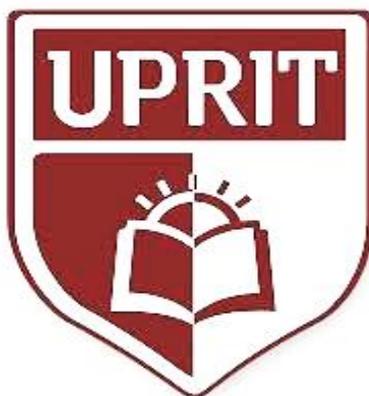


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**BASES TEORICAS PARA REALIZAR LA INVESTIGACION DE
INFLUENCIA DE LA ADICION DE SEDIMENTOS DE
CLARIFICACION DE AGUAS DE RIEGO EN LA ESTABILIZACION
ECOLOGICA DE SUELOS ARENOSOS, LA LIBERTAD, 2019**

**TRABAJO DE INVESTIGACION PARA
OPTAR EL GRADO DE BACHILLER**

**AUTOR:
Ciro Ynoki Kusaka Lozano**

TRUJILLO - PERU

2019

I. INDICE

I. INTRODUCCION.....	4
1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte....	5
1.1.1. Campo temático.....	5
1.1.2. Espacio.....	5
1.1.3. Tiempo.....	5
1.2. Formulación del problema.....	7
1.3. Justificación del tema.....	7
1.3.1. Realidad Problemática.....	8
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. Objetivo General.....	9
1.4.2. Objetivo específicos.....	9
1.5. Procedimientos metodológicos seguidos.....	10
1.5.1. Instrumentos de recolección.....	10
1.5.2. Fuentes de información.....	10
II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION.....	11
2.1. Antecedentes.....	11
2.2. Bases teóricas.....	19
III. CONCLUSIÓN.....	51
IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
V. ANEXOS.....	59

II. RESUMEN

La presente monografía busca obtener información técnica necesaria para elaborar la investigación Influencia de la adición de sedimentos de clarificación de aguas de riego activadas alcalinamente con silicato de sodio en la estabilización ecológica de suelos arenosos en la provincia de Virú, La Libertad, La presente investigación obtuvo las bases teóricas de a investigación teniendo en cuenta que es insostenible en el tiempo seguir acumulando sedimentos porque generan un alto impacto ambiental, contaminando el paisaje y ocasionando botaderos innecesarios que acaparan grandes espacios de terreno. Es por ello que es necesario encontrar una aplicación útil que consiga darles un valor agregado en la solución de otros problemas, como es el caso de la estabilización de suelos arenosos, que, por tratarse de un material fino y limoso, consiguen darle la cohesión y empaquetamiento necesarios para que aumente sus propiedades mecánicas. Además, es necesario que se realice un diseño que indique los porcentajes y las condiciones en que se puede añadir estos residuos siguiendo la normatividad vigente dada por el ministerio de transportes y comunicaciones, para que se alcancen valores aceptables de resistencia en una aplicación de estabilización de caminos rurales generando nuevas vías de conexión entre los pueblos y mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

PALABRAS CLAVES

- Sedimentos de clarificación de aguas.
- Activación alcalina.
- Silicato de sodio.
- Estabilización ecológica.
- Suelos arenosos

III. ABSTRAC

The present monograph seeks to obtain technical information necessary to elaborate the research Influence of the addition of clarification sediments of irrigation waters activated alkaline with sodium silicate in the ecological stabilization of sandy soils in the province of Virú, La Libertad, The present investigation obtained the theoretical bases of research taking into account that it is unsustainable over time to continue accumulating sediments because they generate a high environmental impact, contaminating the landscape and causing unnecessary dumps that hog large areas of land. That is why it is necessary to find a useful application that can give them an added value in the solution of other problems, as is the case of the stabilization of sandy soils, which, being a fine and silty material, manage to give cohesion and necessary packaging to increase its mechanical properties. In addition, it is necessary that a design be made that indicates the percentages and conditions in which these residues can be added following the current regulations given by the Ministry of Transport and Communications, so that acceptable values of resistance are reached in a stabilization application. rural roads generating new routes of connection between the towns and improving the quality of life of its inhabitants.

KEYWORDS

- Water clarification sediments.
- Alkaline activation.
- Sodium silicate.

- Ecological stabilization.
- Sandy soils

I. INTRODUCCION

La estabilización de suelos es una técnica que tiene el propósito de hacer que los suelos sean capaces de cumplir los requerimientos de los proyectos ingenieriles específicos (Kolias, Kasselouri-Rigopoulou, & Karahalios, 2005). Dicho de otro modo, cuando los suelos en un sitio son pobres o cuando tienen una propiedad indeseable haciéndoles inapropiados para su uso en un proyecto geotécnico, tienen que ser estabilizados (Bowles, 1996)

En el Perú, Perez Collantes (2012) estudia el efecto que produce la adición de cenizas volantes de carbón, residuo de la planta termoeléctrica de Ilo, en un suelo arcilloso para su uso en obras de pavimentación. Comprueba que la mezcla de ceniza volante con el suelo arcilloso presenta un mejor comportamiento que el suelo puro. Concluye que existe viabilidad técnica, económica y ambiental para emplear dicha ceniza volante como estabilizador ecológico del suelo.

En Piura, Ravines Merino (2012) evalúa el producto Perma-Zyme 22X, un estabilizador ecológico a base de enzimas orgánicas que se vende como posible mejorador de la estabilidad de suelos de una manera más sostenible, obteniendo un aumento significativo del valor de soporte relativo, de hasta 200%, y de la resistencia, lo que permitiría incrementar la resistencia de suelos finos plásticos - arcillosos.

En la Libertad, Fernández Vílchez & Salazar Pulce (2015) realizó una comparación de resistencia y capacidad de soporte de un afirmado con gran cantidad de finos sin tratamiento de estabilización, con un afirmado con gran cantidad de finos tratado con el estabilizador ecológico Perma-Zyme 11X, encontrando en este último caso una mejora en las propiedades del afirmado.

En Virú, no se han encontrado trabajos de investigación sobre estabilización ecológica o natural de suelos, sin embargo sí se han encontrado trabajos de

estabilización en un tramo de carretera realizados por la empresa Liplata, RUC 20513574691, en donde se ha utilizado cloruro de magnesio 250+ en forma líquida, la cual permite una mejora en las propiedades del afirmado, dándole mayor estabilidad estructural y resistencia a la tracción, controlando la emisión de polvo y reduciendo el deterioro superficial.

La institución que norma los suelos, pavimentos y sus estabilizaciones es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual ha publicado la Norma técnica de estabilizadores químicos (MTC E 1109, 2004) y por el Ministerio de Construcción, Vivienda y Saneamiento que ha publicado las Normas de Pavimentos Urbanos (RNE CE.010, 2010) y Estabilización de Suelos y Taludes (RNE CE.020, 2012). Asimismo, cabe resaltar que las normas anteriormente mencionadas están basadas a su vez en las Normas NTP, AASHTO, ASTM.

1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte

El análisis de las bases teórica de la investigación la investigación Influencia de la adición de sedimentos de clarificación de aguas de riego activadas alcalinamente con silicato de sodio en la estabilización ecológica de suelos arenosos en la provincia de Virú, La Libertad, nos muestra que la provincia de Virú es mayoritariamente un desierto, por lo que su suelo es arenoso e inestable, esta condición se debe a que su ángulo de fricción no le permite mantener su forma estructural por sí mismas. Además, presentan casi nula cohesividad entre sus partículas, permitiendo que estas se separen y no trabajen en conjunto, desmoronándose con facilidad y baja carga. Para que un suelo sea estable se requiere tener tanto alto ángulo de fricción como alta cohesividad. Las arenas necesitan de otros materiales para que esos parámetros suban.

Por otra parte, las arenas presentan una estructura con gran cantidad de poros cuyo volumen puede disminuir aplicando una mayor energía de compactación y/o vibración. Asimismo, las arenas son no cohesivas y de baja capacidad portante debido a que no cuentan de forma natural con un material ligante o

cementante que genere uniones entre sus partículas por lo que haría falta añadirle.

Asimismo, las arenas de desierto son muy permeables, lo que le hace inestable al ser sensibles a la presencia de agua. Esto se debe a que las partículas de arena son principalmente del mismo tamaño, lo que ocasiona un mal empaquetamiento, ya que para esto sería necesario contar con partículas de diferente diámetro, lo que produciría una disminución de los vacíos entre partículas.

Las arenas de desierto son materiales de grano fino y pobremente graduadas con pequeñas cantidades de limos (Mohamedzein, Al-aghbari, & Taha, 2006). Estas arenas no son adecuadas para soportar estructuras y caminos, porque están sueltas y al humedecerse son vulnerables al colapso (Elsharief, Mohamedzein, & Hussien, 1999). La baja capacidad portante, resistencia, rigidez y la alta porosidad de este tipo de suelos provoca asentamiento excesivo y daños graves en los caminos y carreteras. También la preparación y el transporte de material de construcción adecuado de otras zonas obligan a costos excesivos tornándose no económico (Rabbani, Daghigh, Atrechian, Karimi, & Tolooyan, 2012).

El suelo se encarga de sostener las cargas transmitidas por la superficie de rodadura en las vías y debe encontrarse en condiciones tales que sea competente para resistirlas, cuando el suelo no posee las propiedades adecuadas por sí solos, se opta por cambiar el suelo por otro que sí posea las propiedades adecuadas o por realizar una estabilización para modificar sus propiedades naturales (Morales, 2015).

Campo Temático

- Estructuras

1.1.1. Espacio

Distrito : Virú
Provincia : Virú
Región : La Libertad

1.1.2. Tiempo

Febrero del 2019 y agosto 2019.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál son las bases teóricas que permitirán realizar la investigación Influencia de la adición de sedimentos de clarificación de aguas de riego activadas alcalinamente con silicato de sodio en la estabilización ecológica de suelos arenosos en la provincia de Virú, La Libertad?

1.3. Justificación del Tema

1.3.1. Realidad Problemática

La provincia de Virú tiene una red pavimentada muy pequeña, quedando gran parte de la red vecinal en condiciones muy precarias para el tránsito, produciéndose ahuellamientos muy pronunciados en la que se levantan altos volúmenes de polvo. Esto se debe a que está situada sobre un terreno muy inestable que necesita ser mejorado en todas sus propiedades para que pueda soportar mayores cargas de tránsito.

En los últimos años debido al proyecto Chavimochic se han habilitado inmensas áreas agrícolas en zonas que antes eran desierto y se han convertido en extensos campos de cultivo impulsados por la inversión agroindustrial, actualmente se encuentran interconectadas por un precario sistema vial, pues se trata de caminos carrozables intransitables. A lo largo de estas vías los suelos arenosos son mecánicamente inestables, debido a su baja capacidad de soporte y a la falta de un material ligante que

una sus partículas, estos problemas dificultan el acceso de vehículos hacia las zonas de cultivo.

Por otro lado, debido a que el riego de estos campos agrícolas es por goteo las empresas agroindustriales se ven en la necesidad de clarificar sus aguas de riego en pozas de sedimentación, de lo contrario se obstruirían las tuberías, pero esto genera el almacenamiento de aproximadamente 8000 a 12000 m³ de sedimento por poza anualmente, que en los meses críticos de lluvia en la sierra de nuestro país hacen colapsar dichas estructuras (Mendoza & Vizconde, 2008). La acumulación excesiva de estos sedimentos, constituido principalmente por arenas finas, limos y arcillas, están generando impactos negativos al medio ambiente, por lo que se propone utilizarlos en combinación con el suelo arenoso de la zona como material de afirmado de vías de acceso a las áreas de cultivo.

1.3.2. Aspectos diferenciados de justificación

La justificación de la presente investigación radica en mejorar la calidad de vida de los pobladores de la provincia de Virú estabilizando los suelos arenosos en una gran cantidad de caminos rurales de bajo tránsito que hay en el acceso a los caseríos ubicados en dicha provincia. Además, también se beneficiaría a las empresas agroindustriales que hay en la zona quienes clarifican el agua para realizar riego por goteo, así como a sus trabajadores, puesto que también se estabilizarían los caminos arenosos de acceso a áreas agrícolas habilitadas por el proyecto Chavimochic. Asimismo, se beneficiaría al medio ambiente, puesto que se daría un valor agregado y una utilización a los sedimentos de clarificación de aguas de riego que hoy en día botan y acumulan generando un alto impacto ambiental, esta alternativa busca dar una solución ecológica, mediante la utilización de residuos, al problema de la estabilización.

Desde el punto de vista teórico, esta investigación generará una gran expectativa y discusión tanto sobre el conocimiento existente del área investigada, como dentro del ámbito ingenieril, ya que de alguna manera u otra, se confrontan teorías como los mecanismos de endurecimiento de sedimentos a través de la activación alcalina frente a los mecanismos de endurecimiento utilizando materiales tradicionales, tales como son el cemento y cal. Asimismo, se logrará mejorar las propiedades de los suelos arenosos inestables aplicando la teoría de Terzaghi sobre la capacidad portante del suelo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Redactar bases teóricas para realizarla investigación influencia de la adición de sedimentos de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con silicato de sodio sobre la estabilidad ecológica de un suelo arenoso de la provincia de Virú.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar información acerca del suelo y la estabilización de suelos.
- Evaluar información clarificación de agua de riego.
- Buscar información acerca sedimentos.
- Encontrar información acerca de activación alcalina.

1.5. PROCEDIMIENTOS METODOLOGICOS SEGUIDOS

1.5.1. Técnica de recolección

- La técnica utilizada en la presente investigación fue revisión documental y análisis al contenido de la búsqueda de información, clasificación y selección de información de Bases Teóricas, con la consiguiente toma de lectura de las condiciones, procesos y consecuencias observables, servirán de aporte importante a una solución al problema detectado.

1.5.2. Instrumentos de recolección

El instrumento empleado fue la matriz de datos la cual representa el modo y forma que utiliza el investigador para recolectar la información adecuada para su tema, utilizando:

- Ver Anexo 01°

1.5.3. Fuentes de Información

Corresponde a los instrumentos diferenciados para la toma de conocimientos, búsqueda y acceso a información necesaria.

- **Fuente de datos primaria:**
 - Reglamento Nacional de Edificaciones, la Norma E-050.
 - Investigaciones de artículos científicos en revistas indexadas acerca de la evaluación de la resistencia a la compresión en losas aligeradas.
 - Tesis relacionadas a residuos sólidos.

II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION

2.1 Antecedentes:

2.1.1 Sarathi, (2014), Nos dice:

Determinar la idoneidad de activadores alcalinos basados en sodio y de la ceniza volante clase F como agentes estabilizantes de suelos expansivos de algodón negro, Se utilizaron como activadores concentraciones de hidróxido de sodio de 10, 12.5 y 15 molal junto con soluciones de silicato de sodio 1 molar. Las relaciones de activador a ceniza se mantuvieron entre 1 y 2.5 y los porcentajes de ceniza fueron de 20, 30 y 40 %, en relación a los sólidos totales. La efectividad del ligante se determinó por resistencia a la compresión inconfiada a períodos de curado de 3, 7 y 28 días y se compararon con el ligante basado en ceniza volante común. También se determinó la idoneidad de las mezclas de cenizas volantes activadas alcalinamente como material de inyección mediante el estudio de las propiedades reológicas de la lechada tales como tiempo de fraguado, densidad y viscosidad y se comparó con la de la lechada de cemento común. Se determinó que la fluidez de la lechada se correlaciona muy bien con la resistencia a la compresión inconfiada, un incremento del primero resulta en una disminución del segundo.

El aporte de esta tesis realizada en India a la presente investigación es explicar los mecanismos de activación alcalina, con hidróxido de sodio y silicato de sodio, sobre un material rico en silicio como lo es la ceniza volante, detallando las reacciones químicas que producen el mejoramiento de la resistencia a la compresión de suelos expansivos y por ende en la estabilización ecológica de los mismos.

2.1.2 Pourakbar, Asadi, Huat, & Fasihnikoutalab, (2015), menciona:

Evaluar la factibilidad de usar la ceniza de combustible de aceite de palma (POFA) activada alcalinamente para la estabilización de suelos medido mediante el mejoramiento de la resistencia a la compresión inconfiada (USC), Se elaboraron probetas para los ensayos USC de un suelo arcilloso de alta plasticidad mezclados con diferentes contenidos de POFA de 10, 15, 20 y 25 % activados alcalinamente con dos diferentes activadores alcalinos NaOH y KOH con concentración 10 M, a diferentes tiempos de curado 7, 28, 90 y 180 días. Como patrones de comparación se tomaron al suelo solo, al suelo activado alcalinamente y al suelo mezclado con 10 y 15 % de cemento. Se construyeron gráficas para determinar la influencia de la clase de activador alcalino, el uso del ligante fuente, la condición de curado y el contenido de agua del suelo en el fortalecimiento del suelo. Para entender mejor el mecanismo de estabilización se hizo uso de la microscopía electrónica de barrido y de la espectroscopia infraroja por transformada de Fourier (FTIR). A la misma concentración alcalina, tanto el hidróxido de sodio como el hidróxido de potasio son capaces de mejorar la velocidad de desarrollo de resistencias de las muestras. Sin embargo, el suelo estabilizado con POFA activada con hidróxido de potasio produce el valor más alto de la resistencia a la compresión inconfiada con largos tiempos de curado (90 y 180 días de curado). El tamaño y la densidad de carga del activador alcalino juegan roles importantes en controlar la velocidad y extensión del proceso de activación para el desarrollo de resistencia. Con respecto al mejoramiento de la resistencia del suelo, cuando el contenido de POFA se incrementa de 0 a 15 %, el valor USC se incrementa sustancialmente, sin tener en consideración el tipo de activador alcalino. Esta mejora implica un tremendo efecto de este

residuo agroindustrial en el comportamiento resistente del suelo tratado.

El aporte de este artículo científico realizado en Malasia a la presente investigación es establecer que la utilización de ligantes activados alcalinamente nos beneficiará dos aspectos: proteger el medio ambiente utilizando residuos industriales disponibles localmente de una manera efectiva, y eliminar el cemento y otros ligantes cementicios tradicionales, como la cal, en la estabilización de suelos debido a que estos nuevos materiales no necesitan altas temperaturas para su fabricación.

2.1.3 Cristelo, Glendinning, Fernandes, & Teixeira Pinto, (2013), dice:

Evaluar el efecto de los activadores alcalinos basados en sodio y de la ceniza volante clase F en la estabilización de un suelo arenoso de baja plasticidad, Para las probetas activadas alcalinamente (AA) se utilizaron concentraciones de hidróxido de sodio de 10, 12.5 y 15 molal, con relaciones activador/ceniza entre 1 y 2.5 y porcentajes de cenizas de 20, 30 y 40%, relativo al total de sólidos (suelo + ceniza). Se determinó la resistencia a la compresión inconfiada (USC) a períodos de curado de 7, 28, 90 y 365 días y se compararon con el ligante basado en cemento común. Se determinó que la resistencia se incrementa con la disminución de la relación activador/ceniza (hasta un máximo de 43.4 MPa). La USC de las muestras AA y de cemento, a 28 días de curado, fueron muy similares. Sin embargo, los resultados de las muestras AA demostraron estar sólo entre 20 y 40 % de la USC máxima obtenida a 1 año de curado, mientras que los resultados de las muestras de cemento a 28 días se espera que estén entre 80 y 90 % de su máximo.

El aporte de este artículo científico realizado en Portugal a la presente investigación es el fundamento de que la estabilización de un suelo arenoso depende principalmente de la relación activador/ligante y del tiempo de curado.

Asimismo, de que la activación alcalina de cenizas de bajo calcio puede ser utilizado como un ligante alternativo al cemento Portland en la estabilización de suelos arenosos.

2.1.4 Rios, Cristelo, Viana da Fonseca, & Ferreira, (2016), aclara:

Determinar, basado en ensayos uniaxiales y triaxiales, el comportamiento esfuerzo-deformación de una arena limosa de granito residual estabilizada con ceniza volante (FA) activada alcalinamente, considerándolo como un reemplazo para aplicaciones suelo-cemento, es decir, bases y subbases, para infraestructuras de transporte. Se moldearon probetas de mezclas de suelo, FA y un activador alcalino hecho de hidróxido de sodio y silicato de sodio, Tres tipos de mezclas activadas alcalinamente fueron estudiadas, con porcentajes de FA de 15, 20 y 25 %. En adición, probetas con la misma relación suelo/ceniza y una fase líquida solamente (agua) fue también fabricada para propósitos de comparación. Se realizaron ensayos de compresión uniaxial mostrando que la resistencia se incrementa altamente por la adición de este nuevo ligante. Los resultados describen un material con alta rigidez, con una reducción de volumen inicial seguida por una significativa dilatación. La evolución de la microestructura durante el curado, responsable del comportamiento mecánico, fue observado con el SEM. La principal diferencia entre ambos ligantes fue la velocidad de curado, mostrando un incremento de la resistencia de larga duración y más progresiva con las probetas activadas alcalinamente.

El aporte de este artículo científico realizado en Portugal a la presente investigación es el fundamento de que es factible que los suelos arenosos limosos suaves puedan ser estabilizados mediante procesos de activación alcalina con la diferencia de que la velocidad de curado en ellos es más lenta por lo que su resistencia se incrementa a largo plazo y puede superar a los estabilizados con cemento común.

Resaltando que estos nuevos ligantes, activados alcalinamente, son más ecológicos y sostenibles.

2..1.5 Rios, Ramos, Viana da Fonseca, Cruz, & Rodrigues, (2016), Evalua:

La idoneidad de utilizar un geopolímero sintetizado de ceniza volante de bajo calcio y una solución alcalina de silicato de sodio e hidróxido de sodio para estabilizar una arena limosa de Colombia como técnica de estabilización en carreteras de bajo costo, Se elaboraron probetas de algunas mezclas de suelo con 10 % (serie A) y 20 % (serie B) de ceniza. Se consideraron para cada serie, 4 concentraciones molal de hidróxido de sodio (5, 7.5, 10 y 12.5) y 2 relaciones de silicato de sodio/hidróxido de sodio (SS/SH) de 0.5 y 1.0. Las probetas fueron compactadas en el punto óptimo de la curva de Proctor Modificado correspondiente obtenida en las mezclas de suelo y ceniza volante para los 2 porcentajes de ceniza volante. A los 28 días de curado las probetas fueron sometidas a prueba de resistencia a la compresión inconfiada (USC) y se midieron con un transductor ultrasónico los tiempos de propagación de ondas sísmicas (ondas P y S) para evaluar la resistencia y rigidez de las diferentes mezclas. Se determinó que la resistencia y rigidez se incrementa significativamente por este tratamiento en la medida que se mide la resistencia por ensayos USC y la rigidez elástica por medidas de ondas sísmicas. Las resistencias tempranas más bajas fueron mayores que 1 MPa a 7 días de curado. La resistencia a la inmersión fue satisfactoria puesto que las probetas curadas bajo agua 32 días después de 28 días de curado normal presentan aproximadamente la misma resistencia que las probetas que siguieron un curado normal durante 60 días.

El aporte de este artículo científico realizado por investigadores de Portugal en suelo de Colombia a la presente investigación es el sustento para establecer la posibilidad de utilizar materiales residuales

en lugar del Cemento Portland en la estabilización de suelos utilizando como alternativa geopolímeros sintetizados de materiales residuales y soluciones alcalinas, muy importantes para reducir la huella de carbono en las técnicas de mejoramiento de suelos. Asimismo, introduce métodos de ensayos no destructivos como el empleo de transductores de ultrasonido.

2.1.6 Córdova, (2016), Propone:

Evaluar la influencia de la adición de cal obtenida de residuos calcáreos de conchas de abanico (RCCA)- en la capacidad de soporte (CBR) de un suelo con napa freática alta del distrito de Víctor Larco, Se elaboraron probetas de mezclas de suelo con 0, 4, 8 y 12 % de cal obtenida de RCCA a una humedad de máxima compactación determinada por el ensayo Proctor Modificado. A los 7 días de curado las probetas fueron ensayadas para determinar el índice CBR sin saturación de agua puesto que al tratarse de un suelo arenoso no sufre hinchamiento y luego fueron comparadas con la probeta patrón de suelo sin adición de estabilizante. Se determinó que a medida que se incrementa el contenido de la cal obtenida de RCCA la capacidad de soporte medido por el índice CBR también se incrementa. Se encontró que el suelo estabilizado con un 12 % de cal obtenida de RCCA presenta el mayor valor del índice CBR (54.9 %) de las probetas ensayadas, lo que representa una mejora en la capacidad de soporte del suelo sin estabilizar (CBR 15.7%) del 250 %.

El aporte de esta tesis realizada en Perú, departamento La Libertad, a la presente investigación es una confirmación de que es factible utilizar residuos industriales (RCCA) en el mejoramiento de la estabilidad de suelos arenosos con napa freática alta, muy comunes en nuestra provincia desde la ejecución del proyecto Chavimochic, lo que sería una alternativa a la estabilización con Cemento Portland o con cal inorgánica provenientes de calizas minerales. Esto le daría a los

RCCA un valor agregado y ayudaría a reducir el impacto ambiental que viene dándose en la acumulación de estos residuos.

2.1.7 Pérez, (2012), nos dice:

Evaluar el comportamiento de un suelo arcilloso con la adición de ceniza volante y cemento en diferentes concentraciones, Se realizaron ensayos de laboratorio para caracterizar la ceniza volante, las mezclas suelo-ceniza volante (con 20% y 40% de CV) y suelo-ceniza volante-cemento (con 7%CV + 3%Cem, con 17%CV + 3%Cem y con 27%CV + 3%Cem) para evaluar su comportamiento geotécnico a través de su valor CBR. A los 7 días de curado se ensayaron las probetas para determinar su valor de CBR. Las arcillas en combinación con cenizas volantes y cemento en un 3% da buenos resultados mejorando la resistencia del suelo arcilloso desde 7.7% hasta 51% de CBR al 100% de la MDS del Proctor Modificado y obteniéndose menos costos en su construcción. Se determinó que la adición de ceniza volante en la muestra de arcilla disminuye los efectos de expansión, disminuye la gravedad específica, la plasticidad y humedad de la arcilla. Los valores de espesores de pavimento se reducen conforme se incrementa el valor de CBR. Finalmente, existe viabilidad técnica y económica para la construcción de pavimentos empleando cenizas volantes de carbón como material estabilizador de suelos.

El aporte de esta tesis realizada en Perú, departamento Lima, a la presente investigación es un sustento que es factible utilizar un residuo industrial como son las cenizas volantes de la planta termoeléctrica de Ilo en la estabilización de suelos arcillosos de la zona de selva, puesto que actúa como un inhibidor de sus propiedades expansivas (>20%), potenciándolo para su utilización en obras de pavimentación de carreteras en dichas regiones. Asimismo, nos demuestra que se puede aplicar el método NAASRA en el diseño de pavimentos rurales.

2.1.8 Cusquisibán, (2014), pide:

Evaluar el efecto de adicionar caucho granular de neumáticos sobre la capacidad de soporte de suelos arcillosos, para contribuir a la protección del medio ambiente y que sea utilizable para la construcción de pavimentos, Se confeccionaron probetas de mezclas de suelo (OH y OL, según clasificación SUCCS y A-7-5 según AASHTO) con adiciones de 20, 40 y 60 % de caucho granular y otras sin caucho granular que actuaría como patrón de comparación. Estos suelos arcillosos tienen como máximo un CBR de 7.10%. Con la adición de 20% de caucho granular el CBR se incrementa hasta 10%. Con la adición de 40% de caucho granular se obtiene un CBR de 30.40%. Con la adición del 60% de caucho granular, los suelos logran tener un CBR igual a 41%. Se determinó que a medida que se incrementa el caucho granular (20%, 40% y 60%) en la mezcla el índice CBR del suelo también se incrementa de manera proporcional, pero sólo la mezcla con adición del 60% es buena como material de subrasante, según las normas establecidas.

El aporte de esta tesis realizada en Perú, departamento Cajamarca, a la presente investigación es que el reciclaje de residuos neumáticos se presenta como una solución saludable para el medio ambiente y demuestra que su empleo en el mejoramiento de suelos es una buena alternativa ante limitaciones de disponibilidad de suelos aptos en las cercanías de las obras o condicionantes medioambientales para préstamos o vertederos de las mismas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Suelos

a. Definición

Los suelos son agregados de partículas minerales, y junto con el aire y/o agua en los espacios vacíos, forman sistemas trifásicos.

Gran parte de la superficie terrestre está cubierta por los suelos, y son ampliamente utilizados como materiales de construcción. La mecánica de suelos es la rama de la ingeniería que se ocupa de las propiedades de ingeniería de suelos y su comportamiento bajo esfuerzos (Braja & Das, 2008).

Para tener una comprensión básica de la naturaleza del suelo, se debe conocer la distribución del tamaño de partícula en una masa de suelo. El tamaño de partícula de los suelos en general, varía en un amplio rango, y dependiendo del tamaño de partícula que posean son llamados grava, arena, limo o arcilla. Diversos organismos han tratado de desarrollar los límites de tamaño para estos diferentes tipos de suelo. La distribución del tamaño de grano grueso, como lo son las gravas y arenas, se determinan mediante análisis granulométrico (Braja & Das, 2008).

Las gravas son fragmentos de roca ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales; las arenas están formadas principalmente de cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes, a veces, otros granos minerales; los limos son fracciones microscópicas de suelo que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas que son fragmentos de mineral micáceos; y las arcillas son principalmente partículas submicroscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales. Según la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (ASSHTO), las gravas pueden identificarse por tener un tamaño de partícula mayor a 2 mm, las arenas de 2 mm a 0.06 mm, los limos de 0.06 mm a 0.002 mm y las arcillas menores a 0.002 mm (Braja & Das, 2008)

Otros documentos como el Naval Facilities Engineering Command Headquarters (NAVFAC HQ), clasifica las gravas en dos grupos, los gruesos, los cuales se identificaban como las partículas retenidas entre las mallas $\frac{3}{4}$ " y 3", y los finos los que

quedaban retenidos entre las mallas No. 4 y $\frac{3}{4}$ ". Las arenas se clasificaban en tres grupos, los gruesos, los cuales eran las partículas retenidas entre las mallas No. 10 y No. 4; los medio, retenidos entre las mallas No. 40 y No. 10; y los finos, retenidos entre la malla No. 200 y No. 40. Y los limos y arcillas eran todas las partículas que pasaban la malla No. 200 (Navy, 1982).

b. Clasificación de suelos

Medir las propiedades fundamentales de un suelo, como la permeabilidad, la compresibilidad y la resistencia, puede ser difícil, costoso y requerir mucho tiempo. En proyectos de pavimentos, no se dispone de expresiones racionales para analizar la solución numéricamente; por estas razones, puede ser útil dividir los suelos en grupos con comportamiento semejante, a esto se le llama clasificación de suelos (William, Robert & Whitman, 1991).

La clasificación de suelos, consiste en incluir un suelo en un grupo que presenta un comportamiento semejante. La correlación de unas ciertas propiedades con un grupo de un sistema de clasificación, suele ser un suceso empírico puesto a punto a través de una experiencia considerable. La clasificación de suelos sirve de guía para preparar el programa de experimentación, si la dificultad del problema requiere una investigación más profunda (William, Robert & Whitman, 1991).

La mayoría de clasificación de suelos utilizan pruebas de tipo indicativo, para obtener las características de suelo necesaria y de esta forma asignarle un determinado grupo. Adicionalmente una clasificación de suelos pierde su valor si las pruebas de partida resultan más complicadas que las necesarias para medir directamente la propiedad fundamental que se desea conocer. Los

métodos más utilizados para la clasificación son la granulometría y la plasticidad (William & Whitman, 1991).

c. Métodos de clasificación de suelos

Los suelos que poseen propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas que más comunmente son usados para la claisificación de los suelos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Braja & Das, 2008). Se debe tener en cuenta que el comportamiento de un suelo granular puede relacionarse frecuentemente con la distribución granulométrica, pero el comportamiento de un suelo cohesivo suele depender mucho más de la historia geológica y de su estructura que del tamaño de partículas.” (William, Robert & Whitman, 1991). El Sistema AASHTO es utilizado principalmente por los departamentos estatales y los condados, y los ingenieros geotecnicos prefieren utilizar el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Braja & Das, 2008).

- Sistema de Clasificación AASHTO

Fue desarrollado en 1929 como el Public Road Administration Classification System (Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Publicos). De acuerdo a este sistema de clasificación, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7, donde los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares y el 35% o menos de las partículas pasan por la malla No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la malla No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. (Braja & Das, 2008)

La precisión de las curvas granulométricas de suelos finos es más discutible que la de las curvas correspondientes a suelos gruesos; los tratamientos químicos y mecánicos que reciben los suelos naturales antes de realizar un análisis granulométrico suelen dar lugar a unos tamaños efectivos que son muy diferentes de los existentes en el suelo natural.” (William, Robert & Whitman, 1991)

El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un IP de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un IP de 11 o mayor. Si cantos rodados y boleos (tamaños mayores que 75 mm) están presentes, éstos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando. Sin embargo, el porcentaje de tal material se registra. (Braja & Das, 2008).

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

La forma original de este sistema fue propuesta por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. Hoy en día, este método es aun utilizado por los ingenieros; el método clasifica los suelos en dos amplias categorías: Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No.

200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso. Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No.

200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El simbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos. (Braja & Das, 2008).

Otros símbolos también utilizados son: W bien graduado, P mal graduado, P mal graduado, L baja plasticidad ($LL < 50$) y H alta

plasticidad ($LL > 50$). (Braja & Das, 1999). Para realizar una clasificación apropiada con este sistema, se debe conocer la siguiente información: (Braja & Das, 1999). Porcentaje de grava: la fracción que pasa la malla 76.2 mm y es retenida en la malla No 4 (abertura de 4.75 mm). Porcentaje de arena: la fracción que pasa la malla No. 4 (Abertura de 4.75 mm) y es retenida en la malla No. 200 (abertura de 0.075). Porcentaje de limo y arcilla: la fracción de finos que pasan la malla No. 200 (abertura de 0.075 mm). Coeficiente de uniformidad (C_u) y coeficiente de curvatura (C_z). LL e IP de la porción de suelo que pasa la malla No. 40. Las gravas de grano grueso utilizan los símbolos: GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GC, GP-GM Y GP,GC. Para los suelos de grano fino se utilizan los símbolos: CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML Y Pt. (Braja & Das, 1999)

2.2.2 Estabilización de suelos

a. Estabilización.

Para la construcción teórica y técnica del trabajo es preciso profundizar en diversos planteamientos que existen con relación a la estabilización de suelos, a partir de la implementación de un nuevo producto químico que funcione en el buen desempeño de las propiedades mecánicas y físicas de dicho suelo; en consecuencia se indaga acerca de este tema a autores como Berry, Fernández y Montejo quienes profundizan al respecto y aportan lo siguiente: Con base en algunos planteamientos teóricos de la estabilización de suelos se puede señalar según (Fernández, 1993) que la estabilización es un proceso mediante el cual se trata de modificar un suelo o un agregado procesado para hacerlo apto o mejorar su comportamiento como material constitutivo de un pavimento. El proceso busca, fundamentalmente, aumentar la capacidad portante

~~del material y hacerlo menos sensible a la acción del agua. El~~
objetivo es también que el material alcance alta rigidez y, en consecuencia, tenga capacidad para absorber tensiones de tracción. (p. 34)

De ahí que, también es indispensable reconocer que la estabilización no es una herramienta mágica, que nos ayude a mejorar todas las propiedades del suelo, por consiguiente, se debe tener una clara apreciación de las propiedades que se desee mejorar, pues este requisito específico es un elemento muy importante para tomar la decisión correcta, acerca de la conveniencia de la estabilización.

De acuerdo con los planteamientos de (Berry & Reid 1995), con las propiedades de un suelo se pueden alterar con los diferentes procesos de estabilización:

- Estabilización por drenaje.
- Estabilización por medios eléctricos, de los que la electrólisis y la utilización de pilotes electrometálicos son probablemente los mejor conocidos.
- Estabilización por empleo de calor y calcinación.
- Estabilización por medios químicos, generalmente lograda por la adición de agentes estabilizantes específicos, como el cemento, la cal, el asfalto u otros” (p. 416).

Entre las principales propiedades de un suelo que pueden ser de interés para su estudio, se pueden contar las siguientes según Fernández Loaiza (1993):

- Estabilidad volumétrica: muchos suelos se expanden y se contraen con los cambios de humedad los cuales se pueden presentar en forma rápida o acompañando a las variaciones estacionales. Las presiones de expansión que se desarrollan debido a un incremento en la humedad no se controlan de alguna forma, estas presiones pueden levantar pavimentos,

~~inclinarse, fracturar muros, romper tubos de drenaje, etc.~~

Por lo cual es de vital importancia detectar a los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado para evitar lo anterior.

- Resistencia mecánica: al estudiar los efectos de una estabilización, se debe tener presente al fin que se busca, ya que si el suelo estabilizado permanecerá húmedo en las condiciones de trabajo, entonces la determinación de la resistencia bajo estas circunstancias sería la adecuada, sin embargo, si el suelo permanecerá seco y agrietado probablemente sea más efectivo ejecutar pruebas, con cargas repetidas para estudiar efectos de disgregación y pulverización. Por otro lado debe tenerse en mente la forma como se va a utilizar el suelo, ya que si se va a emplear tal como se encuentra in situ puede ser más conveniente utilizar pruebas de resistencias in situ que el caso de suelos remoldados en donde las pruebas efectuadas en el laboratorio si puedan servir para estimar los parámetros de resistencia.
- Permeabilidad: se plantea en dos problemas básicos, como lo es el relacionado con la disipación de las presiones de poro y el relacionado con el flujo del agua a través del suelo. El tener presiones de poros excesivas puede originar deslizamientos, y el flujo de agua puede originar turificaciones y arrastres.
- Durabilidad: Al igual que con todos los materiales de construcción una condición muy deseable en los suelos estabilizados es la durabilidad, definida como la resistencia a los procesos de intemperización, erosión y abrasión, la durabilidad está relacionada con las capas superficiales de los pavimentos en la formación de baches y/o disgregaciones,

erosiones en los taludes y cortes y cambios en la textura de los agregados de las carpetas.

- Compresibilidad: Los cambios en volumen o compresibilidad, tiene una importante influencia en las propiedades ingenieriles de los suelos, pues modifica la permeabilidad, se alteran las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como es sentido, lo que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo a el esfuerzo cortante y se provocan desplazamientos (p, 36)

Se deben tener muy presentes las variaciones que se espera lograr en lo que respecta a las propiedades antes mencionadas. En la estabilización de suelos existen diferentes métodos, que depende del suelo a tratar y del proceso mismo; básicamente existen tres métodos:

- Estabilización química. Se fundamenta en la inclusión de un agente químico estabilizante en los poros o fisuras del suelo; o bien se puede mezclar al suelo un aditivo químico para luego compactar. Se usa ocasionalmente para estabilizar suelos de grano fino; y se realiza, según (Berry, Peter 1993), con el fin de obtener uno o más de los siguientes mejoramientos del suelo:
 - El aumento de la resistencia y durabilidad del suelo.
 - La impermeabilización del suelo para impedir la entrada del agua.
 - La disminución del potencial de cambio de volumen del suelo debido a una contracción o una expansión.
 - La manejabilidad del suelo (p. 416).
- Inyecciones. En el proceso de inyección lo que pretende es introducir a presión en el suelo un agente estabilizante con el

fin de que penetre en el mismo a través de los poros y fisuras, para mejorar condiciones de resistencia del mismo. Peter Berry, (1993) expone: generalmente los objetivos que se buscan son los siguientes:

- Cementar la macroestructura del suelo o de la roca para aumentar la resistencia.
- Llenar los poros y las fisuras para reducir la comprensibilidad y la permeabilidad de la masa. (p. 418)

Esta estabilización se realiza generalmente con lechada, ya que está, además de ser un material cementante, tiene facilidad para penetrar en la fisuras del suelo.

- Geosintéticos. Estos productos han presentado un gran avance geotécnico y es el empleo de telas poliméricas para fines de estabilización de suelos.

Actualmente estos geosintéticos se utilizan en el mundo entero de acuerdo a las necesidades particulares que se presenten; son empleadas para la construcción de autopistas, canales, presas, etc.

Como posterior mente veremos, existen tratamientos mediante los cuales se puede mejorar varias propiedades en forma simultánea. Por otro lado, no debe pensarse en el uso de la estabilización solamente como una medida correctiva sino también como una medida preventiva o de seguridad contra condiciones adversas que se desarrollen durante la construcción o durante la vida de la estructura.

b. Estabilización y mejoramiento.

Se debe destacar según el comentario anterior planteado por Fernández, (1993) que impulsa a un buen análisis de la estabilización que en la ejecución de todas las actividades

necesarias para la construcción de una o varias capas estructurales de pavimentos, constituidas por materiales resultantes de la escarificación de la capa superficial existente, o por material de préstamo, o mezcla de ambos, incrementado su desempeño mecánico y durabilidad mediante procesos físico-químicos, con el menor deterioro ambiental y minimizando los riesgos para la salud de los seres vivos; de acuerdo con los lineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto o determinados por el Interventor, los espesores de capa serán los indicados en las Especificaciones Técnicas Particulares y se entenderán medidos sobre la capa estabilizada (p. 38).

c. Generalidades sobre la estabilización de suelos.

Una generalidad importante a la hora de estabilizar, según Fernández, (1993) es alterar sus propiedades físico mecánicas, incrementando su resistencia y su durabilidad con el fin de obtener un material de fundación satisfactorio. Los materiales más utilizados actualmente en el mundo con estos fines en la construcción de carreteras son: el cemento, la cal, el asfalto y la arena, etc...Ha existido cierta controversia especialmente entre las personas que prefieren estabilizar con cemento y aquellas que prefieren con cal, lo cierto es que la eficiencia en los procesos utilizando alguno de estos materiales depende del mejor aprovechamiento que se le dé a los materiales (p. 41).

Del mismo modo en el diseño de estabilizaciones con agentes estabilizantes se debe llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo con base en lo cual se determina el tipo y cantidad de agente estabilizante así como el procedimiento para efectuar la estabilización. Seguidamente se muestran algunos de los procedimientos más comunes e indicados por instituciones o empresas que representan a los productos utilizados.

- Estabilización de suelos mediante su mezclado con Cal. Montejo Fonseca (1998) considera que la cal hidratada es el agente estabilizador que se ha usado más profusamente a través de la historia, pero solo recientemente se han hecho estudios científicos relacionados a su empleo.

Como estabilizador de suelos y se han cuantificados sus magníficos resultados. Cuando tenemos arcillas muy plásticas podemos disminuir dicha plasticidad y consecuentemente los cambios volumétricos de la misma asociados a la variación en los contenidos de humedad con el solo hecho de agregarle una pequeña proporción de cal (p. 99).

Según el análisis que presenta este contenido es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material para estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia.

Es recomendable no usar más del 6% ya que con esto se aumenta la resistencia pero también tenemos un incremento en la plasticidad. Los estudios que se deben realizar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, VRS, compresión.

Se ha determinado que al mezclar la arcilla con cal apagada los iones de calcio sustituyen algunos iones metálicos presentes en la película de agua que rodea a la partícula de arcilla y que son responsables de los cambios volumétricos, además, si el suelo tratado contiene suficiente sílice y alúmina estos pueden reaccionar formando silicatos de calcio y alúmina. Estos silicatos tienen un gran poder cementante, lo que implica que al agregar cal también se logre aumentar la resistencia del suelo.

- Estabilización de suelos mediante su mezclado con Cemento.

Para el Instituto Nacional de Vías (1997) Los fenómenos químicos que ocurren entre el suelo y elemento cuando ambos se mezclan con el contenido apropiado de aguas consisten en reacciones del cemento con los componentes silíceos de los suelos, que producen conglomerantes que ligan a las gravas, arenas y limos; además, el hidrato de calcio que se forma como consecuencia del contacto del cemento con el agua libera iones de calcio muy ávidos de agua, que la toman del asistente en las láminas de arcilla (p. 29).

Todo esto implica que se tenga en cuenta que una reacción favorable del suelo con el cemento se ve perjudicada, cuando el primero tiene materia orgánica; los ácidos orgánicos poseen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento. Para contrarrestar los efectos de la materia orgánica son recomendables cementos de alta resistencia y cuando la mezcla con el suelo se produce y extiende a baja temperatura, puede convenir los de fraguado rápido.

El diseño de mezclas suelo-cemento como el Instituto Nacional de Vías (1997) lo estipula, suelen basarse en criterios de resistencia y durabilidad. La resistencia a la compresión confinada sobre probetas cilíndricas compactadas con la humedad óptima y la máxima densidad del ensayo normal de compactación y curadas bajo condiciones normalizadas según la (Norma de Ensayos INV E – 809 y la 807) y otras como I.N.V.E.

123 Análisis Granulométrico del suelo por tamizado , I.N.V.E.
125 – 126 Limite liquido e índice de plasticidad de los suelos, I.N.V.E. 233 Composición química (proporción de sulfatos del suelo), I.N.V.E. 218 Resistencia a la abrasión, I.N.V.E. 142

Proctor modificado, I.N.V.E. 148 Relación del soporte del suelo en el laboratorio (CBR) (p. 38), normas que se aplicaron en el desarrollo ingenieril de este proyecto.

Las estabilizaciones con cemento y cal requieren, para su ejecución luego de su compactación, tanto la aplicación de un riego de curado para asegurar que la capa retiene suficiente agua para que el estabilizante continúe su hidratación, como para reducir la contracción de la capa compactada e impedir la carbonatación de su parte superior. Esta precaución es importante, entre más seco y caliente sea el clima de la región donde se trabaja.

2.2.3 Clarificación de aguas de riego

a. Clarificación del agua

Las aguas de los ríos son suspensiones de sustancias dispersas que pueden afectar a los sembríos. Miño, (2009) afirma: El Agua de formación por su naturaleza se encuentra llena de dispersiones, estas mismas en su mayoría se encuentran a manera de coloides dispersos. Es un sistema que contiene al menos un componente dentro del rango de granulometría de 1 nm a 1 μ m, pero esto no es todo para distinguir entre un sistema coloidal o no (p. 94).

Por esta razón las aguas de riego se tienen que clarificar mediante operaciones de coagulación y floculación. Al respecto, Miño Balarezo (2009) sostiene que: Las aguas de formación, así como potables o residuales, en distintas cantidades, contienen material suspendido, sólidos que pueden sedimentar en reposo, ó sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no sedimentan pueden ser coloides. En los coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas como se repelen dos polos

magnéticos. Puesto que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos, las partículas no sedimentan. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado (p. 96).

b. Tratamiento del agua

Los tratamientos del agua superficial son de suma importancia para la sociedad, ya que de estos depende la calidad del agua. Si los tratamientos se aplican de manera correcta cada comunidad podría satisfacer un requerimiento esencial para la vida. Las grandes ciudades dependen de abastecimiento superficial y en la mayoría de los casos sus fuentes son corrientes, lagos o embalses (Guerrero 1962). En el proceso de potabilización de las aguas, la clarificación es una de las etapas más importantes ya que permite la remoción de materiales de naturaleza coloidal en suspensión tales como arcilla, limo y lodos. Para lograr la clarificación del agua, es necesaria la utilización de agentes coagulantes así como coadyuvantes de coagulación, que permiten eliminar un porcentaje significativo de las partículas en suspensión (típicamente entre 80 y 90 %); este proceso es conocido como coagulación-floculación. Los agentes convencionales utilizados en la coagulación-floculación son sales metálicas tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y el sulfato ferroso. Actualmente, el coagulante más utilizado es el sulfato de aluminio multihidratado (generalmente $Al_2(SO_4)_3 \times 18H_2O$) (CEPIS, 1983). Este compuesto al disociarse en agua, sufre una serie de reacciones con los iones alcalinos presentes en el agua, formando iones complejos, polímeros e hidróxido de aluminio insoluble, que pueden ser adsorbidos por las partículas coloidales suspendidas en el agua produciendo la

desestabilización de las cargas y favoreciendo la sedimentación de las mismas (Martínez 2003).

Además de los agentes convencionales basados en sales metálicas, se emplean polímeros utilizados como coadyuvantes de coagulación los cuales se clasifican en dos categorías: naturales y sintéticos. Los polielectrolitos naturales importantes incluyen polímeros de origen biológico, y los derivados del almidón, de la celulosa y alginatos. Según el tipo de carga al momento de introducirlo en el agua (negativo, positivo o neutro), se clasifican en polielectrolitos aniónicos, catiónicos y no iónicos, respectivamente (Tatsi et al. 2003). La acción de los polielectrolitos se puede dividir en tres categorías generales. En la primera, los polielectrolitos actúan como coagulantes disminuyendo las cargas de las partículas. Cuando las partículas están cargadas negativamente, se emplean polielectrolitos catiónicos. En esta aplicación se considera que los polielectrolitos catiónicos son coagulantes primarios. La segunda forma de acción de los polielectrolitos es la formación de puentes entre las partículas. En este caso los polímeros aniónicos y no iónicos (por lo general ligeramente aniónicos al introducirlos en agua), se adhieren a un número de puntos de adsorción de la superficie de las partículas presentes en el efluente sedimentado. El tercer tipo de acción de los polielectrolitos puede clasificarse como una acción de coagulación-floculación de puentes, que resulta al emplear polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular (Tchobanoglous et al. 2003).

c. Requerimientos de calidad de agua para riego

El Servicio Agrícola y Ganadero (2005) establece que La calidad físico-química del agua de riego está determinada no sólo por la cantidad total de sales presentes en el agua sino también por el tipo de sales, las que pueden permanecer en el suelo una vez que el agua

se evapora o pueden ser captadas por los cultivos. Los problemas derivados del uso en riego de aguas de baja calidad pueden ser modificados por suelo, clima y cosecha, al igual que por la experiencia y conocimiento del usuario del agua. Como resultado de esto algunos organismos internacionales, expertos en el tema agrícola, recomiendan no establecer límites a los constituyentes del agua; más bien recomiendan evaluar su conveniencia de uso en base a las condiciones de uso del agua que podrían incidir en la acumulación de los constituyentes del agua y las que pueden restringir el rendimiento de la cosecha. La calidad del agua de riego debe evaluarse en función de la severidad de los problemas que producirá su uso prolongado en el tiempo (p. 12).

Por otro lado, debido a que hoy en día el riego de los campos agrícolas es tecnificado por goteo las empresas agroindustriales de la región se ven en la necesidad de clarificar sus aguas de riego en pozas de sedimentación, de lo contrario las tuberías se obstruirían (Mendoza & Vizconde, 2008).

En el caso del agua de riego los principales problemas en suelos derivados de una calidad deficiente son: salinidad, disminución de tasa de infiltración y toxicidad por iones específicos. Otros problemas que también se consideran en la evaluación de calidad del agua de riego son los producidos por un exceso de nutrientes, bicarbonato, sulfato, pH anormal, magnesio, grasas y aceites, inestabilidad del agua y formación de depósitos (dureza del agua). Todos estos problemas se asocian a parámetros de calidad de agua que son fácilmente cuantificables (Servicio Agrícola y Ganadero, 2005).

2.2.4 Sedimentos

a. Definición

Se da el nombre genérico de sedimentos a las partículas procedentes de las rocas o suelos y que son acarreadas por las aguas que escurren y por los vientos. Todos estos materiales, después de cierto acarreo, finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos o lagunas, en el mar y en las partes bajas de la cuenca, principalmente en la planicie, lo que da origen a la formación de ésta y a su levantamiento. El sedimento que se deposita en un gran cuerpo de agua recibe de ésta su estructura y carácter finales. (García & Álvarez, 1995), (p. 5). Esto quiere decir que los sedimentos son las partículas que son arrastradas y acumuladas en el fondo de los cauces debido a la acción de la gravedad y de las fuerzas hidrodinámicas de las corrientes de agua.

b. Fuentes de los sedimentos

Según García Flores & Maza Álvarez (1995):

No es posible indicar con precisión todas las fuentes que producen los sedimentos que llegan a un río y que son acarreados por su corriente. Sin embargo, de acuerdo con la definición anterior, la fuente principal la constituyen los suelos y rocas que se encuentran en su cuenca, y el agua y el viento son, en nuestro medio, los principales agentes de erosión y de transporte. Por otro lado, dada la actividad del hombre en el medio que lo rodea, las fuentes del sedimento pueden clasificarse en naturales y artificiales. (p. 5).

1. Naturales

- 1.1. Erosión de la superficie del terreno. El suelo, capa delgada y frágil, experimenta la acción del viento y la lluvia. El viento arrastra y levanta partículas (transporte eólico) que llegan a depositarse en las

llanuras, o caen directamente en las corrientes. Las gotas de lluvia o granizos, al impactarse contra el terreno, mueven o riegan los vegetales o se infiltra en el terreno. Una vez que la intensidad de lluvia agota la capacidad de infiltración del suelo de la cuenca, se inicia el llamado flujo de agua por tierra. Este escurrimiento superficial desprende y acarrea también partículas de las capas superficiales del terreno. La cantidad de material acarreado es tanto mayor cuanto más frecuentes y violentas son las lluvias o los vientos, y menos densa es la cobertura vegetal del suelo. (p. 5-6).

- 1.2. Erosión del cauce principal y sus tributarios. Una vez que el escurrimiento superficial se ha iniciado, y como consecuencia de las irregularidades topográficas, se crean en primer lugar arroyos, los cuales aumentan gradualmente su caudal y se transforman en torrentes, estos últimos con gran capacidad erosiva y transportadora. Además, cuando los ríos se desbordan o abandonan su cauce, su acción erosiva y transportadora es notable y, en ocasiones, catastrófica. Los ríos pueden ser juveniles, maduros y viejos. A cada una de estas tres etapas graduales en su perfil longitudinal, en su corte transversal y en su trazado o curso, pues el río profundiza, ensancha y alarga su cauce por la erosión continua de los materiales que constituyen su lecho y riberas. De esta manera, el río acarrea materiales de diversos tamaños, depositándolos, en forma graduada, a lo largo de su perfil longitudinal, según varía la velocidad de su corriente: al disminuir la velocidad del flujo de agua, la capacidad de acarreo del río también disminuye, por lo que primero se depositan los materiales más gruesos, mientras que en la zona de planicie, donde las velocidades son relativamente bajas, se deposita parte del material fino, y el resto continúa su recorrido hacia los cuerpos de agua o al mar. (p. 6).

- 1.3.** Movimientos naturales del terreno. Los deslizamientos de grandes masas de tierra y rocas ayudan a que mucho material que de suelto y sin protección. En ocasiones, aunque muy rara vez, la roca y el suelo se impregnan tanto de agua, que toda la ladera puede soltarse bruscamente en un deslizamiento de tierra. Con el transcurso del tiempo, y por la acción de la lluvia y el viento, estos materiales llegan a las corrientes. (p. 6).
- 2.** Artificiales
- 2.1** Destrucción de la vegetación. Muy a menudo, por desgracia, el hombre destruye irracionalmente bosques y praderas para abrir terrenos al cultivo, o para el desarrollo urbano o industrial. Pero sin duda, el desmonte, la quema y el descepado de extensas zonas boscosas, con el propósito de abrir terrenos para los cultivos, son las actividades que más sedimentos producen, ya que de esa manera se priva al suelo de su manto protector, indispensable contra las aguas de arroyada. (p. 6).
- 2.2** Obras de ingeniería. La construcción de caminos, vías férreas, presas, plantas industriales, ciudades, etc, para desarrollar una región, hace que grandes volúmenes de materiales sean removidos y queden más sueltos que en su estado natural, se modifican las pendientes del terreno y otros materiales quedan expuestos sin protección, lo que facilita su transporte hacia las corrientes de cuerpos de agua. (p, 6-7).
- 3** Explotación de minas y canteras. Todas estas actividades rompen y fracturan rocas y suelos, y producen al final grandes cantidades de materiales en forma de partículas pequeñas o polvo. (p. 7).
- 3.1** Desechos urbanos e industriales. Son los materiales arrastrados por el drenaje y que son arrojados directamente a ríos y lagos. En problemas

de ingeniería se sugiere dividir el origen de los sedimentos en tres distinta para cada uno: (pág. 7).

Sedimentos que se originan en la superficie de la cuenca. Se reducen aplicando técnicas de conservación de suelos. (p. 7).

- Sedimentos que dimanan del fondo y orillas de los ríos. Se reducen con los embalses de grandes presas, presas derivadoras y construyendo pequeños diques en arroyos y cañadas. (pág. 7).
- Sedimentos que provienen de los desechos industriales y urbanos. Se reducen aplicando técnicas sanitarias sobre el manejo de desechos sólidos. (p. 7).

c. Clasificación de los sedimentos

Según García Flores & Maza Álvarez (1995):

Los sedimentos naturales están constituidos por una gran variedad de partículas que difieren entre sí en tamaño, forma y densidad. Desde el punto de vista de la resistencia que oponen a ser arrastrados y de su comportamiento al ser transportados por una corriente de agua, se distinguen primordialmente dos clases de sedimentos: cohesivos y no cohesivos. Sin embargo, hay sedimentos que muestran características mixtas, o sea presentan, a la vez, cohesión y fricción interna. (p. 7).

Sedimento no cohesivo o friccionante, también denominado material granular, es el formado por granos gruesos o partículas sueltas, como las arenas y gravas. En los granos gruesos o partículas sueltas, como las arenas y gravas. En los granos gruesos de los sedimentos o suelos, la fuerza de gravedad predomina fuertemente sobre cualesquiera otras fuerzas, por ello todas las partículas gruesas tienen un comportamiento similar. Además, esto significa que el peso de las partículas es la fuerza principal que resiste las fuerzas de arrastre y sustentación, o sea

el empuje de la corriente, y dado que la fuerza de gravedad siempre está presente, al disminuir o cesar la acción del agua, las partículas se detienen, caen y se depositan. Por tanto, el empuje que debe ejercer un flujo de agua para mover o transportar tales partículas es función del peso de cada una de ellas, y cuando se depositan lo hacen apoyándose directamente unas en otras, teniendo cada partícula varios puntos de apoyo y dejados vacíos entre ellas. Así, el comportamiento mecánico e hidráulico de los sedimentos no cohesivos queda definido por la compacidad del depósito, o sea el grado de acomodo alcanzado por las partículas, y por la orientación de las mismas. (p. 7-8).

Sedimento cohesivo es el formado por partículas de grano muy fino, constituidas por minerales de arcilla, que se mantienen unidas entre sí por la fuerza de cohesión, la cual se opone a que las partículas individuales sean separadas o arrancadas del conjunto del que forman parte. Esa fuerza de unión es considerablemente mayor que el peso de cada grano, y es la que resiste a las fuerzas de arrastre y sustentación causadas por el flujo de agua. Por tanto, una vez que la cohesión ha sido vencida, las partículas desprendidas o levantadas pueden llegar a comportarse como las no cohesivas, aunque siempre serán transportadas o mantenidas en suspensión con mayor facilidad, ya que por ser muy pequeñas su peso prácticamente no influye en sus movimientos; en cuanto cesa la acción del agua, muchas de ellas (coloides) no se depositan, a menos que por la presencia de sales se facilite el proceso de floculación (formación de grumos o flóculos). (p. 8).

Las interacciones entre un flujo de agua y un suelo no cohesivo han sido estudiadas con mayor detenimiento, y más ampliamente que las existentes con un suelo cohesivo, entre otros motivos porque a lo largo de los cursos de las corrientes naturales abundan mucho más los materiales no cohesivos, aún en el lecho de aquellos tramos con

márgenes arcillosas, ya que la mayor parte de los ríos escurren sobre suelos no cohesivos; por ello, en la hidráulica fluvial se trata más con las propiedades de los sedimentos o suelos no cohesivos. (p. 8).

2.2.5 Activación Alcalina

Según Torres (2015) nos dice:

son numerosas las razones por las que surge la activación alcalina de aluminosilicatos de diferentes procedencias, ya sean de origen natural (arcillas) o industrial (escorias de alto horno, cenizas volantes, etc.) que, tras ser activados con disoluciones alcalinas con valores de pH elevados, dan lugar a un material con estructuras cementantes compactas. Las principales razones están relacionadas con el proceso convencional de producción del cemento Portland, con un alto impacto ambiental, altas emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (principalmente CO₂) los cuales provienen de diferentes fuentes de generación durante dicho proceso de producción, etc. Desde la década de 1990, la investigación sobre activación alcalina ha crecido de forma espectacular en todos los rincones del mundo, con más de 100 centros de investigación activos (académicos y comerciales) que operan por todo el planeta, y la investigación detallada que tiene lugar en todos los continentes habitados. Muchos de estos trabajos se han basado en el desarrollo de materiales con un rendimiento aceptable, basado en las materias primas particulares que están disponibles en cada lugar. (p. 13)

A. Material activado alcalinamente

Es la clasificación más amplia, que abarca esencialmente cualquier sistema aglutinante obtenido por reacción de una fuente de metal alcalino (sólido o disuelto) con un sólido en polvo de silicato (Deventer et al., 2010). Estos sólidos pueden ser aluminosilicatos

ricos o pobres en calcio, tales como las escorias de alto horno o las cenizas volantes, respectivamente. Las fuentes alcalinas empleadas pueden incluir hidróxidos alcalinos, silicatos, carbonatos, sulfatos, aluminatos u óxidos, esencialmente cualquier sustancia soluble que puede suministrar cationes de metales alcalinos, elevar el pH de la mezcla de reacción y acelerar la disolución del precursor sólido.

La palabra geopolímero se refiere en muchas ocasiones como un subconjunto de materiales activados alcalinamente. Cuando el contenido en calcio de los materiales de partida que reaccionan es bajo, se origina la formación de estructuras pseudo-zeolíticas en lugar de las cadenas características de los hidratos de silicato de calcio, y posteriormente originar el principal gel. El activador será normalmente un hidróxido o silicato de metal alcalino. Las cenizas volantes con un bajo contenido en calcio y arcillas calcinadas son los precursores más comunes utilizados en la síntesis del geopolímero. También cabe destacar que el empleo de la palabra geopolímero es utilizado por investigadores y comerciales en un sentido mucho más amplio, sobre todo de cara a la comercialización. Cabe destacar que el término geopolímero fue acuñado en la década de 1970 por el científico e ingeniero francés (Davidovits ,1982).

B. Activación alcalina a través de la historia

Durante las últimas tres décadas ha existido un alto nivel de discusión desde la perspectiva histórica e ingenieril, en relación con el posible papel de los cementos en antiguas construcciones egipcias y romanas, además de la posibilidad de la existencia de cementos con un alto contenido en álcalis, posiblemente, en algunos de los materiales utilizados en las primeras civilizaciones en la región de Oriente Medio, como en las construcciones de los sirios y griegos, los cuales precedieron a la llegada del Imperio romano. Davidovits promovió la

conexión entre los geopolímeros y un posible papel en la construcción de las pirámides egipcias, basándose en una serie de teorías detalladas en donde sugiere que los grandes bloques de construcción que forman las pirámides presentan una química parecida a la de la activación alcalina. Un análisis más detallado de una piedra de la pirámide no confirmó la presencia de contenidos alcalinos o de aluminio elevados, pero tampoco mostraron la presencia de sílice amorfa u otros componentes que potencialmente podrían ser consistentes en la aglomeración de la piedra caliza. La investigación científica e histórica hasta la fecha no han sido capaces de producir pruebas totalmente fiables, ya sea a favor de esta teoría o refutarla por completo, lo que significa que esta discusión necesita el apoyo de informes sobre el estado del arte en ésta área (Provis & Deventer, 2014).

También ha existido un importante debate en torno a las posibles conexiones entre los antiguos hormigones romanos (Vitruvius, 1960) y los sistemas modernos activados alcalinamente (Glukhovsky, 1994). Los hormigones romanos son muy diferentes en lo que a su composición, funcionamiento y durabilidad se refiere, los cuales se basaban en la activación de materiales puzolánicos (cenizas volcánicas procedentes de áreas a lo que hoy en día es la región de Pozzuoli, al sur de Italia) (Gotti et al., 2008), con compuestos en calcio, particularmente cal, donde el pH elevado generado por la reacción de la cal inicia la reacción del material puzolánico. Las cenizas volcánicas utilizadas en estos hormigones incluían a menudo contenidos significativos de álcalis (Brandon et al., 2005), y los productos finales de los hormigones, cuando se examinaban transcurridos 2000 años en servicio, a menudo presentaban evidencias de la presencia de zeolitas, como es el caso de la analcima ($\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6)\cdot\text{H}_2\text{O}$). Se sabe que esta zeolita está presente en cenizas volcánicas. Un estudio exhaustivo en morteros romanos con puzolana

sin reaccionar en su interior ha puesto de manifiesto la presencia de concentraciones elevadas de analcima (Sánchez-Moral et al., 2005), lo que indica que es posible que el medio alcalino dentro de los hormigones ha conducido a la formación de zeolitas adicionales como ocurre cuando las cenizas volcánicas están expuestas a condiciones geológicas alcalinas (Abe et al., 1973), aunque también es cierto que se han encontrado ciertas dificultades asociadas con la separación con cierta precisión de los materiales que han reaccionado y los que no lo han hecho (Roy & Langton, 1989).

El interés existente en la comparación con el hormigón romano y la relevancia de la discusión que aquí se presenta, se deriva principalmente de los argumentos relacionados con la durabilidad y las propiedades resistentes. Durante un periodo de 2000 años, estos hormigones han permanecido en servicio en entornos agresivos como sumergidos en agua de mar, mientras que otros, incluyendo el Panteón de Roma han resistido a la actividad sísmica. Del mismo modo son interesantes las estructuras de ingeniería hidráulica, caminos basados en hormigón, suelos de varias capas, bóvedas y cúpulas que se mantienen hasta nuestros días. Aunque también es indudable que algunas estructuras de hormigón romanos se han degradado a lo largo de los siglos, también es cierto que el hecho de que todos los que permanecen intactos nos proporcionan algunas lecciones potenciales en términos de materiales de construcción y el diseño de la química de los mismos. (Torres, 2015, p. 38.)

Por tanto, esto es el resultado clave de la discusión de los cementos antiguos y modernos dentro del contexto de los materiales activados alcalinamente. Es posible sacar conclusiones relacionadas con la durabilidad de los cementos modernos a partir del análisis de ciertos materiales antiguos, pudiendo establecer favorablemente que la

durabilidad de dichos materiales se basa principalmente en la química inherente de los aluminosilicatos. (Torres, 2015, p. 38)

C. Aplicaciones de los cementos alcalinos

Desde el descubrimiento de los cementos y hormigones activados alcalinamente en 1958, se han producido y utilizado en una variedad de proyectos de construcción en la antigua Unión Soviética, China y otros países. Una gran cantidad de experiencia ha sido adquirida desde el diseño, la producción y las aplicaciones durante los últimos 40 años, lo que es valioso para el desarrollo y las aplicaciones de estos materiales activados alcalinamente (Torres, 2015, p. 40).

Durante los años 1999-2000, un grupo de científicos en Ucrania inspeccionaron varias estructuras de hormigón construidas con cemento de escorias activadas alcalinamente, entre las cuales destacar diferentes construcciones como trincheras de ensilaje, terraplenes de ferrocarriles construidos en el año 1982, edificios de viviendas de hasta quince plantas construidos en 1960, hormigones y construcciones fabricados durante el periodo 1999-2000, pavimentos de hormigones especiales para camiones de carga pesada (50-60 toneladas) construidos en 1984, etc. En todos estos casos, los cementos y hormigones de escorias activadas alcalinamente están todavía funcionando bien y supera el rendimiento del hormigón de cemento Portland empleado en la misma zona. Las pruebas de rendimiento y el examen microestructural de las muestras de estas estructuras indican que las propiedades del hormigón dependen de las materias primas utilizadas, las condiciones de servicio y la edad. A continuación se van a dar algunos ejemplos de producciones y aplicaciones de los materiales activados alcalinamente en algunos países, sobre todo en China y en la antigua Unión Soviética (Carrasco, 2015, p. 40).

Más recientemente un grupo de científicos españoles y australianos han desarrollado diferentes tipos de aplicaciones con hormigones de ceniza volante activada alcalinamente: traviesas de ferrocarril y tubos para canalizaciones (Hardjito et al., 2004; Palomo et al., 2004a). Es interesante mencionar que estos nuevos hormigones fabricados con ceniza volante activada no solo presenta mayores resistencias mecánicas que los hormigones normales de cemento Portland (OPC), sino que también muestran un excelente comportamiento adherente con los refuerzos de acero y una también excelente estabilidad dimensional (Jiménez-Fernández et al., 2004).

Finalmente, merece la pena mencionar que los elementos prefabricados, hechos con hormigones de ceniza volante activada alcalinamente, han sido fabricados sin cambio alguno en los sistemas de producción normalmente empleados en los prefabricados convencionales de cemento Portland (Palomo et al., 2004b). Además se pueden fabricar productos con diferentes grados resistentes solo modificando las características del activador alcalino empleado. Los activadores que incluyen determinadas cantidades de sílice soluble, son adecuados para la aceleración de la reacción de la ceniza e incluso pueden estipular la formación de un producto final más polimerizado con menos poros y mayores resistencias mecánicas. Todo ello puede permitir la adaptación de los materiales, el precio, etc a las necesidades de la industria de los prefabricados. (Torres , 2015, p. 41)

2.2.6 Definición de términos básicos.

2.2.6.1 Clarificación de agua:

La clarificación de agua es el proceso de poner clara o limpia y purgar el agua que estaba densa, turbia o espesa. Cuando en una suspensión de partículas la concentración de finos y coloides es muy alta, el agua se vuelve más turbia, por lo que se debe agregar aditivos que cambian la

carga superficial de las partículas de tal manera que estas se unan y adquieran mayor peso logrando que estas sedimenten y el agua se vuelva más transparente.

2.2.6.2 Clarificación de aguas de riego:

Para regar grandes áreas agrícolas hoy en día se utiliza el riego por goteo o por aspersión, los cuales utilizan necesariamente agua clarificada, pues de lo contrario se obstruirían las tuberías, por este motivo las empresas agroindustriales tratan sus aguas con reactivos, motivo por el cual estas plantas también producen un residuo que son los sedimentos, los cuales se vienen acumulando en el tiempo.

2.2.6.1 Estabilización:

La estabilización es un proceso mediante el cual se trata de modificar un suelo procesado para hacerlo apto o mejorar su comportamiento como material constitutivo de un pavimento. El proceso busca, fundamentalmente, aumentar la capacidad portante del material y hacerlo menos sensible a la acción del agua. El objetivo es también que el material alcance alta rigidez y, en consecuencia, tenga capacidad para absorber tensiones de tracción.

2.2.6.3 Estabilización ecológica:

Es uno de los tipos de estabilización de suelos en la que se llega a un estado del suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, empleando materiales naturales y/o residuos industriales, dándoles de esta manera un valor agregado y permitiendo disponer de estos, lo que ayuda a reducir el impacto ambiental que ocasiona su acumulación. También se refiere al tipo de estabilización que no utiliza aditivos químicos.

2.2.6.4 Influencia:

La influencia es la acción y efecto de influir. Este verbo se refiere a los efectos que produce una cosa sobre otra. En una investigación científica experimental se estudia la influencia de una variable sobre la otra, o sea los efectos y el cambio que causa la variable independiente sobre la variable dependiente, mejorando generalmente las propiedades de la variable asimismo se cuantifica y explica estos cambios.

2.2.6.5 Porcentaje:

El porcentaje es un término que se utiliza para escribir los números bajo la apariencia de una fracción de 100. Puede decirse que el porcentaje es la cantidad que, de manera proporcional, refiere a una parte del total o al grado de rendimiento útil que 100 unidades de una determinada cosa tienen en condiciones normales. El símbolo de este concepto es el %, el cual se denomina “por ciento” y se traduce como “de cada cien”.

2.2.6.5 Provincia de Virú

Es una de las provincias de la costa del Departamento de La Libertad, ubicada al Sur de la provincia de Trujillo y al Norte del departamento de Ancash. Es una provincia principalmente agrícola. La provincia tiene una extensión de 3 214,54 kilómetros cuadrados, que representa el 12,96% del total departamental, siendo la provincia costera de mayor dimensión geográfica. Comprende los valles costeros de los ríos Virú y Chao y la margen derecha del río Santa, siendo éste su límite meridional, además del desierto que los separa. Algunas zonas desérticas se hallan irrigadas por el proyecto Chavimochic mediante la desviación de aguas del río Santa.

2.2.6.6 Riego

Riego es el proceso y el resultado de regar. Regar es un verbo que se refiere a verter un líquido, por lo general agua, sobre una determinada superficie con la intención de aportarle un beneficio o limpiarla. Lo habitual es que el riego esté vinculado a esparcir agua sobre la tierra para que las plantas puedan subsistir y crecer. El riego, por lo tanto, es imprescindible para el desarrollo de la agricultura. Existen numerosos métodos de riego. El más simple, utilizado en la jardinería hogareña, consiste en emplear una regadera. Se denomina riego por goteo, por otra parte, a un sistema de tuberías con orificios que se dispone bajo la tierra o sobre su superficie a lo largo de una plantación. El riego por aspersion, en cambio, consiste en un mecanismo que expulsa el agua hacia arriba para que caiga como si fuese lluvia sobre la tierra, en ciertos lugares específicos. En los campos más grandes, por último, suele usarse el riego por inundación.

2.2.6.7 Sedimento

El sedimento es la materia que después de haber estado en suspensión en un líquido, termina en el fondo por su mayor gravedad. Normalmente en una suspensión de partículas, las más gruesas caerán primero, en cambio las más finas o coloidales tomarán más tiempo en sedimentar por lo tanto se separan en dos capas muy marcadas, una que es las arenas y la otras son los limos y arcillas.

2.2.6.8 Silicato de sodio

El silicato de sodio es uno de los activadores alcalinos utilizados para hacer geopolímeros. El silicato de sodio es un compuesto con una fórmula del tipo $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$. A mayor relación molar $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mayor será la cadena geopolimérica. Cuando las cadenas son más largas, los productos de reacción son más estables, pero retardan la reacción, ya que afectan el proceso de disolución.

2.2.6.9 Suelo arenoso:

Es aquel suelo formado mayoritariamente por arena. La arena son partículas pequeñas de piedra de carácter silíceo con un diámetro entre 0.02 y 2 mm. Se le considera un suelo granular no cohesivo, seco, claro, blando e inestable. Este tipo de suelo cuando está húmedo o mojado no se engancha, los suelos arenosos no retienen el agua que rápidamente se hunde a capas más profundas.

3 CONCLUSION

- Se identificó la información acerca del suelo, su clasificación y las formas de estabilización empleadas para lograr el mejoramiento de las propiedades del suelo.
- Se evaluó la información acerca de la clarificación de aguas de riego mediante operaciones de coagulación y floculación además de los tratamientos de agua
- Se encontró información acerca de los sedimentos, indicando las fuentes de sedimentación tanto naturales como artificiales.
- Se encontró información acerca la activación alcalina, indicando el material alcalinizador y como se puede emplear en materiales para la construcción.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Adabi Ahmed, A. (2014). Fly ash utilization in soil stabilization. *International Conference on Civil, Biological and Enviromental Engineering (CBEE-2014)*, (págs. 76-78). Istanbul - Turkey.
- Agua, C. N. (2007). *www.cna.gob.mx* . Obtenido de Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.:
<ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Geotecnia%20en%20Suelos%20Inestables.pdf>
- Aguilar Mundaca, R. P. (2007). *Universidad Austral de Chile*. Obtenido de <http://docplayer.es/10227654-Universidad-austral-de-chile.html>
- Aguirre, J. Y. (2016). *RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL DEL CONCRETO $f'c=175$ KG/CM² DE AGREGADOS DE CERRO CON LA ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRAS DE POLIPROPILENO, UPN - 2016*". Cajamarca, Perú: UPN.
- Al-Akhras, M., Attom, M., Al-Akhras, K., & Malkawi, A. (2008). Influence of Fibers o Swelling Properties of Clayey Soil. *Geosynthetics International Journal*(4), págs. 304-309.
- Alfaro, I. I. (2014). *INFLUENCIA DEL INCREMENTO DE VOLUMEN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN, TRACCIÓN Y TRABAJABILIDAD EN UN CONCRETO REFORZADO*. Trujillo.
- Almanza Álvarez, I. (2015). *Estudio del Uso de Polietileno Tereftalato como Material de Refuerzo de Estructuras Térreas Conformadas por Suelos Cohesivos*.
- Al-Refeai, T. (1991). Behavior of Granular Soils Reinforced with Discrete Randomly Oriented Inclusions. *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, X, págs. 319-335.
- Andersland, O., & Khattak, A. (1979). Shear Strength of Kaolinite/Fiber Soil Mixtures, Proceedings. *International Conference on Soil Reinforcement, I*, págs. 11-16.
- Arriaga Vásquez, D. (2006). *Aspectos Cosntructivos en la Técnica de Compactación Dinámica para Mejoramiento Masivo de Suelos*.
- BARBOZA, S. L. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA FIBRA DE ACERO EN EL ESFUERZO A FLEXIÓN DEL CONCRETO PARA UN $f'c=280$ kg/cm²*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Barón González, O. A., & Mercado Quiroz, Y. J. (Mayo de 2012). *Repositorio Pontifica Universidad Javeriana*. Obtenido de <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/2584/1/BaronGonzalezOmarAlberto2012.pdf>
- Barrera Bucio, M., & Garnica Anguas, P. (2002). *INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES . COMPORTAMIENTO DE SUELOS NO SATURADOS ESTADO DEL CONOCIMIENTO. MEXICO*.

- Behak, L., & Peres Núñez, W. (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cascara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(1), 34-41.
- Berry, P., & Reid, D. (1995). *Mecánica de suelos*. Bogotá: Mc Graw Hill.
- Botasso, G. (23 de Julio de 2012). *Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos En Áreas Urbanizadas*. Obtenido de Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos En Áreas Urbanizadas: http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2002_Manten-yRehabilit-Pavimen-Areas-Urbanizadas_III-Provia-de-las-Américas_noPW.pdf
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design*. USA: Mc Graw-Hill Companies Inc.
- Burton, G. J., Sheng, D., & Airey, D. (Abril de 2014). Experimental study on volumetric behaviour of Maryland clay and the role of degree of saturation. *Canadian Geotechnical Journal*, págs. 1449-1455.
- Cahuape Casaux, M., Garibay, M., & Angelone, S. (Septiembre de 2006). Permeabilidad De Suelos. *Permeabilidad De Suelos*. Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Cánovas, M. F. (15 de unio de 2017). *HORMIGONES REFORZADOS*. Obtenido de HORMIGONES REFORZADOS: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/2079/2281>
- Carnero Guzmán, G., & Carnero Carnero, E. (2015). Técnica constructiva de terraplenes húmedos y su aplicación en la. *Rev. Investig. Altoandin.*, 1.
- Chang, I., Im, J., & Cho, G.-c. (2016). Introduction of Microbial Biopolymers in Soil Treatment for Future Enviromentally-Friendly and Sustainable Geotechnical Engineering. *Sustainability*, 8(251), 1-23.
- Chávez Negrete, C., Alarcón Ibarra, J., Espinosa Arreola, J. d., & Arreygue Rocha, J. E. (2016). Colapso por humedecimiento en los terraplenes de la autopista. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, Sistema de Información Científica Redalyc.
- Chávez, D. O. (15 de Junio de 2017). *Situación Actual y Prospectiva del Transporte en México y el Mundo*. Obtenido de <http://www.ai.org.mx/sites/default/files/21.transporte-y-seguridad-vial.pdf>
- Colmenares-2002, & Citado en Rodríguez Castiblanco, R. C. (2014). Evaluación del Comportamiento Geomecánico de Arcillas en el Sector de Campoalegre – Ciudad de Barranquilla. Barranquilla, Colombia.
- Consoli, N., & Prietto, D. (1998). Influence of Fiber and Cement Addition in Sandy Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, CXXIV*, págs. 1211-1214.
- Consoli, N., Casagrande, M., & P.D.M. Thome, A. (2003). Plate Load Test on Fober-Reinforced Soil. *Journal of geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, CXXIX*, págs. 951-955.
- Córdova Farfán, S. A. (2016). *Estabilización de suelo con napa freática alta utilizando cal obtenida por calcinación de residuos calcáreos de cocha de abanico*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Cristelo, N., Glendinning, S., Fernandes, L., & Teixeira Pinto, A. (2013). Effects of alkaline-activated fly ash and Portland cement on soft soil stabilization. *Acta Geotechnica*, 8, 395-405. doi:10.1007/s11440-012-0200-9

- Cusquisibán Ocas, W. D. (2014). *Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando caucho granular de neumáticos para fines constructivos de pavimentos*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- CUTTI HUALLPA, K. (2015). *ANALISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE LAS FIBRAS DE CARBONO PARA EL REFORZAMIENTO EN UNA VIGA PERALTADA, DE CONCRETO ARMADO PARA UNA EDIFICACION EN LA CIUDAD DE LIRCAY*. Lircay, Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Elsharief, A. M., Mohamedzein, Y. E., & Hussien, Y. (1999). Geotechnical properties of Qoz. soil. *Proceedings of the Twelfth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, (págs. 317-320).
- Escandón, I. M. (25 de Enero de 2013). *LA IMPORTANCIA DE CUMPLIR LOS NIVELES DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO*. Obtenido de LA IMPORTANCIA DE CUMPLIR LOS NIVELES DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3228/Tesis.pdf?sequence=1>
- Esparza, G. R. (2014). *GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO*. México.
- Fernández Loaiza, C. (1993). *Mejoramiento y Estabilización de suelos*. Guanajuato: México: Limusa.
- Fernández Vélchez, C. A., & Salazar Pulce, W. (2015). *Pavimentos estructurales biotecnológicos de larga vida, empleando el aditivo ecológico Permazy IIX en vías afirmadas y su aplicación en la pista de prueba del instituto de biotecnología molecular y reproductiva animal IBMRA - UPAO*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Franch, J. (2013). Permeabilidad de los suelos: concepto y determinación (“in situ” y en laboratorio). *GEOSUPORT*, 1.
- Francisco Javier, O. C. (Agosto de 2011). *Mecánica de Suelos 1. Mecánica de Suelos I*. Pachuca de Soto, Mexico.
- Fuller, W. B., & Thompson, S. E. (1907). The laws of proportioning concrete. *ASCE J. Transport*, 59, 67-143.
- Furnas, C. C. (1931). Grading Aggregates; Mathematical Relations for Beds of Broken Solids. *Industrial and Engineering Chemistry*, 23(9), 1052-1058.
- García Flores, M., & Maza Álvarez, J. A. (1995). *Origen y Propiedades de los Sedimentos. Capítulo 7 del Manual de Ingeniería de Ríos*. México: Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ghavami, K., Romildo, D., Toledo, F., & Normando, P. (1999). Behaviour of Composite Soil Reinforced with Natural Fibres. *Cement and Concrete Composites*, XXI, págs. 39-48.
- Ghiassian, H., Poorebrahim, G., & Gray, D. (2004). Soil Reinforcement with Recycled Carpet Wastes. *Waste Management Research*(22), págs. 108-114.
- Goicochea, J. E. (2007). *Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos*. Lima.

- Gómez Zamorano, L. Y. (2009). Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/154/194>
- Gray, D., & Al-Refai, T. (1986). Behavior of Fabric versus Fiber-Reinforced Sand. *Journal of Geotechnical Engineering, CXII*(8), págs. 804-820.
- Gray, D., & Ohashi, H. (1983). Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand. *Journal of Geotechnical Engineering, CIX*(3), págs. 335-353.
- Guevara, M. E. (2015). *Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales*. Lima.
- Harichane, K., Ghrici, M., Kenai, S., & Grine, K. (2011). Use of Natural Pozzolana and Lime for Stabilization of Cohesive Soils. *ResearchGate, 29*, 759-769.
- Haricharan, T. S., Vinay Kumar, K. S., Durga Prashanth, L., Archana, M. R., & Ravishankar, A. U. (2013). Laboratory investigation of expansive soil stabilized with natural inorganic stabilizer. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 201-204.
- Hernández Andrade, H. R., & Hernández Andrade, C. R. (Octubre de 1999). *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2071_C.pdf
- Higuera, L. F. (2017). *APLICACIÓN DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO EN LOSAS DE CONTRAPISO PARA VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Huincho Salvatierra, E. (2011). *Universidad Nacional de Ingeniería*. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/420>
- Instituto Nacional de Vías. (1997). *Manual de diseño de pavimentos en vías con bajos volúmenes de tránsito*. Bogotá.
- Jenkins, D. (15 de Junio de 2017). *Concreto de Alto desempeño, HPC*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Concreto%20de%20Alta%20Resistencia/Concreto%20de%20alto%20desempeno,%20HPC%20%20mas%20alla%20de%20la%20resistencia.pdf>
- Jenny, G. T., D., C. C., J., Q. S., & A., G. F. (2015). Comportamiento volumétrico de un suelo de la formación Capdevila en condiciones de saturación parcial. *Revista Cubana de Ingeniería (RCI)*.
- Joan, F. (13 de MAYO de 2013). *GEOSUPPORT*. Obtenido de estudios geotécnicos en los ámbitos de la edificación y la ingeniería civil. Ingeniería geológica: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/suelos-expansivos-colapsables/>
- Juárez Badillo, E. (2007). *Mecánica de Suelos*. Limusa.
- Julian Carrillo, D. S. (2016). Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 14.
- Kolias, S., Kasselouri-Rigopoulou, V., & Karahalios, A. (2005). Stabilization of clayey soils with high calcium fly ash and cement. *Cement and Concrete Composites, 27*, 301-313.
- Kumar, A., Walia, B., & Mohan, J. (2006). Compressive Strength of Fiber Reinforced Highly Compressible Clay. *Journal of Construction and Buildings Materials, XX*, págs. 1063-1068.
- Lázares, W. G. (2016). *Mecánica de Suelos aplicada a las vías de Transporte*. Lima: Macro.

- Lobios, M. (2013). *www.meteolobios.es*. Obtenido de *www.meteolobios.es*:
<http://www.meteolobios.es/lluvia.htm>
- López Ortiz, J. (2006). *Suelos Arcillosos Reforzados con Materiales de Plástico Reciclado (PET)*.
- López, F. J. (2015). “*ESTUDIO NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DE FIBRAS DE PET Y SU COMPORTAMIENTO EN UNA MATRIZ DE CONCRETO*”. Mexico: Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
- Maher, M., & Gray, D. (1990). Static Response of Sand Reinforced with Randomly Distributed Fibers. *Journal of Geotechnical Engineering*, CXVI(11).
- Mendoza, P., & Vizconde, H. (2008). *Influencia del tipo y dosificación de estabilizante sobre la resistencia a la compresión y el índice CBR en sedimentos no estabilizados, formados a partir de sedimentos del proyecto Chavimochic para la pavimentación de caminos rurales*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Miño Balarezo, N. D. (2009). *Optimización del proceso de clarificación de agua de formación en la Empresa Baker Petrolite*. Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Mohamedzein, Y. E., Al-aghbari, M. Y., & Taha, R. A. (2006). Stabilization of desert sands using municipal solid waste incinerator ash. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24, 1767-1780.
- Montejo Fonseca, A. (1998). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia: Ediciones y publicaciones.
- Morales Zuluaga, D. (2015). *Valorización de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas*. Medellín - Colombia: Universidad de Medellín.
- Morales, D. (2015). *Valorización de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas*. Medellín: Universidad de Medellín.
- MTC E 1109. (2004). *Norma Técnica de Estabilizadores Químicos*.
- Mwanga, E. W. (2015). *Stabilization of silt clay soil using molasses for small dam embankment construction as inner zone*. Nairobi: University of Nairobi.
- Odcio, W. J. (20 de Enero de 2007). *Utilización de Fibras metálicas para la Construcción de Concreto Reforzado en la Ciudad e Pucallpa*. Obtenido de http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/145/1/lao_wj.pdf
- Olguin Coca, F. J. (Agosto de 2011). *Mecánica de Suelos I. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. Pachuca de Soto, Hidalgo, Mexico: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Ordóñez Ruiz, J., Auvinet Guichard, G., & Juárez Camarena, M. (2014). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. *Ingeniería Investigación y Tecnología*.
- Ortega. (2014). *EFFECTOS DE LA MODULACIÓN DE LOSAS EN LAS FALLAS TRANSVERSALES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS*. Cartagena: GEOMAVIT.
- Ortiz, J. E. (10 de Febrero de 2006). *APLICACIÓN EN CHILE DE PAVIMENTOS DELGADOS DE HORMIGÓN*. Obtenido de *APLICACIÓN EN CHILE DE PAVIMENTOS DELGADOS DE HORMIGÓN*:
http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ruz_j/sources/ruz_j.pdf

- Pérez Collantes, R. (2012). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Pourakbar, S., Asadi, A., Huat, B. B., & Fasihnikoutalab, M. H. (2015). Soil stabilization with alkali-activated agro-waste. *Journal of Environmental Geotechnics*. doi:10.1680/envgeo.15.00009
- Provias, M. . (2008). *Términos de uso Frecuente en obras de Infraestructura Vial*. Lima: MTC.
- Rabbani, P., Daghigh, Y., Atrechian, M. R., Karimi, M., & Tolooiyan, A. (2012). The potential of lime and grand granulated blast furnace slag (GGBFS) mixture for stabilization of desert silty sands. *Journal of Civil Engineering Research*, 2(6), 108-119.
- Ranjan, G., Vasan, R., & Charan, H. (1996). Probabilistic Analysis of Randomly Distributed Fiber Reinforced Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, CXXII*, págs. 419-426.
- Ravines Merino, M. A. (2012). *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. Piura: Universidad de Piura.
- Rios, S., Cristelo, N., Viana da Fonseca, A., & Ferreira, C. (2016). Structural performance of alcali-activated soil ash versus soil cement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(2), 04015125-1 - 04015125-11. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001398
- Rios, S., Ramos, C., Viana da Fonseca, A., Cruz, N., & Rodriigues, C. (2016). Colombian soil stabilized with geopolymers for low cost roads. *Procedia Engineering*, 143, 1392-1400. doi:10.1016/j.proeng.2016.06.164
- RNE CE.010. (2010). *Pavimentos Urbanos*.
- RNE CE.020. (2012). *Estabilización de suelos y taludes*.
- Roman, J. L. (25 de Abril de 2015). *ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7708/tesis.pdf?sequence=1>
- Rosales Hurtado, D. (2014). *Mejoramiento de Suelos Expansivos mediante la Inclusión de Fibras*.
- Sadeeq, J. A., Ochebo, J., Salahudeen, A. B., & Tijjani, S. T. (2015). Effect of bagasse ash on lime stabilized lateritic soil. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 9(2), 203-213.
- Sarathi Parhi, P. (2014). *Stabilization of expansive soils using alkali activated fly ash*. Odisha - India: National Institute of Technology Rourkela.
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2005). *Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego*. Santiago: Gobierno de Chile.
- Sherwell Betancourt, G. (2014). *Estudio del Uso de Polietileno Tereftalato como Material de Refuerzo de Estructuras Térreas Conformadas por Suelo Fino*.
- Sika. (2015). *CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS*. Lima.

- Silva, I. J. (16 de Febrero de 2017). *DURABILIDAD Y DESEMPEÑO CON FIBRAS DE ACERO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO*. Obtenido de DURABILIDAD Y DESEMPEÑO CON FIBRAS DE ACERO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO:
<http://blog.360gradosenconcreto.com/durabilidad-desempeno-fibras-acero-pavimentos-concreto/>
- SUCS. (1952). Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS. Estados Unidos De America.
- Téllez García, J. A., & Villanueva Naranjo, J. C. (19 de Agosto de 2003). *Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua*. Obtenido de <http://biblioteca.mti.gob.ni:8080/docushare/dsweb/Get/Tesis-28/La%20Resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20de%20los%20adoquines%20de%20concreto%20en%20Nic.%201201-CON-N.pdf>
- Torres Carrasco, M. (2015). *Reutilización de residuos vítreos urbanos e industriales en la fabricación de cementos alcalinos, activación, comportamiento y durabilidad*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (Quinta ed.). Limusa.
- Wang, Y. (199). Utilization of Recycled Carpet Wasnd Soil. *Journal of Polymer-Plastic Technology Engineering*, III(3), págs. 533-546.

5 ANEXOS

ANEXO N° 1

MATRIZ DE DATOS

Ítems	TEMA	AUTOR	FUENTE
1	<i>Fly ash utilization in soil stabilization. International Conference on Civil</i>	Adabi Ahmed, A.	https://iicbe.org/upload/3136C514601.pdf
2	<i>Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cascara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación</i>	Behak, L., & Peres Núñez, W.	https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732008000100004
3	<i>Reutilización de residuos vítreos urbanos e industriales en la fabricación de cementos alcalinos, activación, comportamiento y durabilidad</i>	Torres Carrasco, M.	https://repositorio.uam.es/handle/10486/670399
4	<i>Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego</i>	Servicio Agrícola y Ganadero.	http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf



5	<i>Optimización del proceso de clarificación de agua de formación en la Empresa Baker Petrolite. Riobamba - Ecuador</i>	Miño Balarezo, N. D.	file:///C:/Users/Administrador/Downloads/96T00116%20(1).pdf
6	<i>Pavimentos estructurales biotecnológicos de larga vida, empleando el aditivo ecológico Permaz y IIX en vías afirmadas y su aplicación en la pista de prueba del instituto de biotecnología molecular y reproductiva animal IBMRA</i>	Fernández Vílchez, C. A., & Salazar Pulce, W.	http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/2036
7	<i>Estabilización de suelo con napa freática alta utilizando cal obtenida por calcinación de residuos calcáreos de cocha de abanico</i>	Córdova Farfán, S. A.	http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/5524
8	<i>Valorización de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas</i>	Morales Zuluaga, D.	https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1236/Valoración%20de%20las%20cenizas%20de%20carbón%20para%20la%20estabilización%20de%20suelos%20mediante%20activación%20alcalina%20y%20su%20uso



			o%20en%20vías%20no%20pavimentadas.pdf?sequence=1
--	--	--	--

