

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

Plan de Investigación de fin de carrera titulado:

“Desarrollo de un agente cementante para la construcción a partir de lodos producidos por el proceso de floculación-coagulación en la planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa Nilotex”

Realizado por:

CARLOS EDUARDO RUALES FLORES

Director del proyecto:

ING. ALONSO MORETA

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERIA AMBIENTAL

Quito, 12 de Agosto del 2015

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, Carlos Eduardo Ruales Flores, con cédula de identidad # 172134637-5, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Ruales', with a stylized flourish at the end.

Carlos Ruales

CI.: 172134637-5

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“Desarrollo de un agente cementante para la construcción a partir de lodos
producidos por el proceso de floculación-coagulación en la planta de tratamiento
de aguas residuales en la empresa Nilotex”**

Realizado por:

CARLOS EDUARDO RUALES FLORES

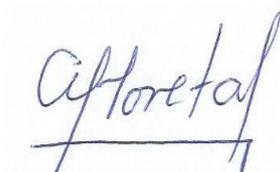
Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el profesor

ING. ALONSO MORETA

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alonso Moreta', written over a horizontal line.

Ing. Alonso Moreta

Director

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

CARLOS ORDOÑEZ

ANA RODRÍGUEZ

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



Dr. Carlos Ordoñez



Ing. Ana Rodríguez

Quito, 12 de Agosto del 2015

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres y hermano, por su apoyo y amor incondicional.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos por su motivación para seguir siempre adelante.

A mis profesores de la Facultad de Ciencias Ambientales, Alonso Moreta, Ana Rodríguez y Carlos Ordoñez, por la dedicación brindada para la realización de este trabajo.

A la Ing. Villaba de la Universidad Central del Ecuador, quien me brindó su amistad y conocimientos.

Finalmente un agradecimiento especial a la empresa Nilotex, en especial al Ing. Nicolalde por la confianza brindada para la realización de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 1.1 | DESCRIPCIÓN | 12 |
| 1.2 | ANTECEDENTES | 14 |
| 1.3 | IMPORTANCIA | 16 |
| 1.4 | OBJETIVO GENERAL | 17 |
| 1.5 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 17 |
| 1.6 | CARACTERÍSTICAS DEL SITIO | 17 |
| 2 | MARCO TEÓRICO..... | 19 |
| 2.1 | ESTUDIOS PREVIOS..... | 19 |
| 2.2 | MARCO LEGAL | 21 |
| 2.2.1 | Constitución Política del Ecuador (2008) | 21 |
| 2.2.2 | Convenios internacionales | 22 |
| 2.2.3 | Leyes orgánicas | 22 |
| 2.2.4 | Reglamentos | 23 |
| 2.2.5 | Acuerdos ministeriales | 23 |
| 2.3 | MARCO CONCEPTUAL | 23 |
| 2.3.1 | LODOS RESIDUALES..... | 24 |
| 2.3.2 | CEMENTANTE | 25 |
| 2.3.3 | FLOCULACIÓN | 26 |
| 2.3.4 | COAGULACIÓN | 27 |
| 2.3.5 | AGUA RESIDUAL | 29 |
| 3 | MARCO METODOLÓGICO..... | 31 |
| 3.1 | TAMAÑO DE LA MUESTRA..... | 31 |
| 3.1.1 | Método del coeficiente de variación para el tamaño de la muestra | 32 |
| 3.1.2 | Determinación del tamaño de la muestra | 33 |
| 3.1.3 | Espaciado entre muestras | 36 |
| 3.1.4 | Número mínimo de muestras a realizar | 37 |
| 3.2 | PROCEDIMIENTO DE CAMPO | 39 |
| 3.2.1 | Toma de muestras | 39 |
| 3.2.2 | Caracterización de los lodos:..... | 40 |
| 3.3.3 | Diseño de la dosificación | 40 |
| 3.3.3.3 | Diseño de la dosificación de los cilindros de hormigón con lodo residual: | 45 |
| 3.3.4 | Elaboración de los cilindros para ensayo de hormigón | 47 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.3.4.1 | Materiales e instrumentos | 47 |
| 3.3.4.1 | Procedimiento..... | 48 |
| 3.3.5 | Proceso de curado | 50 |
| 3.3.6 | Ensayo de resistencia a la compresión..... | 51 |
| 3.3.7 | Realización de ensayo de lixiviación o TCLP | 51 |
| 3.3.7.1 | Ensayo TCLP o Método EPA 1311 | 52 |
| 4 | RESULTADOS | 54 |
| 4.1 | CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA..... | 54 |
| 4.2 | PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN..... | 55 |
| 4.2.1 | Resultados con tiempo de curado de 7 días | 56 |
| 4.2.2 | Resultados con tiempo de curado de 14 días | 57 |
| 4.2.3 | Resultados con tiempo de curado de 21 días: | 58 |
| 4.2.4 | Resultados con tiempo de curado de 28 días: | 59 |
| 4.3 | RESULTADOS DEL ENSAYO DE LIXIVIACIÓN O TLCP..... | 60 |
| 4.4 | ANÁLISIS DE DATOS | 61 |
| 4.4.1 | Análisis de los resultados obtenidos de los cilindros de ensayo de hormigón con lodo residual..... | 61 |
| 4.4.2 | Análisis comparativo de resistencia a la compresión con el testigo de hormigón..... | 62 |
| 4.4.3 | Curva de resistencia de la mezcla del hormigón con lodo residual | 63 |
| 4.4.4 | Análisis de datos de los datos obtenidos del ensayo de lixiviación o TCLP ... | 64 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 66 |
| 5.1 | CONCLUSIONES..... | 66 |
| 5.2 | RECOMENDACIONES | 67 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA: | 76 |

TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Determinación del tamaño de la muestra | 33 |
| Tabla 2: Producción de lodos semanal en la empresa NILOTEX | 34 |
| Tabla 3: Cálculo de la desviación estándar | 35 |
| Tabla 4: determinación del coeficiente de variación | 35 |
| Tabla 5: Espaciado entre muestras | 36 |
| Tabla 6: Tabla para la obtención del valor z según su nivel de confiabilidad | 38 |
| Tabla 7: determinación del número de muestras | 38 |
| Tabla 8: Cálculo del volumen de la probeta | 41 |
| Tabla 9: Cálculo del volumen aparente | 42 |
| Tabla 10: Valores de los coeficientes de aporte para cada material | 42 |
| Tabla 11: Cálculo del volumen real de la mezcla..... | 43 |
| Tabla 12: Dosificación para 1 m ³ de hormigón..... | 43 |
| Tabla 13: Pesos específicos de los materiales de construcción | 44 |
| Tabla 14: Dosificación para 0,054 m ³ de hormigón | 44 |
| Tabla 15: materiales constitutivos para hormigón testigo | 45 |
| Tabla 16: Materiales constitutivos para hormigón con lodo residual al 50 % | 46 |
| Tabla 17: Materiales constitutivos para hormigón con lodo residual al 30% | 46 |
| Tabla 18: Materiales constitutivos para hormigón con lodo residual al 10% | 47 |
| Tabla 19: Primera Caracterización fisicoquímica de los lodos residuales de la empresa NILOTEX | 54 |
| Tabla 20: Segunda Caracterización fisicoquímica de los lodos residuales de la empresa NILOTEX ... | 55 |
| Tabla 21: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión a 7 días | 56 |
| Tabla 22: Resultados de ensayo de resistencia a la compresión a 14 días..... | 57 |
| Tabla 23: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a 21 días..... | 58 |
| Tabla 24: Resultados del ensayo de resistencia la compresión a 28 días | 59 |
| Tabla 25: Resultados obtenidos del ensayo de lixiviación o TLCP..... | 61 |
| Tabla 26: Análisis de resultados con la normativa vigente..... | 65 |

FIGURAS:

| | |
|--|----|
| Figura 1: Empresa NILOTEX | 18 |
| Figura 2: Espaciado entre muestras | 37 |
| Figura 3: Toma de muestras | 39 |
| Figura 4: Materiales e instrumentos | 48 |
| Figura 5: Preparación de cilindros de hormigón con lodo residual | 49 |
| Figura 6: Proceso de curado hidráulico..... | 50 |
| Figura 7: Ensayos de Resistencia, UCE..... | 51 |
| Figura 8: Diagrama de flujo sobre el procedimiento del método EPA 1311 | 53 |
| Figura 9: Lodo-Hormigón (7 días) | 56 |
| Figura 10: lodo-Hormigón (14 días)..... | 57 |
| Figura 11: Lodo-Hormigón (21 días) | 58 |
| Figura 12: Lodo-Hormigón (28 días) | 60 |
| Figura 13: Análisis de resultados obtenidos | 61 |
| Figura 14: Hormigón vs Hormigón con lodo residual al 10 % | 63 |
| Figura 15: Curva de resistencia a la compresión (Hormigón-lodo)..... | 64 |

ANEXOS:

| | |
|--|----|
| Anexo 1: Resultados de laboratorio | 69 |
| Anexo 2: Concentración máxima de contaminantes en prueba de lixiviación (Resolución 002) | 75 |

RESUMEN:

La mayor parte de industrias en la actualidad generan residuos peligrosos para el ambiente. La industria textil por ejemplo, produce una variedad de residuos, entre estos, el lodo producido por la sedimentación, en el tratamiento de sus aguas residuales. La presente investigación tiene como objeto presentar una propuesta para la reutilización de estos lodos, para disminuir la contaminación causada por la empresa NILOTEX, lo que a su vez permitirá su aplicación en otras industrias que generen estos residuos. Los lodos residuales poseen de un alto contenido metálico, debido al proceso de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales. Ésta característica, le otorga propiedades que permiten utilizar estos lodos residuales de la industria textil en la producción de materiales para la construcción. En las pruebas realizadas, se encontró que con un 10% de lodo residual en la mezcla del hormigón, como sustituyente del cemento, se logran resistencias mayores a 240 Kg/cm^2 a los 28 días, corroborando así la factibilidad de utilización de este material para la construcción. Además en los resultados también se encontró que el lodo residual se inertiza por completo en la mezcla del hormigón, debido a que la presencia de arsénico y cadmio, metales bastante tóxicos y de alta concentración en este tipo de lodos, se encuentran muy por debajo de la normativa vigente. Cumpliendo así con el objetivo de la investigación de reutilizar un residuo peligroso y a su vez, inhibir su contaminación al medio ambiente.

Palabras clave: Lodo residual, Tratamiento de aguas, Nilotex, cementante.

ABSTRACT:

Most industries today generate hazardous waste to the environment. The textile industry, for example, produces a variety of waste, among these, the sludge produced by sedimentation, for the treatment of wastewater. This research aims to present a proposal for the reuse of sludge, to reduce pollution caused by the company NILOTEX, which in turn can be implemented in other industries that generate these wastes. Sewage sludge having a high metal content, due to electrocoagulation process for treating wastewater. This feature gives properties that allow using these sludge of the textile industry in the production of building materials. In tests, we found that 10% of sludge in the concrete mix, cement as a substituent, higher strength at 240 Kg / cm² at 28 days are achieved, thus demonstrating the feasibility of using this material for the construction. Furthermore results also found that the sludge is inerted completely in the concrete mix, because the presence of arsenic and cadmium, metals quite toxic and high concentration in this type of sludge, are well below regulations. Thus fulfilling the objective of the research to reuse hazardous waste and in turn, inhibit environmental contamination.

Key words: Sludge, water treatment, Nilotex, cementing.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN

La industria textil utiliza varios procesos en la fabricación de sus productos, entre los cuales están las materias primas como la fibras de algodón, pegantes, colorantes, entre otros. Estas materias primas son utilizadas en altas concentraciones, por lo que durante el proceso o al finalizar el mismo, los excesos o residuos deben ser retirados, formando así depósitos de aguas residuales, por lo que, tal como lo establece la ley, estas aguas deben ser tratadas antes de ser vertidas a un cauce o antes de ser reincorporadas al proceso productivo, debido a que generan como residuo de la sedimentación de sólidos, un lodo compuesto básicamente por materiales celulósicos, arcillas, metales pesados, microorganismos y productos químicos utilizados en la floculación-coagulación. Es importante recalcar también que la cantidad de humedad presente en el lodo al final del proceso de tratamiento llega a alcanzar valores del 45 % después de su deshidratación, luego de aplicado el sistema de filtro prensa (Wang, 1992 y Velásquez, 2003).

Desde hace varios años atrás, la disposición de este tipo de residuos se ha convertido en un problema ambiental y social, ya que las características físico-químicas y mecánicas del lodo, le imprimen un comportamiento bastante inestable al estar expuesto a condiciones ambientales, esto debido a su proceso normal de descomposición, situación que genera riesgos de inestabilidad cuando se le coloca sobre zonas de ladera y aun en vertederos no especificados para este tipo de residuo, por lo que es necesario ubicarlo en mono rellenos controlados y, en ocasiones, consolidados. Uno de los principales efectos de la colocación de este tipo de los

lodos en suelos, es la afectación de las propiedades de los suelos y la contaminación de corrientes de aguas cercanas a causa de la lixiviación; sumado a lo expuesto, las grandes cantidades producidas diariamente, hacen que sea considerado un residuo especial, por lo que se requiere alternativas de uso y valorización, diferentes a la colocación final en suelos (Hoyos, et al., 2000).

El problema mencionado, no solamente se presenta en el Ecuador, sino en todo el mundo, por lo que se han desarrollado opciones de uso del residuo, las cuales apuntan a compostaje, mezclas con arcillas para elaboración de ladrillos, bloques de concreto, absorbentes de aceites, base para alimento de animales, entre otras. Las alternativas mencionadas deben considerar no solo la utilización de los lodos como materia prima, sino que también deben competir con el bajo costo de disposición en vertederos controlados, para que puedan ser atractivos para la industria y satisfacer así la oferta de las grandes cantidades de lodos producidos por la industria textil, que para el caso de Quito, ascienden a más de 15 toneladas diarias (Quinchía et al., 2005).

Teniendo una variedad de opciones para el reciclaje de este residuo, se optó por la más viable para el Ecuador, el cual es la implementación de estos lodos, en cierta concentración, para la producción de bloques para la construcción.

Analizando los antecedentes presentados, se puede indicar que una de las empresas que sufre de este problema es Nilotex, empresa que se dedica a la producción textil hace 25 años. La empresa cuenta con una planta de tratamiento bastante grande que produce alrededor de 60 kilos de lodo residual diario. Por lo tanto, el propósito de la presente investigación es aprovechar los fangos generados por los sedimentadores de la planta de aguas residuales de la empresa

Nilotex, para elaborar un cementante o aditivo para la construcción, el cual eliminará estos desechos, categorizados como peligrosos para el ambiente.

La investigación empleó el método lógico-deductivo, mediante el cual se aplicaron los principios descubiertos a casos particulares, a partir del enlace de juicios. Los resultados de la caracterización de los lodos, arrojaron la existencia de alto contenido de hierro y aluminio en estos lodos, lo que indicaría que son aplicables para su implementación en la construcción, pues según estudios ya realizados, los lodos con alto contenido metálico como el hierro o el aluminio, aparte de aminorar la utilización del cemento, ayudan a que el producto final para la construcción tenga mayor rigidez.

La propuesta realizada permitirá no solamente eliminar un residuo peligroso, si no que a su vez se lo reutilizará, por medio de la venta de éste como producto comercial, teniendo así además un beneficio económico para la empresa. Se decidió hacer las pruebas en bloques, dado que son los más utilizados en la construcción y por tanto la conveniencia debido a la potencial venta del mismo.

1.2 ANTECEDENTES

El tratamiento de aguas residuales implica la producción de lodos como subproducto. El volumen de dichos lodos representa un aproximado de 0,3% a 1% del agua tratada, mismos que provienen de la remoción de sólidos suspendidos presentes en el agua cruda y de los reactivos adicionados. El manejo, tratamiento y disposición de dichos lodos es un problema importante en muchos países del mundo que aún no ha sido resuelto. La principal dificultad que se presenta en el manejo de estos residuos es su alto contenido de agua (99%) y su pobre capacidad de deshidratación, particularmente de los lodos que contienen una gran cantidad de

metales pesados. Los lodos que se producen en la industria textil generalmente no pueden ser utilizados en procesos de compostaje agrícola o incorporados al suelo, ya que el contenido de metales es bastante más alto que el producido por otras industrias, lo que llega a convertirse en un gran inconveniente, debido a que los lodos producidos tienen que ser incinerados lo cual representa una gran inversión económica para la empresa (Flores et al, 1998).

Las plantas de aguas residuales, al realizar los diversos procesos de coagulación, utilizan principalmente sulfato de aluminio como coagulante y en algunos casos polímeros; estos compuestos son desechados comúnmente junto con los lodos o enviados a un gestor certificado, pero estos lodos generalmente son vertidos en el suelo, donde posteriormente alcanzan a los ríos corriente abajo sin ningún proceso posterior para remoción de contaminantes (Mendoza, C. y Cortés M., 1994). Algunos autores coinciden en que “los lodos pueden producir efectos tóxicos en los organismos acuáticos por la presencia de exceso de aluminio, causando efectos severos” (Romero T., 2000).

Los lodos aumentan la turbiedad del agua de la fuente receptora, pueden incluso disminuir el nivel de oxígeno disuelto (OD) y presentar un alto contenido de patógenos, por lo que se requiere su estabilización. La disposición de los lodos es también un gran problema, ya que se requieren grandes superficies de terreno o transportarlos a un sitio autorizado. Además del gran requerimiento de superficie, otros problemas son la vida útil del sitio, el manejo y tratamiento de los lixiviados ahí generados (Moeller, 2000).

Hay que resaltar que los recursos científicos y tecnológicos del tratamiento de lodos en las plantas de tratamiento de aguas en América Latina son escasos, hecho que debe tomarse en cuenta al proponer tecnologías para aplicarse en la región. Dentro de la ingeniería ambiental ha sido necesario implantar técnicas para el análisis de las aguas superficiales con referencia a los

contaminantes y, existe actualmente en el ámbito internacional la tendencia de combinar y complementar los análisis fisicoquímicos, por lo que se han desarrollado un amplio número de investigaciones en diversos países y de esta manera aportar al ambiente con nuevas técnicas (Mendoza y Cortés, 1994).

1.3 IMPORTANCIA

En Ecuador no se registran muchos estudios realizados de este tipo, por lo que es importante disponer de un mayor conocimiento sobre la situación actual en la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas de distintas fábricas, no solo textiles, como es el caso de esta empresa, si no de muchos otros tipos de empresas. Es así que el presente estudio servirá de información sobre estos lodos, para la concienciación de las empresas y la optimización de los mismos como un producto comercial reutilizable.

La reutilización de este residuo peligroso reducirá la contaminación, ya que se sabe que, debido a su alta cantidad de metales pesados, es sumamente nocivo. Lo que comúnmente se realiza para la disposición de estos lodos es el compost, pero en los lodos de la industria textil no es posible debido a la alta presencia de metales, lo cual interfiere en este proceso. Por tanto el presente estudio ayudaría a resolver un gran problema que ha existido durante varios años, específicamente en las empresas de la industria textil.

La investigación ayudará también a prevenir la utilización de vertederos, y el gasto innecesario de espacio físico para que estos sean almacenados. Permitirá a su vez optimizar recursos como energía, agua, etc., lo cual reducirá gastos en la empresa que eran innecesarios debido al procesamiento de estos residuos. También es importante resaltar que al final del

estudio se tendrá un producto comercial el cual se puede convertir en una ayuda económica para la empresa que lo implemente, con efectos secundarios como la eficiencia en el uso de materiales, potencial generación de empleo, beneficiando a su vez al desarrollo productivo del país.

1.4 OBJETIVO GENERAL

➤ Desarrollar cementante para la construcción a partir de lodos producidos por el proceso de floculación-coagulación en la planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa Nilotex

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

➤ Determinar las características fisicoquímicas de los lodos generados en los sedimentadores de la planta de aguas residuales de la empresa Nilotex.

➤ Establecer el porcentaje en peso de lodo en la mezcla para producir productos para la construcción.

➤ Realizar pruebas de compresión al producto final para observar si se encuentra dentro del rango permitido.

➤ Realizar un ensayo de lixiviación para verificar la retención de contaminantes.

1.6 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO

La investigación se realizara en la empresa Nilotex, ubicada en Quito, en la calle Capri y Av. Eloy Alfaro, empresa ecuatoriana especializada en la fabricación de telas de punto,

cordones y cintas elásticas. NILOTEX cuenta con una experiencia de 25 años en la industria textil.

Esta empresa produce varios miles de metros de tela a base de algodón, lo cual obviamente crea varios desperdicios, que tienen su disposición en base a lo que rige la ley. Una de estas disposiciones es la planta de tratamiento, ubicada dentro de la empresa, donde se trata un volumen diario de alrededor de 40 m³/día, este efluente producido es tratado de forma correcta cumpliendo la normativa ambiental vigente. Uno de los procesos realizados dentro la empresa es el de la sedimentación de sólidos, para lo cual se usa el proceso de floculación-coagulación, resultado de esto se tienen lodos residuales que son enviados a un gestor calificado para su posterior incineración.

Figura 1: Empresa NILOTEX



Elaborado por (Ruales, 2015)

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ESTUDIOS PREVIOS

En la mayor parte de industrias existe el problema del tratamiento de sus efluentes líquidos y, más difícil todavía es el problema de los lodos producidos al finalizar este proceso. Los lodos residuales generan una variedad de impactos al ambiente cuando son descargados en cuerpos receptores, las limitaciones ambientales en materia de descarga de lodos, el alza de los costos por el transporte y el manejo de los mismos a los sitios de disposición, han obligado a los organismos operadores a buscar alternativas técnicas y económicamente viables para el aprovechamiento de los lodos, de modo que representen un beneficio económico y ambiental (Castells, 2012).

El reciclaje de lodos provenientes de plantas de tratamiento de efluentes líquidos han ayudado a dar un valor adecuado a este tipo de residuos, por lo que éstos han sido estudiados en distintos campos. Hoy en día existen varios estudios realizados con estos residuos, donde se considera que pueden ser usados en productos para la construcción, en compost, productos de mampostería, etc. Sin embargo, varios de estos estudios se han realizado en relación a fábricas de papel o plantas potabilizadoras municipales, además de realizar la mayoría de estos estudios con lodos de alto contenido de aluminio y no con contenido de hierro como los que provienen de la industria textil. De esta manera existe poca información de reciclaje de este tipo de lodos, lo cual ha llevado a una búsqueda exhaustiva de estudios realizados para el sustento teórico de esta investigación (Castells, 2012).

Uno de los primeros estudios para la eliminación de lodos industriales, consideraba utilizarlo como fuente alternativa de combustible en un horno de cemento, donde la ceniza resultante se incorpora en la matriz del cemento. De hecho, varios países europeos, como Alemania y Suiza, en la actualidad siguen adoptando esta práctica para la gestión de los lodos industriales. Los lodos de las depuradoras tienen relativamente un alto valor calorífico, así como el factor de reducción de las emisiones de dióxido de carbono, en comparación con el carbón cuando son tratados en un horno de cemento. El uso de lodos en hornos de cemento también puede abordar el problema de la eliminación segura hacia el medio ambiente. La industria del cemento representa casi el cinco por ciento de las emisiones antropogénicas de CO₂ en todo el mundo. El tratamiento de estos residuos en los hornos de cemento pueden reducir la dependencia de la industria de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Castells, 2012).

Una de las opciones de aprovechamiento que presenta una alta factibilidad técnica, con este tipo de lodos, es la elaboración de materiales cementantes, como morteros, constituidos parcial o totalmente por residuos con propiedades mecánicas similares, o en muchos casos superiores, a las de productos comerciales (Salazar, 2003). Como antecedentes de esta opción de aprovechamiento, se puede mencionar a los autores Dillon et al. (1996), que mostraron el potencial que resulta al incorporar lodos provenientes de coagulación con sales de aluminio y sales férricas en varios procesos de manufactura de cemento, ladrillos, hierro y acero, cerámica y materiales refractarios en el Reino Unido.

Goncalves, et al. (2002) presentó también un estudio sobre la incorporación de lodos de una planta de tratamiento de agua potable en Portugal, como aditivo en la elaboración de mortero, encontrando que el lodo deshidratado y secado a 105 °C inhibe el proceso de secado y endurecimiento de la pasta del mortero, por lo que concluye que el lodo tratado térmicamente

a no menos de 450 °C, es la mejor opción para fabricar mortero, mejorando el tiempo de secado, pero disminuyendo ligeramente la resistencia mecánica.

En el Ecuador no existen muchos datos sobre el tema, pero en Colombia, un grupo de investigadores de la Universidad del Valle y de la Corporación Construir, tomaron lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales con el objeto de evaluar su potencial en productos cementantes y bloques para construcción, produciendo un material de alta resistencia y con una característica importante como es la impermeabilidad, lo cual permite que los metales pesados o sustancias lixiviables queden encapsuladas y no salgan al contacto con el agua (Salazar, 2003).

2.2 MARCO LEGAL

2.2.1 Constitución Política del Ecuador (2008)

- Art 3, numerales 5 y 7, son deberes primordiales del estado, la promoción del desarrollo sustentable y la protección del patrimonio natural del país.
- Título II, derechos, Capítulo II Derechos del buen vivir, sección segunda del ambiente sano, art. 14, art. 15.
- Título II, Capítulo VII derechos de la naturaleza Art. 71 y 72 reconocen a la naturaleza o pacha mama, como el lugar donde se reproduce y realiza la vida además tiene derecho a la restauración.
- Título II, Capítulo IX, responsabilidades, Art. 83 numerales 3 y 6 son deberes y responsabilidades de los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos por la ley: defender la

integridad territorial del Ecuador y sus recursos naturales y respetar los derechos de la naturaleza.

- Título V, Organización Territorial del Estado, Capítulo IV, Régimen de competencias, Art. 261 numerales 7 y 11; Art. 264 numerales 2 y 4
- Título VI, Régimen de Desarrollo, Capítulo, Principios generales, Art. 275 y 276, numeral 4.
- Título VII, Régimen del buen vivir, Capítulo II, Biodiversidad y recursos naturales, sección primera, naturaleza y ambiente, Art. 395, 396, 397 y 398.

2.2.2 Convenios internacionales

- **Convenio de Basilea (1989):** Establece sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.
- **Agenda 21:** Se relaciona con programas de manejo de desechos tóxicos o peligrosos y manejo de residuos sólidos con su reducción, aumento de la reutilización y reciclado.

2.2.3 Leyes orgánicas

- **ley de gestión ambiental**

Título I de la ley de gestión ambiental, Art. 2 principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respeto a las culturas y prácticas tradicionales.

Título III Instrumentos de gestión ambiental, Capítulo II evaluación de impacto ambiental y control ambiental, Art. 19, 21 y 23.

2.2.4 Reglamentos

- **TULAS**

Libro VI, Anexo 1, Art. 4.2.1.21, expresa que los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de potabilización de agua y de tratamiento de desechos y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos no peligrosos.

Libro VI, Anexo 1, Art. 4.2.1.10, indica que se prohíbe descargar sustancias o desechos peligrosos, sean estos líquidos, sólidos o semisólidos, fuera de los estándares permitidos, hacia el cuerpo receptor, sistema de alcantarillado y sistema de aguas lluvias.

2.2.5 Acuerdos ministeriales

- **Acuerdo Ministerial 161**

Art. 181, literal C, todo generador de desechos peligrosos y especiales es el titular y responsable del manejo de los mismos hasta su disposición final, siendo esta su responsabilidad.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Dentro de esta investigación existen conceptos que son fundamentales y que es muy importante tener claro a qué se refiere cada uno de ellos. A continuación se describirá estos conceptos esenciales de forma detallada.

2.3.1 LODOS RESIDUALES

Son aquellos lodos producidos a partir de un sedimentador, donde se realiza los procesos fisicoquímicos de floculación y coagulación para eliminar los sólidos disueltos. Estos lodos tienen un alto contenido metálico, ya que se usa como químico principal en estas reacciones el sulfato de aluminio. Este tipo de lodo es el residuo más molesto y peligroso para una planta de aguas residuales de estas características (Moeller, 2000). Estos lodos tienden a clasificarse por su uso o por su porcentaje de solidez, los cuales son expresados a continuación.

- **Lodos orgánicos o Biosólidos:** Son aquellos lodos que tienen una gran cantidad de materia orgánica en su composición, por lo que son muy usados para la producción de abono, este proceso permite que los lodos sean mezclados con otros desechos o materiales, tales como desechos orgánicos de jardines. Este material podría ser empleado como: fertilizante para especies hortícolas, viveros para plantas ornamentales, aditivos para mejorar las condiciones físicas de suelos, fertilizantes para áreas de recreación, tales como parques, campos de golf, etc. (Moeller, 2000).

- **Lodos Líquidos:** Los lodos líquidos corresponden a aquellos lodos que contienen menos de un 25% de sólidos totales. Estos lodos pueden ser utilizados solamente en las siguientes aplicaciones: fertilización de empastadas, estabilización de suelos, y aditivos para mejorar las condiciones físicas de suelos, tales como la estabilización de dunas o suelos (Moeller, 2000).

- **Lodos Deshidratados:** Los lodos secos o deshidratados corresponden a aquellos lodos que contienen al menos 25% de sólidos totales. Estos lodos pueden ser aplicados en cultivo de forrajeras, viveros de plantas ornamentales, como un aditivo para suelos, campos de

golf y otras áreas de contacto limitado con seres humanos, siempre que cumplan con los parámetros máximos especificados en la ley vigente (Moeller, 2000).

- **Lodos Secos:** Los lodos secos corresponden a aquellos lodos que contienen al menos 40% de sólidos totales. Estos lodos pueden ser utilizados en aplicaciones agrícolas sin restricción, ya sea como abono o fertilizante en horticultura, cultivos de especies comestibles, plantaciones bananeras, viveros de especies frutales u ornamentales, forrajeras, materiales de construcción, etc. (Moeller, 2000).

2.3.2 CEMENTANTE

Los cementantes son aquellos productos que, mezclados con agua y con otros elementos, que le dan personalidad al material resultante, experimentan una reacción química que los endurece y son por tanto el alma de toda obra civil. Los cementantes se agrupan en tres tipos: los grises, también llamados Portland; los blancos, más usados en arquitectura y acabados y los morteros, cuyo uso más importante es el pegado de bloques y los acabados de obra gris (Díaz et al., 2001).

- **Cementantes grises o portland:** sustancias adhesivas, naturales o artificiales, con las que se pueden formar masas plásticas, que son capaces de unir entre sí a fragmentos o masas de materiales sólidos con una distribución granulométrica determinada, que generalmente recibe el nombre de agregado, formando un conjunto totalmente compacto. Asimismo con la masa plástica de cemento pueden unirse distintas piezas entre sí, realizarse recubrimientos, enlucir, realizar reparaciones, etc. (Díaz et al., 2001).

- **Cementantes blancos:** El cementante blanco es ideal para un amplio rango de aplicaciones estructurales y arquitectónicas en interiores y exteriores, además de un ingrediente clave para los diseños en concreto y morteros. El cemento portland blanco se obtiene a partir de la producción del horno de cemento de un clinker de color blanco y luego en la molienda de este clinker, se le adiciona yeso. El cementante blanco es ideal como adhesivo cerámico, Acabados en pisos con figuras de losetas, Acabados en pisos con figuras de tabique y también es ideal para hacer apariencias de pisos y adoquines (Díaz et al., 2001).
- **Cementantes ecológicos:** Son Cementantes producidos a partir de subproductos industriales que requieren un menor uso de recursos naturales y energéticos tanto en su producción como en las edificaciones en las que son utilizados. Estos cementantes presentan amplias ventajas en términos de costo, peso, capacidad estructural, resistencia térmica y acústica contra los productos convencionales (Díaz et al., 2001).

2.3.3 FLOCULACIÓN

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flocos recién formados, con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flocos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar (Cárdenas, 2000).

Los floculantes son productos que favorecen el proceso de formación del floculo, actuando de puente o unión para captar mecánicamente las partículas en suspensión. La diferencia básica entre coagulante y floculante reside en que el coagulante anula las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales, iniciando la formación de microflocos, mientras el floculante engloba estos microflocos aumentando su tamaño y densidad de modo que

sedimenten más fácil y rápidamente (Hernández, 2000). Se utilizan varias sustancias que tiene esta acción floculante en las aguas residuales los cuales son detallados a continuación.

- **Agentes adsorbentes:** Su misión consiste en dar mayor peso a los flóculos ligeros, caso de la adición de arcillas bentónicas que al añadirse a los flóculos formados, mejoran su densidad, para ello también se emplea el carbonato cálcico pulverizado o caliza. Otra función de estos agentes consiste en adsorber partículas coloidales generando un preflóculo, que rápidamente aumenta de volumen, como es el caso del carbón activo o de la tierra de diatomeas los cuales sirven para la función adsorbente (Hernández, 2000).

- **Sílice activa:** Se obtiene a partir del silicato sódico en disolución, a la cual se le neutraliza con ácido, parte importante de la alcalinidad. Presenta alta efectividad como auxiliar del tratamiento con sulfato de aluminio, pero estos fueron ampliamente utilizados solamente hasta el descubrimiento de los polielectrolitos (Hernández, 2000).

- **Polielectrolitos:** En la actualidad son los compuestos más utilizados en la floculación. Son polímeros de alto peso molecular, naturales o sintéticos que contienen unidades de bajo peso molecular combinadas químicamente para formar una molécula de tamaño coloidal en las que cada una de ellas tiene una o más cargas o grupos ionizables. Los polielectrolitos pueden actuar en la coagulación o como coadyuvantes de la floculación, aumentando considerablemente el tamaño de los flóculos, pero de forma similar a lo que ocurre con la sílice, existe una dosis óptima que si es superada, produce una floculación deficiente (Hernández, 2000).

2.3.4 COAGULACIÓN

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los

coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. El objetivo de la coagulación, el cual es un proceso previo a la decantación, es cambiar las propiedades de los elementos insolubles de modo que sean más fácilmente separables (Cárdenas, 2000).

Como es mucho más sencillo separar partículas grandes y pesadas que partículas ligeras y de poca superficie específica, el proceso de coagulación tenderá a agrupar partículas pequeñas en otras mayores, y por tanto más sólidas, que se denominarán flóculos, para así separarlas más fácilmente (Cárdenas, 2000). Esto se realiza en efecto con la ayuda de sustancias coagulantes las cuales serán detalladas a continuación:

- **Coagulantes inorgánicos:** Como el Sulfato de aluminio, Polímeros de aluminio, los cuales son sales de aluminio que se condensan dando lugar a polímeros que son capaces de coagular (Cárdenas, 2000).

- **Coagulantes orgánicos:** Como los polielectrolitos los cuales pueden ser de origen natural como los derivados del almidón, celulosa, etc. También existen de origen sintético como el óxido de polietileno o poliacrilamida. En ocasiones son considerados auxiliares de la coagulación o coadyuvantes (Cárdenas, 2000).

- **Productos coadyuvantes:** Estos se clasifican en dos, los coadyuvantes inorgánicos como la cal, arcilla, sulfato de magnesio, etc. Y los coadyuvantes orgánicos como los alginatos, los cuales son el extracto de algas, y los almidones los cuales son extracto de algunos vegetales (Cárdenas, 2000).

2.3.5 AGUA RESIDUAL

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (Conagua, 2011).

En la medida en que se vaya presentando acumulación y estancamiento del agua residual pueden generarse gases de mal olor debido a la descomposición orgánica que ésta posee; además es importante anotar que en el agua residual hay existencia de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano o que pueden estar en ciertos residuos industriales (Conagua, 2011). Existen distintitos tipos de aguas residuales que varían dependiendo de la zona donde se produzcan, el uso que le den al agua, etc.

- **Aguas residuales domésticas:** son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera (Conagua, 2011).

- **Aguas lluvias:** Son las originadas por el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, calles, jardines y demás superficies del terreno. Los primeros flujos de este tipo de agua son generalmente muy contaminados debido al arrastre de basura y demás materiales acumulados en la superficie (Conagua, 2011).

- **Residuos líquidos industriales:** Son los provenientes de los diferentes procesos industriales. Su composición varía según el tipo de proceso industrial y aún para un mismo proceso industrial, se presentan características diferentes en industrias diferentes. Este tipo de residuos líquidos pueden ser alcalinos o ácidos, tóxicos, coloreados, etc., su composición refleja el tipo de materias primas o procesos utilizados dentro del proceso industrial (Conagua, 2011).

- **Aguas residuales agrícolas:** Son las que provienen de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados causándoles un gran impacto ambiental a estos cuerpos receptores (Conagua, 2011)

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 TAMAÑO DE LA MUESTRA

El determinar el tamaño de una muestra representa una parte esencial del método científico para poder llevar a cabo una investigación. Al muestreo se lo puede definir como el conjunto de observaciones necesarias para estudiar la distribución de determinadas características en la totalidad de una población, a partir de la observación de una parte o subconjunto de una población, denominada muestra.

El muestreo debe procurar ser representativo, ya que proporciona ventajas de índole económicas y prácticas, brinda la oportunidad de optar por otra alternativa, ya que en lugar de investigar el total de la población, se investiga tan sólo una parte de ella, proporcionando con esto la información en forma más oportuna, eficiente y exacta, eliminando con ello recurrir al estudio de toda la población (Crosby y Platel, 1995).

En la industria textil, son pocos los estudios analíticos que pueden interesar y el estudio estadístico está justificado económicamente por la necesidad de caracterizar un depósito. En la mayoría de las ocasiones, suelen emplearse métodos estadísticos aproximados con base en la experiencia, así ocurre con el método del coeficiente de variación (Crosby y Platel, 1995)

3.1.1 Método del coeficiente de variación para el tamaño de la muestra

El método del coeficiente de variación para el tamaño de la muestra ayuda a planificar la toma de muestras con el fin de estimar el tamaño necesario para minimizar los errores aleatorios (Crosby y Platel, 1995). La eficacia de este método va a depender de:

- La matriz de la muestra
- De la distribución del analito.
- Del grado de homogeneidad
- De la magnitud del error exigida.

Este método requiere analizar las estimaciones provenientes de una muestra, ya que se debe tener presente que las mismas están afectadas por el llamado error muestral y por lo tanto es importante conocer aproximadamente la magnitud de esos errores. Una medida de los mismos está dada por el desvío estándar (Crosby y Platel, 1995).

Con el desvío estándar se puede construir un intervalo numérico que tiene una cierta confianza, medida en términos de probabilidad, de contener el valor verdadero que se desea estimar. Con el desvío estándar se puede calcular también el coeficiente de variación, efectuando el cociente entre el desvío estándar de una estimación y esa estimación (Crosby y Platel, 1995).

El coeficiente de variación brinda una idea de la precisión de la estimación, o sea la relación entre el desvío estándar y el valor a estimar. Cuanto más pequeño es el coeficiente de variación, más precisa es la estimación. Debido a que de acuerdo con el grado de precisión requerido, se advierte que cifras con coeficiente de variación superiores al 20% deben ser tratadas con precaución, ya que de ser así, se tendría una distribución más irregular y por lo

tanto necesitaría mayor número de muestras para prevenir un error muestral mayor (Crosby y Platel, 1995).

3.1.2 Determinación del tamaño de la muestra

El valor del coeficiente de variación V para una serie de muestras, viene dado por el cociente entre la desviación estándar (σ) y el valor medio de las muestras multiplicado por 100 (Crosby y Platel, 1995).

$$V = (\sigma \cdot 100) / \bar{X}$$

Según (Crosby y Platel, 1995) una vez obtenido el valor del coeficiente de variación para muestras se dispone a utilizar la tabla 1 con dicho valor.

Tabla 1: Determinación del tamaño de la muestra

| Distribución del análisis | Coeficiente de variación V (%) | Peso de muestra (kg) |
|---------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Muy regular | < 20 | 0,6 – 0,8 |
| Regular | 20 – 40 | 1,8 – 2,4 |
| Irregular | 40 – 80 | 3,6 – 4,8 |
| Muy irregular | 80 – 150 | 5,4 – 7,2 |
| Extremadamente irregular | Más de 150 | 7,2 – 9,6 |

Elaborado por (Crosby y Platel, 1995).

Como se puede observar en la tabla 1 mientras aumenta el coeficiente de variación aumenta el peso de la muestra, lo cual es lógico porque mientras más irregular sea la distribución se necesitará de mayor cantidad de muestra a tomarse. En esta investigación se obtuvo una base de datos obtenidos por la empresa de los lodos generados en los últimos 2 meses, la empresa Nilotex lleva una bitácora muy detallada de los lodos producidos por semana en toneladas como se observa en la tabla 2.

Tabla 2: Producción de lodos semanal en la empresa NILOTEX

| MES | SEMANA | PRODUCCION DE LODOS (TON) |
|---------|----------|---------------------------|
| Febrero | 1 | 3,4 |
| | 2 | 2,1 |
| | 3 | 2 |
| | 4 | 2,5 |
| Marzo | 5 | 1,9 |
| | 6 | 1,8 |
| | 7 | 2 |
| | 8 | 2,1 |
| | PROMEDIO | 2,225 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Una vez obtenidos los datos de la empresa se procedió a realizar el cálculo de la desviación estándar para la fórmula que se utilizará posteriormente

Tabla 3: Cálculo de la desviación estándar

| cálculo de la desviación estándar | | | |
|---|----------|--------------------|------------|
| $s = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x)^2}{n}}$ | | | |
| datos | | calculo | |
| n= | 8 | $\sigma = \sqrt{}$ | (2,14/8) |
| $\bar{x} =$ | 2,225 | $\sigma = \sqrt{}$ | 0,2679 |
| $\bar{x}^2 =$ | 4,950625 | $\sigma =$ | 0,51759057 |
| $\sum (xi - \bar{x})^2 =$ | 2,14 | | |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Una vez obtenida la variación estándar se procedió a determinar el coeficiente de variación.

Tabla 4: determinación del coeficiente de variación

| |
|--|
| <p>DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN</p> |
|--|

| |
|------------------------------|
| $V = (\sigma \cdot 100) / X$ |
|------------------------------|

| | |
|----|--------------------|
| V= | (0,5175*100)/2,225 |
|----|--------------------|

| | |
|----|-------|
| V= | 23.25 |
|----|-------|

Elaborado por (Ruales, 2015)

Una vez obtenido el valor del coeficiente de variación se verifica en la tabla 1 para observar el tamaño de la muestra que se debe tomar. El valor obtenido previamente realizado es de 21.57, el cual se encuentra en la tabla con una distribución normal ya que esta en los valores de 20-40, lo cual conduce a tomar una muestra de 1.8 a 2.4. Se ha resuelto tomar la media de estos valores, es decir 2 Kg.

3.1.3 Espaciado entre muestras

El espaciado entre muestras consiste en dar un espaciado suficiente entre puntos de muestreo, que tiene como finalidad dar representatividad a la muestra y aminorar el error muestral.

Se utilizará la tabla 5 según Crosby y Platel (1995) para obtener el espaciado entre muestras en metros.

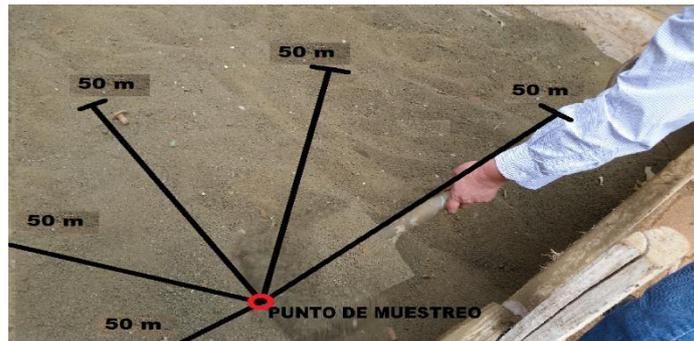
Tabla 5: Espaciado entre muestras

| Distribución del analito | Coeficiente de variación V (%) | Espaciado entre muestras (m) |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Regular | < 40 | 50 – 60 |
| Irregular | 40 – 100 | 6 – 4 |
| Muy irregular | 100 – 150 | 4 – 2,5 |
| Extremadamente irregular | > 150 | 2,5 – 2 |

Elaborado por (Crosby y Platel, 1995).

La cual indica que como el coeficiente de variación obtenido, es de 21,57, encontrándose dentro del rango <40, por lo tanto debe tener un espaciado de 50 m entre puntos de muestreo.

Figura 2: Espaciado entre muestras



Elaborado por (Ruales, 2015)

3.1.4 Número mínimo de muestras a realizar

A la hora de abordar el planteamiento de la toma de muestras, los métodos estadísticos ayudan a determinar el número de muestras individuales que es necesario tomar para minimizar la variabilidad de los resultados finales, teniendo en cuenta la homogeneidad o heterogeneidad de la población objeto de la toma de muestras y el error máximo admisible, lo que ayudará a que la operación se realice dentro de un óptimo económico (Crosby Y Platel, 1995).

Para una distribución normal del análisis, se conoce σ , el número de muestras mínimo N para un intervalo de confianza dado y un error máximo E viene dado por la expresión:

$$N = \left[\frac{Z \cdot \sigma}{E} \right]^2$$

Donde:

σ - desviación estándar

Z – parámetro de población, que se obtiene de tablas para un nivel de confianza dado.

E – error máximo aceptado, (kg)

Como ya se obtuvo la desviación estándar, se procedió a obtener el valor z por medio de la tabla 6, donde se utilizó un error máximo permisible de 15% y un nivel de confiabilidad de 85%, el cual tiene un valor Z de 1.44.

Tabla 6: Tabla para la obtención del valor z según su nivel de confiabilidad

| Nivel de confianza | VALOR Z |
|--------------------|---------|
| 80% | 1,29 |
| 85% | 1,44 |
| 90% | 1,64 |
| 95% | 1,96 |
| 99% | 2,27 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Una vez obtenido estos valores se procedió a obtener el número mínimo de muestras a tomar, estos calculados son explicados a continuación en la tabla 7.

Tabla 7: determinación del número de muestras

| Determinación del numero de muestras | |
|--------------------------------------|---|
| | |
| $N =$ | $\left[\frac{Z \cdot \sigma}{E} \right]^2$ |
| | |
| N= | $((1,44*0,5175)/0,15)^2$ |
| N= | 25 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Una vez analizados los datos obtenidos se procederá a realizar las 25 muestras, 2kg cada una con un espaciado entre estas de 50 m, es decir, un total de 50 Kg. Estas muestras se realizaron en los meses de Febrero y Marzo, fechas que la empresa ha indicado para la realización de esta etapa de la investigación.

3.2 PROCEDIMIENTO DE CAMPO

3.2.1 Toma de muestras

Ubicación: La toma de muestras se realizó en el lecho de secado de la planta de tratamiento en la empresa Nilotex.

Materiales: se utilizó una bolsa plástica zipper y un bailejo.

Procedimiento: Se tomaron 25 muestras de 2kg, tomando un distanciamiento de 50m entre puntos de muestreo. En total se tomó 50 kg de muestra, 25 kg el mes de febrero y 25kg en Marzo.

Figura 3: Toma de muestras



Elaborado por (Ruales, 2015)

3.2.2 Caracterización de los lodos:

Se realizaron 2 análisis sobre la caracterización de los lodos residuales provenientes de la empresa textil NILOTEX, los cuales fueron realizados en el laboratorio ANNCY , el cual se especializa en el control ambiental de suelos y aguas. El método empleado por el laboratorio fue el 3120B o espectrofotometría por absorción atómica.

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos del sistema periódico. Sus campos de aplicación son, por tanto, muy diversos. Este método se puede aplicar para la determinación de todo tipo de metales tales como: hierro, aluminio, cromo, arsénico, plomo, etc. Se emplea en el análisis de aguas, de suelos, de toxicología, etc.

Este método consiste en la medición de las especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular. La especie atómica se logra por atomización de la muestra, siendo los distintos procedimientos utilizados para llegar al estado fundamental del átomo lo que diferencia las técnicas y accesorios utilizados. La técnica más usada es la absorción atómica con llama o flama, que nebuliza la muestra y luego la disemina en forma de aerosol dentro de una llama de aire acetileno u óxido nitroso –acetileno (Skoog, 2000).

3.3.3 Diseño de la dosificación

El diseño de los cilindros de prueba se realizó con la ayuda de la Universidad Central del Ecuador, en la Facultad de Ingeniería de Ciencias Físicas y Matemáticas, en el departamento de ensayos de materiales y modelos. En donde se recomendó utilizar el método basado en el libro del calculista Simon Goldehorn para el diseño de la dosificación del hormigón testigo en

esta investigación. Este método se basa en la utilización de coeficientes de cada material utilizado, así como sus pesos específicos, que van a ser empleados en la mezcla

3.3.3.1 Cálculos para el diseño del hormigón con dosificación 1:2:4

La dosificación del hormigón que se requiere es 1:2:4. Es así que como primer paso para la obtención de los volúmenes para la mezcla del hormigón se calculará el volumen de la probeta de ensayo.

Tabla 8: Cálculo del volumen de la probeta

| Cálculo del volumen de la probeta | | | |
|---|--------|-----------------|----------------------|
| Dimensiones de la probeta de ensayo para concreto | | | |
| diametro (R) | 0,15 m | radio r | 0,075 m |
| altura (h) | 0,30 m | area de la base | $\pi * r^2$ |
| | | area de la base | 0,018 m ² |
| Volumen de un cilindro | | | |
| v= area de la base *h | | | |
| v= 0,018*0,30 | | | |
| v=0,054 m ³ | | | |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Una vez obtenido el volumen de la probeta de ensayo, se realiza el cálculo del volumen aparente, el volumen aparente es una referencia utilizada para el cálculo real de la dosificación de la mezcla.

Es importante resaltar que este método utiliza el 9 % agua como valor de referencia. Esto se debe a la utilización de 0,6 como valor de la relación agua-cemento, utilizado por el método para la obtención de una resistencia mínima de 240 kg/ cm² .

Tabla 9: Cálculo del volumen aparente

| Cálculo del volumen aparente | | |
|------------------------------|---|----------------|
| hormigon estructural: 1:2:4 | | |
| volumen aparente | 1+2+4=7 | |
| | porcentaje | càlculo |
| cantidad de agua estimada | 9% | $9*7/100=0,63$ |
| | | |
| volumen total aparente | $7+0,63=7,63$ unidades (baldes, canastos, m3, etc.) | |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Como luego de apisonar las mezclas siempre se generan pérdidas, se recurre al uso de coeficientes de aporte, que es un valor propio de cada material, y se usa para establecer con cierta exactitud la cantidad de materiales necesarios para un determinado volumen de mezcla a fabricar.

Tabla 10: Valores de los coeficientes de aporte para cada material

| VALORES DE LOS COEFICIENTES DE APORTE PARA CADA MATERIAL | |
|--|-------------|
| Arena gruesa (naturalmente húmeda) | 0.63 |
| Arena Mediana (naturalmente húmeda) | 0.60 |
| Arena gruesa seca | 0.67 |
| Arena fina seca | 0.54 |
| Cal en pasta | 1.00 |
| Cal en polvo | 0.45 |
| Canto rodado o grava | 0.66 |
| Cascote de ladrillo | 0.60 |
| Cemento Portland | 0.47 |
| Cemento Blancos | 0.37 |
| Mármol granulado | 0.52 |
| Piedra partida (pedregullo) | 0.51 |
| Polvo de ladrillo puro | 0.56 |
| Polvo de ladrillo de demolición | 0.53 |
| Yeso París | 1.40 |

Elaborado por (Goldehorn, 1988)

Utilizando la tabla 10, se obtuvo los valores de los coeficientes de aporte para los materiales que van a ser utilizados. Con estos valores se procedió a realizar los cálculos para la obtención del volumen real de la mezcla.

Tabla 11: Cálculo del volumen real de la mezcla

| Cálculo del Volumen real total | | |
|--------------------------------|---------|---|
| cemento | 1*0,47= | 0,47 |
| arena | 2*0,63= | 1,26 |
| piedra | 4*0,51= | 2,04 |
| agua | 0,09*7= | 0,63 |
| | total | 4,4 unidades (baldes, canastos, m3, etc.) |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Con estos datos obtenidos se procedió a realizar los cálculos para la obtención de una mezcla de 1 m³, como dispone este método.

Tabla 12: Dosificación para 1 m³ de hormigón

| dosificación para 1 m ³ de hormigón | | | |
|--|-------|------|----|
| cemento | 1/4,4 | 0,22 | m3 |
| arena | 2/4,4 | 0,45 | m3 |
| piedra | 4/4,4 | 0,91 | m3 |

Elaborado por (Ruales 2015)

Posteriormente se ajustó los datos obtenidos para el volumen de la probeta de ensayo y se utilizó los pesos específicos de los materiales utilizados para obtener los resultados en Kg.

Tabla 13: Pesos específicos de los materiales de construcción

| PESOS ESPECÍFICOS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (Kg./m³) | |
|--|------|
| ARENA SECA | 1450 |
| ARENA NATURALMENTE HUMEDA | 1650 |
| CAL EN PASTA | 1300 |
| CEMENTO PORTLAND | 1450 |
| CEMENTO BLANCO | 1100 |
| RIPIO | 1750 |
| YESO EN POLVO | 1200 |
| POLVO DE LADRILLO | 1000 |

Elaborado por (Ruales, 2015).

Tabla 14: Dosificación para 0,054 m³ de hormigón

| Dosificación para 0,054 m ³ hormigón | | | | |
|---|--|----------------|-------------------------------|--------------|
| materiales | cantidades para 0,054 m ³ de hormigón | | densidad (kg/m ³) | peso en (kg) |
| cimento | 0,001 | m ³ | 1450 | 1,5 |
| arena | 0,002 | m ³ | 1650,0 | 3,3 |
| pedra | 0,004 | m ³ | 1750 | 7,0 |
| agua | 0,001 | m ³ | 1000 | 1,0 |
| | | | total | 12,8 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Con los datos obtenidos se tiene la dosificación exacta de la mezcla de hormigón testigo, del cual se partirá para realizar los cilindros de ensayo que contengan lodo residual.

Cabe resaltar que el valor del agua es el 9% del total de la mezcla seca.

Tabla 15: materiales constitutivos para hormigón testigo

| MATERIALES | PESO (KG) |
|------------------------|------------------|
| CEMENTO | 1,5 |
| AGREGADO FINO | 3,3 |
| AGREGADO GRUESO | 7,0 |
| AGUA COMUN | 1,0 |
| TOTAL | 12,8 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

3.3.3.3 Diseño de la dosificación de los cilindros de hormigón con lodo residual:

Una vez obtenido el diseño testigo del hormigón, se implementó el reemplazo del cemento por el lodo residual en concentraciones de 50, 30, 10% en la mezcla, no se utilizó concentraciones menores al 50% ya que no se logra el fraguado correcto y esto es indispensable en la investigación, debido a que posteriormente se realizarán pruebas de resistencia a la compresión en estos cilindros. De tal manera que la composición de los cilindros de hormigón para ensayo quedan compuestos de la siguiente manera, como se explica en las tablas 15, 16 y 17.

Tabla 16: Materiales constitutivos para hormigón con lodo residual al 50 %

| MATERIALES | PESO (KG) |
|------------------------|------------------|
| CEMENTO | 0,75 |
| AGREGADO FINO | 3,3 |
| AGREGADO GRUESO | 7,0 |
| AGUA COMUN | 1,0 |
| LODO RESIDUAL | 0,75 |
| TOTAL | 12,8 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Tabla 17: Materiales constitutivos para hormigón con lodo residual al 30%

| MATERIALES | PESO (KG) |
|------------------------|------------------|
| CEMENTO | 1,05 |
| AGREGADO FINO | 3,3 |
| AGREGADO GRUESO | 7,0 |
| AGUA COMUN | 1,3 |
| LODO RESIDUAL | 0,45 |
| TOTAL | 12,8 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Tabla 18: Materiales constitutivos para hormigón con lodo residual al 10%

| MATERIALES | PESO (KG) |
|-----------------|-----------|
| CEMENTO | 1,35 |
| AGREGADO FINO | 3,3 |
| AGREGADO GRUESO | 7,0 |
| AGUA COMUN | 1,0 |
| LODO RESIDUAL | 0,15 |
| TOTAL | 12,8 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

3.3.4 Elaboración de los cilindros para ensayo de hormigón

3.3.4.1 Materiales e instrumentos

Previo a la utilización de los materiales se verificó su buen estado y calidad. Como la correcta calibración de los aparatos utilizados.

Materiales:

- Cemento
- Ripio
- Arena
- Lodo residual
- Carretilla
- Pala
- Bailejo

- Aceite
- Brocha
- Agua
- Moldes para cilindros de ensayo
- baldes

Instrumentos:

- Balanza
- Reloj

Figura 4: Materiales e instrumentos



Elaborado por (Ruales, 2015)

3.3.4.1 Procedimiento

- 1) Se realizó la medición en peso de cada material
- 2) Se añadió los materiales; ripio, arena, cemento, en ese orden, en una carretilla. Como lo recomienda la Norma INEN 1576, para la elaboración del hormigón
- 3) Posteriormente se realizó el tamizado del lodo, con el fin de retirar impurezas del mismo. Una vez sin impurezas se lo añadió a la carretilla con los otros materiales

4) Se realizó la mezcla de los materiales con una pala, mientras se añadía el agua paulatinamente. Se realiza este procedimiento hasta lograr una pasta húmeda pero sin excederse en la cantidad de agua definida.

5) Antes de agregar la mezcla en los moldes, se procedió a aplicar una capa de aceite por todo el molde que ayudará en el momento del desencofrado.

6) Se agregó la mezcla en los moldes metálicos.

7) Se compacto por el método de varillado. El proceso se realizó en 2 capas, dando 25 golpes por capa. Se realizó este proceso hasta llenar el último molde. Este método se realizó con lo establecido según la Norma INEN 1576 para cilindros de 150 mm de diámetro.

8) Luego se procedió con el proceso de terminado el cual consiste en dejar lo más lisa posible la capa superior con un paleta. Se repitió este procedimiento hasta completar los 12 cilindros requeridos.

9) Una vez el tiempo de fraguado alcanzó aproximadamente 24 horas, se procedió a desencofrar las muestras de los moldes.

Figura 5: Preparación de cilindros de hormigón con lodo residual



Elaborado por (Ruales, 2015)

3.3.5 Proceso de curado

El curado elegido para esta investigación es el curado hidráulico, recomendado en la Norma INEN 1576, el cual consisten en mantener a los cilindros de prueba totalmente sumergidos en el agua, este método fue escogido debido a que se necesita que los cilindros estén bien hidratados para las pruebas posteriores. Se realizaron 12 cilindros con distintas edades de curado, es decir 3 cilindros a los 7, 14, 21 y 28 días.

Este tipo de curado es un proceso que busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento. El curado hidráulico pretende controlar el movimiento de temperatura y humedad hacia dentro y hacia afuera del concreto. Busca también evitar la contracción de fragua hasta que el concreto alcance una resistencia mínima que le permita soportar los esfuerzos inducidos por ésta. Además muy importante dentro de esta investigación, y es que la falta de curado del concreto reduce drásticamente la resistencia del concreto.

Figura 6: Proceso de curado hidráulico



Elaborado por (Ruales, 2015)

3.3.6 Ensayo de resistencia a la compresión

Una vez cumplida la edad de curado de los cilindros se procedió a realizar las pruebas de resistencia a la compresión. El método utilizado fue el NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39) para resistencia de materiales para la construcción. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen (Gorisse, 1981).

Figura 7: Ensayos de Resistencia, UCE



Elaborado por (Ruales, 2015)

3.3.7 Realización de ensayo de lixiviación o TCLP

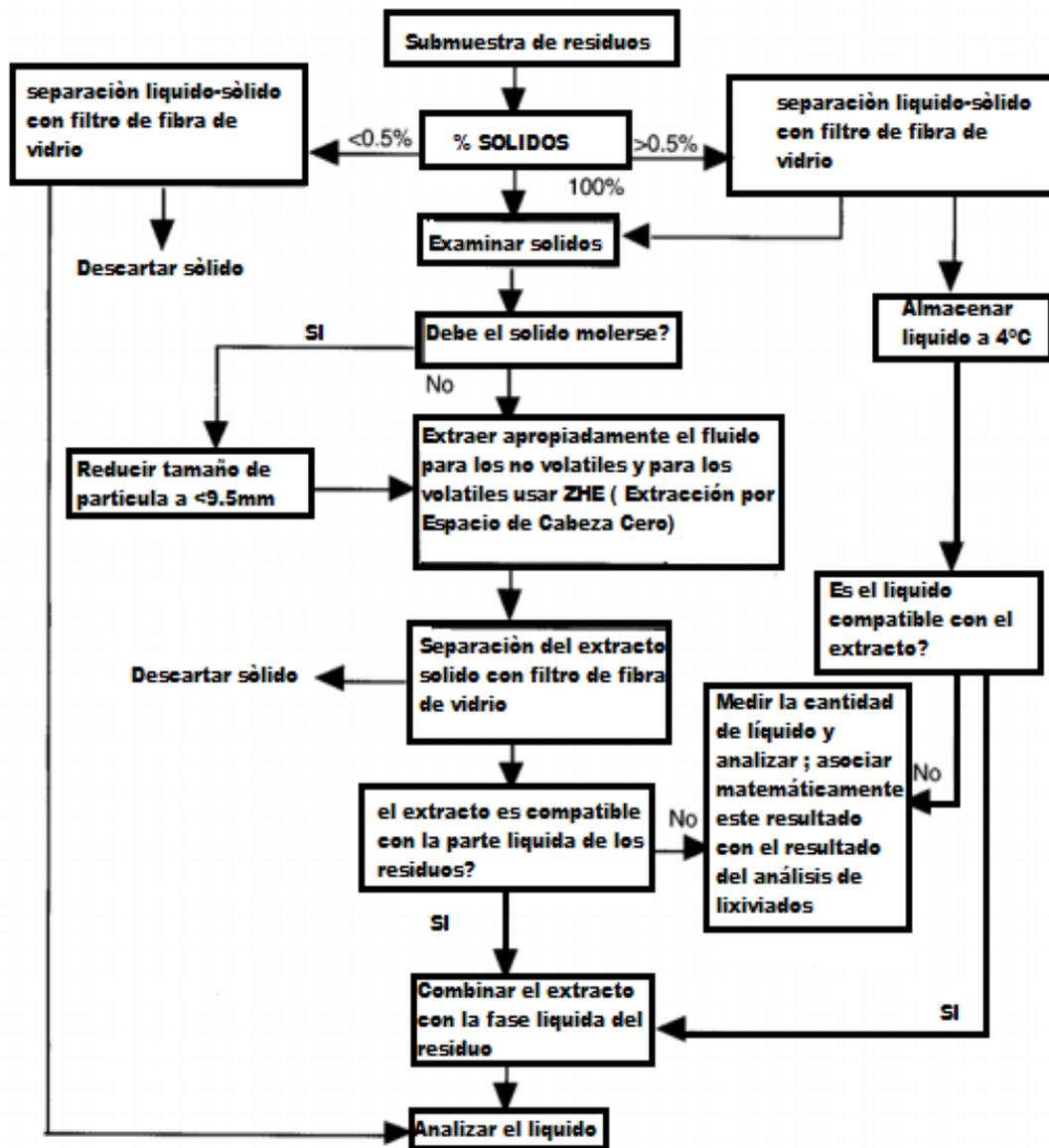
La realización de este ensayo de lixiviación o TCLP se realizó por el método EPA 131, en el laboratorio ANNCY. Este ensayo será realizado únicamente del cilindro que tenga mayor resistencia a la compresión.

3.3.7.1 Ensayo TCLP o Método EPA 1311

El método *Toxicity Characteristic Leaching Procedure*, conocido como test TCLP o EPA 1311, es el test de lixiviación más conocido, desarrollado por la EPA para cuantificar la extractabilidad de compuestos tóxicos, como: metales, compuestos orgánicos volátiles, semi-volátiles y pesticidas bajo un conjunto de condiciones de laboratorio. Es importante precisar que este método ha sido diseñado para determinar la característica de toxicidad por lixiviación de un compuesto tóxico sea este un residuo líquido, sólido o una mezcla de estas fases, simulando las condiciones de un vertido, a partir de un análisis practicado a una muestra del lixiviado o extracto del mismo, determinando así el potencial de peligrosidad del residuo. Si el lixiviado del test contiene algún constituyente tóxico en concentraciones que igualen o superen la normativa vigente ecuatoriana (Resolución 002). En definitiva el procedimiento consiste en determinar la movilidad en el residuo de determinados constituyentes tóxicos con ayuda de algunas técnicas de laboratorio como por ejemplo, la cromatografía de gases, que permite hacer un análisis cuantitativo del tóxico o también el uso de la espectrofotometría de absorción atómica (Enricht, 1990)

El desarrollo del método comprende una fase inicial, en la que se determina con las características de la muestra, el procedimiento que se debe realizar, inicialmente se separan las fases líquida y sólida presentes en la muestra, con el fin de determinar el porcentaje de sólidos presentes en la muestra, además se lleva la muestra a un periodo de agitación de 18 horas con la solución lixivante, que se determina según lo indicado por el método, para posteriormente preparar el extracto obtenido para el análisis (Enricht, 1990), lo cual explica de forma más detallada en la figura 8.

Figura 8: Diagrama de flujo sobre el procedimiento del método EPA 1311



Elaborado por (Enricht, 1990)

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

Tabla 19: Primera Caracterización fisicoquímica de los lodos residuales de la empresa NILOTEX

| ENSAYO | MÉTODO | UNIDADES | LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN | RESULTADO |
|-----------------|-------------|----------|--------------------------|-----------|
| HUMEDAD | INEN 690 | % | 0,1 | 12,8 |
| PH | EPA 9045 | UNID. PH | 4 | 6,98 |
| ALUMINIO | APHA 3120 B | MG/KG | 1 | 558 |
| ARSENICO | APHA 3120 B | MG/KG | 2,5 | 6,89 |
| CADMIO | APHA 3120 B | MG/KG | 0,5 | <0,500 |
| COBRE | APHA 3120 B | MG/KG | 10 | 531 |
| CROMO | APHA 3120 B | MG/KG | 10 | 46,5 |
| HIERRO | APHA 3120 B | MG/KG | 50 | 254950 |
| PLOMO | APHA 3120 B | MG/KG | 10 | <10 |
| ZINC | APHA 3120 B | MG/KG | 25 | 111 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Tabla 20: Segunda Caracterización físicoquímica de los lodos residuales de la empresa NILOTEX

| ENSAYO | MÉTODO | UNIDADES | LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN | RESULTADO |
|-----------------|-------------|----------|--------------------------|-----------|
| HUMEDAD | INEN 690 | % | 0,1 | 10,4 |
| PH | EPA 9045 | UNID. PH | 4 | 6,31 |
| ALUMINIO | APHA 3120 B | MG/KG | 1 | 566 |
| ARSENICO | APHA 3120 B | MG/KG | 2,5 | 7,12 |
| CADMIO | APHA 3120 B | MG/KG | 0,5 | <0,500 |
| COBRE | APHA 3120 B | MG/KG | 10 | 590 |
| CROMO | APHA 3120 B | MG/KG | 10 | 40,2 |
| HIERRO | APHA 3120 B | MG/KG | 50 | 284350 |
| PLOMO | APHA 3120 B | MG/KG | 10 | <10 |
| ZINC | APHA 3120 B | MG/KG | 25 | 143 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Una vez observados los datos de la tabla 19 y 20, analizando la caracterización de estos lodos, se puede verificar que tienen un alto contenido de hierro en su composición, lo que le da viabilidad a la investigación, ya que el hierro le entregará rigidez a la mezcla. También se pudo observar altas concentraciones de arsénico y plomo, los cuales son bastantes tóxicos no solo para el ambiente si no para la salud humana.

4.2 PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Las pruebas de los 4 ensayos fueron realizados en el departamento de ensayos de materiales y modelos de la Universidad Central del Ecuador, por medio del método NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39) para resistencia de materiales para la construcción. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

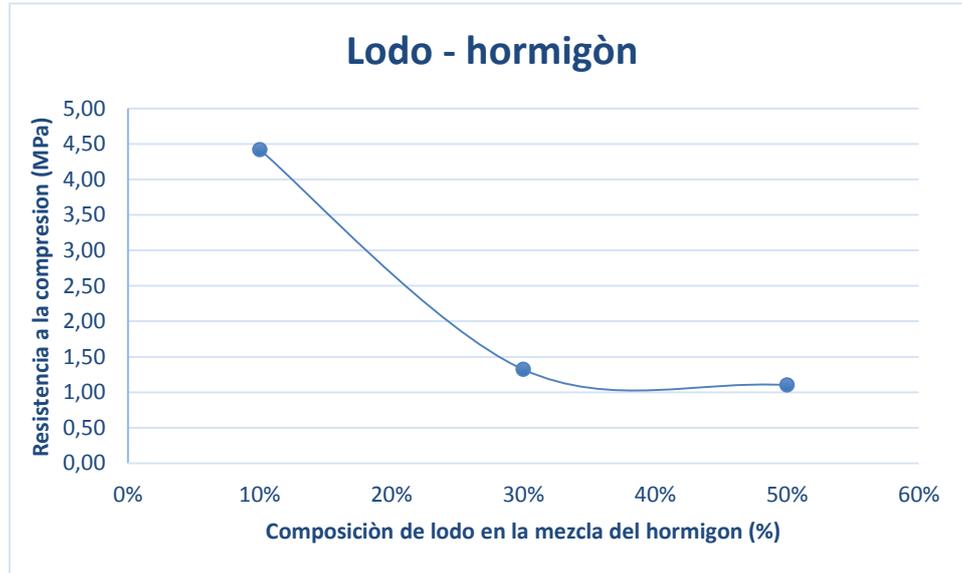
4.2.1 Resultados con tiempo de curado de 7 días

Tabla 21: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión a 7 días

| No. | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | EDAD (DIAS) | DIAMETRO PROMEDIO (MM) | SECCIÒN (mm) | CARGA MAXIMA (KN) | RESISTENCIA A COMPRESION (Mpa) |
|-----|------------------------------|-------------|------------------------|--------------|-------------------|--------------------------------|
| 1 | 50% de lodo residual | 7 | 152 | 18146 | 19,9 | 1,10 |
| 2 | 30% de lodo residual | 7 | 152 | 18146 | 24.0 | 1.32 |
| 3 | 10% de lodo residual | 7 | 152 | 18146 | 80,2 | 4,42 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Figura 9: Lodo-Hormigón (7 días)



Elaborado por (Ruales, 2015)

Como se puede observar en la figura 9, al incrementar la cantidad de lodo en la mezcla con el cemento, tiende a perder resistencia, debiéndose esto a que la edad del hormigón no es la óptima. La resistencia es bastante baja y esto se puede deber también al tiempo de curado.

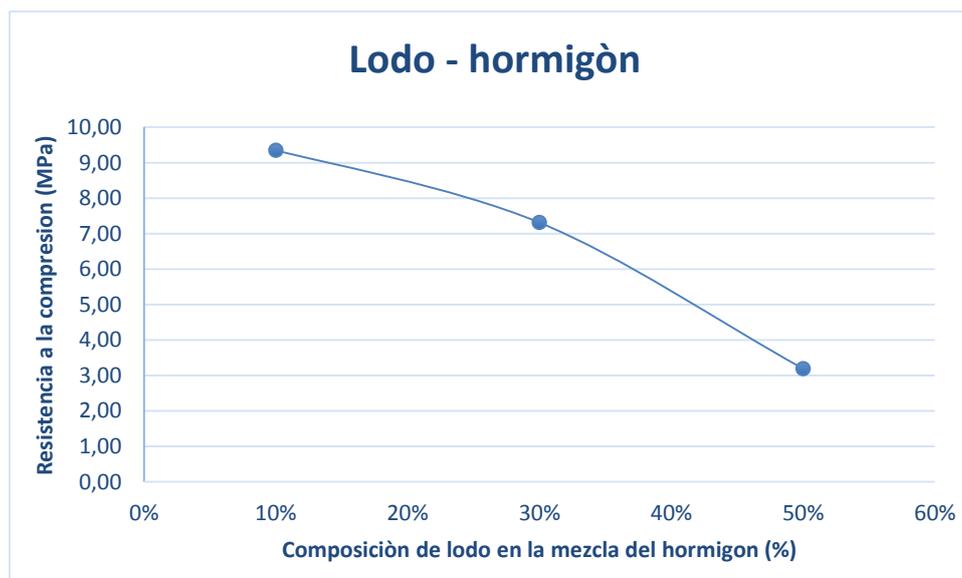
4.2.2 Resultados con tiempo de curado de 14 días

Tabla 22: Resultados de ensayo de resistencia a la compresión a 14 días

| No. | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | EDAD (DIAS) | DIAMETRO PROMEDIO (MM) | SECCIÓN (mm) | CARGA MAXIMA (KN) | RESISTENCIA A COMPRESION (Mpa) |
|-----|------------------------------|-------------|------------------------|--------------|-------------------|--------------------------------|
| 1 | 50% de lodo residual | 14 | 152 | 18146 | 57,6 | 3,19 |
| 2 | 30% de lodo residual | 14 | 152 | 18146 | 132,6 | 7,31 |
| 3 | 10% de lodo residual | 14 | 152 | 18146 | 169,7 | 9,35 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Figura 10: lodo-Hormigón (14 días)



Elaborado por (Ruales, 2015)

Como se puede observar en la figura 10, aún tiene la tendencia a disminuir la resistencia a la compresión mientras se aumenta el porcentaje de lodo en la mezcla, también se puede observar que con un 10 % de lodo en la mezcla la resistencia es mucho más considerable que con 30% o 50%, además que la diferencia de valores entre éstos es muy considerable, lo cual se debe a la cantidad de cemento en la mezcla.

4.2.3 Resultados con tiempo de curado de 21 días:

Tabla 23: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión a 21 días

| No. | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | EDAD (DIAS) | DIAMETRO PROMEDIO (MM) | SECCIÒ N (mm) | CARGA MAXIMA (KN) | RESISTENCIA A COMPRESION (Mpa) |
|-----|------------------------------|-------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------------------|
| 1 | 50% de lodo residual | 21 | 152 | 18146 | 148,6 | 8,19 |
| 2 | 30% de lodo residual | 21 | 152 | 18146 | 244,2 | 13,46 |
| 3 | 10% de lodo residual | 21 | 152 | 18146 | 343,1 | 18,91 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Figura 11: Lodo-Hormigón (21 días)



Elaborado por (Ruales, 2015)

Como se puede observar en la figura 11, la cual se muestra lineal con aumento de su resistencia directamente proporcional a la composición de cemento en la mezcla. Es decir que sigue la tendencia de que mientras las cantidades de lodo sean en mayor proporción, la resistencia tiende a bajar debido a las propiedades que tiene el cemento, sin embargo se puede observar en este punto, que con el 10% de composición de lodo en la mezcla, la resistencia es bastante aceptable para productos para la construcción.

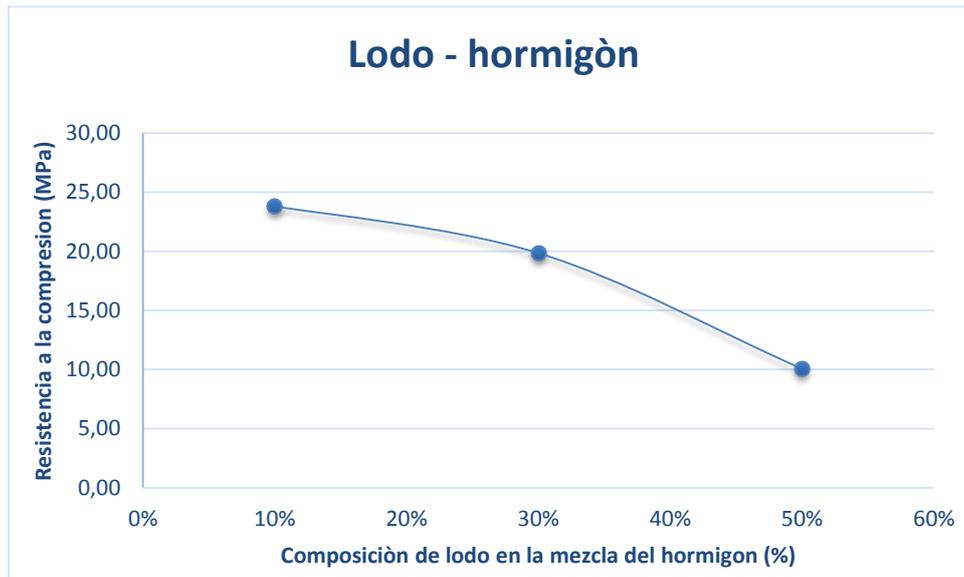
4.2.4 Resultados con tiempo de curado de 28 días:

Tabla 24: Resultados del ensayo de resistencia la compresión a 28 días

| No. | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | EDAD (DIAS) | DIAMETRO PROMEDIO (MM) | SECCIÒ N (mm) | CARGA MAXIMA (KN) | RESISTENCIA A COMPRESION (Mpa) |
|-----|------------------------------|-------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------------------|
| 1 | 50% de lodo residual | 14 | 152 | 18146 | 182,5 | 10,06 |
| 2 | 30% de lodo residual | 14 | 152 | 18146 | 360,2 | 19,85 |
| 3 | 10% de lodo residual | 14 | 152 | 18146 | 432,2 | 23,82 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Figura 12: Lodo-Hormigón (28 días)



Elaborado por (Ruales, 2015)

En la figura 12, se pudo observar claramente que a los 28 días se tienen una resistencia a la compresión bastante considerable, sobre todo el cilindro de ensayo con 10 % de lodo en su composición, el cual tiene una resistencia de 23,82 Mpa o 242,9 Kg/cm², pero al igual que las gráficas anteriores se puede observar que la resistencia es directamente proporcional a la cantidad de cemento en la mezcla.

4.3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE LIXIVIACIÓN O TLCP

El ensayo realizado se hizo únicamente del cilindro de ensayo de hormigón que tenía en su composición 10% de lodo, debido a que éste mostro mayor resistencia a la compresión. También es importante mencionar que se tomó en cuenta únicamente al arsénico y plomo, debido a la toxicidad y concentración que presentaban en los lodos residuales.

Tabla 25: Resultados obtenidos del ensayo de lixiviación o TLCP

| ENSAYO | MÉTODO | UNIDADES | LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN | RESULTADO |
|-----------------|---------------------------|----------|--------------------------|-----------|
| Arsénico | APHA 3120B – PEE/ANNCY/74 | mg/L | 0.010 | < 0.010 |
| Plomo | APHA 3120B – PEE/ANNCY/74 | mg/L | 0.050 | < 0.050 |

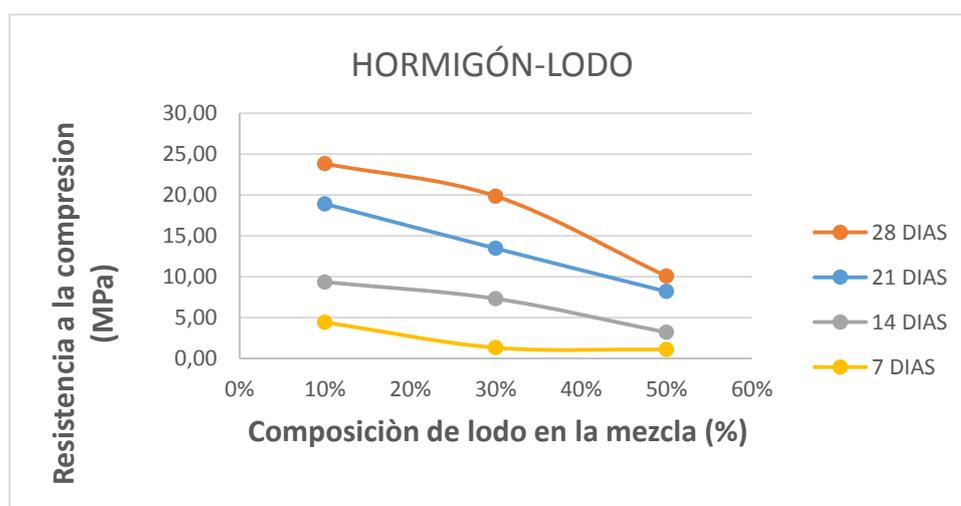
Elaborado por (Ruales, 2015)

4.4 ANÁLISIS DE DATOS

4.4.1 Análisis de los resultados obtenidos de los cilindros de ensayo de hormigón con lodo residual

Con los resultados obtenidos se analizó 3 variables propuestas en la investigación: el tiempo de curado, la resistencia a la compresión de los cilindros de ensayo y la composición del lodo en la mezcla del hormigón.

Figura 13: Análisis de resultados obtenidos



Elaborado por (Ruales, 2015)

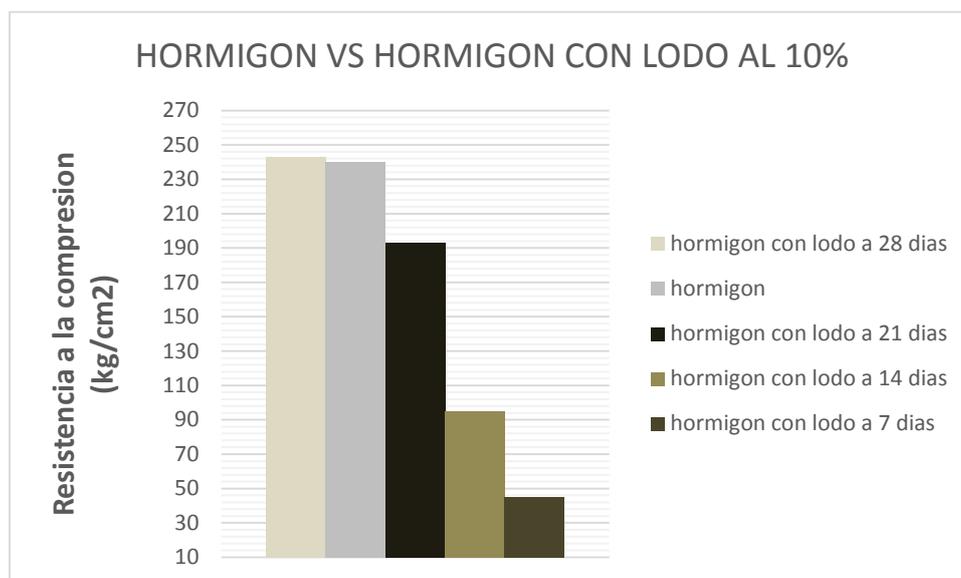
Como se puede observar en la figura 13, la composición de lodo influye bastante en la mezcla de hormigón. Se muestra también que la cantidad de lodo es indirectamente proporcional a la capacidad de resistencia a la compresión, es decir que a mayor cantidad de lodo en la mezcla menor resistencia tiene el material.

Por otro lado, como se puede observar, también el tiempo de curado es una variable importante dentro de la investigación, debido a que a los 28 días se tiene que en cantidades bajas de lodo presente en la mezcla, se logra ganar resistencia en el material, debido a que el diseño realizado fue para alcanzar 240 kg/cm^2 o $23,53 \text{ Mpa}$ y se alcanzó $242,89 \text{ kg/cm}^2$ o $23,82 \text{ Mpa}$, la cual es una resistencia bastante considerable para ser usada en materiales de construcción. Una vez analizado estas variables se establece que el mejor cilindro realizado es aquel que tiene 10% de lodo en la mezcla y 28 días de curado ya que alcanzó los valores de resistencia a la compresión más altos.

4.4.2 Análisis comparativo de resistencia a la compresión con el testigo de hormigón

Con los resultados previos, se realizó una comparación de la resistencia a la compresión que tiene el testigo de hormigón versus el mejor obtenido en la investigación los dos a 28 días como establece la norma INEN, para estos tipos de materiales para la construcción.

Figura 14: Hormigón vs Hormigón con lodo residual al 10 %



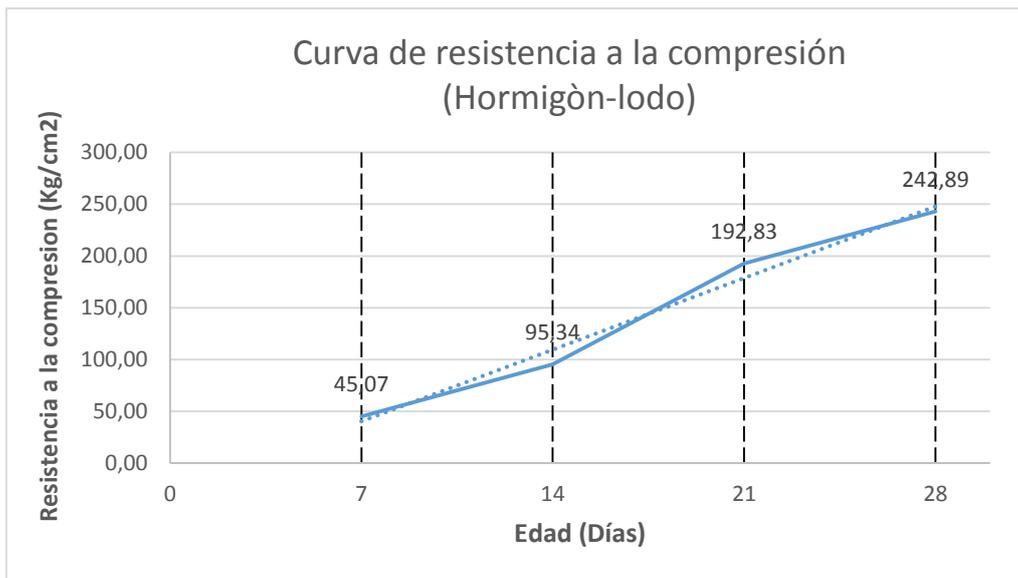
Elaborado por (Ruales, 2015)

Como se puede observar en la figura 14 la diferencia es mínima, el hormigón testigo tiene 240 kg/cm² y el hormigón con lodo al 10% a los 28 días alcanzó una resistencia de 242,89 kg/cm². Es decir alcanzó un 1.23% más de resistencia que el testigo. Por otra parte los cilindros con hormigón al 10% a 7, 14, 21 días se encuentran muy por debajo en comparación con el testigo y esto se debe a la edad del hormigón

4.4.3 Curva de resistencia de la mezcla del hormigón con lodo residual

Con resultados obtenidos previamente, se realizó una curva de resistencia a la compresión para analizar la tendencia que tienen las mejores resistencias obtenidas con su respectivo tiempo de curado. Cabe destacar que los mejores valores de resistencia fueron encontrados en una concentración del 10% de lodo en la mezcla.

Figura 15: Curva de resistencia a la compresión (Hormigón-lodo)



Elaborado por (Ruales, 2015)

Como se puede evidenciar claramente en la figura 15, mientras aumenta la edad del hormigón, se tiene una mayor resistencia, es decir, directamente proporcional. También se puede observar que aumenta alrededor del doble de su resistencia cada 7 días, hasta llegar al valor máximo de 242,89 Kg/cm² con la edad de 28 días.

4.4.4 Análisis de datos de los datos obtenidos del ensayo de lixiviación o TCLP

Una vez obtenidos los datos del ensayo de lixiviación, se procedió a realizar la comparación de los datos con la resolución 002, la cual expresa valores permisibles para pruebas de lixiviación en este tipo de residuos. Anexo 2.

Tabla 26: Análisis de resultados con la normativa vigente

| ENSAYO | MÉTODO | UNIDADES | LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN | RESULTADO | Valores máximos permisibles (Resolución 002) |
|-----------------|---------------|-----------------|---------------------------------|------------------|---|
| Arsénico | EPA 1311 | mg/L | 0.010 | < 0.010 | 5 |
| Plomo | EPA 1311 | mg/L | 0.050 | < 0.050 | 5 |

Elaborado por (Ruales, 2015)

Como se puede observar en la tabla 26, el residuo queda totalmente inertizado, es decir cumple con las concentraciones que establece la normativa vigente ecuatoriana (Resolución 002), además de que se evidencia una baja considerable en comparación con los valores iniciales, lo que confirma la inhibición total de la toxicidad de estos compuestos metálicos.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El lodo residual debe usarse máximo al 50% en la mezcla con el cemento, no más de esta cantidad ya que pierde su resistencia y no logra fraguar. Es por esto que es mucho mejor que el lodo en la mezcla se emplee al 10% como cantidad optima, ya que en esta proporción se observó mayor resistencia a la compresión.
- El tiempo de curado es importante en el uso del lodo como material para la construcción, debido a que éste influye de manera considerable en la resistencia. Tanto así que aumenta alrededor de el doble conforme se incrementan los tiempos de curado establecidos, llegando así a resultados de resistencia a la compresión bastante altos a los 28 días.
- El lodo producido por la empresa Nilotex puede ser usado como aditivo o cementante para la formación del hormigón. Esto se debe a que poseen una gran cantidad de componentes metálicos, como el hierro y el aluminio, que le dan la característica de rigidez, la cual es importante para la producción de este tipo de materiales.
- Al momento de emplear el lodo residual, la dosificación de la mezcla del hormigón es sumamente importante, debido a que la cantidad adecuada de cada material en la mezcla aportará con resistencia , durabilidad y un acabado correcto del material de construcción terminado

- Este lodo presenta una característica que cabe destacar, y es que el lodo tiende a hidratarse rápidamente, produciendo la expansión del mismo en el momento que tiene contacto con el agua.
- El lodo residual producido en la empresa NILOTEX queda totalmente inertizado a los 28 días. Esto es corroborado por los datos obtenidos en el ensayo de lixiviación, los cuales arrojan cantidades muy por debajo de la norma vigente (Resolución 002), por lo que se inhibe por completo el daño a la salud humana y al ambiente.
- Debido a los datos obtenidos en el ensayo de lixiviación o TCLP, los cuales están muy por debajo de los límites permisibles, se concluye que el uso de estos lodos residuales provenientes de la empresa NILOTEX en la construcción, no presentan un daño potencial para la salud humana o para el ambiente.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las empresas textiles que tienen este tipo de lodos residuales, implementarlos a estos como un nuevo producto ecológico y que formen parte de su proceso productivo, con el fin de reciclar este residuo y optimizar sus recursos.
- En caso de ser usado el lodo residual como aditivo o material para la construcción utilizarlo en las proporciones óptimas establecidas en esta investigación.
- Se aconseja analizar los cilindros de hormigón con lodo residual con un mayor tiempo de curado, para determinar si a un tiempo de curado superior se puede retener más contaminantes u obtener una resistencia mayor.
- Se recomienda utilizar la cantidad de agua empleada en esta investigación, ya que la relación agua-cemento influye directamente en la resistencia de los materiales de construcción.

- Se recomienda implementar un plan de capacitación en las empresas textiles sobre el aprovechamiento de estos lodos residuales, a cargo del Municipio de Quito o la Secretaria de Ambiente, con la finalidad de establecer en corto plazo una conciencia para separar, almacenar y aprovechar este tipo de residuos.

Anexo 1: Resultados de laboratorio



INFORME DE ENSAYOS No. 19404-01

NOMBRE DEL CLIENTE: CARLOS RUALES
DIRECCION: Carcelén
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Lodos
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: (Referencia dada por el Cliente)
Código de Muestra: L1 - Lodo Planta de Tratamiento
FECHA DE RECEPCION: 4 de mayo del 2015
FECHA DE ANALISIS: Del 4 de mayo del 2015 al 7 de mayo del 2015
FECHA DE EMISION: 8 de mayo del 2015

| Ensayo | Métodos Referencia - Laboratorio | Unidades | Límite de Cuantificación | Resultado |
|-----------|-------------------------------------|----------|-----------------------------|-----------|
| Humedad* | INEN 690 | % | 0.1 | 12.8 |
| pH (1:2) | EPA 9045 D - PEE/ANNCY/12 | Unid. pH | 4.00 | 6.98 |
| Aluminio* | APHA 3120 B - PEE/ANNCY/74 | mg/kg | 1.0 | 558 |
| Arsénico | APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95 | mg/kg | 2.5 | 6.89 |
| Cadmio | APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95 | mg/kg | 0.500 | <0.500 |
| Cobre* | APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95 | mg/kg | 10.0 | 531 |
| Cromo | APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95 | mg/kg | 10 | 46.5 |
| Hierro* | APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95 | mg/kg | 50.0 | 254950 |
| Plomo | APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95 | mg/kg | 10.0 | <10.0 |
| Zinc | APHA 3120 B - PEE/ANNCY/95 | mg/kg | 25.0 | 111 |

VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE

| Ensayo | Rango | Incertidumbre |
|----------|--------------|--|
| pH (1:2) | 4.00 - 12.00 | $L \pm 0.20$ Unid. de pH K=2, nivel confianza 95.45% |
| Arsénico | 2.5 - 200 | $L \pm 15\%$ mg/kg K=2, nivel confianza 95.45% |
| Cadmio | 0.500 - 100 | $L \pm 15\%$ mg/kg K=2, nivel confianza 95.45% |
| Cromo | 10 - 200 | $L \pm 15\%$ mg/kg K=2, nivel confianza 95.45% |
| Plomo | 10 - 100 | $L \pm 15\%$ mg/kg K=2, nivel confianza 95.45% |
| Zinc | 25.0 - 750 | $L \pm 15\%$ mg/Kg K=2, nivel confianza 95.45% |

Atentamente,


Ing. Cecilia Morales B.
GERENTE LABANNCY CIA. LTDA.

NOTA:

- Resultados en Base Seca
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B / 3010 A
- Los Ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
- L: resultado del análisis
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

INFORME DE ENSAYOS No. 19434-01

NOMBRE DEL CLIENTE: CARLOS RUALES
DIRECCION: Carcelén
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Lodos
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: (Referencia dada por el Cliente)
Código de Muestra: L2 - Lodo Planta de Tratamiento
FECHA DE RECEPCION: 11 de mayo del 2015
FECHA DE ANALISIS: Del 11 de mayo del 2015 al 15 de mayo del 2015
FECHA DE EMISION: 18 de mayo del 2015

| Ensayo | Métodos Referencia - Laboratorio | Unidades | Límite de Cuantificación | Resultado |
|-----------|-------------------------------------|----------|-----------------------------|-----------|
| Humedad* | INEN 690 | % | 0.1 | 10.4 |
| pH (1:2) | EPA 9045 D - PEE/ANNKY/12 | Unid. pH | 4.00 | 6.31 |
| Aluminio* | APHA 3120 B - PEE/ANNKY/74 | mg/kg | 1.0 | 566 |
| Arsénico | APHA 3120 B - PEE/ANNKY/95 | mg/kg | 2.5 | 7.12 |
| Cadmio | APHA 3120 B - PEE/ANNKY/95 | mg/kg | 0.500 | <0.500 |
| Cobre* | APHA 3120 B - PEE/ANNKY/95 | mg/kg | 10.0 | 590 |
| Cromo | APHA 3120 B - PEE/ANNKY/95 | mg/kg | 10 | 40.2 |
| Hierro* | APHA 3120 B - PEE/ANNKY/95 | mg/kg | 50.0 | 284350 |
| Plomo | APHA 3120 B - PEE/ANNKY/95 | mg/kg | 10.0 | <10.0 |
| Zinc | APHA 3120 B - PEE/ANNKY/95 | mg/kg | 25.0 | 143 |

VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE

| Ensayo | Rango | Incertidumbre |
|----------|--------------|--|
| pH (1:2) | 4.00 - 12.00 | $L \pm 0.20$ Unid. de pH K=2, nivel confianza 95.45% |
| Arsénico | 2.5 - 200 | $L \pm 15\%$ mg/kg K=2, nivel confianza 95.45% |
| Cadmio | 0.500 - 100 | $L \pm 15\%$ mg/kg K=2, nivel confianza 95.45% |
| Cromo | 10 - 200 | $L \pm 15\%$ mg/kg K=2, nivel confianza 95.45% |
| Plomo | 10 - 100 | $L \pm 15\%$ mg/kg K=2, nivel confianza 95.45% |
| Zinc | 25.0 - 750 | $L \pm 15\%$ mg/Kg K=2, nivel confianza 95.45% |

Atentamente,

Cecilia Morales B.
Ing. Cecilia Morales B.
GERENTE LABANNKY CIA. LTDA.

NOTA:

- Resultados en Base Seca
- Método de Extracción del Suelo para metales EPA 3050 B / 3010 A
- Los Ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
- L: resultado del análisis
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2 522-655 CASILLA: 17-03-1650
Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN Método NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 12592

HOJA: 1 DE 1

| DATOS INFORMATIVOS: | | | |
|---|-------------------|------------|------------|
| OBRA | SOLICITADO POR : | FECHAS | |
| PRUEBAS DE RESISTENCIA EN LA MEZCLA DE CONCRETO CON LODO RESIDUAL | SR. CARLOS RUALES | RECEPCIÓN | INFORME |
| | | 15/06/2015 | 15/06/2015 |

| DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS: | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------|-------------|------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------|
| No. | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA DE MUESTREO | FECHA ENSAYO | EDAD (días) | DIÁMETRO PROMEDIO (mm) | SECCIÓN (mm ²) | CARGA MÁXIMA (KN) | RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa) |
| 1 | LOSO RESIDUAL | 08/06/2015 | 15/06/2015 | 7 | 152 | 18146 | 19,9 | 1,10 |
| 2 | | 08/06/2015 | | 7 | 152 | 18146 | 24,0 | 1,32 |
| 3 | | 08/06/2015 | | 7 | 152 | 18146 | 80,2 | 4,42 |
| x | x | x | x | x | x | x | x | x |

OBSERVACIONES:

- La fecha de muestreo fue proporcionada por el cliente
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA
JEFE LABORATORIO (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2 522-655 CASILLA: 17-03-1650
Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN Método NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 12593

HOJA: 1 DE 1

| DATOS INFORMATIVOS: | | | |
|---|-------------------|------------|------------|
| OBRA | SOLICITADO POR : | FECHAS | |
| PRUEBAS DE RESISTENCIA EN LA MEZCLA DE CONCRETO CON LODO RESIDUAL | SR. CARLOS RUALES | RECEPCIÓN | INFORME |
| | | 12/06/2015 | 15/06/2015 |

| DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS: | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------|-------------|------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------|
| No. | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA DE MUESTREO | FECHA ENSAYO | EDAD (días) | DIÁMETRO PROMEDIO (mm) | SECCIÓN (mm ²) | CARGA MÁXIMA (KN) | RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa) |
| 1 | LOSO RESIDUAL | 04/06/2015 | 18/06/2015 | 14 | 152 | 18146 | 57,6 | 3,19 |
| 2 | | 04/06/2015 | | 14 | 152 | 18146 | 132,6 | 7,31 |
| 3 | | 04/06/2015 | | 14 | 152 | 18146 | 169,7 | 9,35 |
| x | x | x | x | x | x | x | x | x |

OBSERVACIONES:

- La fecha de muestreo fue proporcionada por el cliente
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

ING. PAOLA VILLALBA
JEFE LABORATORIO (E)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2 522-655 CASILLA: 17-03-1650
Quito

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGÓN Método NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)

INFORME: 12597

HOJA: 1 DE 1

| DATOS INFORMATIVOS: | | | |
|--|-------------------|------------|------------|
| OBRA | SOLICITADO POR : | FECHAS | |
| | | RECEPCIÓN | INFORME |
| PRUEBAS DE HORMIGÓN CON LODO RESIDUAL DE UNA EMPRESA | SR. CARLOS RUALES | 19/06/2015 | 22/06/2015 |

| DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS: | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------|-------------|------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------|
| No. | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA DE MUESTREO | FECHA ENSAYO | EDAD (días) | DIÁMETRO PROMEDIO (mm) | SECCIÓN (mm ²) | CARGA MÁXIMA (KN) | RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa) |
| 1 | 1 | 25/05/2015 | 22/06/2015 | 26 | 152 | 18146 | 182,5 | 10,06 |
| 2 | 2 | 25/05/2015 | | 26 | 152 | 18146 | 360,2 | 19,85 |
| 3 | 3 | 25/05/2015 | | 26 | 152 | 18146 | 432,2 | 23,82 |
| 4 | 4 | 01/05/2015 | | 21 | 152 | 18146 | 146,6 | 8,19 |
| 5 | 5 | 01/05/2015 | | 21 | 152 | 18146 | 244,2 | 13,46 |
| 6 | 6 | 01/05/2015 | | 21 | 152 | 18146 | 343,1 | 18,91 |
| x | x | x | x | x | x | x | x | x |

OBSERVACIONES:

- La fecha de muestreo fue proporcionada por el cliente
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²

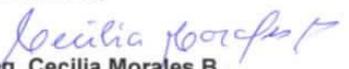
ING. PAOLA VILLALBA
JEFE LABORATORIO (E)

INFORME DE ENSAYOS No. 19612-01

NOMBRE DEL CLIENTE: CARLOS RUALES
DIRECCION: Carcelén
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Lixiviado
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: (Referencia dada por el Cliente)
 Código de muestra: Inertización con Hormigón
FECHA DE RECEPCION: 22 de junio del 2015
FECHA DE ANALISIS: Del 22 de junio del 2015 al 23 de junio del 2015
FECHA DE EMISION: 23 de junio del 2015

| Ensayo | Métodos | | Límite de Cuantificación | Resultado |
|-----------|-------------|--------------|--------------------------|-----------|
| | Referencia | Laboratorio | | |
| Arsénico* | APHA 3120 B | PEE/ANNCY/74 | mg/l | 0.010 |
| Plomo* | APHA 3120 B | PEE/ANNCY/74 | mg/l | 0.050 |

Atentamente,


Ing. Cecilia Morales B.
GERENTE LABANNCY.CIA. LTDA.

NOTA:

- Método de Extracción de Lixiviado - EPA 1311
- Los Ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
- L: resultado del análisis
- El Informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo
- Valores de Incertidumbre de Ensayos Acreditados por el OAE
- Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Anexo 2: Concentración máxima de contaminantes en prueba de lixiviación (Resolución 002)

| CONTAMINANTE | LIMITE MÁXIMO (mg/l) |
|-------------------------|----------------------|
| Arsénico | 5,0 |
| Bario | 100,0 |
| Benceno | 0,5 |
| Cadmio | 1,0 |
| Clordano | 0,03 |
| Cloruro de Vinilo | 0,02 |
| Clorobenceno | 100,0 |
| Cloroformo | 6,0 |
| o-Cresol | 200,0 |
| m-Cresol | 200,0 |
| p-Cresol | 200,0 |
| Cresol | 200,0 |
| Cromo | 5,0 |
| 1,4-Diclorobenceno | 7,5 |
| 1,2-Dicloroetano | 0,5 |
| 1,1-Dicloroetileno | 0,7 |
| 2,4-Dinitrotolueno | 0,13 |
| 2,4-D | 10,0 |
| Endrin | 0,02 |
| Heptacloro y su epóxido | 0,008 |
| Hexaclorobenceno | 0,13 |
| Hexaclorobutadieno | 0,5 |
| Hexacloroetano | 3,0 |
| Lindano | 0,4 |

| CONTAMINANTE | LIMITE MÁXIMO (mg/l) |
|-------------------------|----------------------|
| Mercurio | 0,2 |
| Metiletilcetona | 200,00 |
| Metoxicloro | 10,0 |
| Nitrobenzeno | 2,0 |
| Pentaclorofenol | 100,0 |
| Piridina | 5,0 |
| Plata | 5,0 |
| Plomo | 5,0 |
| Selenio | 1,0 |
| Tetracloruro de carbono | 0,5 |
| Tetracloroetileno | 0,7 |
| Toxafeno | 0,5 |
| 2, 4, 5-TP (Silvex) | 1,0 |
| Tricloroetileno | 0,5 |
| 2,4,6-Triclorofenol | 2,0 |

Nota: Parámetros basados en W.H.O. - Guidelines
for Drinking Water Quality - Vol. 1 -
Recommendations - Geneva - 1984.

6 BIBLIOGRAFÍA:

- Armenter Ferrando J., Cristiá Roca, J. (2002). *Innovación en el tratamiento de fangos de una ETAP. Secado por atomización y aprovechamiento en la industria cerámica*. Tec. Agua. Barcelona, España.
- ASTM C 31, C 39, C 617, C 1077, C 1231, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- Cárdenas, Y. (2000). *Ttratamiento de aguas: floculación-coagulación*, SEDAPAL, Lima- Perú.
- Castells, E. (2012). *Reciclaje de residuos industriales: Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora*, Ediciones Díaz de Santos, ISBN : 8499693660, pág. 543-955.
- Conagua. (2011). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Diciembre de 2010. México.
- Constitución de la República del Ecuador, Registro Oficial N. 449. (2008). Ecuador.
- Cordeiro J., (1996). *Problema dos lodos generados en decantadores de estaciones de tratamiento de agua*.
- Crosby, N. T. y Patel, I. (1995). *General principles of good sampling practice*. The Royal Society of Chemistry. Valid Analytical Measurement.

- Díaz H, Ramírez de Alba H. y Pérez R. (2001). *Aspectos Químicos y estructurales de la matriz cementante utilizada en la cultura maya*. Ingeniería, Investigación y Tecnología. Vol. II.
- Dillion G.R., Hall, T., Sweet, N., Wolstenholme, R. and Woods, V. (1996). *Novel methods for the treatment and disposal of waterworks sludge: Final report*. WRc Report No. PT1084.
- Enricht C. EPA 1311, M. (1990). *Procedimiento de lixiviación de constituyentes tóxicos* Capítulo 2: En Métodos de análisis (págs. 48-58). Washington DC: Mc. Graw Hill.
- Escalante J., (2002). *Materiales Alternativos al cemento Portland*. Avance y Perspectiva, 21. marzo-abril. Pp. 79-88.
- Flores L., Santana M., Martin A. (1998). *Acondicionamiento químico de lodos de sales de aluminio subproducto de la potabilización del agua*, Vol. II.
- Goldenhorn, S. (1988). *Calculista de estructuras de hormigón armado, hierro y madera*, H. F. Martínez de Murguía. 635 pág.
- Goncalves, A., Esteves, A. y Carvalho M. (2004). *Incorporation of Sludges from a Water Treatment Plant in Cement Mortars*. En: *The Conference Use of Recycled Materials in Building and Structures*, Barcelona, España.
- Gorisse, F. (1981). *Ensayos y control de los hormigones*. Reverte, 236 pág.
- Hernández, A. et al. (2000). *Manual de depuración*. 2ª ed., Madrid. ISBN: 84-283-2162-0. 430 pág.
- Hoyos, M. (2000). *Aprovechamiento de los lodos primarios de las fábricas de papel*. Medellín: UPB. p. 7.
- Ley de gestión Ambiental. Registro Oficial N. 254. (1999). Ecuador.

- Mendoza C., Cortés M. (1994). *Caracterización fisicoquímica y evaluación toxicológica utilizando bioensayos en agua, suelo y sedimento del Distrito de Desarrollo Rural*. UNAM.
- Moelle, D. (2000). *Recuperación de sulfato de aluminio de lodos generados durante el proceso de potabilización de agua*. Universidad del valle, Santiago de Cali.
- Quinchía, F.; Restrepo C. y Betancourt G. (2005). *Análisis prospectivo de aprovechamiento y disposición de lodos provenientes de industrias papeleras*. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín. 180 p.
- Romero, T. (2000). *Tratamiento de Aguas Superficiales por países en Desarrollo*. LIMUSA, México.
- Salazar. A. (2003). *Los Ecomateriales: Una alternativa económica para la construcción*, Agencia Universitaria de Periodismo Científico y Cultural. Universidad del Valle, Cali – Colombia.
- Schultz C y Okun D. (1990). *Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo*. Edit. Noriega-Limusa. México.
- Skoog, H. (2000). *Principios de Análisis Instrumental*, 5ª Ed. Ed Mc Graw Hill. Madrid
- Stoeppler, M. (1997). *Sampling and sample preparation. Practical Guide for Analytical Chemists*. Springer-Verlag,
- TULAS. (2003). *Reglamento para la prevención y control de la contaminación por desechos peligrosos*. Ecuador
- Velásquez, J. (2003). *Factibilidad de disposición de biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales “San Fernando” en suelos recuperables de diferente textura*. Envigado. Trabajo de Grado (Ingenieros Ambientales). Escuela de Ingeniería de Antioquia. Ingeniería Ambiental.

- Wang, M. (1992). *Engineering behavior of water treatment sludge*. Traducido al español. Vol. 118, p. 849.
- Woodget, B. W. y Cooper, D. (1991). *Samples and standards*. Ed. N. B. Chapman. Analytical Chemistry by Open Learning, John Wiley and Sons.