acuerdo con el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013) en su norma NEVI-12-MTOP (2.013): “El material sub-base Clase 1, constituida por áridos gruesos originados de la trituración de grava o roca, combinados mezclados con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada en la tabla Áridos para subbase. La trituración del árido grueso no deberá ser menor del 30 %. Su obtención se hará de acuerdo a lo establecido en el numeral 814-2.03, y se debe además cumplir los requisitos comunes establecidos en el numeral anterior”. (pág. 945)

2.3.2.2. 814-2.03.- Procedimientos de Explotación

Una vez aprobada la cantera o yacimiento, antes de proceder a su explotación, se deberá efectuar la limpieza de todos los materiales vegetales e inadecuados; luego se procederá a la extracción o voladura, de tal manera de obtener bloques uniformes, aptos para la trituración (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2.013).

El material obtenido cuyo tamaño sea mayor a 30 cm. deberá romperse, hasta esa dimensión, antes de su introducción a la trituradora (MTOP, 2013). El material triturado se tamizará y se apilará separadamente, en dos o más tamaños, para su mezcla posterior en una planta adecuada, conforme a la fórmula maestra de la obra (MTOP, 2013).

2.3.2.3. Subbase Clase 2

La subbase Clase 2 está formada por áridos gruesos, obtenidos mediante trituración o cribado de gravas o yacimientos cuyas partículas estén fragmentadas naturalmente, mezclados con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada en la tabla Áridos para subbase (anexo 1-2). Los áridos deben cumplir los requisitos comunes establecidos en los requisitos expuestos arriba. La trituración del árido grueso no deberá ser menor del 30 % (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2.013).

2.3.2.4. Subbase Clase 3

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013) en su norma NEVI-12-MTOP (2.013) dispone: “La subbase Clase 3 está formada por áridos gruesos,

obtenidos mediante cribado de gravas o roca mezcladas con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada. Este material debe cumplir con los requisitos comunes establecidos en la subsección”. (pág. 945)

2.3.3. Especificaciones Generales propuestas por el Ministerio de Transporte para la contracción

A continuación se describen las principales disposiciones de acuerdo a las especificaciones técnicas propuestas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013) en su norma NEVI-12-MTOP (2.013):

“El material de mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado podría obtenerse por excavación cercana a la ubicación del proyecto o de préstamo o por preparación en mina. La mejora de las características geotécnicas del material, tanto físicas como mecánicas, también pueden ser realizadas con estabilizaciones con cal, con material pétreo, membranas sintéticas, empalizada. El material de mejoramiento de la subrasante debería ser granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros. La granulometría sería tal que todas las partículas pasarían por el tamiz de 4 pulgadas (100 mm) y no más de 20 por ciento pasaría el tamiz #200 (0,075 mm)”.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013) en su norma NEVI-12-MTOP (2.013) asevera:

“La parte del material que pase el tamiz # 40 (0.425 mm) debería tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta treinta y cinco (35), siempre que el valor del CBR sea mayor al 10 por ciento. El Material de tamaño mayor al especificado, debería ser retirado antes de que se incorpore la obra. Se debería desmenuzar, cribar, mezclar o quitar el material, para cumplir con las especificaciones correspondientes. La densidad de la capa compactada deberá ser del noventa y cinco (95) por ciento de la densidad obtenida del proctor del material. Se puede considerar otros límites en lo correspondiente al tamaño y al porcentaje de compactación, pero en estos casos la capa de 20 cm de la subrasante natural debería cumplir con todas las especificaciones del material de mejoramiento. El equipo mínimo a considerar en el procedimiento de colocación del material de mejoramiento debe ser equipo de transporte, esparcimiento, mezclado, humedecimiento, conformación, compactación y, de ser necesario, planta de cribado”.

Esta misma norma NEVI-12-MTOP (2.013) expone:

“Previo a la colocación de las capas de sub-base, base y la capa de rodadura, se debería conformar y compactar el material a nivel de subrasante, de acuerdo a los requisitos compactación. La subrasante no debería variar en ningún lugar de la cota y secciones transversales establecidas en más de 2 cm. La cantidad a pagarse por la construcción de mejoramiento de subrasante con suelo seleccionado, será los metros cúbicos efectivamente ejecutados y aceptados,

medidos después de la compactación. Las dimensiones de ancho, longitud y espesor estarán de acuerdo a los planos u ordenados del fiscalizador. El precio por metro cúbico será la compensación total por la obtención, procesamiento, transporte y suministro de material, distribución, mezclado, conformación y compactación del material de mejoramiento, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos. NEVI-12-MTOP de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes”.

2.3.4. Ensayos para evaluar fiabilidad de Materiales Constructivos

Los ensayos determinados para viabilizar el uso de materiales constructivos, representan la significancia en la seguridad de las construcciones a realizarse. Los fenómenos ocurridos hace poco en Ecuador, a raíz del último sismo perpetuado, movilizó al sector civil a la revisión de protocolos en aras de mejorar los diseños en la construcción. Para ello, es fundamental el manejo responsable de los análisis y ensayos a efectuar en al determinar la viabilidad técnica de los materiales que usaren.

Para este fin, Ecuador cuenta con normativas técnicas desarrolladas por el Instituto de Ecuatoriano de Normalización, quien determina las normas mínimas ejecutables para construcciones civiles que garanticen la seguridad integral de los usuarios de la vivienda.

Algunos de los análisis y ensayos más comunes son:

2.3.4.1. Análisis Granulométrico

La granulometría consiste en separar y clasificar por tamaños los granos de las partículas, por medio de tamices con el fin de clasificar los suelos gruesos y verificar que cumplan con las especificaciones para hormigones, carreteras, aeropuertos, etc. (Avilés, C.; Galarza, O.; Riera, D., 2.010).

El material a utilizarse debe ser de calidad adecuada para la construcción de rellenos y terraplenes hasta el nivel de subrasante para así mejorarla, y no deben contener desperdicios, raíces, material vegetal, putrescible o perecedero u otro material inconveniente. No se emplearán suelos orgánicos, turbas y otros suelos similares (Avilés, C.; Galarza, O.; Riera, D., 2.010).

El máximo tamaño de agregados que debe tener un terraplén según lo analizado por los expertos en mecánica de suelos debe ser de 0.15m, agregados mayores a este

no son recomendables para utilizarse. Y el pasante del tamiz n° 200 debe ser menor o igual a 35% (Avilés, C.; Galarza, O.; Riera, D., 2.010).

La importancia de definir algún parámetro característico de una dispersión o de una emulsión, tal como un diámetro "promedio", aparece claramente en la literatura que trata de las aplicaciones. Por ejemplo, las propiedades de fraguado y de resistencia del concreto dependen del diámetro medio de la forma de la distribución de tamaño. El poder de cobertura en las pinturas, el sabor de las emulsiones alimenticias, y la eficiencia de las dispersiones o las emulsiones farmacéuticas, dependen también de estas características (Salager, J., 1.991).

Se puede determinar la distribución de tamaño de gotas de una emulsión por varios métodos experimentales, basados en fenómenos físicos. Se pueden clasificar, por un lado, en métodos globales que se basan sobre una propiedad promedio del sistema, tal como su superficie o su reflectancia, y que por lo tanto dan solo un diámetro equivalente; y por otro lado en métodos individuales que consideran las propiedades a la escala de la gota, y que, mediante un análisis estadístico, llevan a la distribución de tamaño (Salager, J., 1.991).

Existen diferentes métodos para realizar análisis granulométricos: por reflectancia, por turbidez, por microscopía y análisis de imagen, por sedimentación, por contadores de orificio y por el método de difracción de luz coherente (Salager, J., 1.991).

Según la norma INEN (2011), citado por Toarez (2015):

“Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón o utilizarlos como áridos para otros propósitos. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos. La información también puede ser útil en el desarrollo de relaciones para estimar la porosidad y el arreglo de las partículas”.

“Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse, con el propósito de obtener la información requerida en las especificaciones. Utilizar tantos tamices adicionales como se desee o como sean necesarios para proporcionar información adicional, tal como el módulo de finura o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Ordenar los tamices en forma decreciente según el tamaño de su abertura, de

arriba a abajo y colocar la muestra en el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de aparatos mecánicos durante un período suficiente, ya sea establecido por el ensayo o también controlado por medio de la masa de la muestra de ensayo, de tal forma que cumpla con el criterio de conformidad o de tamizado”.

2.3.4.2. Análisis Relación de Soporte California (CBR)

De acuerdo con Angamarca: “El ensayo CBR (California Bearing Ratio) es una prueba que se originó en el Departamento de Carreteras de California en los Estados Unidos de América en el año 1929, con el objetivo de conocer los suelos donde diseñará adecuadamente los pavimentos, la ASTM denomina el ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte” (Angamarca, Á., 2.013, pág. 21).

AASHTO (2013) define que: “el ensayo permite establecer el Índice de Soporte California (CBR) de la subrasante, sub-base o base, de muestras elaboradas en laboratorio o ensayadas en campo. Este ensayo evalúa la resistencia de suelos que tienen un diámetro máximo de 3/4 de pulgada. Todo el material o la muestra del material debe tener un diámetro menor o igual a 3/4 de pulgada, de lo contrario el método de prueba contempla una modificación en la graduación del mismo” (Carpio, J., 2.014, p. 21).

“Esta forma de preparación de la muestra previa al ensayo, ha sido usado para evitar errores que pueden ocurrir en la aplicación de la carga por interferencia directa de material muy grueso en el momento de la penetración, lo que desemboca en resultados inaceptables. De todas formas, a pesar de que la muestra ensayada en laboratorio puede diferir por habersele retirado la fracción gruesa superior a los 3/4 de pulgada, esto puede considerarse como un factor de seguridad adicional sumergida en agua previamente al proceso de penetración, lo cual someterá a la muestra a las condiciones más desfavorables” (Carpio, J., 2.014, pp. 21-22).

“Este ensayo es usado para evaluar la resistencia que tienen las partes de una estructura multicapa, ya sea la subrasante, sub-base, base o materiales reciclados reconvertidos y compactados, con aditivos o sin ellos, que se usen principalmente en carreteras o aeropuertos. El valor del CBR obtenido mediante este ensayo es imprescindible en la mayoría de métodos de diseño de pavimentos flexibles. Para la preparación de muestras con materiales cementantes, deben realizarse investigaciones geotécnicas específicas, las mismas que puede establecer los mejores resultados de

acuerdo a sus progresos en el tiempo y en las condiciones de humedad” (Carpio, J., 2.014, p. 22).

2.3.4.3. Ensayo Proctor

La ejecución de este ensayo resulta de gran interés para la realización de una obra de firmes de carreteras, ya que por medio de éste podemos conocer dos condiciones óptimas muy importantes para la compactación de los áridos, como son: el contenido de agua y la densidad seca máxima (Muñoz, R., 2.013).

El ensayo Proctor nos da la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de un suelo compactado, su objetivo es determinar la densidad seca máxima y la humedad óptima. Para Terraplenes la densidad seca máxima no debe ser menor a 1400 Kg/m^3 (Avilés, C.; Galarza, O.; Riera, D., 2.010).

Establecido por Angarita & O’meara (2016), la terminología utilizada para el análisis del presente estudio, se detalla a continuación:

“Esfuerzo modificado: término utilizado para el esfuerzo de compactación de 2700 kN/m^3 (56000 Lb/pie^3) aplicado con el equipo y procedimientos de este ensayo” (Angarita, V.; O’meara, C., 2.016).

“Peso unitario seco máximo modificado, $g_{dm\acute{a}x}$, en kN/m^3 (lb/pie^3): el valor máximo definido por la curva de compactación en un ensayo de compactación utilizando el esfuerzo modificado” (Angarita, V.; O’meara, C., 2.016).

“Contenido de agua óptimo modificado, w_0 , en %: contenido de agua en que el suelo puede ser compactado, peso unitario seco máximo utilizando un esfuerzo de compactación” (Angarita, V.; O’meara, C., 2.016).

“Fracción de sobretamaño (fracción gruesa), P_c , en %: porción de la muestra total no utilizada en la ejecución del ensayo de compactación; esta fracción puede ser la porción de la muestra total retenida en los tamices 4.75 mm (#4), 9.5 mm ($3/8$) o 19 mm ($3/4$)” (Angarita, V.; O’meara, C., 2.016).

“Fracción de ensayo (fracción fina), P_f , en %: porción de la muestra total utilizada en la ejecución del ensayo de compactación; es la fracción que pasa el tamiz

4.75mm (#4) en el procedimiento A, el tamiz 9.5mm (3/8") en el procedimiento B, el tamiz 19mm (3/4") en el procedimiento C" (Angarita, V.; O'meara, C., 2.016).

En cuanto al significado de los resultados, Angarita & O'meara (2016) aseguran: "El suelo colocado como un lleno geotécnico (en bases de carreteras, terraplenes, llenos de fundación) se compacta a un estado denso para obtener propiedades geotécnicas apropiadas como resistencia al corte, compresibilidad, permeabilidad. También los suelos de fundación son compactados frecuentemente para mejorar sus propiedades geotécnicas. Los ensayos de compactación en el laboratorio proporcionan la base para determinar el porcentaje de compactación y el contenido de agua necesarios para conseguir las propiedades geotécnicas requeridas, y para llevar el control durante la construcción que permita asegurar que se alcanzan los contenidos de agua y la compactación requerida"

Angarita & O'meara (2016) argumentan: "Durante el diseño de un lleno se requiere la preparación de muestras para ensayos de resistencia al corte, consolidación, permeabilidad u otros ensayos compactándolos a un determinado contenido de agua y un peso unitario dado. En la práctica corriente se determina primero el contenido de agua óptimo (w_0) y el peso unitario seco máximo ($g_{dm\acute{a}x}$) por medio de un ensayo de compactación. Las muestras para el ensayo son compactadas con un contenido de agua seleccionado (w) bien sea más húmedo o más seco que el óptimo, (w_0), o el óptimo, (w_0), y con un peso unitario seco seleccionado, relacionado con un porcentaje del peso unitario seco máximo ($g_{dm\acute{a}x}$). La selección del contenido de agua (w) y el peso unitario seco máximo ($g_{dm\acute{a}x}$) puede estar basado en la experiencia pasada o puede investigarse un intervalo de valores para determinar el porcentaje de compactación necesario."

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

El presente estudio se efectuó entre los meses de mayo y agosto de 2016. Se utilizó el área experimental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.



Ilustración 6. Ubicación del sitio del ensayo

3.2. Métodos

Se implementó un estudio de tipo experimental, en donde se manipularon lodos residuales y arcillas expansivas para analizar su comportamiento como material de subbase para vías.

3.3. Materiales

3.3.1. Obtención de los Materiales Utilizados

3.3.1.1. Extracción

A partir de la investigación proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero, se tomaron dos muestras originadas de dos tipos de materiales diferentes uno del otro.



Ilustración 7. Lodo residual obtenido después del secado.

La primera muestra, 900 dm^3 de arcilla seca de origen local, de color café oscuro, extraída del noroeste de la ciudad de Guayaquil. De acuerdo con Orellana (2015), es 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(Díaz, M., 2.016), las personas de esa comunidad de ese sector estuvieron dispuestos a ayudarnos en la extracción de este material.



Ilustración 8. Lodo residual deshidratado y molido.

La segunda muestra, 100 dm³ de lodo residual deshidratado, extraídos del sistema de tratamiento de aguas servidas de la Urbanización La Joya, donde se halló material con humedad aproximada al 30 %” (Díaz, M., 2016, pág. 68).

3.3.1.2. Fabricación

Para la fabricación de los compuestos de arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales, fue necesario el uso de una mezcladora mecánica, la misma que se encargó de homogenizar los materiales en proporción de 90 % arcilla y 10 % lodo. Se agregó agua cuidadosamente hasta lograr un material refinado, con partículas de tamaño tipo talco. Se evitó que la mezcla llegue a punto de formación tipo pasta. El tamaño de los compuestos de arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales fue de granulometría variada.

3.3.1.3. Empaque y transporte

Una vez obtenidas los compuestos de arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales, fueron empacadas y transportadas cuidadosamente hasta el horno en el que fueron cocionadas, para luego proceder a realizar los ensayos pertinentes. Se tuvo el cuidado de no atrofiar las muestras para evitar la pérdida de información por manipulación mecánica.

3.3.1.4. Cocción

Los compuestos de arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales fueron dispuestas en horno artesanal utilizando, comúnmente utilizado en la cocción de ladrillos para venta por parte de la gente de la comunidad. La cocción en el mismo se estima en rangos de temperatura de 900 grados centígrados durante dos días. Se utilizó el método de Cocción indirecta, a través del cual se ubicaron las muestras asentadas en un costal en la parte superior de una pirámide de ladrillos, colocando en la parte inferior un aislante de zinc (teja) para evitar la exposición directa del material al fuego y la mayor pérdida finos posibles, aprovechando exclusivamente el calor vertido de la chimenea interna. El tiempo de cocción fue de 48 horas.



Ilustración 9. Colocación de las arenas y gravas de arcillas con adiciones de lodos residuales en el horno artesanal



Ilustración 10. Colocación de las arenas y gravas de arcillas con adiciones de lodos residuales en el horno artesana



Ilustración 11. Disposición de los compuestos de arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales en horno artesanal



Ilustración 12. Compuestos de arena más grava de arcilla con adiciones de lodos residuales cocidos

3.3.2. Evaluación en Laboratorio de Materiales Utilizados

Una vez efectuada la cocción, los materiales fueron dispuestos en costales para transportarse al laboratorio, donde se realizaron análisis de composición granulométrica, límites de plasticidad (ensayo Atterberg), ensayo de soporte CBR (California Bearing Ratio), ensayo de compactación Proctor y determinación de humedad.

3.3.3. Elaboración de Terraplén de prueba

Después de haber obtenido los exámenes de laboratorio, las muestras fueron dispuestas en el campo experimental para proceder a la prueba del terraplén.

Para efectos de análisis de resistencia de los materiales, se construyó un terraplén de pruebas mecánicas, con una base de cascajo. La dimensión establecida fue de 2.50 metros de ancho, 4 metros de largo, con un espacio en el centro de 0.90 metros por 0.60 metros (lugar en el que se establecieron las capas con los materiales).

Se dispusieron dos capas de 10 centímetros del material, separadas por cascajo y humedecidas discretamente. Se procedió a nivelar y luego el pase de un rodillo vibrador de 1.5 toneladas, determinando el grado de afectación del peso y la presión del rodillo sobre la granulometría del material. De este modo se comprobó la densidad del material en campo.



Ilustración 13. Ensayo de resistencia en terraplén

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Caracterización de los materiales estudiados

Material tipo A, constituido por Arcilla de color café oscuro, extraída del noroeste de la ciudad de Guayaquil, de un sector con 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 (Orellana, 2015: pág. 63-64). Adaptado de Díaz (2015).

El material tipo B, utilizado en la mezcla, es un lodo residual obtenido del sistema de tratamiento de aguas servidas de la Urbanización La Joya, Noreste de la ciudad de Guayaquil. Según la figura 4.1 la humedad del material tipo A registró índice de humedad de 3.24. El material tipo B evidenció índice de humedad de 2.79 (Díaz, M., 2.016).

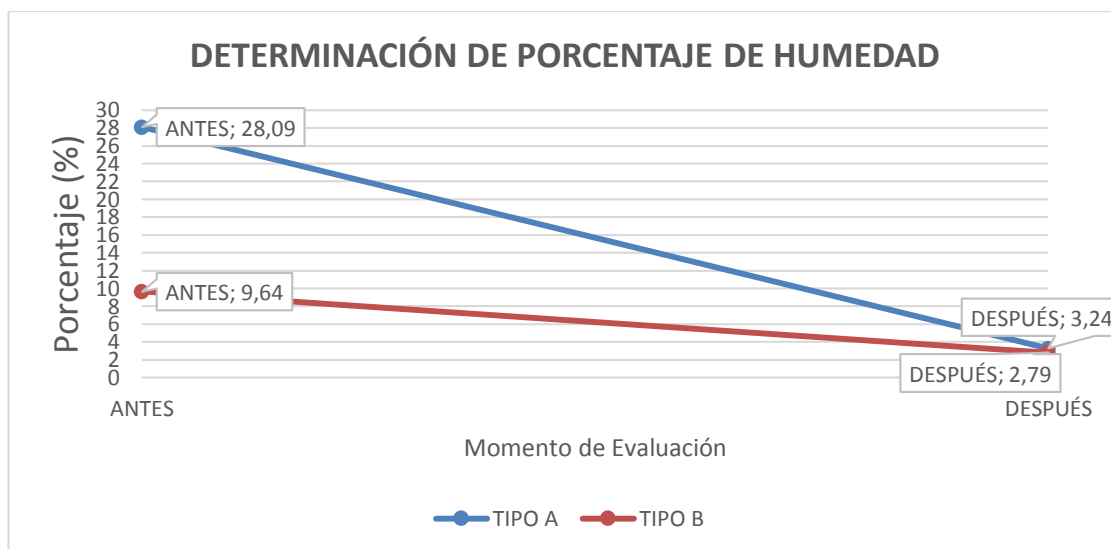


Ilustración 14. Determinación de porcentaje de humedad por método de ignición. Fuente: Díaz (2016)

4.1.1. Ensayo de Composición Granulométrica

Para efectuar el ensayo de granulometría se tomaron dos muestras, una para cada tara. El material se origina de la mezcla lodo 10:9 arcilla, siendo identificada ambas taras como serie gruesa y serie fina.

En relación a la ilustración 15, el ensayo realizado demostró algunas características sobresalientes en el material estudiado. El análisis granulométrico indica un alto contenido de arena que bordea el 55 %, un contenido aproximado de grava del 44 % y una concentración de material fino del 1 %.

Estos resultados evidencian que la mezcla de los materiales efectuada en una concretara, permitió la formación de agregados más consistentes, registrando una granulometría más volumétrica. Se trata de un material ligeramente arenoso, con importante presencia de grava. Como particularidad especial se evidencia pobre presencia de finos.

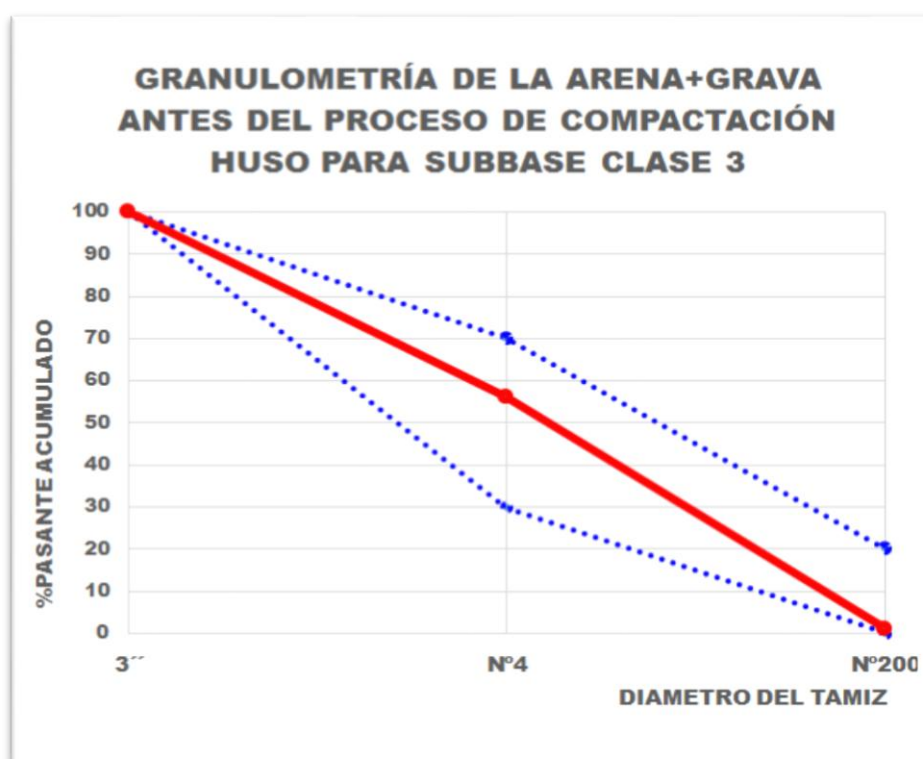


Ilustración 15. Granulometría de las gravas y arena después del proceso de compactación en comparación al huso para subbase clase 3

4.1.2. Límites de Plasticidad

La determinación del índice de plasticidad para la muestra estudiada, estableció la existencia de un suelo NO plástico. Se puede evidenciar que el material estudiado cumple con el estándar exigible por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013) en su norma NEVI-12-MTOP, que cita textualmente:

“El material deberá carecer de plasticidad o tener un límite líquido menor de 25 y un índice de plasticidad menor de 6, al ensayarse de acuerdo a los métodos establecidos en las Normas ASTM D 4318”. (pág. 944)

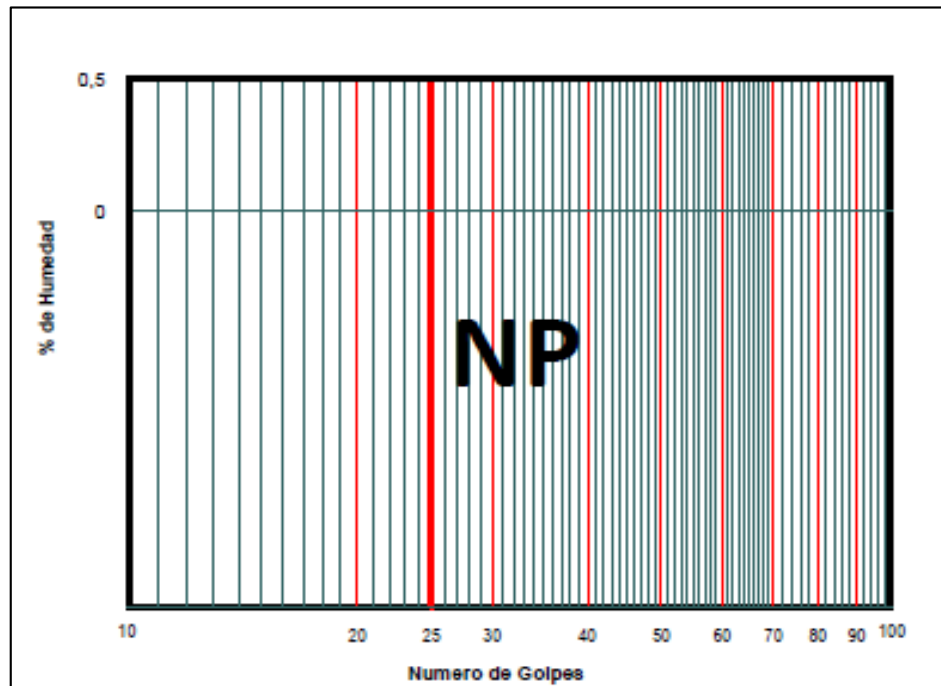


Ilustración 16. Resultados de ensayo de Atterberg. Plasticidad

4.1.3. Ensayo de Soporte C.B.R.

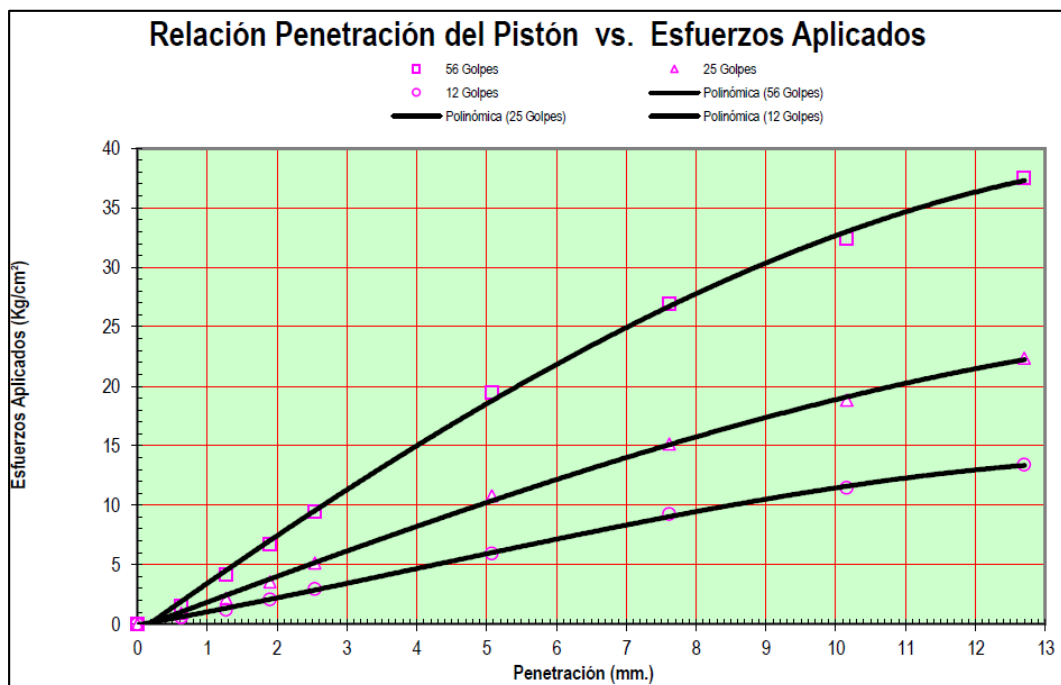


Ilustración 17. Resultados para ensayo de soporte C.B.R.

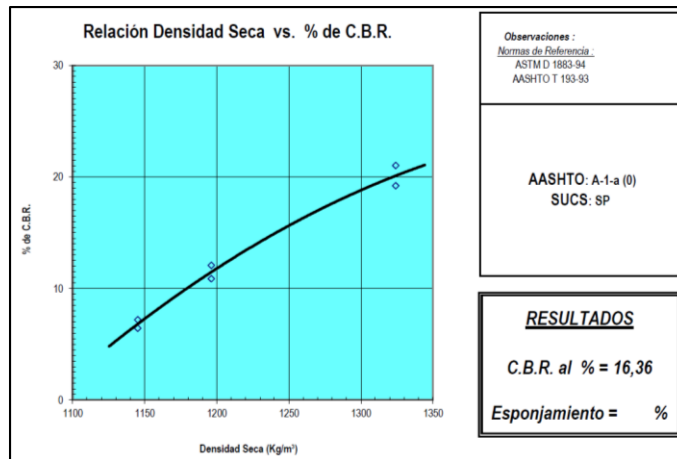


Ilustración 18. Resultados para ensayo de soporte C.B.R.

Las ilustraciones 17 y 18 muestran resultados para el ensayo CBR. Este ensayo se efectúa para determinar la capacidad de soporte de un material en el lugar donde será sometido a la presión de la estructura que soportará (Jiménez, 2010). El ensayo es usualmente realizado sobre suelos de los que se sospeche su condición y su resistencia. En el caso del presente estudio, es indispensable desarrollarlo debido al poco conocimiento de la naturaleza del material a estabilizar (lodos residuales).

4.1.4. Ensayo de Compactación Proctor

La ilustración 19 entrega información de los resultados de laboratorio para el ensayo de compactación. Se pudo observar que la densidad seca máxima de la muestra fue de 1308 kg/m³, con porcentaje de humedad óptima del 35 %.

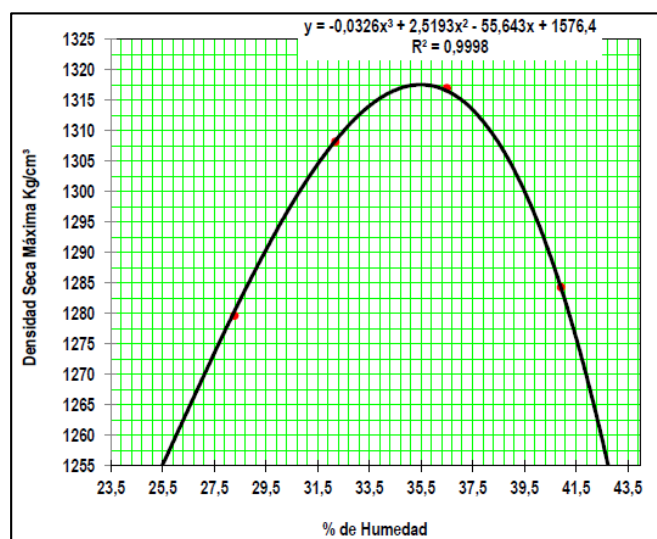


Ilustración 19. Determinación de Densidad seca máxima y porcentaje de humedad óptima

4.1.5. Ensayo de masa unitaria suelta y de masa unitaria varillada

La ilustración 20 grafica los resultados obtenidos a partir del ensayo de masa unitaria suelta en términos de gravedad específica de volumen. El valor observado fue de 2049. Del mismo modo se pudo determinar porcentaje de huecos, obteniendo un promedio de 42,8 %.

4.1.6. Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado grueso

En la ilustración 21 se representan los resultados obtenidos a partir del ensayo de gravedad específica y absorción de agregado grueso. Los análisis de laboratorio determinaron una gravedad específica de volumen de 1,67; gravedad específica de volumen de 2,05 y gravedad específica aparente de 2,69. Se obtuvo un porcentaje de absorción de 22,69 %.

4.1.7. Ensayos de Resistencia en Terraplén

Los resultados del ensayo experimental de campo denominado como prueba del terraplén, se exponen a continuación.

4.1.7.1. Análisis Granulométrico (post terraplén)

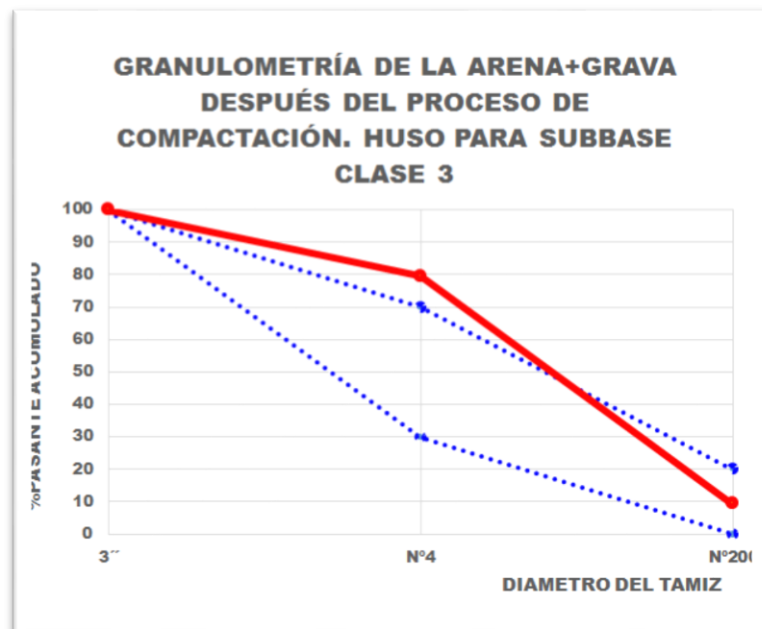


Ilustración 20. Granulometría de las gravas y arena después del proceso de compactación en comparación al huso para subbase clase 3

4.1.7.2. Análisis de Material para Sub-Base

Se realiza un breve análisis de la diferencia presentada entre el material obtenido directamente de la trituración-mezcla-cocción del lodo remanente y el generado después de pasar por un proceso de compactación.

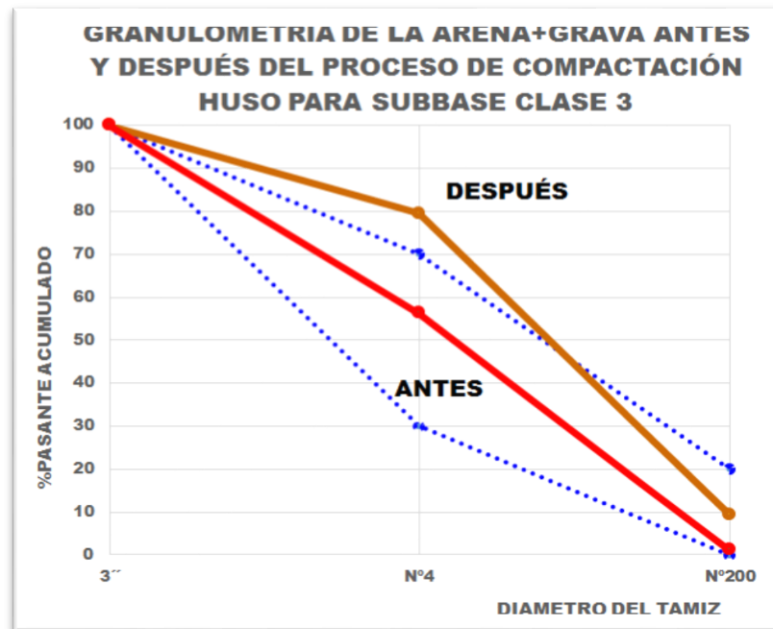


Ilustración 21. Curva de distribución granulométrica material compactado en terraplén de prueba

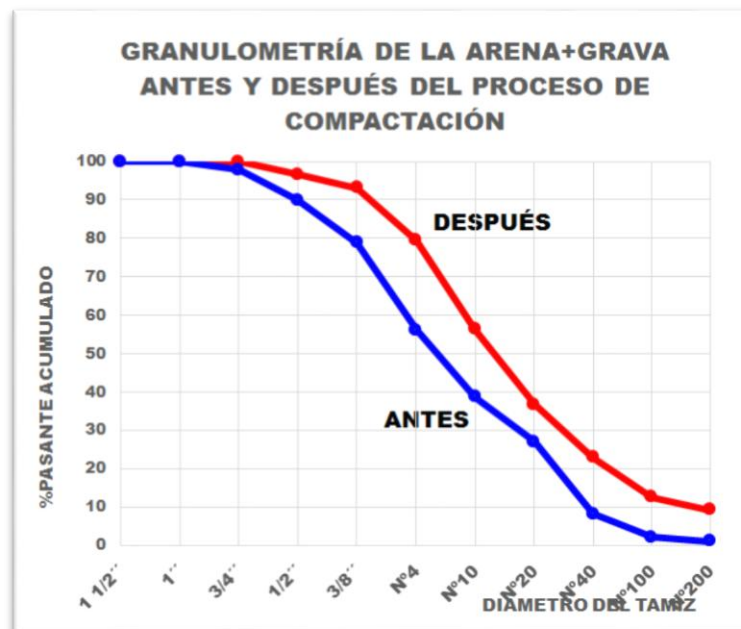


Ilustración 22. Granulometría de la arena y la grava antes y después del proceso de compactación en comparación al huso granulométrico para subbase clase 3

Distribución del Tamaño de las Partículas Valores expresados en Porcentajes			
Pedrón Rodado			0,0
Canto Rodado			0,0
Grava	Gruesa	2,2	43,8
	Fina	41,5	
Arena	Gruesa	19,4	55,1
	Media	28,5	
	Fina	7,2	
Finos			1,1

Distribución del Tamaño de las Partículas Valores expresados en Porcentajes			
Pedrón Rodado			0,0
Canto Rodado			0,0
Grava	Gruesa	0,0	20,5
	Fina	20,5	
Arena	Gruesa	23,0	70,1
	Media	33,5	
	Fina	13,6	
Finos			9,4

Ilustración 23. Comparación entre granulometría antes y después del proceso de compactación

4.1.7.3. Densidad de los Suelos (Método del Cono y Arena)



Ilustración 24. Densidad de los Suelos (Método del Cono y Arena)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El material ensayado en esta primera investigación cumple como subbase clase 3 en cuanto a la granulometría, antes del proceso de compactación.
- Después de la compactación el material adquiere una nueva distribución granulométrica que no atiende la rama de gruesos.
- El material ensayado en esta primera investigación llega a un CBR de 20 al 100% del ensayo de Proctor Estándar. En la siguiente etapa se sugiere realizar CBR con Proctor modificado.
- A pesar de no calificar como subbase en esta primera investigación, el material califica perfectamente como Mejoramiento.
- Se recomienda realizar mezclas con gruesos o finos, o con ambos, para aumentar el CBR.
- En esta primera investigación se realizó el granulado de la arena + grava de arcilla con adiciones de lodos residuales mayoritariamente por el lado de la rama húmeda. Consideramos que los áridos quedarán con mayor resistencia a la compresión si los granos se formaran por el lado de la rama seca.
- Esta primera investigación deja resultados optimistas ya que se observa la posibilidad de que se puedan utilizar los lodos residuales de plantas de tratamiento como un material de construcción, y evitar que estos lodos continúen siendo lanzados en los cuerpos de agua de la ciudad, con la consiguiente contaminación ambiental, y el irrespeto a los Derechos Humanos de las personas, que tienen derecho a vivir en un ambiente sano y libre de contaminación, tal como está consagrado en la Constitución de Montecristi.
- Se considera que este estudio, involucrando los conocimientos y experiencias propias de la comunidad, indica que si es posible el trabajo en equipo

Universidad y Sociedad, y que se pueden lograr resultados positivos en un futuro.

- La comunidad ha quedado muy sensible y predispuesta a continuar colaborando con la Universidad en los siguientes estudios que se realicen.

5.2. Recomendaciones

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

Para que el material tenga un mejor comportamiento durante la compactación y se logre un mejor CBR, se sugiere realizar la segunda etapa de esta investigación utilizando mezclas hasta con un 30% del material ígneo de machaqueo, proveniente de las canteras del km 17 de la vía a Daule en Guayaquil, los mismos que corresponden a basaltos de la formación Piñón y granitos de la formación intrusiva Pascuales, actualmente en explotación.

Inducir la investigación científica en futuros estudios académicos, con la finalidad de estimular el mejoramiento ambiental a través de la tecnología por generar con los trabajos futuros. Por medio de este planteamiento se aportará significativa en la reducción del impacto ambiental antropológico y un mejoramiento integral de la calidad de vida de la ciudadanía.

Referencias Bibliográficas

- Alcívar, S. (2.011). Aguas Residuales. *Politécnicos*, 6-7.
- Angamarca, Á. (2.013). *Determinación del CBR de laboratorio y natural en suelos finos y su correlación con el DCP para la determinación de la capacidad portante de la sub-rasante, en el diseño de pavimentos flexibles de la ciudad de Quito*. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Angarita, V.; O'meara, C. (2.016). *ELABORACION DE UN MANUAL PRÁCTICO PARA LA REALIZACION DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE PAVIMENTOS (Doctoral dissertation)*. OCAÑA: UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER.
- Aragón, C. (2.009). *OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LODOS ACTIVOS PARA REDUCIR LA GENERACIÓN DE FANGOS RESIDUALES*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
- Armijos, A. (2.014). Nuevas tecnologías en el manejo de aguas residuales. *Teorema Ambiental*, 17.
- Avilés, C.; Galarza, O.; Riera, D. (2.010). *Control de calidad en obra del material usado en la construcción de la estructura del pavimento flexible (Tesis de tercer nivel)*. Guayaquil: ESPOL.
- Bermeo, L.; Santín, J. (2.010). *Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores a 2000 habitantes en la ciudad de Gonzanamá. Tesis de tercer nivel*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL).
- Burgos, D. (2005). *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.
- Carpio, J. (2.014). *Valoración de las propiedades geotécnicas del material de mejoramiento proveniente de la mina de Llatcon como elemento estructural para pavimentos flexibles*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Cota, A.; Ponce, C. (2.008). Eliminación de bacterias patógenas en lodos residuales durante el secado solar. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27-28. Vol.24 no.4.

- Cotillas, S. (2015). *REGENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEPURADAS MEDIANTE PROCESOS ELECTROQUÍMICOS INTEGRADOS*. (Tesis doctoral). Ciudad Real: UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA.
- De Boer, A. (2013). *Aguas sucias*. Montpellier: Universidad de Montpellier.
- Díaz, M. (2016). *Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero*. Guayaquil: UCSG.
- 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
- Frikman, A. (2014). Destrucción o Autodestrucción. *Realidad ambiental mundial* (págs. 278-279). Washington: ONU.
- Galvis, J., & Rivera, X. (2013). *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.
- González, I. (2015). *GENERACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LODOS DE EDAR (tesis doctoral)*. Universidad de Córdoba: Córdoba.
- Grefa, L. (2013). *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales – centro de faenamiento municipal de ganado de Orellana (tesis de tercer nivel)*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/miriamxita/lagunas-de-oxidacion-42867986>
- Henríquez, O. (2011). *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.
- Hernández, D.; Villegas, J.; Castaño, J.; Paredes, D. (2006). Aprovechamiento de lodos aluminosos generados en sistemas de potabilización, mediante su incorporación como agregado en materiales de construcción. *Redalyc*, 5(8): 119-132.
- INEN. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- Jiménez, M. (2010). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Limón, J. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?* Guadalajara.
- Machado, E. (2011). *Aguas residuales*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Mendoza, M.; Guadarrama, J. (2008). *Bases y subbases*. Zacatenco: Instituto Politécnico Nacional.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12 - MTOP*. Obtenido de VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES: www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- Muñoz, R. (2013). *ESTUDIO DE MEZCLAS DE ÁRIDOS RECICLADOS DE HORMIGÓN Y ASFÁLTICO ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA SU APLICACIÓN EN BASES Y SUBBASES DE CARRETERAS*. Barcelona: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA.
- 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.
- Pineda, B. (2015). *Aguas residuales*. Bogotá: ECS.
- Quinchía, A.; Valencia, M.; Giraldo, J. (2007). Uso de lodos provenientes de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq no.8 Envigado*, http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200002.
- 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.
- Salager, J. (1991). *MÉTODOS de ANALISIS GRANULOMÉTRICO*. Mérida: Universidad de los Andes.
- Toarez, E. (2015). *Análisis de las propiedades físico-químicas del agregado fino que producen las plantas Picoazá, Agresa, El Chorrillo y su incidencia en la*

resistencia del hormigón artesanal (tesis de tercer nivel). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí: Manta.

Villacís, A. (2011). *Estudio de un Sistema de Depuración de Aguas Residuales para reducir la contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de Pisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.* Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

Bibliografía

- Alcívar, S. (2011). Aguas Residuales. *Politécnicos*, 6-7.
- Angamarca, Á. (2013). *Determinación del CBR de laboratorio y natural en suelos finos y su correlación con el DCP para la determinación de la capacidad portante de la sub-rasante, en el diseño de pavimentos flexibles de la ciudad de Quito*. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Angarita, V., & O'meara, C. (2016). *ELABORACION DE UN MANUAL PRÁCTICO PARA LA REALIZACION DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE PAVIMENTOS (Doctoral dissertation)*. OCAÑA: UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER.
- Aragón, C. (2009). *OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LODOS ACTIVOS PARA REDUCIR LA GENERACIÓN DE FANGOS RESIDUALES*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
- Armijos, A. (2014). Nuevas tecnologías en el manejo de aguas residuales. *Teorema Ambiental*, 17.
- Avilés, C., Galarza, O., & Riera, D. (2010). *Control de calidad en obra del material usado en la construcción de la estructura del pavimento flexible (Tesina de tercer nivel)*. Guayaquil: ESPOL.
- Bermeo, L., & Santín, J. (2010). *Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores a 2000 habitantes en la ciudad de Gonzanamá. Tesis de tercer nivel*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL).
- Burgos, D. (2005). *Diseño para el tratamiento de aguas residuales presente en las Industrias Lácteas TONI (Tesis de tercer nivel)*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Campos, I. (2003). *Saneamiento Ambiental*. San José: EUNED.
- Carpio, J. (2014). *Valoración de las propiedades geotécnicas del material de mejoramiento proveniente de la mina de Llatcon como elemento estructural para pavimentos flexibles*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Cota, A., & Ponce, C. (2008). Eliminación de bacterias patógenas en lodos residuales durante el secado solar. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27-28. Vol.24 no.4.

- Cotillas, S. (2015). *REGENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEPURADAS MEDIANTE PROCESOS ELECTROQUÍMICOS INTEGRADOS*. (Tesis doctoral). Ciudad Real: UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA.
- De Boer, A. (2013). *Aguas sucias*. Montpellier: Universidad de Montpellier.
- Díaz, M. (2016). *Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero*. Guayaquil: UCSG.
- 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
- Frikman, A. (2014). Destrucción o Autodestrucción. *Realidad ambiental mundial* (págs. 278-279). Washington: ONU.
- Galvis, J., & Rivera, X. (2013). *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.
- González, I. (2015). *GENERACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LODOS DE EDAR (tesis doctoral)*. Universidad de Córdoba: Córdoba.
- Grefa, L. (2013). *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales – centro de faenamiento municipal de ganado de Orellana (tesis de tercer nivel)*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/miriamxita/lagunas-de-oxidacion-42867986>
- Henríquez, O. (2011). *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.
- Hernández, D., Villegas, J., Castaño, J., & Paredes, D. (2006). Aprovechamiento de lodos aluminosos generados en sistemas de potabilización, mediante su incorporación como agregado en materiales de construcción. *Redalyc*, 5(8): 119-132.
- INEN. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- Jiménez, M. (2010). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Limón, J. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?* Guadalajara.
- Machado, E. (2011). *Aguas residuales*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Mendoza, M., & Guadarrama, J. (2008). *Bases y subbases*. Zacatenco: Instituto Politécnico Nacional.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12 - MTOP*. Obtenido de VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES: www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- Muñoz, R. (2013). *ESTUDIO DE MEZCLAS DE ÁRIDOS RECICLADOS DE HORMIGÓN Y ASFÁLTICO ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA SU APLICACIÓN EN BASES Y SUBBASES DE CARRETERAS*. Barcelona: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA.
- 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.
- Pineda, B. (2015). *Aguas residuales*. Bogotá: ECS.
- Quinchía, A., Valencia, M., & Giraldo, J. (2007). Uso de lodos provenientes de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq* no.8 Envigado, http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200002.
- 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.
- Salager, J. (1991). *MÉTODOS de ANALISIS GRANULOMÉTRICO*. Mérida: Universidad de los Andes.
- Toarez, E. (2015). *Análisis de las propiedades físico-químicas del agregado fino que producen las plantas Picoazá, Agresa, El Chorrillo y su incidencia en la*

resistencia del hormigón artesanal (tesis de tercer nivel). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí: Manta.

Villacís, A. (2011). *Estudio de un Sistema de Depuración de Aguas Residuales para reducir la contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de Pisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.* Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Andrés Emilio Feijóo González** con C.C: # 0923198808 autor del trabajo de titulación: **Fabricación de sub-base para vías utilizando lodos remanentes de plantas de tratamiento de aguas residuales** 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, 19 de septiembre de 2016



f. _____
Nombre: **Andrés Emilio Feijóo González**
C.C: **0923198808**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Fabricación de sub-base para vías utilizando lodos remanentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.		
AUTOR(ES)	Andrés Emilio Feijóo González		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Colón Gilberto Martínez Rehpani		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	19 de septiembre de 2016	No. DE PÁGINAS:	67
ÁREAS TEMÁTICAS:	Medio ambiente, contaminación, lodo residual, conexión con la comunidad		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Lodo residual, aguas residuales, sub-base, plasticidad, granulometría, humedad óptima.		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

El presente estudio titulado fabricación de sub-base para vías utilizando lodos remanentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, tuvo como finalidad evaluar la viabilidad técnica al emplear lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en la ciudad de Guayaquil, en la elaboración de sub-base para calles y vías, minimizando así el impacto ambiental que pudiera producir la disposición final de estos lodos. Para este fin, se realizó un planteamiento metodológico experimental, a partir de la fabricación de un material aleado en proporciones 90 % arcilla expansiva y 10 % lodo residual, siendo cocinado en hornos artesanales y posteriormente expuesto a ensayos de campo y laboratorio. Los resultados advertidos determinaron inexistencia de plasticidad según el ensayo de límites de Atterberg y granulometría dentro de los parámetros para el fin estipulado. Se pudo determinar una densidad seca máxima de 1308 kg/m³ y porcentaje de humedad óptima del 35 %. Así mismo una densidad específica de volumen de 2.05, porosidad de 42.8 % y una absorción del 22.69 %. El porcentaje de C.B.R. obtenido fue del 20 %, porcentaje menor al 30 % mínimo admitido por el Ministerio de Transporte en Ecuador para un material constituyente de sub-base en la construcción de caminos, vías y/o carreteras. No obstante, el requerimiento estándar de calidad establecido en la Norma Ecuatoriana Vial. NEVI-12 – MTOP señala que este material puede usarse como material de mejoramiento. La aplicación de este material, permitirá utilizar lodo residual en actividades de la construcción, mitigando el impacto ambiental que supondría el desalojo de estos fangos biopeligrosos acuerpos de agua.



ADJUNTO PDF:			<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:		Teléfono: +593-4-2271407	E-mail: aemiliofgotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::		Nombre: Ing. Clara Glas Cevallos, Msc.		
		Teléfono: +593-984616792		
		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):				