

Comparative analysis between the use of Sodium Chloride and Portland Cement in the stabilization of clay soils on the road linking the areas of the populated centers of Miraflores and Shultin, Baños del Inca district, city of Cajamarca.

Cáceres Basauri Cielo Elizabeth, Estudiante¹, Chávez Velásquez Valeria Alejandra, Estudiante², Romero Cueva Yoner Jaime, Doctor³ Martínez Zapana Cesar Augusto, Magister⁴, Huaricallo Vilca Yvan, Magister⁵ Sarabia Orihuela Carlos Alberto, Magister⁶

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00186722@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00185403@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, yoner.romero@upn.edu.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, camz1486@gmail.com

⁵Universidad Privada del Norte, Perú, yvan.huaricallo@upn.pe

⁶Universidad Privada del Norte, Perú, carlos.sarabia@upn.pe

Abstract– Worldwide, there are deficiencies in the quality of soils, so the search for materials that function as stabilizing additives arises. This research work presents the analysis and comparison of the influence of Portland Cement type I and Sodium Chloride in clayey soils, applied in proportions of 0.6%, 1.2% and 1.8%, determining the most advantageous material. CBR test were carried out at 95% and 100% DMS obtaining as results of addition of Portland Cement, an increase reaching values of 23.32, 45.33% and 46.31% and 32.82, 47.04 and 50.37%, instead the addition of Sodium Chloride a reduction was observed obtaining values of 6.34, 6.33 and 3.58% and 10.07, 15 and 12.55%. In conclusion, Portland Cement type I achieves a considerable increase in bearing capacity in the percentages proposed, in contrast to Sodium Chloride which showed unfavorable results.

Keywords: Stabilization, Portland Cement, Sodium Chloride, CBR.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL USO DE CLORURO DE SODIO Y CEMENTO PORTLAND EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS EN LA CARRETERA QUE UNE LAS ZONAS DE LOS CENTROS POBLADOS DE MIRAFLORES Y SHULTIN, DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA, CIUDAD DE CAJAMARCA.

A nivel mundial existen deficiencias en la calidad de suelos, ante ello surge la búsqueda de materiales que funcionen como aditivos estabilizadores. El trabajo de investigación presenta el análisis y la comparación de la influencia de Cemento Portland tipo I y Cloruro de Sodio en suelos arcillosos, aplicándose en proporción de 0.6%, 1.2% y 1.8% en peso, determinando el material más ventajoso. Se realizaron ensayos de CBR al 95% y 100% DMS obteniendo como resultados de la adición de Cemento Portland, un incremento alcanzando valores de 23.32, 45.33 y 46.31% y 32.82, 47.04 y 50.37%, ante la adición de Cloruro de Sodio se observó una reducción obteniendo valores de 6.34%, 6.33% y 3.58% y 10.07%, 15% y 12.55%. Concluyendo que el Cemento Portland tipo I logra aumentar considerablemente la capacidad de soporte en los porcentajes planteados, en contraste al Cloruro de Sodio que presentó resultados desfavorables.

Keywords: Estabilización, Cemento Portland, Cloruro de Sodio, CBR.

I. INTRODUCCIÓN

Para iniciar con el proceso constructivo de los diferentes proyectos existentes, es fundamental conocer el tipo de suelo en el cual se realicen los trabajos, así mismo deben conocerse las características, esto debido a que estará en contacto directo con las estructuras base. Los suelos en su estado natural inalterado por sí mismo pueden no ser aptos para soportar las cargas que requieran las estructuras según su uso, a nivel mundial es conocido el problema con la calidad de los suelos; es por ello, que se estudiaron diferentes técnicas y procedimientos de estabilización, considerando la reutilización de estos suelos al mejorar sus propiedades iniciales. La inestabilidad presentada por los suelos arcillosos es lo que los hace tan necesario su análisis, con base en sus cambios volumétricos por ausencia o abarrotamiento de humedad, generando retracción o expansividad respectivamente. A través de los años se fueron registrando mecanismos de mejoramiento para dotar a los suelos de mayor firmeza, consistencia y fundamentalmente resistencia, de modo que se logre aumentar los valores iniciales de su capacidad portante, esto según lo que sea requerido por los proyectos. [1]

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

En la búsqueda de identificar los materiales que mediante su incorporación como aditivos permitan que los suelos adopten un mejor comportamiento, se realizan ensayos de laboratorio, regidos por las normas correspondientes para cada uno de ellos de forma que se encuentre la proporción adecuada de aplicación. [2]. [3]. Los suelos que se planteen utilizar como subrasantes deberán presentar valores de CBR mayores o iguales al 6%, sin embargo en suelos blandos es posible determinar valores menores a lo indicado, ante ello deberá realizarse un análisis en cuyo primer paso se defina la mejor opción como estabilización dependiendo de los antecedentes de los aditivos en consideración, su disponibilidad y el de los equipos o máquinas que lleguen a ser necesarias, la evaluación económica a nivel de costos que, de igual forma, jugará un papel importante. [4]

Se evalúa la influencia del uso de Cloruro de Sodio y Cemento Portland tipo I como alternativas de aditivos en suelos arcillosos para el mejoramiento de estos.

El Cemento Portland tipo I es un aditivo estudiado y reconocido a nivel mundial debido a las comprobaciones realizadas por diferentes autores, aumentando la capacidad portante, la resistencia a la erosión y disminuyendo los posibles efectos ante la variación de la cantidad de agua presente, los suelos mejorados con este material finalmente presentan características que los definen como aptos para la construcción [5].

El uso del Cloruro de Sodio fue estudiado y desarrollado en zonas de Trujillo, Ascope, Chepén y Pacasmayo, reduciendo la erosión y desprendimiento de polvo, proporcionando a la superficie de las vías analizadas una capa rígida [6]. El comportamiento de este material se basa en su higroscopía, la cual permite que absorba la humedad del entorno, mejorando la cohesión del suelo y controlar el polvo en la capa de rodadura. El intercambio iónico juega un papel importante entre el sodio y los componentes del suelo, lo que conlleva a la consolidación del material [16]. Los resultados que se obtuvieron en los estudios indican un aumento en los valores de CBR, lo cual puede deberse a la estructura cristalina de sus partículas, la dosificación adecuada jugará un papel primordial ya que de ello depende la reducción en el contenido óptimo de humedad y el aumento de la densidad máxima seca [7]. Para la lograr que la estabilización de los suelos con Cloruro de Sodio sea exitosa debe utilizarse agua en menor cantidad, de esta forma podrá aumentarse la trabajabilidad del suelo y la densidad de este, permitiendo una compactación más sencilla y eficaz. Si se analiza el pH de los suelos mejorados con este

aditivo se observará un aumento en la acidez y una disminución ligera en los valores iniciales de pH, esto no depende de la proporción de adición. [8].

La ciudad de Cajamarca cuenta con suelos constituidos mayormente por materiales de tipo finos, arcillas y limos de bajas plasticidades, presentando comportamientos deficientes debido a sus bajas capacidades de soporte, estos suelos suelen ser relacionados con la expansión de los mismos y los cambios volumétricos producidos por incrementos o pérdidas de humedad, reflejados en hinchamiento o retracción, produciendo de esta forma diferentes fallas en los pavimentos que lleguen a construirse sobre ellos. [9] [2]

Ante todo, lo expuesto y considerando el análisis comparativo planteado entre Cemento Portland Tipo I y Cloruro de sodio, conviene preguntar: ¿Qué material es el más adecuado para ser utilizado como estabilizador químico en suelos arcillosos?

El objetivo general de la investigación es determinar el material que logre proporcionar a los suelos arcillosos mejores resultados referentes a la estabilización con los aditivos Cemento Portland tipo I y Cloruro de Sodio, contrastando sus resultados, sumado a esto se busca evaluar el suelo natural en la que se realice la toma de muestras y realizar el ensayo de CBR para definir las propiedades del suelo, así como evaluar el efecto de la aplicación en proporciones de 0.6, 1.2 y 1.8% de Cemento Portland tipo I y Cloruro de Sodio en el ensayo CBR en los suelos arcillosos de la carretera que une las zonas de los centros poblados de Miraflores y Shultin en el distrito de Baños del Inca, ciudad de Cajamarca.

Con toda la información revisada previamente se manifiesta la siguiente hipótesis: La adición en los porcentajes mencionados de Cemento Portland en la muestra de suelo arcilloso, permitirá un mejor comportamiento de este, proporcionando un aumento en las propiedades físico-mecánicas en comparación a las muestras adicionadas con Cloruro de Sodio, debido a que este puede producir una reacción contraria y comenzar a disminuir los valores iniciales de resistencia.

La investigación servirá como referente a futuros estudios de mejoramiento con ambos materiales; lo mismo que, como antecedente para la creación de alguna norma que indique los requisitos y procedimientos adecuados para la adición de Cloruro de Sodio en subrasantes para suelos arcillosos, aportando al conocimiento referente a suelos en la ciudad de Cajamarca lo cual podrá ser beneficioso para la población y la creación de vías.

II. METODOLOGÍA

El diseño de la investigación es experimental pues la variable independiente se sometió a un tratamiento, condiciones o factores que las investigadoras manipularon para estudiar los efectos en la variable dependiente. Se definieron como variables independientes; la adición de cemento Portland tipo I y la adición de cloruro de sodio; mientras que, la variable dependiente como los valores CBR del suelo arcilloso estudiado.

El proceso de experimentación puede ser realizado tanto en campo como en laboratorio, considerando que en este último se puede mantener el ambiente controlado, siendo la experimentación en campo más natural y real. [10] Utilizando muestras de suelo obtenidas en las zonas de Shultin y Otuzco, distrito de Baños del Inca, ciudad de Cajamarca.

FIG. 1
UBICACIÓN DE CALICATA



La figura 1 muestra la ubicación de la calicata, donde se realizó la excavación para la muestra cuyas coordenadas son 778234.281 E y 9210232.999N.

Tomado de Google Earth, 2022.

Las técnicas de recolección de datos, así como los instrumentos se basan en la observación experimental, esto posibilita detallar ante la visualización del tramo elegido y la experimentación mediante los ensayos de laboratorio realizados según la normativa vigente, percibiendo y permitiendo la recolección de información. Se utilizaron instrumentos tales como los insumos del laboratorio entre ellos el horno de secado, balanzas mecánicas, tamices, taras codificadas, copa de Casagrande, equipos y moldes para CBR y próctor, entre otros; se utilizaron también hojas de cálculo con formatos para el procesamiento de datos obtenidos en los ensayos.

El proceso en laboratorio comenzó con el secado de la muestra según lo recomendado por diferentes autores. La muestra fue separada para realizar el ensayo granulométrico y los ensayos correspondientes a Límites de Atterberg.

Se realizaron 3 ensayos granulométricos por lavado, una vez la muestra se encontró seca el ensayo fue realizado utilizando las mallas N10, N20, N30, N40, N60, N140 y N200. Para los ensayos posteriores correspondientes a próctor modificado, se consideraron 5 puntos de humedades, partiendo desde 8%, 10%, 12%, 14% y 16%, definiendo una curva que permitió determinar el valor de la Densidad máxima seca y el Contenido óptimo de Humedad.

Los ensayos de CBR utilizaron el dato previo de contenido óptimo de humedad, por medio de 3 moldes, el primero con 12 golpes por capa, el segundo con 25 golpes y el tercero con 56 golpes por capa, siendo 5 capas en cada uno de ellos. Estos moldes fueron sumergidos en agua cumpliendo con las 96 horas de saturación para tomar datos en el ensayo de expansión, pasado este periodo se realizó el ensayo de Carga – Penetración para determinar el esfuerzo a partir de la presión aplicada y el diámetro del pistón.

Considerando los 3 porcentajes 0.6%, 1.2% y 1.8% en peso, se tomó de la siguiente manera: Para el 0.6% se tomó 36 gramos de material aditivo correspondiente y 5964 gramos de muestra de suelo natural, para el 1.2% en peso se tomó 72 gramos de material aditivo correspondiente y 5928 gramos de muestra de suelo natural y

finalmente para el 1.8% en peso se tomó 108 gramos de material aditivo correspondiente y 5892 gramos de muestra de suelo natural.

Todos los ensayos realizados fueron guiados por los protocolos y la normativa vigente del ASTM y MTC de esta forma presentando los formatos de los ensayos, validando la legalidad y legitimidad de lo ejecutado. Esta investigación respeta la propiedad intelectual de los autores que lograron aportar al conocimiento del tema; así mismo, busca fortalecer la información previa y brindar datos que puedan ser utilizados en el futuro para mejorar la situación problemática.

III. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en laboratorio.

Propiedades del suelo natural en el que se realice la toma de muestra y realizar el ensayo de CBR para definir las propiedades del suelo

A partir de los ensayos granulométricos se determinó que más del 50% de las partículas pasaron la malla 200, definiendo así un suelo fino, esto complementado con los valores obtenidos referentes a Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de plasticidad mostrados en la Tabla 1.

TABLA I
VALORES OBTENIDOS PARA LÍMITES DE CONSISTENCIA

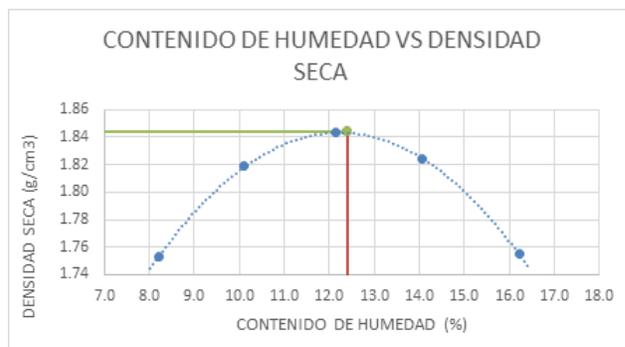
| Límite Líquido | | Límite plástico | | Índice plástico | |
|----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|------|
| LL | 25.32 | LP | 19.81 | IP | 5.51 |

Utilizando el sistema de clasificación de suelos SUCS se precisó un suelo de tipo CL-ML, arcillas de baja plasticidad y limos de baja plasticidad, utilizando el sistema de clasificación AASHTO se determinó un material limo arcilloso A-4 valiéndose de los datos de la Tabla 1, considerando a la vez el porcentaje de partículas que pasan la malla número 200 de 0.075 mm de abertura.

Continuando con el proceso para la obtención de información del suelo natural, se realizaron los ensayos respectivos para conocer el contenido óptimo de humedad, la densidad máxima seca y la capacidad portante del suelo, así posteriormente podrán usarse estos datos para realizar las comparaciones con los valores obtenidos al adicionar ambos materiales en las proporciones propuestas de 0.6%, 1.2% y 1.8%.

Al realizar el ensayo de Próctor modificado se consideraron 5 puntos de humedad, iniciando por 8% y aumentando 2%, de esta forma consiguiendo humedades al 8%, 10%, 12%, 14% y 16% logrando obtener el contenido óptimo de humedad.

FIG. 2
CURVA DE CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD SECA



En la figura 2 se observa la ubicación de los puntos que componen la curva y el incremento al agregar el 2% de agua hasta llegar al valor de Contenido óptimo de humedad y el decrecimiento a medida que nos alejamos.

TABLA 2
DATOS DEL ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO

| | |
|---|---------|
| Densidad seca máxima (g/cm ³) | : 1.844 |
| Contenido de humedad óptimo (%) | : 12.40 |

Con los datos de la Tabla 2 se procedió a continuar con los ensayos de CBR en 3 moldes, con 12, 25 y 56 golpes, al realizar el ensayo de Carga – Penetración se obtuvieron valores máximos de esfuerzo de 311.26 Lb/pulg², 505.62 Lb/pulg² y 55.27 Lb/pulg² correspondientes a cada molde. De esta forma obteniendo los valores relativos de soporte al 95% y 100% de la densidad máxima seca indicados en la Tabla 3.

TABLA 3
VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 95% Y 100% DMS

| Valor relativo de Soporte CBR |
|---|
| C.B.R. Para el 95% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 14.59 |
| C.B.R. Para el 100% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 25.18 |

En la Tabla 3 se indican los valores CBR de la muestra de suelo natural al 95% y 100% de la Densidad Máxima Seca.

Contrastar la influencia de la adición de cada material en los diferentes ensayos de CBR en los suelos arcillosos de la carretera que une las zonas de los centros poblados de Miraflores y Shultin, distrito de Baños del Inca, ciudad de Cajamarca

Adicionando Cemento Portland al 0.6% en peso.

Se realizó el ensayo de Carga – Penetración en la muestra adicionada con Cemento Portland al 0.6% en peso, obteniendo valores de esfuerzo máximo para los moldes de 12, 25 y 56 golpes a una penetración de 0.5 pulgadas, siendo estos de 317.40 Lb/pulg², 530.06 Lb/pulg² y 646.88 Lb/pulg². Consiguiendo aumentar los valores relativos de soporte CBR en comparación a los determinados para la muestra de suelo natural, tal como se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4

VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 95% Y 100% DMS ADICIONADO CEMENTO PORTLAND AL 0.6% EN PESO.

| Valor relativo de Soporte CBR |
|---|
| C.B.R. Para el 95% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 23.32 |
| C.B.R. Para el 100% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 32.82 |

Adicionando Cemento Portland al 1.2% en peso

Se realizó el ensayo de Carga – Penetración en la muestra adicionada con Cemento Portland al 1.2% en peso, obteniendo valores de esfuerzo máximo para los moldes de 12, 25 y 56 golpes a una penetración de 0.5 pulgadas, siendo estos de 329.33 Lb/pulg², 927.49 Lb/pulg² y 1228.36 Lb/pulg². Consiguiendo aumentar los valores relativos de soporte CBR en comparación a los determinados para la muestra de suelo natural, tal como se muestra en la Tabla 5.

TABLA 5

VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 95% Y 100% DMS ADICIONADO CEMENTO PORTLAND AL 1.2% EN PESO.

| Valor relativo de Soporte CBR |
|---|
| C.B.R. Para el 95% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 45.33 |
| C.B.R. Para el 100% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 47.04 |

Adicionando Cemento Portland al 1.8% en peso

Se realizó el ensayo de Carga – Penetración en la muestra adicionada con Cemento Portland al 1.8% en peso, obteniendo valores de esfuerzo máximo para los moldes de 12, 25 y 56 golpes a una penetración de 0.5 pulgadas, siendo estos de 455.59 Lb/pulg², 1023.83 Lb/pulg² y 1842.7 Lb/pulg². Consiguiendo aumentar considerablemente los valores relativos de soporte CBR en comparación a los determinados para la muestra de suelo natural, tal como se muestra en la Tabla 6.

TABLA 6

VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 95% Y 100% DMS ADICIONADO CEMENTO PORTLAND AL 1.8% EN PESO.

| Valor relativo de Soporte CBR |
|---|
| C.B.R. Para el 95% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 46.31 |
| C.B.R. Para el 100% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 50.37 |

Adicionando Cloruro de Sodio al 0.6% en peso

Se realizó el ensayo de Carga – Penetración en la muestra adicionada con Cloruro de Sodio al 0.6% en peso, obteniendo valores de esfuerzo máximo para los moldes de 12, 25 y 56 golpes a una penetración de 0.5 pulgadas, siendo estos de 307.46 Lb/pulg², 462.10 Lb/pulg² y 526.40 Lb/pulg². En este caso se observa que los valores de CBR mostraron una ligera reducción tomando como referencia el valor CBR de la muestra de suelo natural, en la Tabla 7 se muestran esos valores.

TABLA 7

VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 95% Y 100% DMS ADICIONADO CLORURO DE SODIO AL 0.6% EN PESO.

| Valor relativo de Soporte CBR |
|---|
| C.B.R. Para el 95% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 6.34 |
| C.B.R. Para el 100% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 10.07 |

Adicionando Cloruro de Sodio al 1.2% en peso

Se realizó el ensayo de Carga – Penetración en la muestra adicionada con Cloruro de Sodio al 1.2% en peso, obteniendo valores de esfuerzo máximo para los moldes de 12, 25 y 56 golpes a una penetración de 0.5 pulgadas, siendo estos de 334.52 Lb/pulg², 361.15 Lb/pulg² y 444.47 Lb/pulg². En este caso se puede observar que los valores de CBR mostraron una reducción tomando como referencia el valor CBR de la muestra de suelo natural, en la Tabla 8 se muestran esos valores.

TABLA 8

VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 95% Y 100% DMS ADICIONADO CLORURO DE SODIO AL 1.2% EN PESO.

| Valor relativo de Soporte CBR |
|---|
| C.B.R. Para el 95% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 6.33 |
| C.B.R. Para el 100% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 15.00 |

Adicionando Cloruro de Sodio al 1.8% en peso

Se realizó el ensayo de Carga – Penetración en la muestra adicionada con Cloruro de Sodio al 1.8% en peso, obteniendo valores de esfuerzo máximo para los moldes de 12, 25 y 56 golpes a una penetración de 0.5 pulgadas, siendo estos de 253.91 Lb/pulg², 352.30 Lb/pulg² y 378.78 Lb/pulg². En este caso se logra observar que los valores de CBR mostraron una reducción en gran medida tomando como referencia el valor CBR de la muestra de suelo natural y las dos muestras adicionadas con Cloruro de Sodio al 0.6% y 1.2%, tal como se muestran los valores en la Tabla 9.

TABLA 9

VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 95% Y 100% DMS ADICIONADO CLORURO DE SODIO AL 1.8% EN PESO.

| Valor relativo de Soporte CBR |
|---|
| C.B.R. Para el 95% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 3.58 |
| C.B.R. Para el 100% de la Densidad Máxima Seca (0.1") = 12.55 |

Analizando los valores relativos de soporte obtenidos en el ensayo CBR al 95% y 100% de la Densidad Máxima Seca tanto en la muestra de suelo natural como en las muestras adicionadas con Cemento Portland tipo I y Cloruro de Sodio, se puede realizar la comparación y análisis de los mismos.

TABLA 10

VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 95% EN SUELO NATURAL Y SUELO ADICIONADO CON CEMENTO PORTLAND

| CBR para 95% de la Densidad Máxima Seca con Cemento | |
|---|-------|
| Muestra Suelo Natural | 14.59 |
| Muestra Suelo al 0.6% en peso con cemento | 23.32 |
| Muestra Suelo al 1.2% en peso con cemento | 45.33 |
| Muestra Suelo al 1.8% en peso con cemento | 46.31 |

En la Tabla 10 se visualiza el incremento de los valores CBR al 95% de la Densidad Máxima seca al adicionar Cemento Portland en los porcentajes de 0.6%, 1.2% y 1.8% en peso en comparación con el valor inicial de la muestra de suelo natural.

TABLA 11

VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 100% EN SUELO NATURAL Y SUELO ADICIONADO CON CEMENTO PORTLAND

| CBR para 100% de la Densidad Máxima Seca con Cemento | |
|--|-------|
| Muestra Suelo Natural | 25.18 |
| Muestra Suelo al 0.6% en peso con cemento | 32.82 |
| Muestra Suelo al 1.2% en peso con cemento | 47.04 |
| Muestra Suelo al 1.8% en peso con cemento | 50.37 |

En la Tabla 11 se visualiza el incremento de los valores CBR al 100% de la Densidad Máxima Seca al adicionar Cemento Portland en los porcentajes de 0.6%, 1.2% y 1.8% en peso en comparación con el valor inicial de la muestra de suelo natural.

TABLA 12

VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 95% EN SUELO NATURAL Y SUELO ADICIONADO CON CLORURO DE SODIO

| CBR para 95% de la Densidad Máxima Seca con Cloruro de Sodio | |
|--|-------|
| Muestra Suelo Natural | 14.59 |
| Muestra Suelo al 0.6% en peso con Cloruro de Sodio | 6.34 |
| Muestra Suelo al 1.2% en peso con Cloruro de Sodio | 6.33 |
| Muestra Suelo al 1.8% en peso con Cloruro de Sodio | 3.58 |

En la Tabla 12 se visualiza una reducción de los valores CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca al adicionar Cloruro de Sodio en los porcentajes de 0.6%, 1.2% y 1.8% en peso en comparación con el valor inicial de la muestra de suelo natural.

TABLA 13

VALORES RELATIVOS DE SOPORTE AL 100% EN SUELO NATURAL Y SUELO ADICIONADO CON CLORURO DE SODIO

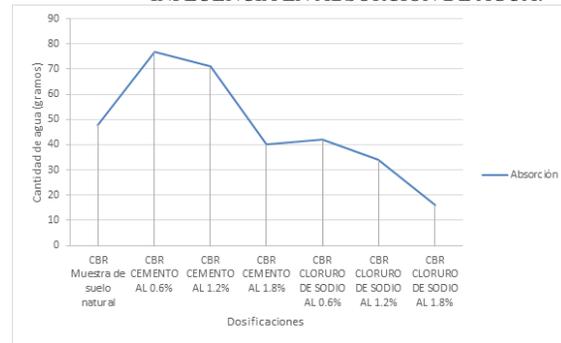
| CBR para 100% de la Densidad Máxima Seca con Cloruro de Sodio | |
|---|-------|
| Muestra Suelo Natural | 25.18 |
| Muestra Suelo al 0.6% en peso con Cloruro de Sodio | 10.07 |
| Muestra Suelo al 1.2% en peso con Cloruro de Sodio | 15 |
| Muestra Suelo al 1.8% en peso con Cloruro de Sodio | 12.55 |

En la Tabla 13 se visualiza una reducción de los valores CBR al 100% de la Densidad Máxima Seca al adicionar Cloruro de Sodio en los porcentajes de 0.6%, 1.2% y 1.8% en peso en comparación con el valor inicial de la muestra de suelo natural.

Material que proporcione mejores resultados en la estabilización de suelos arcillosos al analizar como agentes al Cloruro de Sodio y Cemento Portland Tipo I

Analizando la influencia del Cemento Portland y Cloruro de sodio como aditivos al 0.6, 1.2 y 1.8% en peso en la absorción de agua se determinó que ante mayor adición de Cloruro de Sodio esta cantidad de agua presenta una reducción hasta de un 66.67%, con respecto a la adición de Cemento Portland tipo I, se incrementó en los porcentajes de 0.6% y 1.2% y presentó una reducción de hasta 16.67% para el 1.8% en peso.

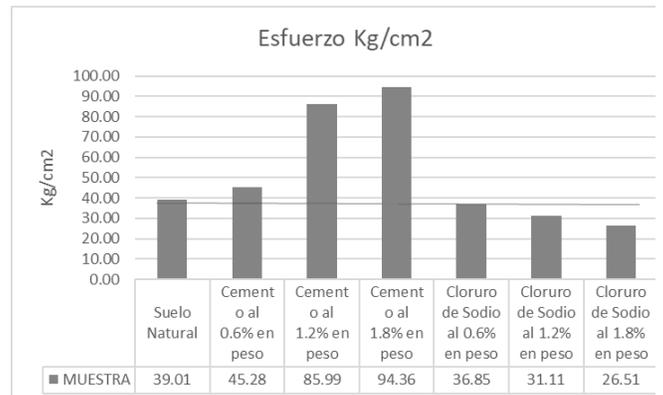
FIGURA 3
INFLUENCIA EN ABSORCIÓN DE AGUA.



La figura 3 muestra el efecto de la adición de ambos aditivos por separado en las 3 proporciones propuestas.

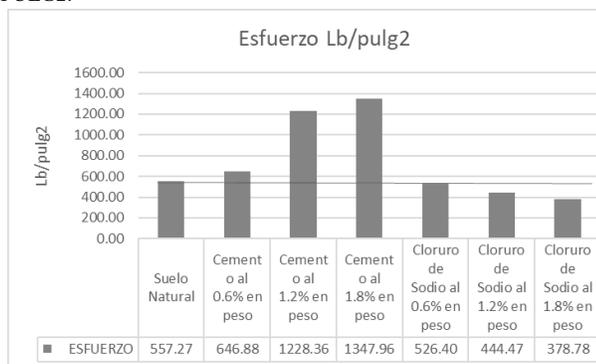
Los esfuerzos máximos registrados también se vieron influenciados directamente por las proporciones de adición, así como por el material seleccionado como aditivo, ante esto se visualiza en la Figura 4 y Figura 5 con estos valores expresados en Kg/cm² y Lb/pulg².

FIGURA 4.
INFLUENCIA Y COMPARACIÓN DE LOS ESFUERZOS EN KG/CM2.



La figura 4 muestra el aumento o reducción de los valores de esfuerzo según la adición de los materiales en las proporciones propuestas.

Figura 5. INFLUENCIA Y COMPARACIÓN DE LOS ESFUERZOS EN LB/PULG2.



La figura 5 muestra el aumento o reducción de los valores de esfuerzo según la adición de los materiales en las proporciones propuestas.

Se puede observar cómo, en comparación a los niveles de esfuerzo resistente del suelo natural, aquellos adicionados con Cemento Portland presentan valores mucho más altos; por el contrario, aquellos adicionados con Cloruro de Sodio muestran una reducción conforme se va incrementando el porcentaje de adición.

IV. DISCUSIÓN

Una vez obtenidos todos los resultados a partir de los ensayos realizados en laboratorio y considerando los objetivos de la investigación se pudo evaluar las propiedades del suelo natural en el que se realizó la toma de muestra y el correspondiente ensayo de CBR. Se precisó que el contenido de humedad promedio obtenido al realizar el ensayo de Límite Líquido utilizando la Copa de Casagrande a 16, 26 y 31 golpes, fue de 26.59%, 25.19% y 24.76%; finalmente, marcando un límite líquido de 25.32%, un límite plástico de 19.81% y un índice de plasticidad de 5.51.

Al realizar en ensayo de Próctor modificado, se obtuvo un contenido óptimo de humedad de 12.40% y una densidad máxima seca de 1.844 g/cm³. Con estos datos se procedió a realizar el ensayo de CBR con el fin de conocer la capacidad de soporte del suelo en su estado natural, siendo este analizado en 3 moldes con compactaciones de 12, 25 y 56 golpes por 5 capas, las densidades secas en estos moldes fueron de 1.69, 1.775 y 1.867 kg/cm³ respectivamente, definiendo los valores relativos de soporte CBR al 95% y 100% de la Densidad Máxima Seca como 14.59 y 25.18 respectivamente.

Al determinar el efecto de la adición de Cloruro de Sodio y Cemento Portland en el ensayo de CBR en los suelos arcillosos de la carretera que une las zonas de los centros poblados de Miraflores y Shultin, distrito de Baños del Inca, ciudad de Cajamarca, se contempló que al adicionar el Cemento Portland tipo I al 0.6%, 1.2% y 1.8% para el ensayo de CBR, los valores iniciales al 95% y 100% de la densidad máxima seca se incrementaron en un 8.73, 30.74 y 31.72% y 7.64, 21.86 y 25.19% respectivamente, consiguiendo valores finales de 23.32, 45.33 y 46.31% y 32.82, 47.04 y 50.37% según corresponde.

La adición de Cemento Portland aumenta en proporciones considerables la capacidad portante, logrando mejorar la resistencia a la erosión y la durabilidad del suelo,

reduciendo los efectos volumétricos relacionados a la variación de contenido de agua. [5]

El uso de Cemento Portland tipo I al ser adicionado en relación de 2, 4 y 8% mejora en gran medida las propiedades físico-mecánicas del suelo natural, los valores de CBR al 95% y 100% de la Densidad Máxima seca alcanzados fueron de 82.60, 161.00 y 157.50% y 112.97, 209.32 y 226.39% según corresponde. [11]

Ante un porcentaje de 3% de adición de Cemento Portland tipo I logra aumentar los valores de CBR al 95% de la densidad máxima seca desde un 30.8% hasta un 51%. [12]

El aumento en los valores de CBR al 95% y 100% en las proporciones de 1, 3 y 5% llegaron hasta 3.50, 6.63 y 13.75% y 4.45, 7.70 y 15.70% según corresponde, partiendo desde valores iniciales de 1.30% para el 95% y 1.44 para el 100% de la densidad máxima seca. [13]

Los estudios realizados en un suelo limo arcilloso adicionando Cemento Portland tipo I al 8, 12 y 16% permitieron un incremento hasta de 13, 18 y 28% al 95% de la densidad máxima seca. [14]

Al analizar los valores de soporte CBR con la adición al 0.6, 1.2 y 1.8% en peso de Cloruro de Sodio se observó un comportamiento insuficiente, observando una reducción en los valores de CBR a 95% y 100% de la densidad máxima seca, disminuyendo en un 8.25, 8.26 y 11.01% y 15.11, 10.18 y 12.63% el valor inicial de CBR, determinando valores de 14.59, 6.34 y 3.58 y 15.11, 10.18 y 12.63%. Esta reducción se ve respaldada con los estudios revisados.

La adición de Cloruro de Sodio influye directamente en los valores de CBR al 95% y 100% de la Densidad máxima seca, al considerar porcentajes de 2, 4 y 6% se observó que solo existió un incremento de 7% al 7.46% con la adición al 2%, para las siguientes dos proporciones los valores de CBR iniciales se vieron reducidos. [15]

Ante las proporciones de 1.5, 3 y 4.5%, se visualizaron resultados similares debido a que solo con el primer porcentaje presentó incrementos en los valores de CBR, para los dos siguientes porcentajes, los resultados llegaron a reducir los valores iniciales, determinando que este material puede llegar a ser perjudicial. [16] Ante dosificaciones de 1, 2 y 3% por metro cúbico de muestra, los resultados fueron negativos, decidiendo que estas proporciones llegan a perjudicar el suelo natural. [17] Por el contrario, diferentes autores mencionan que el Cloruro de Sodio efectivamente aumenta los valores de CBR.

El Cloruro de Sodio utilizado al 2, 4 y 6% como aditivo influye en los valores de CBR al 95% y 100% de la densidad máxima seca, entre ellos el porcentaje de 6% proporcionó los mejores resultados siendo esta la proporción ideal de adición para el tipo de suelo arcillosos A-6 estudiado. [18]

Las muestras adicionadas con Cemento Portland llegan a necesitar una cantidad adicional de agua que toman al momento de la saturación, durante el ensayo de expansión, esto con la finalidad de producir las reacciones y dotar al suelo de una mayor resistencia, las muestras a las que se adicionó este material en mayor proporción absorben mayores cantidades de agua. [19]

El trabajo de investigación presenta limitaciones relacionadas a la heterogeneidad de los suelos, debido a que los mismos son muy complejos y presentan variabilidad, además de que los suelos pueden contener diversa materia orgánica que producirá efectos

adversos en las reacciones con los materiales seleccionados como aditivos; es por ello, que existirá una versatilidad en los resultados de los diferentes autores. Las limitaciones también dependen en gran medida de la manipulación de la muestra sustentando que los valores obtenidos en laboratorio serán distintos a los valores que puedan presentarse in situ, debido a que se realizan en un ambiente controlado y con procedimientos normados. La adquisición de Cloruro de Sodio también puede afectar los resultados, siendo las composiciones distintas al utilizar sal industrial, sal de cantera y sal de mesa.

V. CONCLUSIONES

Se precisó que el suelo existente en la zona de estudio es un suelo de tipo CL-ML (arcillas de baja plasticidad y limos de baja plasticidad).

Se determina que el cambio en la resistencia del suelo en porcentaje de adición 1.8% en peso del Cemento Portland, aumenta desde el valor inicial en el suelo natural de 39.01 Kg/cm² (557.27 Lb/pulg²) hasta 94.36 Kg/cm² (1347.96 Lb/pulg²), este aumento de un 141.89% indica los efectos tan ventajosos.

Comprobamos que, al adicionar Cemento Portland Tipo I a un suelo arcilloso, los valores de CBR se verán incrementados con relación a los valores iniciales, esto en contraste con lo que sucede al adicionar Cloruro de Sodio que puede disminuir la resistencia inicial perjudicando el suelo natural.

Se concluye que, el material que logra proporcionar mejores resultados en la estabilización de suelos arcillosos entre el Cloruro de Sodio y el Cemento Portland tipo I, es claramente el Cemento Portland tipo I y, ante las proporciones propuestas, se determina que el 1.8% en peso se considera la proporción óptima de adición, logrando una clasificación de subrasante S5, subrasante excelente.

REFERENCES

- [1] J. A. Hernández Lara, D.R. Mejía Ramírez & C.E. Zelaya Amaya, "Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador", Tesis para optar por el título profesional, Universidad de El Salvador, San Miguel, 2016. Accedido el 13 de mayo de 2022. [En línea].
Disponible: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14342/1/50108285.pdf>
- [2] D. Salas Mercado, "Estabilización de suelos con adición de cemento y aditivo terrasil para el mejoramiento de la base del km 11+000 al km 9+000 de la carretera Puno – Tiquillaca – Mañazo", Tesis para optar por el título profesional, Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez", Juliaca, 2017. Accedido el 14 de mayo de 2022. [En línea].
Disponible: <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/1378>
- [3] A. Pelayza Valenzuela, "Análisis comparativo de la estabilización de suelos arcillosos adicionando cloruro de sodio y cloruro de magnesio, Huancayo 2022", Tesis para optar por el título profesional, Universidad César Vallejo, Lima, 2022. Accedido el 10 de noviembre de 2022. [En línea].
Disponible: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98814>
- [4] *Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.
- [5] A. Hernández Domínguez, "Análisis comparativo de un material estabilizado con cal y cemento". México", Tesis para optar por el título profesional, Instituto Politécnico Nacional, México D.F, 2016. Accedido el 13 de mayo de 2022. [En línea].
Disponible: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/19529>
- [6] B. R. Larrea Olivero & J.C. Rivas Cajo, "Estabilización de Suelos Arcillosos con Cloruro de Sodio y Cloruro de Calcio", Tesis para optar por el título profesional, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2019.
- [7] L. Fernández Riva, "Estabilización de suelos arcillosos mediante adición de cloruro de sodio (NaCl) para uso de vías terrestres. Estudio de casos: suelos de Chachapoyas, 2016.", Tesis para optar por el título profesional, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, 2018.
- [8] I. I. Guamán Iler, "Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)", Tesis para optar por el título profesional, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016. Accedido el 9 de junio de 2022. [En línea].
Disponible: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24608/1/Tesis%201088%20-%20Guamán%20Iler%20Israel%20Isaías.pdf>
- [9] H. W. Fernández Gálvez, "Efecto del aditivo Terrazyme en la estabilización de suelos arcillosos de subrasantes en la zona de expansión de la ciudad de Cajamarca"., Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 2017. Accedido el 3 de noviembre de 2022. [En línea].
Disponible: https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1140/T016_42379696_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [10] J. L. Arias Gonzáles, *Diseño y metodología de la investigación*. Arequipa: Enfoques Consulting EIRL, 2021. Accedido el 20 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible:
<http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2260>
- [11] M. M. Núñez Flores, J.R. Olivera Díaz, "Estabilización Química de Suelos Arcillosos Para Conformación de Estructura de Pavimento Rígido Utilizando Cemento Portland Tipo I Jaén - Cajamarca", Tesis para optar por el título profesional, Universidad César Vallejo, Lima, 2021.
- [12] F. R. Urcía García, "Estabilización del suelo con la aplicación de Cemento Portland tipo I para la mejora de la carretera a nivel de afirmado en el tramo Izcuchaca – Quichuas. Región Huancavelica, 2017", Tesis para optar por el título profesional. Universidad César Vallejo, Lima, 2017. Accedido el 13 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/23128/Urcia_GFR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [13] C. Velásquez Pereyra, "Influencia del Cemento Portland tipo I en la estabilización de suelos arcilloso de la subrasante de la Avenida Dinamarca, Sector La Molina", Tesis para optar por el título profesional. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, 2018.
- [14] Y. Quispe Suma, R.M. Venero Delgado, "Mejoramiento de suelo limo

- arcillosos para incrementar la resistencia mecánica de subrasante aplicando Cemento Portland, en Distrito Inkawasi – Cusco – 2021”, Tesis para optar por el título profesional, Universidad César Vallejo, Lima, 2021. Accedido el 8 de junio de 2022. [En línea]. Disponible:
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/85694/Quispe_SY-Venero_DRM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [15] K.F. Eche Oroya, A.L. Pelaez Loyola, “Estabilización de suelos de la red vial vecinal AN-876 con cloruro de sodio obtenido de diferentes salineras, Distrito de Santa – Ancash – 2019”, Tesis para optar por el título profesional, Universidad César Vallejo, Chimbote, 2019”
- [16] A. S. d . C. Pérez Tacanga. L. A. Rosas Rodríguez, “Influencia del cloruro de sodio sobre la resistencia, permeabilidad, relación de soporte de California de suelos arcillosos urbanos”, Tesis para optar para el título profesional, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, 2021.
- [17] E. Caruajulca Chávez, “Influencia del aditivo Cloruro de Sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo cruce El Porongo – Aeropuerto – Cajamarca”, Tesis para optar por el título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 2018. Accedido el 23 de junio del 2022. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2074/TEESIS%20100%25%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [18] J. A. Gambini Zelada, “Estabilización de la subrasante con cloruro de sodio en el Sector 24 la Villa de Huacariz – Cajamarca”, Tesis para optar por el título profesional, Universidad César Vallejo, Chimbote, 2021.
- [19] M. A. Castro Gonzales, J.D. Navarro Pereyra, “Análisis de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico”, Tesis para optar por el título profesional. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2019.

