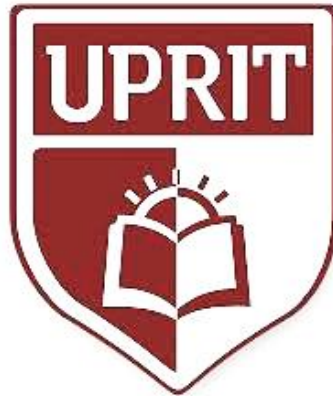


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**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, 2019**

**TESIS**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**CIRO YNOKI KUSAKA LOZANO**

**TRUJILLO - PERU  
2020**

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Ciro Ynoki Kusaka Lozano** , denominada:

**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, 2019**

---

Ing. Josualdo Villar Quiroz  
**ASESOR**

---

Ing. Enrique Manuel Duran Bazán  
**JURADO**  
PRESIDENTE

---

Ing. Guido Robert Marín Cubas  
**JURADO**

---

Ing. Josualdo Villar Quiroz  
**JURADO**

## **DEDICATORIA.**

Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las advertencias sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres y Yajayra mi esposa por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por apoyarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTO.**

A nuestros padres por recibir de ellos siempre el apoyo incondicional para culminar nuestros estudios superiores.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de Universidad Privada de Trujillo por haber hecho posible la culminación de nuestra carrera profesional.

A los docentes por brindarnos su conocimiento durante todo el transcurso de nuestra formación profesional.

Al Ing. Josualdo Villar Quiroz, por la enseñanza y motivación para la realización de esta investigación.

Al Ing. Manuel Enrique Duran Bazan, quien con mucha tolerancia en todo momento estuvo con la predisposición para apoyarnos en las inquietudes académicas en la realización de nuestra tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS y GRÁFICOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	9
<u>    </u> 1.1 Realidad problemática.....	9
<u>    </u> 1.2. Formulación del problema.....	15
<u>    </u> 1.3. Justificación.....	15
<u>    </u> 1.4. Objetivos .....	17
<u>        </u> 1.4.1. Objetivo General .....	17
<u>        </u> 1.4.2. Objetivos Específicos .....	17
<u>    </u> 1.5. Antecedentes.....	17
<u>    </u> 1.6. Bases Teóricas.....	25
<u>    </u> 1.7. Definición de términos básicos.....	40
<u>    </u> 1.8. Formulación de la hipótesis.....	43
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	48
<u>    </u> 2.1. Material:.....	48
<u>    </u> 2.2. Material de estudio.....	52
<u>        </u> 2.2.1.Población.....	52
<u>        </u> 2.2.2.Muestra.....	52
<u>    </u> 2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	53
<u>    </u> 2.4. Operacionalización de variables.....	73
III. RESULTADOS.....	73
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO .....	74
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL SEDIMENTO .....	75
IV. DISCUSIÓN.....	79
V. CONCLUSIONES.....	81
VI. RECOMENDACIONES.....	82
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS y FIGURAS.

Tabla 1. Elaboración de hipótesis general .....	44
Tabla 2. Elaboración de la primera hipótesis específica .....	45
Tabla 3. Elaboración de la segunda hipótesis específica.....	46
Tabla 4. Elaboración de la tercera hipótesis específica .....	46
Tabla 5. Elaboración de la cuarta hipótesis específica .....	47
Tabla 6. Número de probetas por propiedad determinada.....	53
Tabla 7. Dispersión en Análisis Hidrométrico .....	58
Tabla 8. Valores de Ct para la corrección por temperatura de las lecturas del hidrómetro. Para hidrómetro tipo 152-H.....	59
Tabla 9. Valores de la Profundidad efectiva basados en hidrómetro y cilindro de sedimentación de dimensiones especificadas .....	60
Tabla 10. Valores de K para el cálculo del diámetro de partículas en el análisis hidrométrico .....	61
Tabla 11. Valores del coeficiente de corrección para distintos pesos específicos de las partículas del suelo .....	61
Tabla 12. Estimados de precisión: .....	65
Tabla 13. Operacionalización de la Variable Dependiente .....	73
Tabla 14. Propiedades del Suelo .....	74
Tabla 15. Análisis Hidrométrico del Sedimento .....	75
Tabla 16. Composición mineralógica del Sedimento.....	76
Figura 1. Selección del tipo de muestreo.....	52
Figura 2. Diagrama del procedimiento experimental de la investigación .....	54
Figura 3. Análisis granulométrico del suelo arenoso .....	74
Figura 4. Análisis de difracción de rayos X (DRX) del suelo arenoso. ....	75
Figura 5. Análisis de difracción de rayos X (DRX) del sedimento. ....	76
Figura 6. Curva granulométrica la mezcla 60% suelo – 40% sedimento. ....	77
Figura 7. Influencia del porcentaje de silicato de sodio sobre el índice CBR de la mezcla 60% suelo – 40% sedimento activado alcalinamente.....	78
Figura 8. Influencia del porcentaje de silicato de sodio sobre la resistencia a la compresión triaxial de la mezcla 60% suelo – 40% sedimento activado alcalinamente.....	78

## RESUMEN.

La presente investigación se realizó en la Provincia de Virú en el año 2019, durante 8 meses, en la que estuvieron involucradas empresas agroindustriales que riegan por goteo. El objetivo fue determinar la influencia de los sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio en la estabilización ecológica de suelos arenosos de esta provincia. Esto se logró realizando caracterización y ensayos mecánicos utilizando equipos del Laboratorio Cerámicos y Suelos. La justificación fue mejorar la calidad de vida de los pobladores estabilizando los suelos arenosos en caminos rurales de bajo tránsito de acceso a caseríos y áreas agrícolas habilitadas por el proyecto Chavimochic. Las bases teóricas empleadas fueron las normas del ministerio de transportes y comunicaciones así como la teoría de la activación alcalina. El tipo de investigación fue experimental, el diseño fue experimental puro, la muestra fue el suelo arenoso de los caminos de acceso a las zonas agrícolas de la Empresa Agua Lima S.A.C. de los cuales se obtuvo 50 probetas para los ensayos Triaxial y CBR, la técnica de recolección de datos fue la observación, el instrumento de recolección de datos fue la guía de observación, el método de análisis de datos fue la estadística inferencial y el instrumento de análisis de datos fue el análisis de variancia. El resultado que se obtuvo fue un CBR de 111% al añadir 8% de silicato a la mezcla 40% arena - 60% suelo arenoso, mientras que una resistencia a la compresión Triaxial de 1805 KPa a dicha dosificación. La conclusión fue que a medida que se incrementa el silicato de sodio para activar alcalinamente los sedimentos se mejora significativamente la estabilización del suelo arenoso de los caminos de acceso a zonas agrícolas de la provincia de Virú.

### Palabras Clave:

- Sedimentos
- Clarificación de aguas de riego activadas alcalinamente
- Silicato de sodio
- Estabilización ecológica
- Suelos arenosos

## **ABSTRACT.**

The present investigation was carried out in the Province of Virú in the year 2017, during 8 months, in which agroindustrial companies that irrigate by drip were involved. The objective was to determine the influence of the clarification sediments of irrigation waters activated alkaline with sodium silicate in the ecological stabilization of sandy soils of this province. This was achieved by carrying out characterization and mechanical tests using equipment from the Ceramic and Soil Laboratory. The justification was to improve the quality of life of the settlers by stabilizing the sandy soils in rural roads with low access to farmhouses and agricultural areas enabled by the Chavimochic project. The theoretical bases used were the norms of the ministry of transport and communications as well as the theory of alkaline activation. The type of research was experimental, the design was pure experimental, the sample was the sandy soil of the access roads to agricultural areas of the company Agua Lima S.A.C. of which 50 specimens were obtained for the Triaxial and CBR assays, the data collection technique was the observation, the data collection instrument was the observation guide, the data analysis method was inferential statistics and the instrument for Data analysis was the analysis of variance. The result obtained was a CBR of 111% when adding 8% silicate to the mixture 40% sand - 60% sandy soil, while a Triaxial compressive strength of 1805 KPa at said dosage. The conclusion was that as the sodium silicate increases to alkaline activate the sediments, the stabilization of the sandy soil of the access roads to agricultural areas of the province of Virú is significantly improved.

### **Keywords:**

- Sediments
- Alkaline activated irrigation water clarification
- Sodium silicate
- Ecological stabilization
- Sandy soils



## I. INTRODUCCIÓN.

### 1.1 Realidad problemática.

La geotecnia se ocupa del estudio de la interacción suelo-estructura. El tratamiento y el mejoramiento del suelo se realizan comúnmente en el campo de la ingeniería geotécnica. La demanda de alternativas ecológicas y sostenibles está aumentando. Dado que el cemento, el material de tratamiento de suelo más comúnmente aplicado es responsable de las emisiones de gases de efecto invernadero, se están estudiando activamente alternativas más ecológicas tales como geosintéticos, polímeros químicos, geopolímeros, inducción microbiana y biopolímeros (Chang, Im, & Cho, 2016). La estabilización ecológica del suelo, en la que se utilizan estabilizadores naturales o residuos industriales, está enmarcada dentro de esta tendencia.

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 Turquía, Adabi Ahmed (2014) estudió la estabilización ecológica de suelos arcillosos para la construcción de pistas urbanas durables utilizando ceniza volante, un importante subproducto industrial. Dicha ceniza fue utilizada por su gran disponibilidad y bajo costo. Se encontró que la relación óptima de ceniza volante con suelo arcilloso es de 15 % en peso. Asimismo, la reducción del límite líquido y del índice de plasticidad fue de 54.12% y 29.57% respectivamente, mientras que el CBR sumergido del suelo se incrementó de 3 a 56%.

En Nigeria, Sadeeq, Ochepo, Salahudeen y Tijjani (2015) evaluaron el efecto de la ceniza de bagazo de caña en la estabilización ecológica de suelos lateríticos. Se ensayaron muestras de suelo tratadas con diferentes relaciones ceniza de bagazo y cal, en variaciones de 0, 2, 4, 6, y 8%.en peso del suelo. Los mejores valores de

resistencia a la compresión inconfiada (UCS) y CBR se registraron en 698 kN/m<sup>2</sup> y 43% para suelos tratados con 8% de cal y 6% de ceniza de bagazo. Lo que constituyó en una mejora en dichas propiedades si lo comparamos con el suelo no tratado que alcanzaron valores de 591 kN/m<sup>2</sup> (a 28 días de curado) y 7% (sumergido en agua).

En Kenia, Mwanga (2015) investigó la estabilización ecológica de un suelo limoso-arcilloso usando melaza para emplearlo como material de construcción en un terraplén de presa pequeño. Estudió adiciones de 0%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5% de melaza a las muestras de suelo. Los suelos se ensayaron en resistencia al corte, permeabilidad y compactación. Se encontró que usando un 6.0 a 6.5% de melaza se mejoran las propiedades del suelo.

En el Perú, Perez Collantes (2012) llevó a cabo un estudio relativo a las cenizas volantes de carbón referente al efecto que produce, al actuar sobre un suelo arcilloso, porque será usado para pavimentar. Concluye que se comporta mejor frente al suelo puro, además de ser económicamente más viable, en su función ecológica. Referente a las cenizas volantes de carbón, son un residuo procedente de la planta termoeléctrica de Illo.

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 Vélchez & 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.

Behak y Peres Núñez (2008) encontró que el responsable de la estabilización ecológica del suelo arenoso es un producto cementante formado cuando reaccionan los iones de calcio de la cal con la sílice amorfa de la ceniza de cascarilla de arroz. Asimismo, observó a los 28 días de curado un importante aumento del CBR de la mezcla de suelo con 20% de ceniza de cascarilla de arroz y 10% de cal respecto al suelo natural.

Haricharan, Vinay Kumar, Durga Prashanth, Archana, y Ravishankar (2013) encontraron que la resistencia a la compresión confinada de las muestras tratadas con el estabilizante inorgánico RBI – 81 se incrementa 250% en un periodo de 28 días de curado comparado con el suelo natural. Adicionalmente el valor de CBR mejoró en 400%. Los estudios indicaron una tendencia creciente de la resistencia del suelo a medida que se incrementa el porcentaje del estabilizador inorgánico RBI-81 sugiriendo sus aplicaciones potenciales en la estabilización del suelo.

Harichane, Ghrici, Kenai y Grine (2011) encontraron que el índice de plasticidad disminuye a medida que se incrementa el contenido de cal. Además cuando se

adicionó la puzolana natural y la cal al suelo cohesivo se observó un cambio apreciable de su comportamiento de plasticidad. Sin embargo, la adición de puzolana natural tiene un menor efecto en el índice de plasticidad de los suelos grises. Tanto suelos grises como suelos rojos cambian de acuerdo al sistema SUCS. Asimismo, se encontró un mejoramiento en las propiedades de compactación, resistencia al corte y resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos.

Según lo visto, el método tradicional de tratamiento químico de suelos para su estabilización es con cemento y cal, que se activan térmicamente a altas temperaturas, con altos consumos energéticos y alta emisiones de gases de efecto invernadero. Una vez activos se endurecen por reacciones de hidratación o al reaccionar con el CO<sub>2</sub> del aire para formar calcita, respectivamente. En los últimos años la tendencia es a emplear estabilizante ecológicos o naturales, que no requieran activarse a altas temperaturas, que no contaminen el ambiente y que su utilización sea sostenible. En este sentido está la utilización de puzolanas naturales o puzolanas de residuos industriales (escorias, cenizas, polvos cerámicos industriales, etc.), la utilización de la activación alcalina para obtener geopolímeros, la utilización de biopolímeros y la utilización de la biomineralización (la precipitación de calcita inducida por microorganismos) para el mejoramiento de los suelos para obras de pavimentación (subrasante y/o sub base) y caminos rurales.

En los últimos años se ha incrementado el número de empresas que suministran estabilizantes químicos, realizando consultorías e investigaciones en aplicaciones como es el caso de la estabilización de suelos. Este es el caso de la empresa alemana Zublin Ambiental con 20 años de experiencia, la cual tiene algunas representaciones en Latinoamérica, este es el caso de México, que ha hecho trabajos sobre aplicación de sus productos en la estabilización química de sedimentos contaminados con petróleo. Esta empresa tiene experiencia en remediación de sitios contaminados, estabilización de suelos blandos y estabilización de suelos contaminados, entre otras.

Asimismo, otra empresa que realiza trabajos en estabilización de suelos, es la reconocida empresa multinacional AnyWay Soil Environment Solutions que es una subsidiaria del grupo The Metrontario Group of Companies, que cuenta con más de 70 años de experiencia y proporciona soluciones integrales, innovadoras y rentables a través de la estabilización del suelo. Sus productos han sido implementados con éxito en proyectos de construcción de carreteras, infraestructuras y bajo costo utilizando tanto medios mecanizados como de mano de obra intensiva. A diferencia de otras empresas esta tiene una línea que provee estabilizantes naturales que es una nueva tendencia hoy en día.

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, & Tolooiyan, 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).

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 m<sup>3</sup> 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.

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.

## **1.2. Formulación del problema.**

¿Cuál es la 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?

## **1.3. Justificación.**

En general 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.

Desde un punto de vista práctico, la aplicación de los resultados de esta investigación puede ayudar a mejorar la actividad económica de la zona, interconectando los caseríos y los centros agroindustriales de la provincia de Virú mediante una red vecinal de la que se sientan orgullosos, disminuyendo los tiempos para ir de un lugar a otro, conservando mejor los vehículos y aumentando la productividad de las agroindustrias de una manera ecológica y sostenible.

Desde el punto de vista valorativo, esta investigación generará un conocimiento válido y confiable de los resultados de la utilización de sedimentos activados alcalinamente en la estabilización ecológica de suelos arenosos. Por consiguiente, la fortaleza de la investigación es dar un valor agregado a los sedimentos, no solo a los de la provincia de Virú, sino también a los sedimentos de otros lugares a lo largo de la costa peruana, en la que se han ejecutado o que se ejecutarán proyectos de irrigación similares a los de Chavimochic. Esta innovación, del uso de sedimentos activado alcalinamente en la estabilización ecológica de suelos arenosos, permitirá beneficiar al sector constructivo y de transporte, y en especial a los habitantes y empresas donde se generen este tipo de sedimentos.

El aporte académico de esta investigación es poner a disposición de los estudiantes



y tesistas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Trujillo así como de otras universidades, información sobre nuevas formas de estabilización ecológica de suelos, la cual contribuirá a tener mejores conocimientos sobre la mejora de las propiedades de los suelos arenosos de una manera natural y sostenible. Esta investigación también podría ser tomada como un antecedente para nuevas tesis relacionadas a la activación alcalina.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Determinar la influencia de la adición de sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio en la estabilización ecológica de suelos arenosos de la provincia de Virú.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Caracterizar y evaluar el suelo arenoso de la provincia de Virú.
- Caracterizar y evaluar el sedimento de clarificación de aguas de riego.
- Determinar la capacidad de soporte CBR de las probetas de suelo arenoso estabilizado con los sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio.
- Determinar la resistencia a la compresión triaxial de las probetas de suelo estabilizado con silicato de sodio.

## **1.5. Antecedentes.**

### **1.5.1. “Valorización de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas”**

(Morales Zuluaga, 2015), Evaluar el efecto del método de curado en el comportamiento mecánico de mezclas de suelo adicionadas con ceniza de carbón y activadas alcalinamente; con el fin de determinar las mejores condiciones para su uso en vías no pavimentadas, Se elaboraron probetas mezclando por separado suelos de arcilla, de arenilla y del municipio Urrao con 7, 14 y 21 % de ceniza de carbón activados con soluciones de NaOH, con un tiempo de curado de 7 días se realizaron los ensayos de proctor modificado y de resistencia a la compresión inconfiada. Se identificó los

factores que más influyen sobre la variable respuesta en cada uno de los suelos. Se realizó una comparación entre los resultados obtenidos por los diferentes tipos de suelos y las dosificaciones de ceniza de carbón utilizadas en el estudio, además de la influencia del tipo de activador alcalino que se utilizó. Se encontró que la ceniza de carbón para mezclarse con los suelos de arenilla, arcilla y Urrao debe ser tamizada por malla N° 100 o mayor y usar hidróxido de sodio en solución como activador alcalino a una concentración cercana a 8 molar para obtener un material cementante con características comparables con la norma INVIAS Artículo 350.4.1. El aporte de esta tesis realizada en Colombia a la presente investigación es fundamentar que: la facilidad de disolución del silicio de la ceniza de carbón aumenta con la disminución del tamaño de esta y con la concentración de la solución activadora. Además, la molienda a tamaños muy finos aumenta la amorficidad lo que facilita la disolución del silicio y por ende mejora la resistencia.

#### **1.5.2. “Stabilization of Expansive Soils using Alkali Activated Fly Ash”**

(Sarathi Parhi, 2014), 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.

### **1.5.3. “Soil stabilization with alkali-activated agro-waste”**

(Pourakbar, Asadi, Huat, & Fasihnikoutalab, 2015), 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.

#### **1.5.4. “Effects of alkaline-activated fly ash and Portland cement on soft soil stabilization”**

(Cristelo, Glendinning, Fernandes, & Teixeira Pinto, 2013), 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 la 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.

#### **1.5.5. “Structural Performance of Alkali-Activated Soil Ash versus Soil Cement”**

(Rios, Cristelo, Viana da Fonseca, & Ferreira, 2016), 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.

### **1.5.6. “Colombian Soil Stabilized with Geopolymers for Low Cost Roads”**

(Rios, Ramos, Viana da Fonseca, Cruz, & Rodriigues, 2016), Evaluar su 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.

**1.5.7. “Estabilización de un suelo con napa freática alta utilizando cal obtenida por calcinación de residuos calcáreos de conchas de abanico”**

(Córdova Farfán, 2016), 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.

**1.5.8. “Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos”**

(Pérez Collantes, 2012), 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 usando la materia prima en estudio.

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.

#### **1.5.10. “Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando caucho granular de neumáticos para fines constructivos de pavimentos”**

(Cusquisibán Ocas, 2014), 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.

## **1.6. Bases Teóricas.**

### **Suelos**

#### **1. Definición**

Forman en su estructura los sistemas conocidos como trifásicos, integrados por partículas minerales más aire y agua, quienes ocupan los espacios vacíos. Conociéndose que los suelos mayormente son materias primas para la industria de la construcción. (Braja M, 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 M, Das, 2008).

Se encuentran cuarzo en partículas, feldespato, etc. mayormente en las gravas, que vienen a ser fragmentos provenientes de rocas, también existen arenas, limos que

son visibles al microscopio como granos finos a base de cuarzo. También la integran arcillas escamosas.

La Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (ASSHTO), señala que el tamaño de las gravas, de sus partículas debe ser de 2 mm en adelante, respecto a las arenas, en un rango de 0.06 a 2 mm, los limos se identifican de 0.002 a 0.06 mm. Respecto a las arcillas, deben ser menos de 0.002 mm (Braja M, 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).

Las partículas de arcilla se clasifican como arcilla considerando su tamaño, sin tomar en cuenta esencialmente los minerales considerados arcillosos, las arcillas se definen como “las partículas que presentan plasticidad al combinarse con agua en cantidades limitadas” (R.E, 1953) (Braja M, Das, 2008) (T. William Lambe, Robert V. Whitman, 1991). Se denomina partículas tamaño arcillas a las que su tamaño es menor de 0.002 mm” (Braja M, Das, 2008).

## **2. Clasificación de suelos**

Se conoce que realizar acciones como permeabilidad, compresibilidad y resistencia en relación al suelo en sus propiedades, es una tarea muy difícil, que además resulta caro y gasta mucho tiempo. Por lo que cuando se desea pavimentar, lo más aconsejable es realizar la división de éste en grupos, siempre y cuando presenten comportamiento parecido; proceso conocido como clasificación (T. William Lambe, Robert V. Whitman, 1991).

Esta clasificación abarca juntarlos por condiciones parecidas, significando un derrotero respecto a la programación de sucesos experimentales, claro está, en caso que el problema presentado sea más difícil de solucionar la investigación requerida será mayor (T. William Lambe, Robert V. Whitman, 1991).

Las pruebas conocidas como indicativas, son usadas en su mayoría para dividir a los suelos y así integrarlas en su respectivo grupo. Haciendo notar que ésta pierde seriedad si no se analiza adecuadamente su propiedad esencial que contiene. La granulometría y la plasticidad son factores considerados como métodos mayormente empleados para los suelos (William Lambe & V. Whitman, 1991).

### **3. 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 M, 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.” (T. William Lambe, Robert V. 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 M, Das, 2008).

#### **a) Sistema de Clasificación AASHTO**

En 1929 el Public Road Administration Classification System (Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Publicos) la dio a conocer, donde clasificaba al suelo en siete grupos mayores: A-1 al A-7, correspondiendo los grupos A-1, A-2 y A-3 a materiales granulares y pasando el 35% o menos de las partículas por malla No. 200. Los suelos mayores al 35% que pasan por la malla No. 200 corresponden a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Limo y arcilla son componentes de los suelos (Braja M, Das, 2008).

Los suelos considerados naturales reciben tratamientos químicos y mecánicos, en

forma anterior a un análisis granulométrico, siendo su precisión no tan precisa, esto ocasiona alcanzar tamaños efectivos muy desiguales a los actualmente presentes en el suelo natural (T. William Lambe, Robert V. Whitman, 1991).

Los que presentan un IP igual o menor de 10 en función a fracción fina del suelo, reciben la denominación de limoso, arcilloso es cuando el IP es mayor de 11, considerando la exclusión de cantos rodados y boleos que poseen más de 75 mm, pero considerando siempre su porcentaje porque se procede a su registro (Braja M, Das, 2008).

#### **b) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos**

Casagrande (1942) propuso este sistema a usarse en la construcción de aeropuertos durante la Segunda Guerra Mundial, siendo luego adquirido por los ingenieros. Consiste en clasificar a los suelos así: Categoría denominada suelos de grano grueso, caracterizándose por integrar grava y arena, en un porcentaje menor al 50% pasando por la malla No. 200. Para distinguirlos, cada grupo presenta un símbolo cuyo inicio es usando un prefijo G (grava o suelo gravoso) o S (arena o suelo arenoso). Podemos mencionar otros símbolos, como aquellos que poseen prefijo M (limo inorgánico), C (arcilla inorgánica) y O (limos y arcillas orgánicos) (Braja M, 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 M, Das, 1999). Para realizar una clasificación apropiada con este sistema, se debe conocer la siguiente información: (Braja M, 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 capturada 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 M, Das, 1999) (Braja M, Das, 2008)(Navy, 1982)

## **Estabilización de suelos**

### **1. 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 Loaiza 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 Loaiza (1993) que “todo componente que constituye un pavimento, debe ser el más apto, fruto de un proceso estabilizante, el mismo que la función esencial que tiene, es elevar lo que se conoce como capacidad portante del material, con el objetivo que el agua no interfiera mayormente en su sensibilidad. El fin superior es el logro por parte del material de una alta rigidez y así pueda absorber elasticidades de tracción.” (pág. 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 y Reid (1995) refieren que todo proceso estabilizante es plausible de alterar en los suelos sus propiedades, de la siguiente manera:

- a) Uso del drenaje para obtener la estabilización.
- b) Mayormente se conocen a la electrólisis y pilotes electromecánicos como procesos estabilizadores cuyo procedimiento es eléctrico.
- c) Por medio del calor también se estabiliza.
- d) Agentes estabilizantes (cemento, cal, asfalto, etc.) son utilizados cuando se realizan por medios químicos (pág. 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):

- a) “Estabilidad volumétrica: debido a la humedad cuyas variaciones ocasionan que los suelos se contraigan o expandan tomando en cuenta las estaciones. Todo esto es incontrolable, produciendo levantamientos, que los postes se inclinen, fragmentación de drenajes, etc. Siendo esencial detectarlos para así realizar el tratamiento respectivo.
- b) Resistencia mecánica: si el suelo está húmedo se garantiza la resistencia es óptima, lo contrario, si el suelo es seco, permitirá mayor eficacia cuando se realizan pruebas, intercalando cargas en formas repetitivas, para así detectar lo que ocasiona la disgregación y pulverización. En el caso de usar el suelo tal como está permitirá llevar a cabo la estimación de los parámetros determinados respecto a la resistencia.
- c) Permeabilidad: al tener el suelo mucha presión en sus poros lleva mayormente a que se produzcan deslizamientos.
- d) Durabilidad: Es condición esencial del suelo, porque le permitirá resistir a todo proceso erosivo o abrasivo, esto es, porque así se evitará la presencia de baches y/o disgregaciones.
- e) Compresibilidad: Influye en las características de los suelos al modificar su permeabilidad, razón por la cual lo modifican su resistencia al esfuerzo cortante, ocasionando que se produzcan deslizamientos. (pág. 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:

- a) **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), para lograr el mejoramiento del suelo de la siguiente manera:
  - El suelo aumenta su resistencia y dura más.
  - El agua no debe entrar al suelo porque éste se debe impermeabilizar.
  - Contrayendo o expandiendo se disminuirá el cambio de volumen del suelo.

- El suelo a ser modificado (pág. 416).

**b) 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: los objetivos a lograr son:

- La resistencia adecuada se logra cementando al suelo macro-estructuralmente.
- Disminuir la compresión y la permeabilidad de la masa por tapamiento de poros y fisuras existentes. (pág. 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.

**c) 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.

## **2. Estabilización y mejoramiento.**

Se debe destacar según el comentario anterior planteado por Fernández Loaiza (1993) que impulsa a un buen análisis de la estabilización que “cuando se realiza construcción a base de pavimentos con determinadas capas, se deben emplear materiales provenientes de la escarificación de la capa superficial existente, todo esto permitirá aumentar su durabilidad y disminuir su daño al medio ambiente, a la vez de la salud del ser humano. Todo esto en función a los lineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto o determinados por el Interventor, los espesores de capa son proporcionados en las Especificaciones Técnicas Particulares” (pág. 38).

### **3. Generalidades sobre la estabilización de suelos.**

Una generalidad importante a la hora de estabilizar, según Fernández Loaiza (1993) “significa modificar las propiedades físico mecánicas, aumentando la resistencia y duración. Mayormente en el mundo, hoy en día se usan el cemento, la cal, el asfalto y la arena, etc...siempre y cuando sean mezclados en condiciones adecuadas u óptimas” (pág. 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.

#### **3.1.Estabilización de suelos mediante su mezclado con Cal.**

Montejo Fonseca (1998) considera que “la cal hidratada constituye el agente estabilizador mayormente empleado en todo el transcurrir de la historia”. Respecto a los resultados de los estudios obtenidos como estabilizante, se los ha cuantificado. La plasticidad se puede disminuir con el solo hecho de adicionar cal en mínima cantidad” (pág. 99).

El método resulta muy económico en función de minimizar la plasticidad y así se puede elevar su resistencia del suelo. El porcentaje puede variar entre el 2 al 6% tomando en consideración al suelo seco del material para estabilizar, así se logra una estabilización en las arcillas respecto a su actividad. Se recomienda que más del 6% se use, porque se produce elevación de la plasticidad, los estudios más conocidos a emplear respecto a suelo estabilizado con cal, son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, VRS, y otros.

En el caso de combinar arcilla con cal apagada, puede mejorar la resistencia del suelo, por la actuación de los iones de calcio, que muchas veces forman silicatos de calcio y alúmina, con gran poder cementante.

#### **3.2.Estabilización de suelos mediante su mezclado con Cemento.**

Para el Instituto Nacional de Vías (1997) “reacciones diversas ocurren cuando el suelo se realizan mezclas de diferentes elementos, siendo mayormente grupos que



hacen más duraderas éstas, accionando sobre las gravas, arenas y limos; mayormente los iones de calcio actúan eficientemente al capturar moléculas de agua” (pág. 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, “se sustentan mayormente en la resistencia y durabilidad. Respecto a la resistencia a la compresión tomando en cuenta la (Norma de Ensayos INV E – 809 y la 807) y otras como I.N.V.E. 123. Respecto al 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 )” (pág. 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.

## **Clarificación de aguas de riego**

### **1. Clarificación del agua**

Las aguas de los ríos son suspensiones de sustancias dispersas que pueden afectar a los sembríos. Miño Balarezo (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 µm, pero esto no es todo para distinguir entre un sistema coloidal o no” (pág. 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: “materiales suspendidos son observados en aguas ya sean potables o residuales, algunos sedimentan con facilidad, pero otros no (coloides). En estos últimos es por acción de cargas con signo igual, las cuales se repelen, ocasionando que no se produzca el enfrentamiento entre partículas y así se sigan agrupando. Conociéndose que el proceso coagulación y floculación, ocasionan que los coloides se desestabilicen y así logran sedimentarse. Todo esto sucede debido a la acción de un agente químico” (pág. 96).

## **2. Tratamiento del agua**

Son elementales en el logro de disminuir sus focos infecciosos, así aumentan su calidad. Son beneficiosas para las comunidades que no cuentan con ella, mayormente provienen de ríos, lagunas o del subsuelo (Guerrero 1962). Para potabilizarla, se sigue un proceso ya determinado, siendo la clarificación la más importante de las etapas, donde se hace uso de determinados agentes químicos que “atrapan” las partículas en suspensión, sedimentándolas (típicamente entre 80 y 90 %) es la denominada coagulación-floculación. Mayormente se usan 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) (Martínez 2003).

Polímeros también suelen ser usados: conocidos como naturales y sintéticos. Se clasifican en polielectrolitos aniónicos, catiónicos y no iónicos (Tatsi et al. 2003). Los primeros actúan como coagulantes disminuyendo las cargas de las partículas. En el caso de que las partículas son negativas, se hace uso de polielectrolitos catiónicos. (Tchobanoglous et al. 2003).

## **3. 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 (pág. 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).

## **Sedimentos**

### **1. Definición**

Vienen a ser partículas que por procesos naturales llegan a las aguas de ríos, lagunas o lagos, formando muchas veces levantamientos rocosos, en el caso de que el sedimento esté presente en un gran cuerpo de agua recibe de ésta su estructura y sus características respectivas (García Flores & Maza Álvarez, 1995, pág. 5). Esto quiere decir que los sedimentos son las partículas que son arrastradas y acumuladas en el fondo de los canales debido a la acción de la gravedad y de las fuerzas hidrodinámicas de las corrientes de agua.

## 2. Fuentes de los sedimentos

Según García Flores & Maza Álvarez (1995): En la actualidad es imposible precisar como los sedimentos se ocasionan totalmente, pero lo cierto, que todos están de acuerdo que son provenientes de rocas, que luego son arrastrados por el viento y el agua, a sus grandes depósitos que son ríos y lagos. (pág. 5).

### 2.1. Naturales

- a) **Erosión de la superficie del terreno.** El agua se filtra al suelo, por diferentes medios, ocasionando que el suelo fluya arrastrando partículas, siendo mayor la cantidad si las lluvias o los vientos son violentos o tienen larga duración a la vez la vegetación que es menos densa facilita este proceso (págs. 5-6).
- b) **Erosión del cauce principal y sus tributarios.** Cuando los fenómenos naturales como lluvias y vientos fuertes, arrastran las partículas del suelo, en primer lugar aparecen los conocidos arroyos, que debido al continuo fenómeno transportan partículas por su gran erosividad. Semejante acción sucede cuando los ríos se desbordan, se clasifican a éstos como: juveniles, maduros y viejos. De acuerdo a su anchura, realizan la acción transportadora, depositando en primer lugar los más gruesos y los más finos son colocados en la zona de planicie, continuando el resto su camino al mar (pág. 6).
- c) **Movimientos naturales del terreno.** Se refiere a que se producen deslizamientos de volúmenes mayores de tierra y rocas, ocasionando que muchas partículas pierdan su protección. Finalmente por la misma acción llegan a las corrientes. (pág. 6).

### 2.2. Artificiales

- a) **Destrucción de la vegetación.** Proceso ocasionado por el ser humano, pero esto ocasiona la presencia de mayores sedimentos, debido a que los suelos se quedan desprotegidos frente a la acción de aguas de arroyada (pág. 6).
- b) **Obras de ingeniería.** La ingeniería ocasiona la presencia de partículas sueltas al construir caminos, presas, ciudades y otros. Produciendo que aparezcan pendientes y el acarreo con total libertad de las partículas del suelo (págs. 6-7).
- c) **Explotación de minas y canteras.** Actividad donde se rompen rocas, ocasionando presencia de partículas pequeñas o polvo. (pág. 7).

**d) Desechos urbanos e industriales.** Son transportados al río, lago y mar, clasificándose en tres tipos: (pág. 7).

i) Sedimentos que se originan en la superficie de la cuenca. Se pueden disminuir conservando los suelos (pág. 7).

ii) Sedimentos que dimanan del fondo y orillas de los ríos. Disminuyen por la presencia de presas de gran magnitud o construyendo diques (pág. 7).

iii) Sedimentos que provienen de los desechos industriales y urbanos. Se disminuyen por medio del empleo de técnicas sanitarias (pág. 7).

### **3. Clasificación de los sedimentos**

Según García Flores & Maza Álvarez (1995):

Compuestos por partículas de diferentes tamaños y formas, pudiéndose avistar dos tipos: los conocidos como cohesivos y los no cohesivos. Existiendo los que presentan características de ambas (mixtos) (pág. 7).

Sedimento no cohesivo o friccionante, también denominado material granular, constituido por granos gruesos donde la fuerza de gravedad es predominante sobre otras fuerzas, ocasionando que las partículas gruesas tengan un comportamiento similar. Por lo que, el comportamiento mecánico e hidráulico de los sedimentos no cohesivos lo genera lo compacto del depósito, por alcanzar el mejor compactamiento (págs. 7-8).

Sedimento cohesivo, constituido por partículas de grano muy fino, unidos fuertemente, es mayor que el peso de cada grano, y su resistencia a las fuerzas de arrastre y sustentación ocasionadas por el flujo de agua. Luego de vencer la cohesión, las partículas se comportan como las no cohesivas, por acción de su peso al no influir en sus movimientos; cuando el agua en su acción se detiene, muchos coloides no sedimentan por sí solos, haciéndolos por acción de sales (floculación: formación de grumos o flóculos). (pág. 8).

#### **Activación Alcalina**

Según Torres (2015) “existen razones respecto a la activación alcalina de aluminosilicatos de diferentes procedencias (natural: arcillas o industrial: escorias de alto horno, cenizas volantes, etc.). una vez que son activados por acción de soluciones

alcalinas, se producen estructuras compactas. En el caso del cemento Portland, en su proceso productivo se evita la presencia de gases de invernadero con alto cuidado ambiental (pág. 13)

### **1. 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 Joseph Davidovits” (Davidovits, 2008, 1991, 1982).

### **2. Activación alcalina a través de la historia**

La industria cementera está en constante discusión el rol que desempeña, así Davidovits, fue el impulsor de la conexión entre los "geopolímeros" en el papel que desempeñaron en construir las pirámides, debido a que las pirámides utilizaron grandes bloques de rocas en su proceso constructivo, presumiéndose la presencia química parecida a la activación alcalina. Se realizó un análisis más detallado, que

reafirmaron la nula presencia de estos, siendo la ciencia hasta hora no capaz de determinar la química utilizada. (Provis and van Deventer, 2014).

El debate siempre ha estado abierto, acerca también de relación entre antiguos hormigones romanos (Vitruvius, 1960), que varían en su composición, funcionalidad y duración, principalmente su funcionamiento está basado en activar materiales como cenizas volcánicas (Gotti et al., 2008), con compuestos en calcio, con pH elevado como consecuencia de la reacción de la cal con el material puzolánico. (Brandon et al., 2005), al examinar restos con 2000 años de antigüedad, éstos tenían presencia de zeolitas (analcima:  $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6)\cdot\text{H}_2\text{O}$ ); sustancia presente en volcanes. A la vez que estudios profundos realizados en morteros de procedencia romana con puzolana sin reaccionar, expusieron concentraciones grandes de analcima (Sánchez-Moral et al., 2005). Posibilitando la premisa que esto dio presencia de zeolitas (Abe et al., 1973).

El creciente interés de los estudiosos por comparar el hormigón romano, es por su dureza, duración y demás propiedades, porque a través de los años transcurridos han resistidos a entornos sumamente agresivos, ya sea bajo el mar, o por acciones sísmicas. Siendo muy importantes el estudio de las estructuras encontradas en ingeniería hidráulica, sus caminos construidos; etc. todos ellos se conservan bien hasta la actualidad, proporcionando una lección ingenieril respecto a sus construcciones realizadas (Torres Carrasco, 2015, pág. 38.)

Siendo necesario, por esta razón discernir cuidadosamente las propiedades de los cementos de la antigüedad y los modernos, basándose mayormente en la alcalinidad, sólo así se puede llegar a conclusiones valederas sobre los materiales usados en su composición, mayormente respecto a su duración (acción química). (Torres Carrasco, 2015, pág. 38)

### **3. Aplicaciones de los cementos alcalinos**

Países como Rusia, China y otros han desarrollado sus construcciones con cementos y hormigones con propiedades alcalinas (desde 1958), por tanto han adquiridos mucha experiencia tanto en el diseño, producción y sus aplicaciones, constituyendo

herramientas valiosas del desarrollo de estos cementos. (Torres Carrasco, 2015, pág. 40).

En el período comprendido entre 1999-2000, científicos de Ucrania, analizaron estructuras realizadas con cemento y su estructura a base de hormigón (llámese edificios, terraplenes de ferrocarriles, pavimentos, etc), todos de tipo alcalino, llegaron a la conclusión que su funcionamiento es normal y todos superan el rendimiento del hormigón de cemento Portland empleado en la misma zona. Diversas pruebas realizadas concluyeron que las propiedades del hormigón dependen de las materias primas utilizadas, las condiciones de servicio y la edad. (Torres Carrasco, 2015, pág. 40).

Científicos españoles y australianos, recientemente desarrollaron diversas clases de aplicaciones a base de hormigón de ceniza volante activada alcalinamente (Hardjito et al., 2004; Palomo et al., 2004a). Todos tienen mayor resistencia mecánicas que los de cemento Portland (OPC) a la vez de presentar mejora adherencia (Jiménez-Fernández et al., 2004).

Para finalizar, es necesario acotar que estructuras realizadas con ceniza volante activada alcalinamente, fueron realizados sin realizar modificación alguna en su producción, respecto a los que se utiliza en los prefabricados convencionales de cemento Portland (Palomo et al., 2004b).

### **1.7. Definición de términos básicos.**

¿Qué influencia tiene el porcentaje de sedimento 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?

#### **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.

### **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.

### **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.

### **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.

### **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.

### **Porcentaje**

El porcentaje es un término que se utiliza para escribir los números bajo la

aparición 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”.

### **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.

### **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 aspersión, 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.

### **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.

### **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.

### **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.

## **1.8. Formulación de la hipótesis.**

### **Hipótesis General**

La adición de sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MP la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.

Tabla 1. Elaboración de hipótesis general

HIPÓTESIS GENERAL	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES
	Variables	Unidad de análisis	Conector lógico	El espacio
La adición de sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio aumenta la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú	VI: 1. Sedimentos de clarificación de aguas de riego. 2. Silicato de sodio.	Mezcla 60% de suelo – 40% de sedimento	Aumenta de 15 a 80%	Provincia de Virú
	VD: Capacidad de soporte y resistencia a la compresión triaxial.		Aumenta de 1000 a 1700 MPa	

### Hipótesis Específicas

- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 2 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.
- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 4 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.
- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 6 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.
- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 8 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.

Tabla 2. Elaboración de la primera hipótesis específica

<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICA</b>	<b>COMPONENTES METODOLÓGICOS</b>			<b>COMPONENTES REFERENCIALES</b>
	<b>Variables</b>	<b>Unidad de análisis</b>	<b>Conector lógico</b>	<b>El espacio</b>
La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 2% de silicato de sodio aumenta la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.	<b>VI:</b> 1. Sedimentos de clarificación de aguas de riego. 2. Activación alcalina con 2% de silicato de sodio	Mezcla 60% de suelo – 40% de sedimento	Aumenta de 15 a 80%	Provincia de Virú
	<b>VD:</b> Capacidad de soporte y resistencia a la compresión triaxial.		Aumenta de 1000 a 1700 MPa	

Tabla 3. Elaboración de la segunda hipótesis específica

<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICA</b>	<b>COMPONENTES METODOLÓGICOS</b>			<b>COMPONENTES REFERENCIALES</b>
	<b>Variables</b>	<b>Unidad de análisis</b>	<b>Conector lógico</b>	<b>El espacio</b>
La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 4% de silicato de sodio aumenta la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión triaxial ecológica de los suelos arenosos de la provincia de Virú.	VI: 1. Sedimentos de clarificación de aguas de riego. 2. Activación alcalina con 4% de silicato de sodio	Mezcla 60% de suelo – 40% de sedimento	Aumenta de 15 a 80%	Provincia de Virú
	VD: Capacidad de soporte y resistencia a la compresión triaxial.		Aumenta de 1000 a 1700 MPa	

Tabla 4. Elaboración de la tercera hipótesis específica

<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICA</b>	<b>COMPONENTES METODOLÓGICOS</b>			<b>COMPONENTES REFERENCIALES</b>
	<b>Variables</b>	<b>Unidad de análisis</b>	<b>Conector lógico</b>	<b>El espacio</b>
La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 6% de silicato de sodio aumenta la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos	VI: 1. Sedimentos de clarificación de aguas de riego. 2. Activación alcalina con 6% de silicato de sodio	Mezcla 60% de suelo – 40% de sedimento	Aumenta de 15 a 80%	Provincia de Virú
	VD: Capacidad de soporte y resistencia a la compresión triaxial.		Aumenta de 1000 a 1700 MPa	

de la provincia de Virú.				
--------------------------	--	--	--	--

Tabla 5. Elaboración de la cuarta hipótesis específica

HIPÓTESIS ESPECÍFICA	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES
	Variabes	Unidad de análisis	Conector lógico	El espacio
La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 8% de silicato de sodio aumenta la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.	VI: 1. Sedimentos de clarificación de aguas de riego. 2. Activación alcalina con 8% de silicato de sodio	Mezcla 60% de suelo – 40% de sedimento	Aumenta de 15 a 80%	Provincia de Virú
	VD: Capacidad de soporte y resistencia a la compresión triaxial.		Aumenta de 1000 a 1700 MPa	

## II. MATERIAL Y MÉTODOS.

### 2.1. Material:

#### a. Materiales.

Clasificador de gastos	Nombre y Característica Técnico	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
2.6.32.21	<b>DE MAQUINARIA Y EQUIPO</b>				275060.00
	Equipo Triaxial Automatizado - Humbolt	Unidad	1	90000.00	90000.00
	Equipo CBR - Humbolt	Unidad	1	30000.00	30000.00
	Moldes y martillo para ensayo Proctor	Unidad	1	3500.00	3500.00
	Kit para Límite Líquido - ELE	Unidad	1	2000.00	2000.00
	Kit para Límite Plástico - ELE	Unidad	1	600.00	600.00
	Kit para Límite de contracción - ELE	Unidad	1	700.00	700.00
	Tamizadora, ELE International	Unidad	1	1750.00	1750.00
	Mallas (rango grueso y rango fino) – Tyler	Unidad	1	3550.00	3550.00
	Kit para Hidrometría - Humbolt	Unidad	1	15000.00	15000.00
	Kit para Equivalente de arena - ELE	Unidad	1	11000.00	11000.00
	Kit para Densidad relativa de suelos no	Unidad	1	65000.00	65000.00



	cohesivos - ELE				
	Cono de arena para densidad de campo	Unidad	1	2500.00	2500.00
	Medidor multiparamétrico para suelos	Unidad	1	38000.00	38000.00
	Estufa de secado – Marca Selecta	Unidad	1	4700.00	4700.00
	Balanza Analítica de 0.1 mg – Marca Kern	Unidad	1	3350.00	3350.00
	Balanza Electrónica de 0.01 g y 3200 g de capacidad - AND/A&D Company Limited	Unidad	1	3000.00	3000.00
	Balanza digital de 1 g de 50 kg de capacidad	Unidad	1	130.00	130.00
	Espátula	Unidad	1	5.00	5.00
	Latas de secado	Unidad	5	11	55.00
	Crisoles de porcelana	Unidad	2	20	40.00
	Vernier Digital	Unidad	1	180.00	180.00
2.3.15.1	<b>DE OFICINA</b>				3340.00
	Computadora	Unidad	1	2500.00	2500.00
	Impresora HP	Unidad	1	250.00	250.00
	Calculadora	unidad	1	40.00	40.00
	Cámara fotográfica digital	Unidad	1	550.00	550.00
2.3.15.12	<b>PAPELERIA EN GENERAL, UTILES Y MATERIALES DE</b>				45.00

	<b>OFICINA</b>				
	Corrector	Unidad	1	2,00	2.00
	Lapicero	Unidad	2	1.00	2.00
	Resaltador	Unidad	1	2.50	2.50
	Memoria USB 4GB – Kingston	Unidad	1	35.00	35.00
	Borrador	Unidad	1	1.00	1.00
	Cuaderno Apunte	Unidad	1	2.50	2.50
<b>TOTAL</b>					
S./ 278,445.00					

**b. Humanos :**

Josualdo Villar Quiroz  
Ciro Ynoki Kusaka Lozano

**C. Servicios:**

- Biblioteca de la Escuela Civil - UPRIT.
- Lab. para caracterización por Difracción y Fluorescencia de Rayos X.
- Luz, agua y energía eléctrica.

**a. Recursos no disponibles**

**i. Bienes.**

<b>Clasificador de Gastos</b>	<b>Nombre y Características Técnicas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (S/.)</b>	<b>Costo Total (S/.)</b>
2.3.199.12	<b>PRODUCTOS QUÍMICOS</b>				250.00
	Silicato de sodio	Litros	10	5.00	50.00
	Sedimento de clarificación de aguas de riego	Kg.	100	1.00	100.00
2.3.1 6.14	<b>DE SEGURIDAD</b>				16.00
	Mascarilla	Unidad	2	3.00	6.00

	Lentes	Unidad	1	10.00	10.00
2.3.15.12	<b>PAPELERIA EN GENERAL, UTILES Y MATERIALES DE OFICINA</b>				114.60
	Papel bon A4,80gr	Und	1 mill	23.00	23.00
	Lapicero tinta liquida	Und	4	2.00	8.00
	Tinta para impresora HP	Und	2	41.00	82.00
	Cds,sony 700Mb/80mim	Und	2	0.80	1.60
2.3.17.11	<b>ENSERES</b>				317.50
	Baldes	Und	1	30.00	30.00
	Varilejo	Und	1	18.00	18.00
	Tinas	Und	1	20.00	20.00
	Moldes de Acero	Und	6	8.00	48.00
	Planchas de vidrio	Und	6	4.00	24.00
				Total S/.	348.10

**ii. Servicios.**

<b>Clasificador de Gastos</b>	<b>Nombre y Características Técnicas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (S/.)</b>	<b>Costo Total (S/.)</b>
2.3.27.15	<b>ESTUDIOS E INVESTIGACIONES</b>				900.00
	Análisis de Microscopía electrónica de barrido – SEM-EDS	Unidad	4	50.00	<b>200.00</b>
	Análisis por Difracción de Rayos X	Unidad	4	25.00	<b>100.00</b>
	Análisis por Fluorescencia de Rayos X	Unidad	4	150.00	<b>600.00</b>
2.3.21.21	<b>VIATICOS Y ASIGNACION POR COMISIÓN DE SERVICIO</b>				58.00
	Movilidad	Unidad	10	1.00	<b>10.00</b>

	Alimentación	Unidad	8	6.00	<b>48.00</b>
2.3.22.42	<b>OTROS SERVICIOS DE PUBLICIDAD Y DIFUSIÓN</b>				33.50
	Fotocopiado	Unidad	70	0.05	3.50
	Internet	Horas	30	0.50	15.00
	Encuadernado	Unidad	6	2.50	15.00
				<b>Total S/.</b>	91.50

## 2.2. Material de estudio.

### 2.2.1. Población.

Todos los suelos arenosos de los terrenos agrícolas habilitados en el proyecto Chavimochic de la Provincia de Virú en el año 2019.

### 2.2.2. Muestra.

La muestra es el suelo arenoso de los caminos de acceso a las zonas agrícolas en el fundo de la Empresa Agua Lima S.A.C. ubicada en Virú. La técnica de muestreo empleado en la presente investigación es **No Probabilístico** porque en la investigación no todos los elementos tienen la misma probabilidad de pertenecer a la muestra. El tipo de muestreo es **por conveniencia** porque de las muchas empresas agrícolas de la zona es la que nos ha brindado todas las facilidades para la obtención de la muestra.

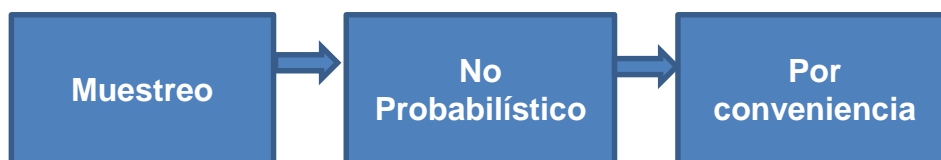


Figura 1. Selección del tipo de muestreo

Para la presente investigación se realizará una calicata para extraer 500 kg de suelo arenoso, cantidad necesaria para elaborar las probetas o

unidades de análisis que se obtendrán mezclando 60% suelo arenoso con 40% de sedimento obtenido de la clarificación de aguas de riego que produce la misma empresa, la que a su vez se estabilizará con cantidades variables de silicato de sodio (0%, 2%, 4%, 6% y 8%) que actúa como activador alcalino. Se considerarán 3 réplicas para cada nivel de estudio en la determinación de las 2 variables respuesta: resistencia a la compresión triaxial y el índice CBR.

Para representar estos suelos se confeccionarán un total de 50 probetas o unidades de análisis para determinar las propiedades de Resistencia a la Compresión Triaxial (5 niveles x 5 réplicas = 25 probetas) y el índice CBR (5 niveles x 5 réplicas = 25 probetas).

Tabla 6. Número de probetas por propiedad determinada

% Activador Alcalino (Silicato de sodio)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAxIAL	ÍNDICE CBR
0 %	5	5
2 %	5	5
4 %	5	5
6 %	5	5
8%	5	5
<b>SUB-TOTAL</b>	25	25
<b>TOTAL</b>	50	

### 2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

#### 2.3.1. Para recolectar datos.

Se utilizará la OBSERVACIÓN como técnica de recolección de datos puesto que vamos a seleccionar, ver y registrar las características del suelo a analizar.

#### 2.3.2. Para procesar datos.

En la Gráfica N° 4 se presenta un diagrama en la que se muestran las etapas a seguir en el procedimiento experimental de la recolección de datos de la presente investigación.

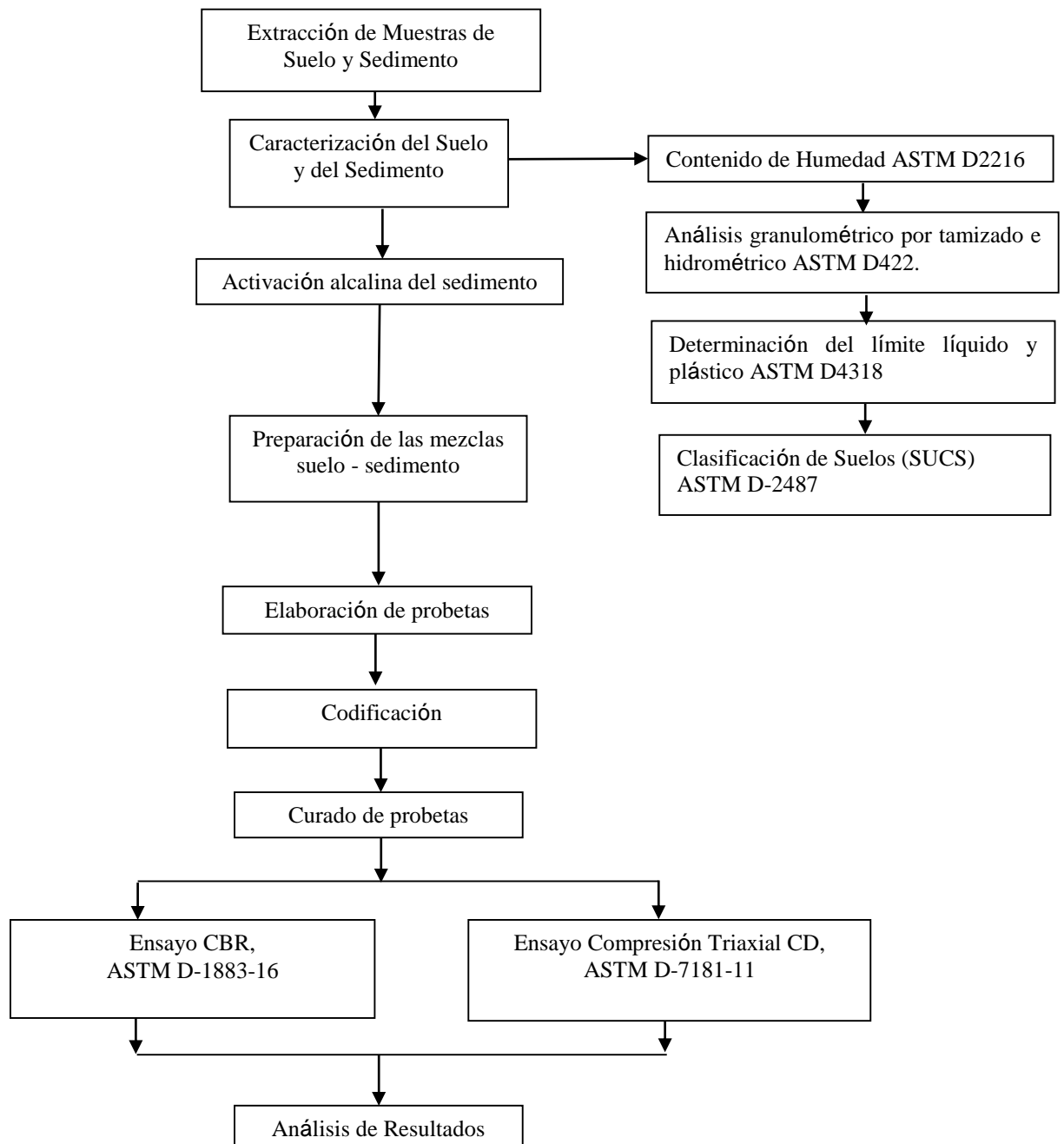


Figura 2. Diagrama del procedimiento experimental de la investigación

**a. Extracción de Muestras de Suelo y Sedimento.**

El muestreo tanto del suelo como del sedimento consistirán en realizar calicatas a una profundidad de 1.50 metros en el Fundo Agua Lima. El

material extraído se colocará en bolsas negras para posteriormente ser trasladadas al laboratorio de Cerámico y Suelos de la Universidad Nacional de Trujillo, en donde serán analizados a través de diferentes ensayos para caracterizarlos. Con el fin de identificar las muestras extraídas, estas serán etiquetadas con la fecha de cuando fueron extraídas y la ubicación de donde proviene el material. Después de extraer las muestras de las calicatas realizadas, se deberán efectuar los siguientes ensayos de laboratorio:

## **b. Caracterización del Suelo y del Sedimento.**

### **b.1 Contenido de humedad (ASTM D-2216, MTC E108)**

#### **Procedimiento:**

Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada). Seleccionar especímenes de ensayo representativos. Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.

Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a  $110 \pm 5$  °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para obtener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.

Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en 8.3. Registrar este valor. Las

tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

### **Cálculo**

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100$$
$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

En donde:

W: es el contenido de humedad, (%)

M<sub>cws</sub>: es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

M<sub>cs</sub>: es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos:

M<sub>c</sub>: es el peso del contenedor, en gramos

M<sub>w</sub>: es el peso del agua, en gramos

M<sub>s</sub>: es el peso de las partículas sólidas, en gramos

### **b.2 Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422, MTC E107)**

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

#### **Procedimiento:**

Obtener por cuarteo una muestra uniforme, pesar la muestra y secarla en el horno durante 24 horas. Luego, dejar enfriar y pesar la muestra. La muestra estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz N.º 4 y otra que pase dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayan por separado. Para la porción de muestra retenida en el tamiz N.º 4, el peso va a depender del tamaño máximo de las partículas:



**Tabla 7.** Selección del peso mínimo de acuerdo al diámetro nominal

<b>Diámetro nominal de las partículas más grandes, mm (pulg)</b>	<b>Peso mínimo aproximado de la porción (gr)</b>
9.5 (3/8")	500
19.6 (3/4")	1,000
25.7 (1")	2,000
37.5 (1 1/2")	3,000
50.0 (2")	4,000
75.0 (3")	5,000

El tamaño de la porción que pasa el tamiz N.º 4 será de 115 gr aproximadamente para suelos arenosos y de 65 gr para suelos arcillosos y limosos. Tomar el peso del material requerido y lavarlo a través del tamiz N.º 200. El material que quede retenido deberá secarse en el horno por 24 horas. La fracción retenida en el tamiz N.º 4 será separada en una serie de fracciones usando los tamices de 75 mm (3"), 50 mm (2"), 38.1 mm (1 1/2"), 25.4 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.7 mm (N.º 4), mediante tamizado manual. En el tamizado manual, se mueven los tamices de un lado a otro, recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla.

### **b.3 Análisis Granulométrico por Hidrómetro NTP 339.128**

Procedemos a preparar la muestra con una cantidad de 80 gr. de suelo, pesada en una balanza marca KERN de 0.1mg de sensibilidad de capacidad de 220 gr.

$$W_s = \frac{\text{Peso del Suelo Humedo}}{1 + \frac{\text{Humedad}(w)}{100}}$$

Donde la humedad (w) se determinará usando una porción de muestra que no vaya a ser ensayada. (Norma MTC E 128). Luego colocamos la muestra en un recipiente de 250ml codificada agregamos agua destilada hasta que la muestra quede totalmente sumergida. Colocamos el agente dispersante en este momento: 125 mL de solución de hexametáfosfato de sodio (40

g/L), dejamos la muestra que se remoje por un día. Transferimos la muestra la muestra con agua, de la cápsula a un vaso de dispersión lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada. Agregamos agua al vaso de dispersión si es necesario, hasta que la superficie de ésta quede de 50 a 80 mm por debajo de la boca del vaso. Colocamos el vaso de dispersión en el aparato agitador durante un minuto.

La dispersión se hará de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 7. Dispersión en Análisis Hidrométrico

<b>Índice de Plasticidad del suelo</b>	<b>Período de dispersión min.</b>
Menor de 5%	5
Del 6% a 20%	10
Mayor del 20%	15

Se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 mL. La suspensión debe ser llevada a la temperatura que se espera prevalecerá en el laboratorio durante el ensayo. Un minuto antes de comenzar el ensayo, tomamos el cilindro de sedimentación y tapándolo con la mano o con un tapón adecuado, agítase la suspensión durante varios segundos, con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme.

Al terminar el minuto de agitación, colocamos el cilindro sobre una mesa. Ponemos en marcha el cronómetro. Si hay espuma presente, removemos tocándola ligeramente con un pedazo de papel absorbente. Introducimos lentamente el hidrómetro en la suspensión. Observamos y anotamos las dos primeras lecturas de hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa, extraemos cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y colocamos en un cilindro graduado con agua limpia, para evitar parte del material que se está asentando se puede adherir al bulbo.

Luego, introducimos nuevamente el hidrómetro y realícense lecturas a los

5; 15; 30; 60; 120; 250 y 1 440 minutos. Después de realizar la lectura de hidrómetro de los 2 minutos y después de cada lectura siguiente, colocamos un termómetro en la suspensión, medimos la temperatura y anotamos con una aproximación de 0,5 °C.

**Cálculos:**

- 1)  $R = R_{CL} = R' + C_m$
- 2)  $R_{CP} = R + C_t - C_d$
- 3)  $\% \text{ que pasa} = \frac{a R_{cd}}{W_s} \times 100$
- 4)  $D = K \sqrt{\frac{L(cm)}{t(min)}}$

Tabla 8. Valores de Ct para la corrección por temperatura de las lecturas del hidrómetro. Para hidrómetro tipo 152-H

Temp. C	Ct
	Hidrómetro graduado en Concentración(gr/litro)*
10	-2
11	-1.9
12	-1.8
13	-1.6
14	-1.4
15	-1.2
16	-1
17	-0.8
18	-0.5
19	-0.3
20	0
21	0.3
22	0.6
23	0.9
24	1.3
25	1.7
26	2
27	2.4
28	2.9
29	3.3
30	3.7

Tabla 9. Valores de la Profundidad efectiva basados en hidrómetro y cilindro de sedimentación de dimensiones especificadas

<b>HIDROMETRO 152 H</b>		
<b>Profundidad efectiva L(cm)</b>	<b>Lectura del hidrómetro* R' +Cm</b>	<b>Profundidad efectiva L(cm)</b>
16,3	-	-
16,1	31	11.2
16	32	11.1
15.8	33	10.9
15.6	34	10.7
15.5	35	10.6
15.3	36	10.4
15.2	37	10.2
15	38	10.1
14.8	39	9.9
14.7	40	9.7
14.5	41	9.6
14.3	42	9.4
14.2	43	9.2
14	44	9.1
13.8	45	8.9
13.7	46	8.8
13.5	47	8.6
13.3	48	8.4
13.2	49	8.3
13	50	8.1
12.9	51	7.9
12.7	52	7.8
12.5	53	7.6
12.4	54	7.4
12.2	55	7.3
12	56	7.1
11.9	57	7
11.7	58	6.8
11.5	59	6.6
11.4	60	6.5

Tabla 10. Valores de K para el cálculo del diámetro de partículas en el análisis hidrométrico

Tem °C	Peso específico de las partículas del suelo								
	2.45	2.5	2.55	2.6	2.65	2.7	2.75	2.8	2.85
10	0,01659	0,01631	0,01604	0,1583	0,1555	0,01532	0,0151	0,01488	0,01468
11	0,01636	0,01608	0,01582	0,01557	0,01533	0,01511	0,01489	0,01468	0,01448
12	0,01613	0,01586	0,01560	0,01535	0,01512	0,01490	0,01468	0,01448	0,01428
13	0,01591	0,01565	0,01539	0,01515	0,01492	0,01470	0,01449	0,01428	0,01409
14	0,01571	0,01544	0,01519	0,01495	0,01474	0,01451	0,01430	0,01410	0,01391
15	0,01551	0,01525	0,01500	0,01476	0,01454	0,01432	0,01412	0,01392	0,01373
16	0,01530	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,01414	0,01394	0,01374	0,01356
17	0,01521	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356	0,01338
18	0,01492	0,01467	0,01443	0,01421	0,01399	0,01378	0,01359	0,01339	0,01321
19	0,01437	0,01449	0,01425	0,01403	0,01382	0,01361	0,01342	0,01323	0,01305
20	0,01456	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307	0,01289
21	0,01438	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291	0,01273
22	0,01421	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276	0,01258
23	0,01404	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261	0,01243
24	0,01388	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246	0,01229
25	0,01372	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232	0,01215
26	0,01357	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01219	0,01201
27	0,01342	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204	0,01188
28	0,01327	0,01304	0,01283	0,01264	0,01244	0,01225	0,01208	0,01191	0,01175
29	0,01312	0,01290	0,01269	0,01249	0,01230	0,01212	0,01195	0,01178	0,01162
30	0,01298	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01165	0,01149

Tabla 11. Valores del coeficiente de corrección para distintos pesos específicos de las partículas del suelo

Peso	Coeficiente "a"	Peso Especifico	Coeficiente "a"	Peso Especifico	Coeficiente "a"
2,45	1,05	2.6	1.01	2,75	0,98
2,50	1,03	2,65	1,00	2,80	0,97
2,55	1,02	2,70	0,99	2,85	0,96

#### **b.4 Límite Líquido (ASTM D-4318, MTC E110)**

##### **Procedimiento**

Tomar una muestra que pese 150 - 200 g de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (N° 40). Colocar la muestra de suelo en la vasija de porcelana y mézclase completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. Mezclar completamente cada incremento de

agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición. Algunos suelos son lentos para absorber agua, por lo cual es posible que se adicionen los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso. Esto puede evitarse mezclando más y durante un mayor tiempo (1 hora aproximadamente).

Cuando haya sido mezclada suficiente agua completamente con el suelo y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre, colocar una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sitio en que ésta reposa en la base, y comprimirla hacia abajo, extender el suelo con tan pocas pasadas de la espátula como sea posible, teniendo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa. Nivelése el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparéjeselo hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo. Regresar el exceso de suelo a la vasija de porcelana.

Dividir el suelo en la taza de bronce por pasadas firmes del acanalador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas. Para evitar rasgaduras en los lados de la ranura o escurrimientos de la pasta del suelo a la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el acanalador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. Hacer una ranura con el menor número de pasadas posible. Elevar y golpear la taza de bronce girando la manija F, a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5"). Anotar el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

En lugar de fluir sobre la superficie de la taza algunos suelos tienden a deslizarse. Cuando esto ocurra, deberá agregarse más agua a la muestra y mezclarse de nuevo, se hará la ranura con el acanalador y se repetirá el procedimiento desde la tercera viñeta; si el suelo sigue deslizándose sobre la taza de bronce a un número de golpes inferior a 25, no es aplicable este

ensayo y deberá indicarse que el límite líquido no se puede determinar. Sacar una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura e incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto, y colocarla en un recipiente adecuado. Pesarla y anotarla. Colocar el suelo dentro del pesafiltro en el horno a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F) hasta obtener peso constante y volver a pesar tan pronto como se haya enfriado, pero antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Anótese este peso, así como la pérdida de peso debida al secamiento y el peso del agua.

**Cálculo:**

Calcular el contenido de humedad del suelo, expresándolo como porcentaje del peso del suelo secado en el horno, como sigue:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

Calcular el porcentaje de humedad, con aproximación a un entero. Preparación de la curva de fluidez. Trazar una "curva de fluidez" que represente la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la taza de bronce, en un gráfico de papel semilogarítmico. Con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa sobre la escala logarítmica. la curva de flujo es una línea recta promedia, que pasa tan cerca como sea posible a través de los tres o más puntos dibujados.

Límite líquido. Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como límite líquido del suelo y aproxímesese este valor a un número entero. Transferir el suelo sobrante en la taza de bronce a la cápsula de porcelana. Lavar y secar la taza de bronce y el ranurador y armar de nuevo el aparato del límite líquido para repetir el ensayo.

Repetir la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales, con el suelo restante en la vasija de porcelana, al que se le ha agregado agua

suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25. De esta manera, el alcance de las 3 determinaciones debe ser de 10 golpes.

#### **b.5 Límite Plástico (ASTM D-4318, MTC E111)**

##### **Procedimiento**

Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 gr a 2,0 gr de dicha esfera como muestra para el ensayo. El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.

Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros. Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro. El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelos.



En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños. La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesafiltros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108. Se repite, con la otra mitad de la masa, el mismo proceso indicado.

**Cálculo:**

Calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados listados en la tabla 1 para la precisión de un operador.

Tabla 12. Estimados de precisión:

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple Límite Plástico	0.9	2.6
Precisión Multilaboratorio Límite Plástico	3.7	10.6

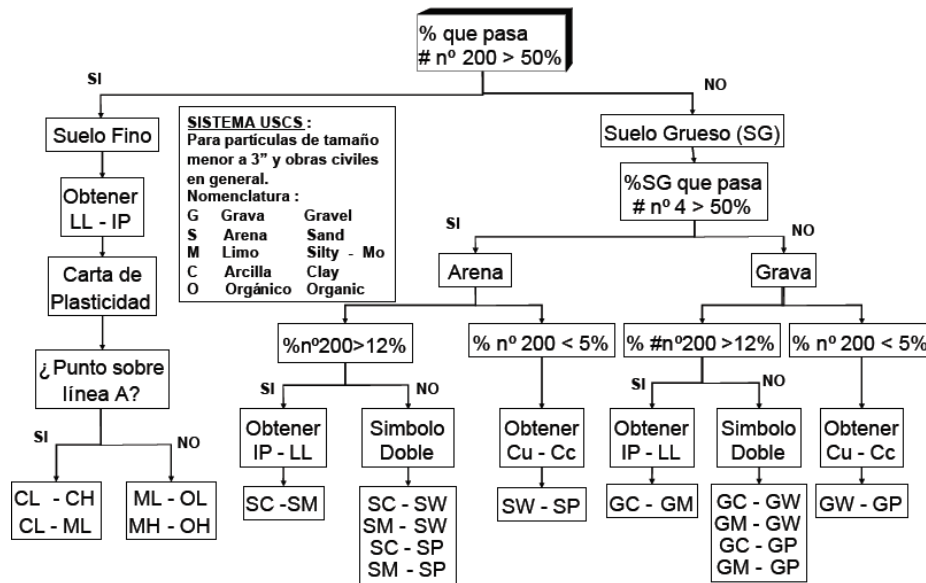
El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

**b.6 Clasificación SUCS (ASTM D-2487)**

La clasificación de suelos más usada desde el punto de vista de mecánica de suelos es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) el cual asigna un símbolo para cada uno de los tipos de suelo, ya sean orgánicos o inorgánicos. Sus principales parámetros de clasificación son: el Límite Líquido (LL), el Límite Plástico (LP) y el tamaño de partículas

(granulometría). Los cuales describen el comportamiento mecánico del suelo.



### c. California Bearing Ratio (ASTM D-1883, MTC E132)

#### Procedimiento

Acá son obtenidos los valores de la relación por medio de ensayos con igual peso unitario y contenido de agua. La condición de humedad crítica (más desfavorable) se obtiene al ser saturado el material. Así el Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. realiza el ensayo respectivo de los especímenes una vez sumergidos en agua por cuatro (4) días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material.

Preparación de la Muestra.- El procedimiento sigue la normatividad señalada anteriormente (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, usando equipo estándar o modificado). Si el 75% o más en peso muestral al pasar por tamiz de 19.1 mm (3/4"), en este caso se realiza con el material pasado por el tamiz. Si la fracción es mayor al 25% en peso, el material retenido es separado, cambiándolo por uno en proporción igual, por los tamices de 19.1 mm (3/4") y de 4.75 mm (No. 4), como resultado de tamizar otra porción de la muestra. Una cantidad considerada suficiente es tomada luego para realizar el ensayo de apisonado, más 5 kg por cada

molde CBR.

La humedad óptima y densidad máxima es determinada por el ensayo conocido como compactación, donde especímenes en número adecuado son compactados variando el volumen del agua, para lograr la humedad óptima y el peso unitario máximo. Para esto, se recurre a la energía del Proctor Estándar, la del Proctor Modificado y una Energía Inferior al Proctor Estándar. Todo esto permite estudiar como la relación de soporte varía debido a estos factores afectados. Luego los resultados son graficados tomando un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

La humedad natural del suelo es determinado por el proceso de secado realizado en una estufa, siguiendo la norma MTC E 108, luego de conocida, se adiciona el volumen de agua faltante con la finalidad de llegar a tener la humedad fijada para el ensayo.

Elaboración de especímenes. El molde es pesado, luego se adiciona el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro. Luego que el molde es realizado, el espécimen es compactado en su interior, recurriendo para esto a utilizar lo que se conoce como sistema dinámico de compactación, en cada molde se usa una proporción adecuada de agua y energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas (véase Figura 2a). Cada muestra utiliza por lo menos tres a nueve moldes, tomando en cuenta el tipo de suelo granular, tomando diversos grados de compactación. En el caso de suelos granulares, esta prueba es realizada dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima.

En el caso de suelos cohesivos se necesita observar como se comporta en amplio intervalo de humedades. Las curvas se desarrollan para 55, 26 y 12 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una

familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Inmersión. La placa perforada es situada sobre la muestra invertida, encima son colocados los anillos en cantidad necesaria por el motivo que la sobrecarga debe ser completada, para que origine una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2,27 kg (5,5 lb) correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4,54 kg (10 lb)

La primera lectura es tomada como consecuencia de conocer el hinchamiento producido, para esto el vástago del dial se debe hacer coincidir con el de la placa perforada. La lectura es tomada así como fecha y hora. Luego el molde es introducido en el agua por su parte inferior y superior de la muestra. La probeta es mantenida así por 96 horas, teniendo en cuenta que el nivel de agua se considere constante. Si los suelos granulares la inmersión debe ser mas corta, la condición será que los ensayos demuestren que este procedimiento de ningún modo afectará los resultados.

Cuando la inmersión finaliza, el deformímetro es leído con la finalidad de determinar el hinchamiento producido, siendo necesario marcar la posición de las patas del trípode en el borde del molde con el objetivo de llevar a cabo lecturas sucesivas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen. Luego el molde es sacado del tanque, procediendo a echar el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición.

El molde es escurrido por unos 15 minutos y luego la sobrecarga es retirada. Luego el molde es escurrido en 15 minutos, procediendo luego a retirar la sobrecarga y placa perforada, luego se realiza el pesado y se lleva a cabo el ensayo de penetración. Para realizar esto, es indispensable que el

tiempo sea el adecuado desde el momento en que la sobrecarga es retirada hasta que se vuelve a colocar con el fin de proceder con el ensayo de penetración.

Penetración. Una sobrecarga es aplicada, ésta debe ser lo suficiente para que produzca una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con  $\pm$  2.27 kg de aproximación) pero no menor de 4.54 kg (10 lb). Si se desea evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es necesario asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra, Llévese el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añada el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. El dial medidor es montado para medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N (5 kg) para que el pistón asiente. Las agujas de los diales medidores son situadas en cero; al igual que el anillo dinámico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración. La carga es colocada sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. Se toman lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

### **Penetración**

<b>Milímetros</b>	<b>Pulgadas</b>
<b>0.63</b>	<b>0.025</b>
<b>1.27</b>	<b>0.050</b>
<b>1.90</b>	<b>0.075</b>
<b>2.54</b>	<b>0.100</b>
<b>3.17</b>	<b>0.125</b>
<b>3.81</b>	<b>0.150</b>

Para definir la curva en su forma determinada es necesario apela a las lecturas. Luego el molde es desmontado, tomándose una muestra de la

zona cercana a la penetración realizada, con el objetivo de conocer la humedad.

### **Cálculo**

Humedad de compactación. Se refiere al porcentaje de agua necesaria para añadir al suelo con su humedad natural con el fin de lograr la humedad prefijada:

$$\%de\ agua\ a\ añadir = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H: Humedad prefijada h: Humedad natural

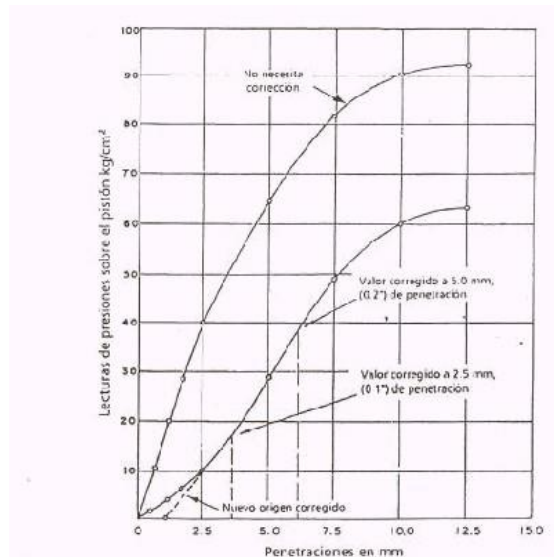
Densidad o peso unitario. Es calculada tomando el peso del suelo antes de ser sumergido, también la humedad. Ensayo Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

Agua absorbida. Se lleva a cabo de dos tipos: La primera partiendo de la data respecto a la humedad antes y luego de ser inmersa, la diferencia es el porcentaje de agua absorbida. Luego, la otra consiste en utilizar la humedad muestral retenida en el molde. Calculando a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

Por lo tanto, los resultados obtenidos pueden coincidir o no, dependiendo de la naturaleza del suelo permita que el agua sea absorbida uniformemente (aspecto de los suelos granulares), o no (suelos plásticos). Para este último caso, es necesario conocer el agua absorbida utilizando ambos procedimientos.

Presión de penetración. Resulta como consecuencia de ser calculada la presión, dibujándose la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva

Expansión. Se calcula la expansión por medio de restar las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 3.2. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").



$$\%Expansión = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

Donde:

L1 = Lectura inicial en mm.

L2 = Lectura final en mm.

Valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Viene a ser el porcentaje de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	lb/plg <sup>2</sup>
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

El índice CBR es calculado así:

Una curva es dibujada con la finalidad de relacionar las presiones (en las

ordenadas) y las penetraciones (en las abscisas), para luego ver si esta curva presenta un punto de inflexión. Al no presentarse punto de inflexión los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración son tomados. De suceder lo contrario, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

Los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm son leídos de la curva corregida y luego los valores de relación de soporte correspondientes son calculados, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (1000lb/plg<sup>2</sup>) y 10,3 MPa (1500 lb/plg<sup>2</sup>) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.

#### **d. Ensayo de Compresión Triaxial CU, 2.8" de diámetro ASTM D4767**

Este ensayo se trabajará con un equipo de HUMBOLDT (soporte prensa HM-3000 y la Celda Triaxial HM-2300.020) para moldes cilíndricos de diámetro de 2.8". Para la adquisición de datos se cuenta con un software HMTS.

Para la presente investigación se realizará la Prueba con consolidación y sin drenaje (CU), porque se utilizan esencialmente en suelos granulares (arenas), sin embargo, se puede aplicar en suelos finos, pero los ensayos requieren tiempos prolongados del orden de semanas.

- Colocar la piedra porosa en el pedestal y sobre tal la muestra de suelo adheridas con papel filtro.
- Colocar una membrana permeable sobre la muestra y asegurar con los anillos. Seguido colocar el pistón de carga y asegurar.



- Colóquese la cámara de ensayo con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Aplíquese una pequeña contrapresión y una presión de cámara, aproximadamente entre 7 y 14 kPa.
- Poner en movimiento el aparato de carga y dejar funcionar, después de la falla quitar las presiones y drenar el fluido de la cámara de ensayo.

#### 2.4. Operacionalización de variables.

En la tabla N° 1 se presenta la operacionalización de la variable dependiente.

Tabla 13. Operacionalización de la Variable Dependiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Items
Estabilización ecológica de suelos arenosos de la provincia de Virú.	Consiste en la mejora de las propiedades físicas del suelo a través de la incorporación de residuos industriales y/o productos naturales para darle estabilidad al sustrato fijándolo y garantizando la permanencia de su compactación en el tiempo, de una forma amigable con el medio ambiente (Adabi Ahmed, 2014).	Mejoramiento de los caminos de acceso a las zonas agrícolas de la provincia de Virú, en el control de polvo, la migración de arena y la erosión del terreno.	Capacidad de soporte	Ensayo CBR	- Fuerza - Área
			Resistencia del suelo	Resistencia a la compresión triaxial	- Fuerza - Área

### III. RESULTADOS.

En este capítulo se presentan los resultados de todos los ensayos de laboratorio ejecutados. Primero se presentan los de los suelos sin ningún tipo de tratamiento y posteriormente los correspondientes a los suelos con los diferentes tratamientos.

A lo largo de este capítulo, se hace referencia al suelo tal cual fue tomado en el sitio de muestreo como suelo y sedimento con granulometría original. Así mismo, se hace referencia a la mezcla de suelo-sedimento, con tamaños comprendidos entre 0.149 mm y 0.074 mm, como el suelo con la granulometría modificada que se mezcló así para minimizar los espacios vacíos y mejorar su cohesividad, el que finalmente se toma como patrón de comparación para evaluar la influencia de la adición de silicato de sodio. Finalmente, se muestran los resultados de los ensayos CBR y de la resistencia a la compresión triaxial.

### 3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Las muestras de suelo fueron recolectadas en el distrito de Virú del departamento de La Libertad, Perú. Esta corresponde a un suelo arenoso libre de materia orgánica cuya humedad natural es 1.01% (ASTM D-2216). El porcentaje que paso el tamiz N°4 y el tamiz N°200 fue de 100% y 0.64% respectivamente (ASTM D-422). Su módulo de finura fue de 1.1. Según el sistema de clasificación unificada de suelos (SUCS) le corresponde la denominación SP. Se trata de un suelo arenoso mal graduado con un índice de plasticidad igual a cero; las características organolépticas de este son similares al agregado fino empleado en la construcción. En la Tabla 5.1 y en las Figuras 5.1 y 5.2 se resaltan sus principales características.

Tabla 14. Propiedades del Suelo

Granulometría		Clasificación		Propiedades Físicas	
Grava	0%	SUCS	SP	Gravedad Esp.	2.62
Arena	99.36%	AASHTO	A-3 (0)	Índice Plástico	0
Finos	0.64%	Cu	2.3	Cc	0.9

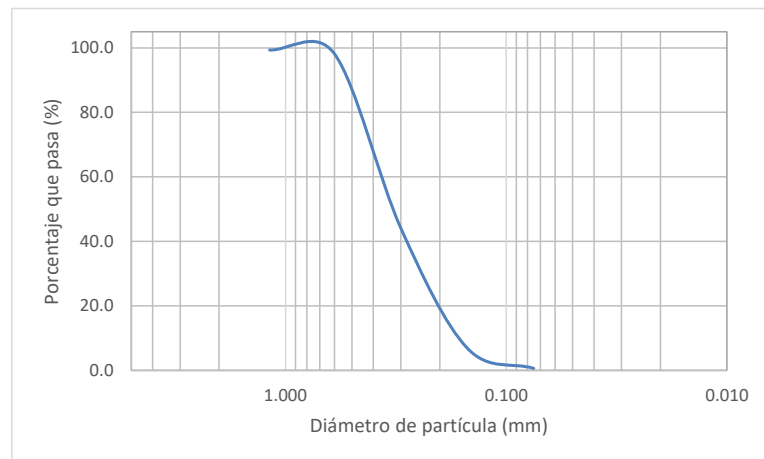


Figura 3. Análisis granulométrico del suelo arenoso

*En la Figura 5.1 se muestra la distribución granulométrica del suelo de los caminos de acceso a las zonas agrícolas de la empresa Agualima SAC. En esta curva se representa el porcentaje que pasa en función del tamaño de partícula. Es curva corresponde a una arena mal graduada fina con un tamaño de partícula promedio de 0.5 mm.*

La composición mineralógica se determinó por difracción de rayos x, realizado en un difractómetro Rigaku, modelo Miniflex 600; observándose que su componente principal es el cuarzo (Figura 5.2). La fracción gruesa está conformada por cuarzo, mientras que la fracción fina es predominantemente caolinita.

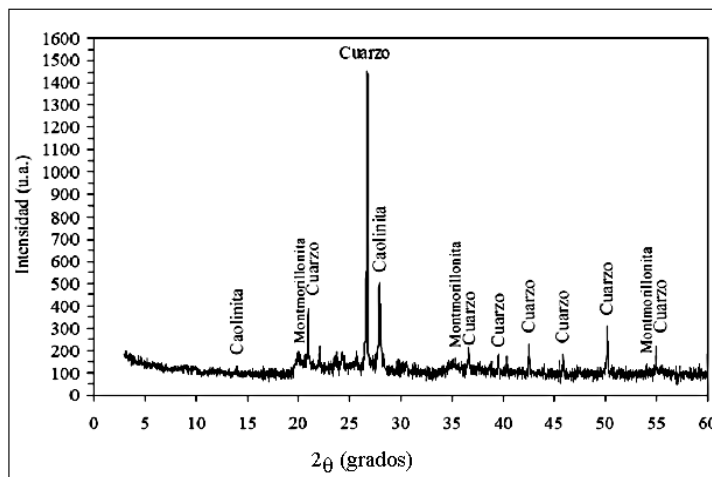


Figura 4. Análisis de difracción de rayos X (DRX) del suelo arenoso.

### 3.2. CARACTERIZACIÓN DEL SEDIMENTO

El sedimento está compuesto por un 70% de limo (entre 0.002 y 0.06 mm.) y un 20% de arcilla (< 0.002 mm.), así mismo el ensayo de peso específico de sólidos de suelo con picnómetro muestra que el material tiene una gravedad específica de 2.74 (ASTM D854). Los resultados se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 15. Análisis Hidrométrico del Sedimento

Tamiz	N°											
	50	N° 100	N° 200									
Abertura [mm]	0.25	0.149	0.074	0.044	0.031	0.021	0.015	0.012	0.009	0.006	0.003	0.001
% que pasa	100	99.3	95.5	56.25	54.35	44.85	42.95	38.2	33.45	30.6	28.5	10.45

Se identificaron las fases del sedimento utilizando un difractómetro Rigaku, modelo Miniflex 600, donde se observa que las principales fases son cuarzo, muscovita y caolinita tal como se muestra en la Figura 5.2.

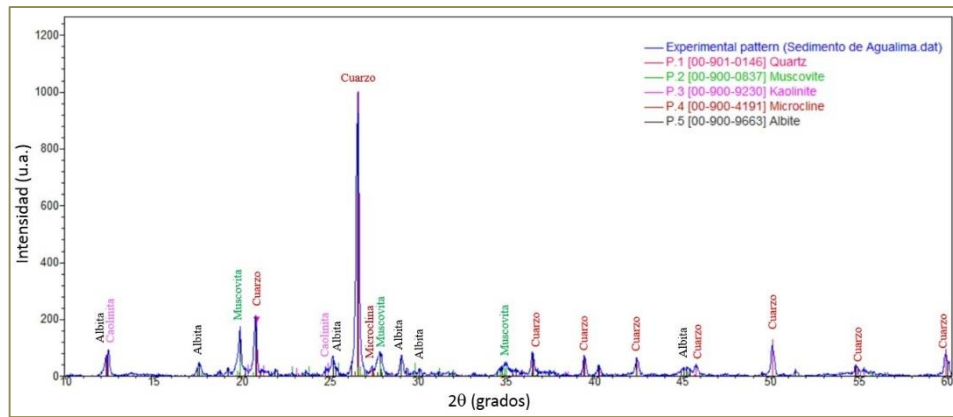


Figura 5. Análisis de difracción de rayos X (DRX) del sedimento.

El análisis de adsorción atómica realizado al sedimento empleado determinó su composición mineralógica revelando que está compuesto predominantemente por cuarzo, el cual es una fase cristalina de la sílice. El resultado se muestra en la Tabla 5.3.

Tabla 16. Composición mineralógica del Sedimento

Mineral	Cuarzo	Muscovita	Caolinita	Microlina	Albita	Pirofilita	Andalusita	Otros
Fórmula	SiO <sub>2</sub>	(K,Na)(Al, Mg, Fe) <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	K AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca) (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )O	-
Cantidad (%)	70.72	6.82	5.85	4.08	3.46	3.31	1.91	4.05

Para mejorar las propiedades del suelo se procedió primero a estabilizarlo mecánicamente combinando el suelo arenoso inestable con el sedimento obtenido en la clarificación de las aguas de riego. Para esto se hizo un estudio preliminar para identificar la mejor combinación suelo-sedimento, en el que se determinó que la mezcla óptima era la de 60% suelo - 40% sedimento alcanzándose un valor CBR de 13 mejorando significativamente al del suelo arenoso que tuvo un valor de CBR de 3. A continuación se presenta la distribución granulométrica de la mezcla 60% suelo - 40% sedimento, el procedimiento aplicado fue por el método de tamizado y

sedimentación como lo indica la norma. La figura 5.3 se puede observar que las partículas gruesas tienen un diámetro uniforme, mientras que las partículas de grano fino poseen una distribución graduada. Esta curva compuesta en conjunto muestra una mejor gradación o distribución en un rango de tamaños más amplio lo que minimiza los espacios vacíos, lo que aumenta el empaquetamiento de las partículas y el peso unitario del suelo y por tanto mejorará sus propiedades mecánicas y la estabilidad del suelo.

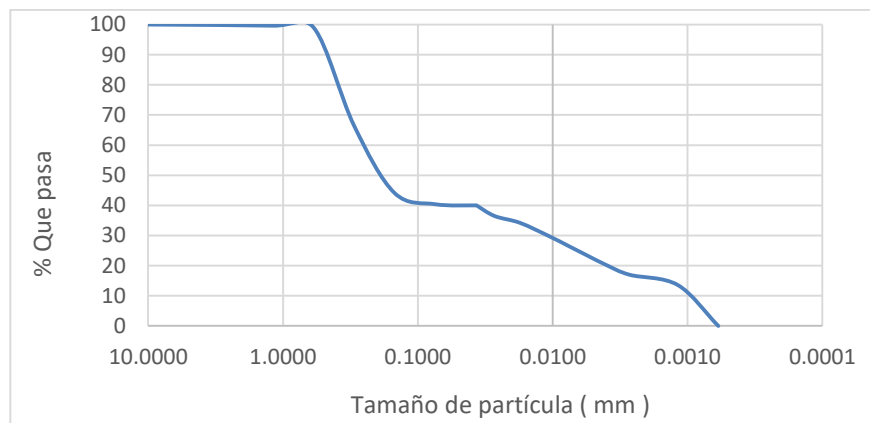


Figura 6. Curva granulométrica la mezcla 60% suelo – 40% sedimento.

En la Figura 5.4 se muestra gráficamente la influencia del porcentaje de adición de silicato de sodio sobre el índice CBR de la mezcla 60% suelo – 40% sedimento activado alcalinamente. En esta figura se puede observar que a medida que se incrementa el porcentaje de silicato de sodio se incrementa el valor del índice CBR de una manera lineal. Con un 8 % de adición de silicato de sodio el valor del índice CBR se mejora en 8.5 veces el valor del CBR de la mezcla suelo-sedimento sin adición de silicato de sodio.

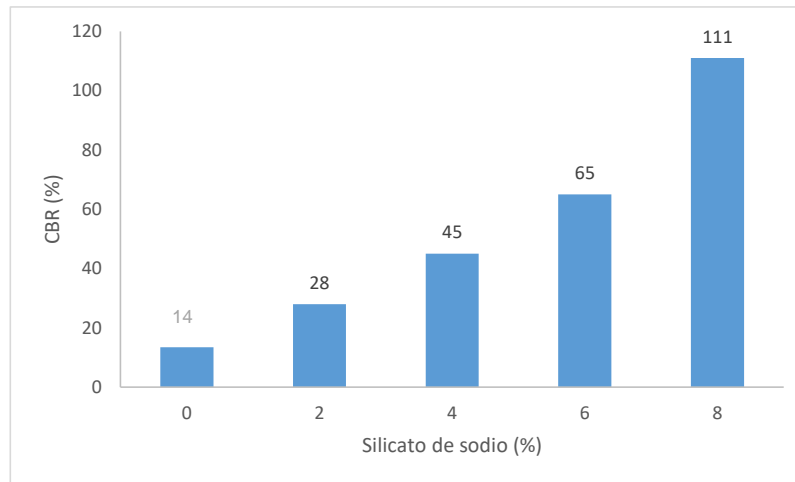


Figura 7. Influencia del porcentaje de silicato de sodio sobre el índice CBR de la mezcla 60% suelo – 40% sedimento activado alcalinamente.

En la Figura 5.5 se muestra gráficamente la influencia del porcentaje de adición de silicato de sodio sobre la resistencia a la compresión triaxial de la mezcla 60% suelo – 40% sedimento activado alcalinamente. En esta figura se puede observar que a medida que se incrementa el porcentaje de silicato de sodio se incrementa la resistencia a la compresión triaxial hasta un máximo del 4% luego del cual cae gradualmente. Con un 4 % de adición de silicato de sodio la resistencia a la compresión triaxial se mejora hasta un 81% con respecto a la resistencia a la compresión triaxial de la mezcla suelo-sedimento sin adición de silicato de sodio.

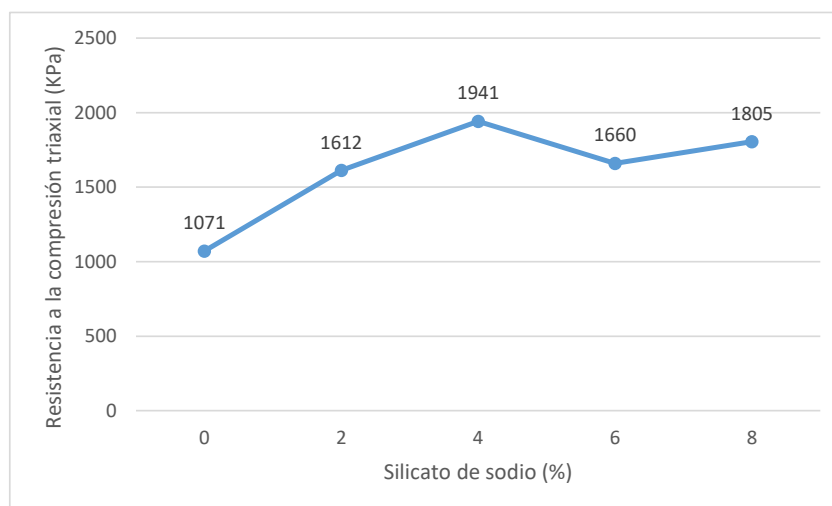


Figura 8. Influencia del porcentaje de silicato de sodio sobre la resistencia a la compresión triaxial de la mezcla 60% suelo – 40% sedimento activado alcalinamente..

#### IV. DISCUSIÓN.

Con respecto a la curva granulométrica del suelo arenoso (Figura 5.1) corresponde a una arena fina, con un rango de tamaño de 0.1 mm – 1.1 mm, mal gradada con un tamaño de partícula uniforme promedio de 0.5 mm. Esto hace que el suelo arenoso sea inestable porque al ser uniforme su tamaño no hay un buen empaquetamiento de las partículas de arena, además al no contar con un material cohesivo que empaquete mejor a las partículas de arena hay un alto porcentaje de espacios vacíos lo que lo hace inestable. Esto ha sido corroborado con sus bajas propiedades mecánicas del suelo, con un valor del índice CBR de 3 que es muy bajo para un camino rural. Asimismo, este suelo arenoso presenta un IP de 0, con un coeficiente de coesividad muy bajo y un alto coeficiente de fricción.

Con respecto a la mezcla 60% suelo - 40% sedimento, esta dosificación se obtuvo de un estudio preliminar para estabilizar mecánicamente al suelo arenoso. Al agregar sedimento al suelo arenoso se incrementó su IP hasta un 8%, lo que mejoró su cohesividad y se logró empaquetar mejor las partículas de arena, minimizándose el porcentaje de espacios vacíos. Esto dio lugar a que la mezcla 60% suelo - 40% sedimento alcance un valor CBR de 13 mejorando significativamente al del suelo arenoso que tuvo un valor de CBR de 3. Esto se puede explicar en base a la Figura 5.3 donde se puede observar una curva de distribución granulométrica más distribuida y mejor gradada, lo que hace que las partículas de arena se empaqueten mejor minimizando los espacios vacíos, lo que aumenta el peso unitario del suelo y por tanto mejora sus propiedades mecánicas y la estabilidad del suelo. Esto concuerda con la teoría de densificación o densidad de empaquetamiento máximo, en la que se busca ajustar la distribución de tamaños a una curva ideal **Fuente especificada no válida.Fuente especificada no válida.**, en la que con la mezcla óptima de partículas gruesas y finas se alcanza una mejor compacidad de las partículas lo que mejora finalmente las propiedades mecánicas del conjunto de partículas.

Luego, el comportamiento observado en la Figura 5.4, en la que el índice CBR se incrementa con el porcentaje de adición de silicato de sodio, se explica porque en este caso hay una estabilización química. El silicato de sodio reacciona con la sílice y la alúmina de las partículas más pequeñas (mayor área de reacción) en este caso del sedimento formando geopolímeros (Torres Carrasco, 2015), los que cohesionan y unen

las partículas de arena mejorando sus propiedades mecánicas del suelo en su conjunto. Así, con un 8 % de adición de silicato de sodio el valor del índice CBR se mejora en 8.5 veces el valor del CBR de la mezcla suelo-sedimento sin adición de silicato de sodio. Estos resultados concuerdan con varias investigaciones que han utilizado la geopolimerización o la activación alcalina para mejora de las propiedades de los suelos para vías no pavimentadas (Morales Zuluaga, 2015) (Pourakbar, Asadi, Huat, & Fasihnikoutalab, 2015) (Cristelo, Glendinning, Fernandes, & Teixeira Pinto, 2013) (Rios, Ramos, Viana da Fonseca, Cruz, & Rodriigues, 2016).

Con esto se rechaza la hipótesis nula que afirma que el índice CBR es igual en los 5 niveles estudiados. Esto valida la hipótesis planteada en la que se afirma que si hay diferencia significativa entre los valores del índice CBR de los 5 niveles estudiados. Esto se corrobora estadísticamente con el Análisis de Varianza realizado (Anexo 24 al 31).

Finalmente, el comportamiento observado en la Figura 5.5, se puede observar que a medida que se incrementa el porcentaje de silicato de sodio se incrementa la resistencia a la compresión triaxial hasta un máximo del 4% luego del cual cae gradualmente. Con un 4 % de adición de silicato de sodio la resistencia a la compresión triaxial se mejora hasta un 81% con respecto a la resistencia a la compresión triaxial de la mezcla suelo-sedimento sin adición de silicato de sodio., esto se explica porque en este caso hay una estabilización química. El silicato de sodio reacciona con la sílice y la alúmina de las partículas más pequeñas (mayor área de reacción) en este caso del sedimento formando geopolímeros, los que cohesionan y unen las partículas de arena mejorando sus propiedades mecánicas del suelo en su conjunto. Este resultado concuerda con los resultados obtenidos por Rios, Cristelo, Viana da Fonseca, & Ferreira (2016).

Con esto se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a la compresión triaxial es igual en los 5 niveles estudiados. Esto valida la hipótesis planteada en la que se afirma que si hay diferencia significativa entre los valores de la resistencia a la compresión triaxial de los 5 niveles estudiados. Esto se corrobora estadísticamente con el Análisis de Varianza realizado (Anexo 24 al 31).



## V. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos y del análisis realizado de los mismos, se puede concluir que:

- Se determinó la influencia de la adición sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio en la estabilización ecológica de suelos arenosos, evidenciándose que a medida que se incrementa el porcentaje de silicato de sodio para activar alcalinamente los sedimentos de clarificación de agua de riego se mejora significativamente la estabilización del suelo arenoso de los caminos de acceso a zonas agrícolas de la provincia de Virú.
- Se caracterizó y evaluó el suelo arenoso de la provincia de Virú evidenciándose que es un suelo granular de tamaño uniforme inestable que cae dentro de la categoría SP. Se trata de un suelo arenoso mal graduado con un índice de plasticidad igual a cero y un módulo de finura de 1.51.
- Se caracterizó y evaluó el sedimento de clarificación aguas de riego evidenciándose que contiene un 70% de limo, un 20% arcilla y un 10% arena. Este sedimento es de un tamaño uniforme pequeño muy apropiado para cohesionar suelos arenosos.
- Se determinó la capacidad de soporte CBR de las probetas de suelo arenoso estabilizado con los sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio evidenciándose que este índice se incrementa linealmente con el aumento del porcentaje de silicato de sodio, desde 14% CBR a 111% CBR.
- Se determinó que la resistencia a la compresión triaxial de las probetas de suelo estabilizado con silicato de sodio evidenciándose que esta propiedad se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de silicato de sodio hasta un máximo del 4% (desde 1071 KPa a 1941 KPa) y luego del cual cae gradualmente.

## **VI. RECOMENDACIONES.**

- A los tesisistas se les recomienda continuar la investigación evaluando la influencia de otros activadores alcalinos de los sedimentos de clarificación de aguas de riego para estabilizar suelos arenosos de la provincia de Virú.
- También a los tesisistas e investigadores se les recomienda evaluar la influencia de la temperatura y el tiempo de curado de los sedimentos activados alcalinamente con silicato de sodio.
- De igual forma se les recomienda a los tesisistas e investigadores hacer un estudio de las sales solubles del suelo y su influencia en la activación alcalina.
- A las empresas agroindustriales y a los municipios de la provincia de Virú se les recomienda hacer una evaluación técnica y económica a escala piloto del empleo de los sedimentos activados alcalinamente en la estabilización ecológica de los caminos de acceso a zonas agrícolas.
- De la misma manera a las empresas agroindustriales y a los municipios de la provincia de Virú se les recomienda elaborar un proyecto de inversión en la que se emplee los sedimentos activados alcalinamente en el mejoramiento de los suelos arenosos de la zona.
- También se les recomienda a las empresas agroindustriales y a los municipios de la provincia de Virú que promuevan la aplicación y difusión de estas tecnologías ecológicas en el mejoramiento de los suelos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Adabi, A. (2014). *Fly ash utilization in soil stabilization. International Conference on Civil, Biological and Enviromental Engineering (CBEE-2014)*, (págs. 76-78). Istanbul - Turkey.
- Behak, L., & Peres, 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.
- Bowles, J. (1996). *Foundation analysis and design*. USA: Mc Graw-Hill Companies Inc.
- Chang, I., Im, J., & Cho, G. (2016). *Introduction of Microbial Biopolymers in Soil Treatment for Future Enviromentally-Friendly and Sustainable Geotechnical Engineering. Sustainability*, 8(251), 1-23.
- Córdova, S.(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, 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, W. (2014). *Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando caucho granular de neumáticos para fines constructivos de pavimentos*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Elsharief, A., Mohamedzein, Y. & 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).
- Fernández, C. (1993). *Mejoramiento y Estabilización de suelos*. Guanajuato: México: Limusa.

- Fernández, C. & Salazar, W. (2015). *Pavimentos estructurales biotecnológicos de larga vida, empleando el aditivo ecológico Permazzy 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.
- García, M., & Maza, J. (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.
- 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., Vinay, K., Durga, L., Archana, M. & Ravishankar, A. (2013). *Laboratory investigation of expansive soil stabilized with natural inorganic stabilizer*. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 201-204.
- Instituto Nacional de Vías. (1997). *Manual de diseño de pavimentos en vías con bajos volúmenes de tránsito*. Bogotá.
- 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.
- 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, N. (2009). *Optimización del proceso de clarificación de agua de formación en la Empresa Baker Petrolite*. Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Mohamedzein, Y., Al-aghbari, M. & Taha, R. (2006). *Stabilization of desert sands using municipal solid waste incinerator ash*. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24, 1767-1780.
- Montejo, A. (1998). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia: Ediciones y publicaciones.

- 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 - 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. (2015). *Stabilization of silt clay soil using molasses for small dam embankment construction as inner zone*. Nairobi: University of Nairobi.
- Pérez, 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. & Fasihnikoutalab, M. (2015). *Soil stabilization with alkali-activated agro-waste*. *Journal of Environmental Geotechnics*. doi:10.1680/envgeo.15.00009
- Rabbani, P., Daghigh, Y., Atrechian, M., Karimi, M., & Tolooyan, 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.
- Ravines, M. (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 alkali-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., & Rodrigues, 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*.
- Sadeeq, J., Ochebo, J., Salahudeen, A. & Tijjani, S. (2015). *Effect of bagasse ash on lime stabilized lateritic soil*. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 9(2), 203-213.
- Sarathi, 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.
- Torres, M. (2015). *Reutilización de residuos vítreos urbanos e industriales en la fabricación de cementos alcalinos, activación, comportamiento y durabilidad*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

## ANEXOS.

### ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TÍTULO:** “INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE SEDIMENTOS DE CLARIFICACIÓN DE AGUAS DE RIEGO ACTIVADOS ALCALINAMENTE CON SILICATO DE SODIO EN LA ESTABILIZACIÓN ECOLÓGICA DE SUELOS ARENOSOS EN LA PROVINCIA DE VIRÚ, LA LIBERTAD, 2019”

**Autor:** Ciro Ynoki Kusaka Lozano

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>¿Cuál es la influencia de la adición de sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio sobre la estabilización ecológica de un suelo arenoso de la provincia de Virú?</p> <p>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</p>	<p><b>O. General:</b> Determinar la influencia de la adición de sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio sobre la estabilización ecológica de suelos arenosos de la provincia de Virú.</p> <p><b>O. Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizar y evaluar el suelo arenoso de la provincia de Virú.</li> <li>• Caracterizar y evaluar el sedimento de clarificación de aguas de riego.</li> <li>• Determinar la capacidad de soporte CBR de las probetas de suelo arenoso estabilizado con los sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio.</li> </ul>	<p>(Morales Zuluaga, 2015) en su tesis titulada “Valorización de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas” (Sarathi Parhi, 2014) en su tesis titulada 2.1.10. “Stabilization of Expansive Soils using Alkali Activated Fly Ash” (Pourakbar, Asadi, Huat, &amp; Fasihnikoutalab, 2015) en su tesis titulada “Soil stabilization with alkali-activated agro-waste” (Cristelo, Glendinning, Fernandes, &amp; Teixeira Pinto, 2013) en su tesis titulada “Effects of alkaline-activated fly ash and Portland cement on soft soil stabilization” (Rios, Cristelo, Viana da Fonseca, &amp; Ferreira, 2016) en su tesis titulada “Structural Performance of Alkali-Activated Soil Ash versus Soil Cement” (Rios, Ramos, Viana da Fonseca, Cruz, &amp; Rodrigues, 2016) en su tesis titulada “Colombian Soil Stabilized with Geopolymers for Low Cost Roads” (Córdova Farfán, 2016) en su tesis titulada “Estabilización de un suelo con napa freática alta utilizando cal</p>	<p><b>H. General:</b> La adición de sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio aumenta la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú en el año 2019.</p> <p><b>H. Específicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 2 % de silicato de sodio aumenta la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú en el año 2019.</li> <li>• La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 4 % de silicato de sodio aumenta la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú en el año 2019.</li> </ul>	<p><b>V. Independiente:</b> <b>1. Sedimentos de clarificación de aguas de riego</b> <b>2. Silicato de sodio</b> A partir de estas variables se obtendrán las mejoras en la estabilización ecológica de los suelos arenosos.</p> <p><b>V. Dependiente:</b> <b>1. Estabilización ecológica.</b> <b>Dimensiones:</b> - Capacidad de soporte CBR - Resistencia a la compresión triaxial del suelo</p>	<p><b>Diseño de Investigación:</b> Experimental puro. <b>Unidad de Estudio:</b> Suelos arenosos. <b>Población:</b> Todos los suelos arenosos de los terrenos agrícolas habilitados en el proyecto Chavimochic de la Provincia de Virú. <b>Muestra :</b> La muestra es el suelo arenoso de los caminos de acceso a las zonas agrícolas en el fundo de la Empresa Agua Lima S.A.C. ubicada en Virú. Para representar estos suelos se confeccionarán un total de 50 probetas o unidades de análisis para determinar las propiedades de Resistencia a la Compresión Triaxial (5 niveles x 5 réplicas = 25 probetas) y el índice CBR (5 niveles x 5 réplicas = 25 probetas).</p> <p><b>Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos:</b></p>

<p>de polvo. Esto se debe a que está situada sobre un terreno arenoso muy inestable en todas sus propiedades de modo que no puede soportar importantes cargas de tránsito, ya que no cuenta de forma natural con un material ligante que una sus partículas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la resistencia a la compresión triaxial de las probetas de suelo estabilizado con los sedimentos de clarificación de aguas de riego activados alcalinamente con silicato de sodio.</li> </ul>	<p>obtenida por calcinación de residuos calcáreos de conchas de abanico” (Pérez Collantes, 2012) en su tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos” (Cusquisibán Ocas, 2014) en su tesis titulada “Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando caucho granular de neumáticos para fines constructivos de pavimentos”</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 6 % de silicato de sodio aumenta la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú en el año 2019.</li> <li>• La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 8 % de silicato de sodio aumenta la capacidad de soporte y la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú en el año 2019.</li> </ul>		<p><b>Técnica:</b> Observación.  <b>Instrumento:</b> Guía de observación.  <b>Métodos e instrumentos de análisis de datos:</b>  <b>Método:</b> Inferencia estadística.  <b>Instrumento:</b> Prueba de hipótesis.          -Coeficiente de correlación de Pearson.</p>
--	---	---	--	--	---



## ANEXO 2 GUÍA DE OBSERVACIÓN VACÍA CONTENIDO DE HUMEDAD

<b>MATERIAL:</b>				
CALICATA N° :				
PROFUNDIDAD:				
<b>LATA N° :</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)				
Peso de la muestra seca + lata (gr)				
Peso del agua ( gr)				
Peso de la lata( gr)				
Contenido de Humedad				
Contenido de Humedad Promedio				

**ANEXO 3 GUÍA DE OBSERVACIÓN VACÍA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO  
POR TAMIZADO**

<b>MATERIAL</b>					
<b>CALICATA N°</b>					
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>%PESO RETENIDO</b>	<b>% PESO RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>
N°16					
N°30					
N°50					
N°100					
N°200					
BANDEJA					
TOTAL					

**ANEXO 4 GUÍA DE OBSERVACIÓN VACÍA GRANULOMETRÍA POR  
HIDROMETRÍA**

MATERIAL								
CALICATA					PROFUNDIDAD			
T (min)	R'	°T (°C)	RCP	%PASA	RCL	L (cm)	K	D (min)

## ANEXO 5 GUÍA DE OBSERVACIÓN VACÍA LÍMITE LÍQUIDO

MATERIAL								
CALICATA					PROFUNDIDAD			
CÁPSULA No.	W cap + mh (gr)	W cap + ms (gr)	W cap	W agua	W sol	% W	No. Golpes	LL (%)

## ANEXO 6 GUÍA DE OBSERVACIÓN VACÍA LÍMITE PLÁSTICO

MATERIAL								
CALICATA					PROFUNDIDAD			
CÁPSULA No.	W cap + mh (gr)	W cap + ms (gr)	W cap	W agua	W sol	% W	LP (%)	IP (%)





## ANEXO 9 GUÍAS DE OBSERVACIÓN LLENAS CONTENIDO DE HUMEDAD

MATERIAL:	SUELO ARENOSO		SEDIMENTO	
CALICATA N° :	1		2	
PROFUNDIDAD:	1.50 m		0.50 m	
LATA N° :	1	2	1	2
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	129.62	129.35	109.45	109.53
Peso de la muestra seca + lata (gr)	129.60	129.32	108.69	108.76
Peso del agua ( gr)	0.02	0.03	0.76	0.77
Peso de la lata( gr)	70.42	70.21	67.90	68.25
Contenido de Humedad	0.034	0.051	1.863	1.901
Contenido de Humedad Promedio	0.042 %		1.882 %	



**ANEXO 10 GUÍAS DE OBSERVACIÓN LLENAS ANÁLISIS  
GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

<b>MATERIAL</b>	<b>SUELO ARENOSO</b>				
CALICATA N°	1		PROFUNDIDAD:	1.50 m	
<b>TAMIZ N°</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>%PESO RETENIDO</b>	<b>% PESO RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>
N°16	1.190	6.26	0.63	0.63	99.37
N°30	0.590	11.84	1.18	1.18	98.19
N°50	0.297	540.57	54.08	54.08	44.11
N°100	0.149	371.95	37.21	37.21	6.90
N°200	0.074	62.59	6.26	6.26	0.64
BANDEJA		6.39	0.64	0.64	
TOTAL			999.60	100.00	

**ANEXO 11 GUÍAS DE OBSERVACIÓN LLENAS GRANULOMETRÍA POR  
HIDROMETRÍA**

MATERIAL			SEDIMENTO					
CALICATA			2		PROFUNDIDAD		0.50 m	
T (min)	R'	°T (°C)	RCP	%PASA	RCL	L (cm)	K	D (min)
1	48	22.8	49.84	99.96	49	8.1	0.0129	0.0366
2	43	24.4	45.46	91.17	44	9.1	0.0126	0.0269
5	40	24.8	42.62	85.48	41	9.6	0.0126	0.0174
15	34	25.8	36.94	74.09	35	10.6	0.0124	0.0104
30	30	26.0	33.00	66.18	31	11.2	0.0124	0.0076
60	26	26.2	29.08	58.32	27	11.9	0.0124	0.0055
120	22	26.4	25.16	50.46	23	12.5	0.0123	0.0040
250	18	26.4	21.16	42.44	19	13.2	0.0123	0.0027
1440	14	25.8	16.94	33.97	15	13.8	0.0123	0.0012

## ANEXO 12 GUÍAS DE OBSERVACIÓN LLENAS LÍMITE LÍQUIDO

MATERIAL		SEDIMENTO						
CALICATA		2		PROFUNDIDAD		0.50 m		
CÁPSULA No.	W cap + mh (gr)	W cap + ms (gr)	W cap	W agua	W sol	% W	No. Golpes	LL (%)
1	58.070	46.050	17.410	12.020	28.640	41.969	27	42
2	53.810	42.980	17.450	10.830	25.530	42.421	22	

## ANEXO 13 GUÍAS DE OBSERVACIÓN LÍMITE PLÁSTICO

MATERIAL		SEDIMENTO						
CALICATA		2		PROFUNDIDAD		0.50 m		
CÁPSULA No.	W cap + mh (gr)	W cap + ms (gr)	W cap	W agua	W sol	% W	LP (%)	IP (%)
1	23.320	22.840	20.630	0.480	2.210	21.719	22	20
2	23.090	22.640	20.660	0.450	1.980	22.727		

**ANEXO 14 GUÍAS DE OBSERVACIÓN ENSAYO CBR PARA EL GRUPO DE CONTROL GC**

<b>GRUPO</b>	<b>GC</b>	Grupo de control SS-60-40 (Suelo 60%-Sedimento 40%) sin activación alcalina		
<b>N° Lectura</b>	<b>Carga</b>	<b>Carga</b>	<b>Penetración</b>	<b>CBR</b>
	<b>(KN)</b>	<b>(KPa)</b>	<b>(mm)</b>	
1	0.000	0.0	0.000	8
2	0.190	98.3	0.648	
3	0.360	186.3	1.286	
4	0.590	305.4	1.932	
5	1.060	548.7	2.543	
6	1.260	652.2	3.189	14
7	1.660	859.2	3.814	
8	2.140	1107.7	4.457	
9	2.830	1464.8	5.082	
10	5.110	2644.9	7.628	
11	7.570	3918.2	10.174	
12	9.710	5025.9	12.704	

**ANEXO 15 GUÍA DE OBSERVACIÓN ENSAYO CBR PARA EL GRUPO  
EXPERIMENTAL GE1**

<b>GRUPO</b>	<b>GE1</b>	Grupo experimental SS-60-40 activado con 2% de silicato de sodio		
<b>N° Lectura</b>	<b>Carga</b>	<b>Carga</b>	<b>Penetración</b>	<b>CBR</b>
	<b>(KN)</b>	<b>(KPa)</b>	<b>(mm)</b>	
1	0.000	0.0	0.000	16
2	1.180	610.8	0.766	
3	1.690	874.7	1.269	
4	2.739	1417.6	2.023	
5	3.573	1849.3	2.534	
6	4.735	2450.6	3.289	28
7	5.452	2822.0	3.792	
8	6.399	3312.1	4.551	
9	6.953	3598.7	5.057	
10	9.342	4835.3	7.583	
11	10.682	5529.0	10.342	
12	11.502	5953.2	12.704	

**ANEXO 16 GUÍA DE OBSERVACIÓN ENSAYO CBR PARA EL GRUPO  
EXPERIMENTAL GE2**

<b>GRUPO</b>	<b>GE2</b>	Grupo experimental SS-60-40 activado con 4% de silicato de sodio		
<b>N° Lectura</b>	<b>Carga</b>	<b>Carga</b>	<b>Penetración</b>	<b>CBR</b>
	<b>(KN)</b>	<b>(KPa)</b>	<b>(mm)</b>	
1	0.000	0.0	0.000	38
2	0.811	563.6	0.757	
3	1.761	1224.1	1.257	
4	3.080	2141.6	2.018	
5	3.800	2642.2	2.525	
6	4.669	3246.4	3.282	45
7	5.167	3592.4	3.780	
8	5.840	4060.3	4.541	
9	6.247	4343.4	5.051	
10	8.057	5601.6	7.574	
11	9.693	6739.2	10.083	
12	11.297	7854.5	12.702	

**ANEXO 17 GUÍA DE OBSERVACIÓN ENSAYO CBR PARA EL GRUPO  
EXPERIMENTAL GE3**

<b>GRUPO</b>	<b>GE3</b>	Grupo experimental SS-60-40 activado con 6% de silicato de sodio		
<b>N° Lectura</b>	<b>Carga</b>	<b>Carga</b>	<b>Penetración</b>	<b>CBR</b>
	<b>(KN)</b>	<b>(KPa)</b>	<b>(mm)</b>	
1	0.000	0.0	0.000	49
2	0.349	293.7	0.507	
3	1.414	1190.6	1.261	
4	2.404	2023.9	1.766	
5	4.045	3406.6	2.519	
6	5.482	4616.2	3.282	65
7	6.196	5217.8	3.778	
8	7.039	5927.4	4.539	
9	7.491	6308.3	5.040	
10	9.158	7711.6	7.569	
11	10.351	8716.4	10.088	
12	11.560	9734.0	12.699	



**ANEXO 18 GUÍA DE OBSERVACIÓN ENSAYO CBR PARA EL GRUPO  
EXPERIMENTAL GE4**

<b>GRUPO</b>	<b>GE4</b>	Grupo experimental SS-60-40 activado con 8% de silicato de sodio		
<b>N° Lectura</b>	<b>Carga</b>	<b>Carga</b>	<b>Penetración</b>	<b>CBR</b>
	<b>(KN)</b>	<b>(KPa)</b>	<b>(mm)</b>	
1	0.000	0.0	0.000	76
2	1.120	579.7	0.648	
3	3.590	1858.2	1.286	
4	6.740	3488.6	1.932	
5	10.170	5264.0	2.543	
6	13.710	7096.3	3.189	111
7	16.870	8731.9	3.814	
8	19.670	10181.2	4.457	
9	22.050	11413.0	5.082	
10	29.010	15015.5	7.628	
11	34.430	17820.9	10.174	
12	39.090	20232.9	12.704	

**ANEXO 19 GUÍA DE OBSERVACIÓN ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL  
PARA EL GRUPO DE CONTROL GC**

<b>GRUPO</b>	<b>GC</b>	Grupo de control SS-60-40 (Suelo 60%-Sedimento 40%) sin activación alcalina		
<b>Lectura</b>	<b>Tensión de confinamiento</b>	<b>Desplazamiento del pistón</b>	<b>Tensión desviadora en rotura</b>	<b>Variación volumétrica en rotura (%)</b>
	<b>(kN)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(kPa)</b>	
1	0.022	0.000	0.000	0.000
2	0.022	0.711	-0.124	0.517
3	0.004	1.916	-5.006	1.377
4	0.000	2.528	-6.021	1.815
5	0.004	3.837	-5.270	2.750
6	0.004	4.419	-5.351	3.165
7	0.004	5.162	-5.453	3.696
8	0.000	7.669	-6.694	5.487
9	0.161	7.721	34.037	5.524
10	0.766	7.931	182.432	5.674
11	1.751	8.703	421.409	6.225
12	2.576	9.502	618.543	6.796
13	3.276	10.183	784.091	7.282
14	4.550	12.707	1069.653	9.086
15	4.608	14.164	1071.042	10.126
16	4.521	15.761	1037.264	11.267
17	4.021	17.225	911.146	12.312
18	3.437	17.989	773.288	12.858
19	3.342	18.466	748.870	13.199

**ANEXO 20 GUÍA DE OBSERVACIÓN ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL  
PARA EL GRUPO EXPERIMENTAL GE1**

<b>GRUPO</b>	<b>GE1</b>	Grupo experimental SS-60-40 activado con 2% de silicato de sodio		
<b>Lectura</b>	<b>Tensión de confinamiento</b>	<b>Desplazamiento del pistón</b>	<b>Tensión desviadora en rotura</b>	<b>Variación volumétrica en rotura (%)</b>
	<b>(kPa)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(kPa)</b>	
1	0.058	0.264	0.000	0.000
2	0.055	0.987	-1.067	0.517
3	1.671	2.018	413.797	1.252
4	2.638	2.539	659.392	1.625
5	4.626	3.716	1157.717	2.465
6	5.287	4.276	1319.646	2.866
7	5.721	4.949	1422.159	3.347
8	6.217	5.701	1538.188	3.883
9	6.484	6.585	1594.169	4.515
10	6.597	7.456	1611.659	5.137
11	6.615	7.740	1612.701	5.340
12	6.629	8.181	1610.912	5.655
13	6.524	9.194	1572.824	6.378
14	6.276	10.072	1502.330	7.006
15	5.112	11.108	1211.371	7.745
16	4.623	11.670	1089.405	8.147

**ANEXO 21 GUÍA DE OBSERVACIÓN ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL  
PARA EL GRUPO EXPERIMENTAL GE2**

<b>GRUPO</b>	<b>GE2</b>	Grupo experimental SS-60-40 activado con 4% de silicato de sodio		
<b>Lectura</b>	<b>Tensión de confinamiento</b>	<b>Desplazamiento del pistón</b>	<b>Tensión desviadora en rotura</b>	<b>Variación volumétrica en rotura (%)</b>
	<b>(kPa)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(kPa)</b>	
1	0.051	0.362	0.000	0.000
2	0.058	1.109	1.758	0.533
3	0.237	2.266	47.694	1.360
4	1.248	2.421	306.393	1.470
5	4.313	3.503	1082.500	2.243
6	5.630	4.001	1411.917	2.599
7	6.940	4.653	1735.094	3.065
8	7.662	5.324	1907.574	3.544
9	7.844	6.178	1940.952	4.154
10	7.443	7.081	1828.601	4.799
11	7.195	7.385	1763.202	5.016
12	6.888	7.840	1681.781	5.341
13	6.312	8.872	1527.995	6.078
14	6.505	9.761	1564.536	6.714

**ANEXO 22 GUÍA DE OBSERVACIÓN ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL  
PARA EL GRUPO EXPERIMENTAL GE3**

<b>GRUPO</b>	<b>GE3</b>	Grupo experimental SS-60-40 activado con 6% de silicato de sodio		
<b>Lectura</b>	<b>Tensión de confinamiento</b>	<b>Desplazamiento del pistón</b>	<b>Tensión desviadora en rotura</b>	<b>Variación volumétrica en rotura (%)</b>
	<b>(kPa)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(kPa)</b>	
1	0.004	0.009	0.000	0.000
2	0.011	2.055	1.517	1.462
3	0.040	3.917	8.545	2.792
4	0.044	5.199	9.152	3.707
5	0.029	6.787	5.152	4.841
6	0.029	8.388	4.802	5.985
7	0.022	10.324	2.622	7.368
8	0.773	11.304	182.903	8.068
9	2.831	12.486	669.269	8.912
10	6.458	14.914	1498.570	10.647
11	16.775	16.775	1659.879	11.976
12	5.841	18.839	1312.883	13.450
13	5.794	20.582	1283.488	14.695
14	5.360	23.392	1169.248	15.988

**ANEXO 23 GUÍA DE OBSERVACIÓN ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL  
PARA EL GRUPO EXPERIMENTAL GE4**

<b>GRUPO</b>	<b>GE4</b>	Grupo experimental SS-60-40 activado con 8% de silicato de sodio		
<b>Probeta</b>	<b>Tensión de confinamiento</b>	<b>Desplazamiento del pistón</b>	<b>Tensión desviadora en rotura</b>	<b>Variación volumétrica en rotura (%)</b>
	<b>(kPa)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(kPa)</b>	
1	0.055	0.212	0.000	0.000
2	0.077	1.666	5.629	1.038
3	0.799	2.035	190.887	1.302
4	2.149	2.769	534.252	1.826
5	3.740	3.653	934.015	2.458
6	5.495	4.880	1366.442	3.334
7	6.848	6.405	1687.222	4.423
8	7.399	7.992	1802.410	5.557
9	7.461	8.881	1805.408	6.192
10	6.918	9.915	1659.724	6.930
11	4.411	10.565	1048.286	7.395
12	4.156	11.168	982.235	7.826
13	4.265	11.727	1004.084	8.225
14	4.294	12.363	1006.043	8.679

## ANEXO 24 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS DEL ENSAYO CBR

SS-60-40 con 0% Silicato	SS-60-40 con 2% Silicato	SS-60-40 con 4% Silicato	SS-60-40 con 6% Silicato	SS-60-40 con 8% Silicato
13	26	41	65	106
12	28	46	64	115
13	29	44	62	111
15	27	45	68	113
14	30	49	66	110
13	28	45	65	111

HSD = 4.54

## ANEXO 25 ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR DEL ENSAYO CBR

### RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SS-60-40 con 0% Silicato	5	67	13.4	1.3
SS-60-40 con 2% Silicato	5	140	28	2.5
SS-60-40 con 4% Silicato	5	225	45	8.5
SS-60-40 con 6% Silicato	5	325	65	5
SS-60-40 con 8% Silicato	5	555	111	11.5



## ANEXO 26 ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE GRUPOS DEL ENSAYO CBR

### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	28819.04	4	7204.76	1250.83	1.09704E-23	2.87
Dentro de los grupos	115.2	20	5.76			
Total	28934.24	24				

## ANEXO 27 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE TUKEY DEL ENSAYO CBR

### PRUEBA DE TUKEY

HSD = 4.54  
 Multiplicador = 4.23  
 MSE = 5.76  
 n = 5

	0%	2%	4%	6%	8%
0%		-15	-32	-51.6	-98
2%			-17	-37.0	-83
4%				-20.0	-66
6%					-46
8%					

**HIPÓTESIS NULA:** El promedio del valor CBR en los 5 niveles son iguales, con 95% de confiabilidad.  
**HIPÓTESIS ALTERNA:** En al menos un nivel el promedio del valor CBR es distinto, con 95% de confiabilidad.

## ANEXO 28 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL

	SS-60-40 con 0% Silicato	SS-60-40 con 2% Silicato	SS-60-40 con 4% Silicato	SS-60-40 con 6% Silicato	SS-60-40 con 8% Silicato
	1065	1620	1951	1673	1808
	1079	1612	1941	1663	1798
	1067	1616	1938	1660	1809
	1071	1605	1944	1654	1805
	1074	1608	1933	1651	1803
Promedio	1071	1612	1941	1660	1805

HSD = 12.13

## ANEXO 29 ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL

### Análisis de varianza de un factor

#### RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SS-60-40 con 0% Silicato	5	5356	1071.2	31.2
SS-60-40 con 2% Silicato	5	8061	1612.2	36.2
SS-60-40 con 4% Silicato	5	9707	1941.4	45.3
SS-60-40 con 6% Silicato	5	8301	1660.2	73.7
SS-60-40 con 8% Silicato	5	9023	1804.6	19.3

## ANEXO 30 ANÁLISIS DE VARIANZA ENTRE GRUPOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL

### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2201059.04	4	550264.76	13375.4195	5.83778E-34	2.866081402
Dentro de los grupos	822.8	20	41.14			
Total	2201881.84	24				

## ANEXO 31 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE TUKEY DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL

### PRUEBA DE TUKEY

HSD = 12.13  
 Multiplicador = 4.23  
 MSE = 41.14  
 n = 5

	0%	2%	4%	6%	8%
0%		-541	-870	-589.0	-733
2%			-329	-48.0	-192
4%				281.2	137
6%					-144
8%					

**HIPÓTESIS NULA:**

El promedio de la Resistencia a la Compresión Triaxial en los 5 niveles son iguales, con 95% de confiabilidad.

**HIPÓTESIS ALTERNA:**

En al menos un nivel el promedio de la Resistencia a la Compresión Triaxial es distinto, con 95% de confiabilidad.

## ANEXO 32 PRIMERA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL ENSAYO CBR

### Hipótesis Específica:

- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 2 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.

Para el ensayo CBR:

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SS-60-40 con 0% Silicato	5	67	13.4	1.3
SS-60-40 con 2% Silicato	5	140	28	2.5
Propuesta por la hipótesis			80	
Cumple o no cumple			No cumple	

## ANEXO 33 PRIMERA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL ENSAYO TRIAXIAL

### Hipótesis Específica:

- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 2 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.

Para el ensayo de compresión Triaxial:

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SS-60-40 con 0% Silicato	5	5356	1071.2	31.2
SS-60-40 con 2% Silicato	5	8061	1612.2	36.2
Propuesta por la hipótesis			1700	
Cumple o no cumple			No cumple	



## ANEXO 34 SEGUNDA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL ENSAYO CBR

### Hipótesis Específica:

- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 4 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.

Para el ensayo CBR:

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SS-60-40 con 0% Silicato	5	67	13.4	1.3
SS-60-40 con 4% Silicato	5	225	45	8.5
Propuesta por la hipótesis			80	
Cumple o no cumple			No cumple	

## ANEXO 35 SEGUNDA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL ENSAYO TRIAXIAL

### Hipótesis Específica:

- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 4 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.

Para el ensayo de compresión Triaxial:

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SS-60-40 con 0% Silicato	5	5356	1071.2	31.2
SS-60-40 con 4% Silicato	5	9707	1941.4	45.3
Propuesta por la hipótesis			1700	
Cumple o no cumple			Sí cumple	

## ANEXO 36 TERCERA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL ENSAYO CBR

### Hipótesis Específica:

- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 6 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.

Para el ensayo CBR:

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SS-60-40 con 0% Silicato	5	67	13.4	1.3
SS-60-40 con 6% Silicato	5	325	65	5
Propuesta por la hipótesis			80	
Cumple o no cumple			No cumple	

## ANEXO 37 TERCERA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL ENSAYO TRIAXIAL

### Hipótesis Específica:

- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 6 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.

Para el ensayo de compresión Triaxial:

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SS-60-40 con 0% Silicato	5	5356	1071.2	31.2
SS-60-40 con 2% Silicato	5	8301	1660.2	73.7
Propuesta por la hipótesis			1700	
Cumple o no cumple			No cumple	

## ANEXO 38 CUARTA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL ENSAYO CBR

### Hipótesis Específica:

- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 8 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.

Para el ensayo CBR:

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SS-60-40 con 0% Silicato	5	67	13.4	1.3
SS-60-40 con 8% Silicato	5	555	111	11.5
Propuesta por la hipótesis			80	
Cumple o no cumple			Sí cumple	

## ANEXO 39 CUARTA PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL ENSAYO TRIAXIAL

### Hipótesis Específica:

- La adición de sedimento de clarificación de aguas de riego activado alcalinamente con 8 % de silicato de sodio aumenta de 15 a 80% la capacidad de soporte y aumenta de 1000 a 1700 MPa la resistencia a la compresión triaxial de los suelos arenosos de la provincia de Virú.

Para el ensayo de compresión Triaxial:

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SS-60-40 con 0% Silicato	5	5356	1071.2	31.2
SS-60-40 con 2% Silicato	5	9023	1804.6	19.3
Propuesta por la hipótesis			1700	
Cumple o no cumple			Sí cumple	

En anexos puede ir:

- El formato de los instrumentos de registro utilizados.
- La transcripción de la norma en caso exista un marco legal referencia.