

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS\_CABALLERO\_LLANOS.docx**

RECUENTO DE PALABRAS

**13933 Words**

RECUENTO DE PÁGINAS

**63 Pages**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 18, 2023 2:56 PM GMT-5**

RECUENTO DE CARACTERES

**68722 Characters**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**9.6MB**

FECHA DEL INFORME

**Aug 18, 2023 2:58 PM GMT-5****● 24% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 21% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 20% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado



Universidad  
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**Evaluación de las Propiedades Mecánicas y  
Microestructurales del Suelo Arcilloso Adicionando  
Caucho Reciclado y Concha de Abanico Triturada**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**

**Autor (es):**

**Bach. Caballero Talledo Kevin David**

<https://orcid.org/0000-0002-1855-4664>

**Bach. Llanos Maco Oscar Alonso**

<https://orcid.org/0000-0001-8284-5485>

**Asesor(a):**

**Mag. Chilón Muñoz Carmen**

<https://orcid.org/0000-0002-7644-4201>

**Línea de Investigación**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**

**2023**

## 2. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática.

A nivel internacional según [1], nos mencionan que los suelos expansivos, como es el caso de las arcillas, representan un peligro significativo para las estructuras que se realicen en este tipo de suelo, dado que este tipo de suelo al absorber agua llegan a expandirse y al secarse suelen dejar vacíos en el suelo; [2] nos corrobora que este tipo de suelo posee un alto potencial de contracción e hinchazón, y tiene baja capacidad de carga y resistencia al corte. Asimismo, [3] nos corroboran que, este tipo de suelos son difíciles de tratar y es por ello que generan problemas en las estructuras que se lleguen a construir en ella, dado a que el suelo presenta variaciones de volumen al entrar en contacto con el agua, además, [4] nos dice que los pavimentos en este tipo de suelos sufren problemas de agrietamiento y desgaste prematuro del pavimento, debido las estaciones secas y húmedas cíclicas. [5] Nos dicen que el suelo que se usara con fines de pavimentación implica una estabilidad a largo plazo de la carretera, es por ello que se busca la durabilidad de la pavimentación, evitando de esta forma los asentamientos diferenciales y problemas de hundimiento del suelo. Existen diferentes técnicas para mejorar el suelo, pero se requiere de mano de obra calificada y equipos específicos para obtener un resultado satisfactorio, es por ello que se buscan alternativas para obtener la estabilización del suelo. Además, [6] nos mencionan que para fines de pavimentación el suelo debe soportar una fuerte compresión, sin embargo, la propiedad de tensión es débil. Es por ello que se busca un material de refuerzo para que de esta forma se pueda aumentar la estabilidad, capacidad de carga recalando la resistencia que puede ofrecer el suelo, asimismo, [7] nos dicen que el suelo de tipo arcilloso tiene una capacidad de carga relativamente baja y además presenta una alta comprensibilidad, es por ello que es muy probable que se presenten asentamientos. Además, [8], corroborando lo antes mencionando, nos dice que la subrasante debe tener suficiente resistencia y estabilidad incluso en condiciones climáticas y de tráfico adversas. El suelo con buenas cualidades debe

usarse como subrasante, pero no todos los suelos poseen las capacidades requeridas, ya que hay algunos lugares que tienen malas cualidades de suelo in situ. La estabilización del suelo se puede utilizar para mejorar la subrasante deficiente. En busca de mejorar las propiedades mecánicas, [9] nos da a conocer que el uso de residuos como alternativa para la estabilización de suelos está atrayendo un interés considerable debido a sus beneficios de ingeniería, ambientales y económicos. Estos residuos, según [10], han aumentado enormemente debido al rápido desarrollo de la población y la continua expansión de la urbanización. Como resultado, anualmente se produce una gran cantidad de desechos sólidos industriales y municipales. [3] nos afirman el uso de caucho triturado reciclado, nos permite reducir en parte el impacto ambiental de este dado que los desechos de este son cantidades grandes y se encuentran en cualquier parte del mundo, además, su incorporación al suelo arcilloso nos proporciona beneficios reduciendo el índice de plasticidad, entre otras propiedades como es el (CBR). Asimismo, [7] nos mencionan que los residuos como el que se piensa utilizar en el presente trabajo se han convertido también en una opción reconocida para el mejoramiento de suelos blandos debido a su viabilidad económica y cordialidad natural, permitiendo que esta sea una opción sustentable para el mejoramiento de suelo. [11] nos mencionan que, respecto a la creciente producción de desechos de llantas, el uso de estos desechos como aditivo en la ingeniería civil siempre ha llamado la atención de los investigadores debido a sus efectos positivos sobre las propiedades de los materiales y la reducción de los problemas ambientales. Asimismo, [12], nos dan a conocer que otro de los problemas medio ambientales que se presentan son los desechos de concha de abanico, dado que la industria pesquera desecha toneladas de conchas marinas, las cuales no se reutilizan y además el tiempo de descomposición de estos son extensos, es por ello que, para reducir este impacto ambiental, se propuso usar estos desechos de concha de abanico en busca de mejorar las características de resistencia del suelo. En lo cual [13], nos dan a conocer que la utilización del caucho y concha de abanico triturado para la estabilización de suelos, obteniendo beneficios deseados en el aumento de resistencia del suelo. Respecto a la concha de abanico triturada, [7] nos mencionan que el espacio intermolecular disminuye,

es decir, que se forman nuevos materiales cementantes que aumentan la unión entre las partículas del suelo, asimismo, aumenta el uso de concha de abanico triturada también aumenta el CBR, otorgando mejoras mecánicas al suelo. Además, respecto al caucho triturado [14] nos dicen que el uso de este al nivel microestructural otorga adhesión en la mezcla y de esta forma mejora la resistencia a la tracción del suelo.

En el Perú [15] nos menciona que se puede presenciar que existe una deficiencia en el control de la eliminación de desechos, y el impacto ambiental de los desechos que no son biodegradables es alto, ya que estos se demoran cientos de años en poder degradarse. Así como en el caso de las conchas de abanico, ya que estas generan malos olores y emiten gases que llegan a ser perjudiciales para la salud e incluso generando incomodidad por los malos olores que se emiten. Así mismo, [16] nos dice que estos residuos generan una contaminación y, además, como en el caso del caucho de las llantas, estos también generan sustancias tóxicas (óxido de azufre) perjudiciales para la salud humana. Además, [17] nos menciona que nuestro país presenta problemas en la subrasante debido a nivel freático que daña la mencionada capa, esto en diferentes tipos de vías ya sean caminos y/o carreteras, las soluciones planteadas no son económicas ya que, se requiere reemplazar a la subrasante por un nuevo material que sea más resistente. [18] nos dicen que el ignorar las propiedades que presentan los suelos, suele tener un perjuicio económico y humano, originándose una problemática en el sector constructivo, asimismo, [19] nos dicen respecto al tipo de suelo, este tiene la característica de hincharse en presencia de humedad y de contraerse cuando existe sequedad, esto es un problema dado a que es muy probable que existan asentamientos diferenciales, esto siendo un problema grave en la pavimentación. Según [15], nos da a conocer que las alternativas de solución más comunes en la población son los vertederos del mismo material o también se busca la reutilización de los mismos. Por lo cual, [20] nos menciona que en el Perú es común ver ahuellamientos, baches y ondulaciones en las pistas y carreteras, es por ello, que se busca mejorar y obtener una alternativa la cual sea accesible, económico y además que mejore significativamente las propiedades del suelo.

Referente al caucho triturado [21] nos mencionan que <sup>107</sup> la incorporación de este material para el mejoramiento de suelo si nos da resultados positivos, es decir, aumenta las características del suelo en 1.75 veces. Además, [22] nos mencionan sobre el <sup>11</sup> uso de conchas de abanico triturada para la estabilización de suelos, se observa una notable mejoría. Asimismo, [23] menciona que las propiedades del suelo mejoradas son la compactación ya que se obtiene un CBR al 95% de 50% donde muestra un resultado favorable para la estabilización de suelos. Por lo cual, tanto el uso de caucho reciclado y de concha de abanico triturada se observan mejorías en las propiedades mecánicas y microestructurales en el suelo, siendo <sup>2</sup> estos una alternativa sostenible y económica para el mejoramiento de suelos.

La adición de caucho reciclado y concha de abanico triturada, <sup>2</sup> influye de manera positiva en las características mecánicas y microestructurales de los suelos con partículas arcillosas. La utilización de estos residuos, se debe a que abundantes recursos se vienen aprovechando en las costas del país, luego de haber aprovechado estos recursos los residuos son desechadas, generando contaminación de suelos al no contar con el manejo adecuado de residuos sólidos, además, no tienen un fin de reutilización definidas, es por ello que se busca una nueva forma de aplicación para este material poco usado y que el uso de estos reduce el impacto ambiental que generan, asimismo, al usar estos desechos como alternativa para la estabilización de suelos se logra disminuir los costos, debido a que estos son una alternativa más económica a comparación a otros métodos existentes.

A nivel internacional, [24] en su investigación titulada: "Evaluation of the expansive clay subgrade stabilizing it with synthetic rubber", <sup>97</sup> tuvo como objetivo estudiar la aplicación del caucho sintético pueda <sup>12</sup> mejorar las características del suelo. Su metodología fue realizar ensayos para conocer el rendimiento del caucho sintético como estabilizador de suelos variando los porcentajes de adición en 3%, 6%, 9% y 12% de caucho sintético. Sus resultados mostraron que su <sup>12</sup> límite líquido, plástico e índice de plasticidad para su suelo patrón fue de 96%, 58% y 38% respectivamente; su porcentaje óptimo de humedad fue de 21%, el porcentaje óptimo para las mejorar de las características del suelo es del 12% de adición de caucho sintético siendo su CBR del 11% aproximadamente. Concluyó que el uso de caucho

sintético puede incrementar el porcentaje del CBR así mejorar sus propiedades mecánicas aumentando significativamente en comparación con su suelo patrón.

[8] en su investigación titulada: Subgrade stabilization incorporating shredded rubber, tuvo como objetivo utilizar el caucho triturado para ser adicionado al suelo a través de su capa subrasante para lograr mejorar sus propiedades, para que así se reduzca la eliminación inadecuada y la contaminación del caucho. Su metodología fue de mezclar porcentajes de caucho triturado 2%, 4%, 6% y 8% para mejorar el valor del CBR. Sus resultados mostraron que la muestra patrón seca obtuvo un resultado de 5.62% y húmeda de 3.40%, con la adición del 4% de caucho triturado mejoró sus resultados siendo de 36.09% y 30.14% respectivamente. Concluyó que la presencia del caucho triturado aumenta el CBR en el suelo en su capa sub rasante el máximo se produjo con el 4% de caucho triturado aportando un valor más alto para el CBR.

[25] en su investigación titulada: "Stabilization of the subgrade layer with non-biodegradable waste materials" se tuvo como objetivo evaluar el uso de polvo de caucho desecho no biodegradable y su influencia en suelos blandos como aditivo. Su metodología fue agregar polvo de caucho desecho no biodegradable en porcentajes de 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8% y 10% con respecto al peso del suelo. Sus resultados mostraron su muestra patrón siendo un suelo clasificado como OH teniendo un límite líquido del 58%, límite plástico del 32.72%, contenido de humedad del 135,77%, un CBR seco del 2.01% y CBR húmedo del 1.86%; con el valor del 7% de caucho su CBR húmedo aumenta hasta un 3.96% y el CBR seco aumenta hasta un 4.72%. Concluyó que la inclusión de polvo de caucho en el suelo aumenta la resistencia del suelo, los valores del CBR con el contenido óptimo de caucho incrementa, y hace mucho más económico el proyecto puesto que el pavimento se reduce debido al valor del CBR disminuyendo su espesor.

[14] en su investigación titulada: "Study of a clayey soil incorporating rubber residues" se tuvo como objetivo evaluar los parámetros geotécnicos del suelo mezclándolo con caucho. Su metodología fue realizar diferentes ensayos mecánicos y examen binocular para una mejor comprensión de los mecanismos subyacentes, para ellos mezcló el suelo con caucho

del 2% al 30%. Sus resultados mostraron que su muestra patrón sienta un suelo de arcilla de baja compresibilidad tiene límite líquido del 33%, límite plástico del 17% y porcentaje óptimo de humedad del 19%. Concluyó con respecto a la investigación microscópica del polvo de caucho sin mezclar puede tener hasta un 1% de tiras de caucho teniendo un impacto insignificante en la resistencia de la mezcla. Los cambios de contenido óptimo de humedad y la densidad máxima seca de las muestras mientras más porcentajes de caucho tenga la densidad seca máxima baja y obtiene un contenido óptimo de humedad mayor. El uso del 10% de caucho en la mezcla es óptimo para lograr una resistencia alta. Si el caucho tiene forma de fibra ofrece el mayor aumento de resistencia reforzando la mezcla y mejorando la resistencia a la tracción. Y que la investigación microestructural de la mezcla por microscopio óptico y binocular sugiere la adhesión entre la arcilla y el caucho mejorando la función de la mezcla.

[11] en su investigación titulada: "Evaluation of clayey soils with tire dust increases in their geotechnical properties" se tuvo como objetivo principal examinar la influencia del polvo de neumático en las características geotécnicas de los suelos arcillosos. Su metodología fue de mezclar con el suelo arcilloso porcentajes de polvo de neumático de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%. Las propiedades de su suelo respecto a LL, LP e IP para suelos con alto índice plástico son de 75%, 28% y 47 y para el suelo de baja plasticidad es de 33%, 17% y 16 respectivamente. Teniendo como resultados que el límite líquido fue disminuyendo mientras más porcentajes de polvo de neumático se agregaba, para el límite plástico disminuía hasta el 10% luego aumentó ligeramente para después decaer desde el 20% de polvo de neumático. Concluyó que el uso de polvo de neumáticos puede mejorar las propiedades de los límites de Atterberg del suelo arcilloso.

[12] en su investigación titulada: "analysis of marine shells in order to improve the characteristics of resistance in silty sands" se tuvo como objetivo principal mejorar las características de resistencia del suelo. Su metodología fue triturar la concha de abanico en espesores de 4,75 a 75mm, estos se adicionaron al suelo en un porcentaje de 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% y 40%, a los cuales se le realizaron ensayos de CBR empapado y sin

empapar. Sus resultados mostraron que el porcentaje óptimo para mejorar las propiedades mecánicas del suelo fue 35% de concha de abanico triturada, estos aumentaron la resistencia máxima del CBR sin empapar y empapado.

[13] en su investigación titulada: Stabilization on Expansive soil using sea shell powder and Rubber powder, tuvo como objetivo mejorar las propiedades mecánicas del suelo arcilloso. Su metodología fue de mezclar el suelo arcilloso con porcentajes de concha de abanico triturada al 6%, 8%, 10%, 12% y 14% y también se mezcló este suelo arcilloso con porcentajes de 2%, 3%, 4%, 5% y 6%. Por último, se realizó una mezcla de suelo arcilloso con concha de abanico triturada al 12% y caucho triturado al 2%, 3%, 4%, 5% y 6% para mejorar la resistencia no confinada. Los resultados mostraron que el suelo arcilloso de su muestra tuvo un LL, LP e IP fue de 74.2%, 37.57% y 36.63 respectivamente, su óptimo contenido de humedad fue del 27% adicionando el 12% de concha de abanico triturada y 5% de caucho triturado tuvo una mejora a la compresión no confinada en un 14%. Concluyó que incluyendo el porcentaje óptimo de concha de abanico y polvo de caucho la resistencia aumenta.

[7] en su investigación titulada: Improving the Soft Clay using Seashell and Eggshell for Road Construction, el objetivo de esta investigación es estudiar el efecto de la adición de polvo de cáscara de huevo y concha marina sobre el CBR de suelos arcillosos blandos para ser utilizados en la construcción de pavimentos y además también se incluyó la difracción de rayos X (XDR). Su metodología fue, se mezclaron diez mezclas diferentes del suelo arcilloso con (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20%) de concha de abanico triturada y polvo de cáscara de huevo, luego, se llevaron a cabo una serie de pruebas de laboratorio, en total se realizaron 47 pruebas en el suelo arcilloso blando. Los resultados mostraron que mediante el análisis XDR, nos dice que, al aumentar la adición de polvo de cáscara de huevo y concha de abanico triturada, el pico de caolinita disminuye gradualmente, lo que indica la formación de nuevos materiales cementantes que aumentan la unión entre las partículas del suelo y disminuyen los vacíos intermoleculares. Además, la arcilla blanda no se puede utilizar en la construcción de carreteras, ya que tiene un CBR bajo de 0,97 %, pero la arcilla blanda mejorada con

conchas marinas y polvos de cáscara de huevo tiene valores más altos de CBR. Se encuentra que aumenta de 0,97% a 8,73% y 6% respectivamente. Concluyó que la adición de esta variable es más eficaz que la adición de polvo de cáscara de huevo en la construcción de pavimentos.

[26] en su investigación titulada: "Effect of cement-stabilized kaolinite clay and recycled seashells exposed to sulfate", el objetivo de esta investigación es determinar la eficacia de la concha marina para reducir los impactos negativos de la concentración de sulfato de magnesio en las mezclas de arcilla estabilizada con cemento. Su metodología fue preparar la mezcla, los contenidos de cemento Portland aplicados fueron de 3, 5 y 7%, mientras que la dosificación de conchas marinas fue de 5, 10 y 15%. Las muestras se curaron durante 7, 14 y 28 días cuando se mezclaron completamente. Se realizaron una serie de pruebas de compactación para obtener los valores óptimos de contenido de humedad y densidad máxima seca para preparar las muestras en la sección de prueba de resistencia de compresión no confinados (UCS). Los resultados indican que conforme se fue añadiendo el cemento y la concha de abanico, el óptimo porcentaje de humedad es de 23%, sin embargo, el valor más alto fue con la adición únicamente de 7% de cemento. Además, durante el ensayo de densidad seca patrón fue de 1.42 g/cm<sup>3</sup> siendo este un resultado positivo, el cual varía mínimamente pero conforme se le va añadiendo las variables estabilizantes estos valores van disminuyendo. El análisis microestructural demostró que la presencia de sulfato de magnesio puede reducir la formación de CSH. Concluyó El análisis SEM ha demostrado que las conchas marinas pueden unirse con la caolinita y el poder del cemento que apoya la sustitución del cemento por sustitución de conchas marinas, se demuestra que la adición de conchas marinas es eficaz para mejorar el valor máximo de UCS.

[27] en su investigación titulada: "Use of Glass Shells in a Clay Soil improving its properties", el objetivo de esta investigación es brindar una alternativa a los problemas de los suelos arcillosos, Su metodología fue mezclar El suelo arcilloso con 7% de vidrio y con 3%, 6%, 10%, 12% y 15% de CA triturado y pasado por malla n° 100. Se realizaron ensayos del análisis granulométrico y de sedimentación, además también se determinaron los límites de

Atterberg<sup>5</sup> y finalmente el ensayo de Proctor modificado. Los resultados indican que la proporción que tiene 7% de vidrio y 6% de concha de abanico, tiene mejores resultados porque hay una mejora en su densidad seca de 1,784 g/cm<sup>3</sup> a 1,847 g/cm<sup>3</sup>, su contenido de humedad aumenta de 9.4% a 12,1%. Además, su ángulo de fricción mejora de 28,9° y la cohesión de 0,05 kg/cm<sup>2</sup> a 0,1 kg/cm<sup>2</sup>. Estos resultados verifican que a 32 se mejoran las propiedades del suelo arcilloso. Se concluyó que los elementos estabilizadores para suelos arcillosos logran un incremento significativo en las propiedades mecánicas, logrando así una mejora en el suelo para construcciones.

En el Perú, [21] en su investigación titulada: "Uso del caucho con el fin de mejorar las propiedades de suelos con características arcillosas", tuvo como objetivo determinar cómo mejoran las propiedades mecánicas tanto como la densidad, valor de soporte del suelo con la incorporación de partículas de caucho de neumáticos. Su metodología fue variar entre los porcentajes de 1%, 3%, 5%, 7% y 9%. Sus resultados mostraron que su muestra patrón presenta que su LL, LP e IP son de 64%, 32% y 32% respectivamente, su CBR patrón es de 3.22% sin embargo al 95% fue de 2.94%, su (Ds) es de 1,551 gr/cm<sup>3</sup> y su óptimo porcentaje de humedad es del 25,72%; al adicionar un 3% de partículas de caucho de neumático incrementaron de 6.82% y 5.15% respectivamente, su máxima densidad seca es de 1,505 gr/cm<sup>3</sup> y su óptimo contenido de humedad es del 30%. Concluyó se mejoran las propiedades del suelo se incrementa, pero al adicionar más partículas de caucho de neumático este se reduce.

[28] estudio el comportamiento de los pavimentos el cual titula: "Diseño de la infraestructura de un pavimento flexible adicionando caucho con el fin de mejorar la subrasante", tuvo como objetivo determinar de la influencia de caucho reciclado para el diseño de un pavimento flexible. Su metodología consta de adicionar 10%, 20% y 30% de caucho reciclado en la subrasante para un diseño de pavimento. Sus resultados mostraron que su CBR patrón al 100% es de 7.1% y al 95% de 4.5%, pero al adicionar un 20% de caucho reciclado el CBR al 100% es de 22.4% y el CBR al 95% es de 19.6%. Concluyó que la incorporación de caucho la máxima densidad seca disminuye con respecto al patrón y que al

adicionar un 20% de caucho en la subrasante el diseño se vuelve más factible en lo económico, por lo que considera que la adición de caucho como una alternativa para el diseño de este tipo de estructuras.

[15] en su estudio publicado: “Mejoramiento de la subrasante con la incorporación de caucho y cal”, el objetivo fue evaluar la influencia de las variables como el caucho más la cal en las características de la subrasante. Su metodología fue variar los porcentajes de adición del caucho de 3%, 5% y 7% con 3%, 5% y 7% de cal. Sus resultados mostraron que su CBR patrón al 100% fue de 7.10% y que al incorporar el 7% de caucho ese incrementa hasta un 12.10% el CBR al 100% y 9% para el CBR al 95% con una humedad de 9.20%, densidad máxima de 2.026 gr/cm<sup>3</sup>, LL de 18%, LP de 15%, IP de 3%. Concluyó que la adición de caucho aumenta su CBR con respecto a la variable Cal la cual está mejora el nivel de subrasante controlando el nivel de humedad en este.

[29] en su trabajo publicado: “El uso (CA) para la estabilización del suelo”, el objetivo fue analizar la influencia de las conchas de abanico para la estabilización de suelo no pavimentado. Su metodología fue variar los porcentajes de (CA) en 2%,4% y 6%. Sus resultados mostraron que su muestra patrón su clasificación SUCS es CL arcilla arenosa de baja plasticidad y su clasificación AASHTO es A-6, su LL es del 28%, LP del 15%, IP del 13% con un CBR patrón de 17,9 al adicionar un 4% de conchas de abanico alcanza un resultado de 23 con una máxima densidad seca de 21,8 y humedad de 13,60%, su CBR patrón al 100% arroja un resultado de 17% y al 95% arroja 9.2%. Concluyó que adicionando el porcentaje óptimo de conchas de abanico utilizando la técnica de estabilización de suelos consigue aumentar su CBR inicial.

[23] en su investigación titulada: “Aplicación de la valva de conchas de abanico con el fin de estabilización del suelo blanco en Cañete”, tuvo como objetivo determinar la estabilización de suelos blandos con la incorporación de las valvas de (CA). Su metodología fue variar los porcentajes de adición de valvas de conchas de abanico entre el 15%, 35% y 55% para estabilizar el suelo. Sus resultados mostraron que su suelo natural su límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad fueron de 23%, 20% y 3%, para el suelo con 15% de

conchas de abanico fueron de 21%, 19% y 2%, con 35% de conchas de abanico de 20%, 19% y 1% y con 55% de conchas de abanico de 18%, 17% y 1% respectivamente. Su CBR patrón al 100% da una estimación de 29% pero al añadir 55% de valvas de conchas de abanico este incrementa hasta un 50% teniendo una densidad seca de 2.187 gr/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad de 6.7%. También con el 55% de conchas de abanico obtuvo una densidad seca de 2,187 gr/cm<sup>3</sup> con 56 golpes, 1,933% con 25 golpes y 1,756 con 10 golpes y una humedad de 6,7%. Concluyó que la adición de 55% de valvas de conchas de abanico mejoran el nivel de compactación obteniendo un CBR donde muestra un resultado favorable para la estabilización.

[22] en el trabajo de investigación titulado: “La concha de abanico como agente estabilizador del suelo a nivel de subrasante”, el objetivo planteado es analizar el efecto al adicionar la concha de abanico (CA) en los suelos. Su metodología fue variar los porcentajes de 5%, 7% y 9% para la incorporación de (CA) en el suelo a nivel de subrasante. Sus resultados mostraron que su CBR patrón al 95% alcanzo un valor de 5.72% y su máxima (Ds) fue de 11.36 gr/cm<sup>3</sup>, para el ensayo de Proctor modificado a la muestra patrón se determinó una humedad óptima del 8,8% y densidad máxima de 1,79%, dando un resultado óptimo que al adicionar un 7% de conchas de abanico su CBR incrementa hasta 12.67% y su máxima densidad seca es de 1.9 gr/cm<sup>3</sup>; el Proctor modificado para el 7% de conchas de abanico fue de 7,1% de humedad óptima y 1,9% de máxima densidad seca. Concluyó que si es viable la adición de conchas de abanico para la estabilización de suelos ya que se observó una notable mejoría en las propiedades del suelo.

[30] en su investigación titulada: “El uso del scallops como una alternativa renovable en la estabilización de suelos”, el objetivo es cómo influye el uso de los Scallops para la estabilización de suelos a nivel de subrasante. Su metodología trata de adicionar 5%, 10% y 15% de scallops para la estabilización de suelos y que cumplan con la normativa peruana. Sus resultados mostraron que su CBR patrón fue de 26.96%, sin embargo, cuando se trabajó en 95% el resultado adquirido llegó al 23.40% siendo su máxima (Ds) de 1.73 gr/cm<sup>3</sup> y su contenido óptimo de humedad de 7.87%, al adicionar el 15% de scallops el CBR al 100% es

de 42.53% y al 95% de 37.40% siendo su máxima densidad seca de 1.85 gr/cm<sup>3</sup> y su contenido óptimo de humedad de 8.10%. Concluyó que se incrementó su máxima densidad seca entonces se puede afirmar que el contenido óptimo de humedad disminuye mientras se va aumentando la dosificación para ser adicionado de scallops, por lo que la dosificación de estas influye en la densidad máxima seca.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cómo influirán la adición de caucho reciclado y conchas de abanico triturada en las propiedades mecánicas y microestructurales del suelo arcilloso?

## 1.3. Hipótesis

La hipótesis nos llevará al descubrimiento donde pueden desarrollar distintos resultados de la investigación, esta se plantea ya sea desde los resultados de otros estudios o estar basada en una teoría. [31]

Se plantean dos tipos de hipótesis: hipótesis de investigación (H1) e hipótesis nula (H0)

H1: Adicionando 4%, 7 %, 10% y 12% de caucho adicionando al peso seco del suelo y con el óptimo contenido de caucho adicionando 4%, 5%,6% y 7% de concha triturada de abanico respecto al peso seco del suelo. Mejorará las propiedades mecánicas y microestructurales del suelo.

H0: Adicionando 4%, 7 %, 10% y 12% de caucho adicionando al peso seco del suelo y con el óptimo contenido de caucho adicionando 4%, 5%,6% y 7% de concha triturada de abanico respecto al peso seco del suelo. No mejorará las propiedades mecánicas y microestructurales del suelo.

## 1.4. Objetivos

### Objetivo general

Evaluación de las propiedades mecánicas y microestructurales del suelo arcilloso adicionando caucho reciclado y concha de abanico para fines de pavimentación.

### Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a nivel de subrasante.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a nivel de subrasante adicionando 4%, 7 %, 10% y 12% de caucho adicionando al peso seco del suelo.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a nivel de subrasante con el óptimo contenido de caucho adicionando 4%, 5%,6% y 7% de concha de abanico respecto al peso seco del suelo.
- Determinar la microestructura del suelo con lo óptimos contenidos de caucho y concha de abanico.

## 1.5. Teorías relacionadas al tema

### 1.5.1. Granulometría

Ensayo que se realiza a los materiales con la finalidad de conocer la distribución de los agregados en diferentes tamaños a través de tamices según las especificaciones técnicas en el ensayo MTC E 107.

[32] nos dice que el análisis granulométrico tiene como finalidad clasificar los elementos a ensayar según su tamaño. Estos son clasificados de acuerdo con el tipo de material y el tamaño de sus partículas de la siguiente manera:

**Tabla I**

*Clasificación por la granulometría de sus partículas.*

Tipo	Tamaño
Piedra	75 mm – 4.75 mm
Arena amarilla	Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
	Arena media: 2.00 mm – 0.425 mm

		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Finos	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Nota: Adaptado del Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos. [32]

### 1.5.2. Plasticidad

Es una de las características importantes de los suelos, hasta alcanzar su límite de contenido de humedad, permite confinar los materiales finos que este posee. [32] nos dice que los límites de Atterberg establecen el comportamiento del suelo en relación con su contenido de humedad, sus límites son tres estados de consistencia según su humedad y se representan de tal manera:

- Límite Líquido (LL), el estado del suelo pasa de semilíquido a plástico y puede moldearse; su procedimiento está detallado en el ensayo MTC E 110.

- Límite Plástico (LP), el estado del suelo pasa de plástico a semisólido y se rompe; su procedimiento está detallado en el ensayo MTC E 111.

- Límite de Contracción (LC), el estado del suelo pasa de semisólido a sólido y deja de contraerse al perder humedad; su procedimiento está detallado en el ensayo MTC E 112

- El índice de plasticidad (IP), es un valor que manifiesta el contenido de humedad del suelo, donde este puede tener una consistencia plástica o alguna característica particular. [32]. Se determina restando el límite líquido y límite plástico:  $IP=LL-LP$

**Tabla II**

*Clasificación de los suelos según su índice de plasticidad.*

Índice de plasticidad	Plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos

IP > 7		
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Nota: Adaptado del Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos. [32]

### 1.5.3. Humedad natural

Se determina la humedad natural por el procedimiento detallado en el ensayo MTC E 108, compara la humedad óptima que se obtiene en los ensayos Proctor para obtener el California Bearing Ratio (CBR) o también llamado ensayo de relación de soporte de california.

### 1.5.4. Clasificación de los suelos

- Clasificación SUCS:

**Tabla III**

Según el tipo de suelos de grano grueso.

Item		Unidad	Nombres comunes
Suelos de grano grueso	Gravas	Gravas limpias	GW Gravas bien graduadas
		Gravas con finos	GP Gravas mal graduadas
			GM Gravas limosas
		GC Gravas arcillosas	
	Arenas	Arenas limpias	SW Arenas bien graduadas
			SP Arenas mal

				graduadas
		1	Arenas con material fino	SM Arenas limosas
				SC Arenas arcillosas

Nota: Adaptado de NTP 339.134 [33]

**Tabla IV**

12 **USCS – Suelos de grano Fino.**

Divisiones Principales		Símbolos del grupo	Nombres típicos
Suelos de grano fino	Limos y arcillas: límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas
		CL	34 Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media
		OL	Limos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad
	Limos y arcillas: límite líquido mayor de 50	MH	24 Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada.

Nota: Adaptado de NTP 339.134 [33]

- Clasificación AASHTO:



F: 0.075 mm (N°200)	máx. 15	máx. 25	máx. 10	máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36
Características de la fracción que pasa el 0.425 (N°40)												
Características de la fracción que pasa del tamiz (N°40)												
LL: Límite líquido				máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	mín. 41
IP: Índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6	No pasa	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	mín. 11
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos	Suelos arcillosos			
Estimación del suelo como sub rasante	Excelente a bueno						Regular a insuficiente					

Nota: Adaptado del Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos. [32]

**Tabla VI**

Correlación de la clasificación de suelos AASHTO y SUCS.

Clasificación de suelos	
AASHTO M 145	ASTM-D.2487 [34]
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A – 2	GM, GC, SM, SC
A – 3	SP
A – 4	CL, ML
A – 5	ML, MH, CH
A – 6	CL, CH
A – 7	PH, MH, CH

Nota: Adaptado del Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos. [32]

### 1.5.5. CBR en laboratorio

El ensayo se utiliza con el de evaluar la capacidad de resistencia en las capas del suelo como la subrasante, subbase y base, el valor que se obtiene es clave para el diseño de pavimentos. Una vez definido el valor del CBR se clasificará de la siguiente manera:

**Tabla VII**

Categorías de subrasante.

Categorías	CBR
S0: Sub rasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Sub rasante insuficiente	CBR ≥ 3% a CBR < 6%
S2: Sub rasante regular	CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S3: Sub rasante buena	CBR ≥ 10% a CBR < 20%

S4: Sub rasante muy buena	CBR $\geq$ 20% a CBR < 30%
S5: Sub rasante excelente	CBR $\geq$ 30%

Nota: Adaptado del Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos. [32]

### 1.5.6. Proctor modificado

Sirve para controlar la calidad y la compactación con la finalidad de obtener el peso unitario seco y el contenido de humedad óptimo para que el suelo alcance su compactación máxima. El porcentaje de humedad del suelo para que alcance menor o mayor densidad del suelo.

### 1.5.7. Subrasante

Es la capa donde se asienta la estructura del pavimento. Se consideran aptos cuando el resultado del ensayo del CBR es mayor igual al 6%, en caso contrario se considerará como una subrasante pobre o subrasante inadecuada y se procederá a realizar la estabilización de los suelos.

Cuando la subrasante es arcillosa o limosa, cuando se humedece las partículas del material penetran en el nivel granular de la estructura del pavimento contaminándolas.

### 1.5.8. Estabilización de suelos

Es el acto de influir de manera positiva en las características del suelo mediante la incorporación de productos. Se estabilizan los suelos los cuales su subrasante fue clasificada como inadecuada o pobre.

Para determinar la aplicación de algún aditivo para mejorar las propiedades físicas o mecánicas de la subrasante primero se determina el tipo de suelo el cual se pretende mejorar, luego determinamos su contenido de humedad, se selecciona el aditivo para estabilizar el suelo y el proceso, se verifica los cumplimientos de requisitos de las normativas vigentes y si es aceptable se logra la estabilización.

### 1.5.9. Caucho reciclado

El caucho reciclado es denominado a aquellos neumáticos que ya no se usan o que haya pasado su vida útil, sus características de este material es que son resistentes a la carga

o de soportar presiones altas, también su gran adherencia; están compuestos por caucho natural, sintético, acero, fibras textiles, óxidos, antioxidantes, etc.

#### 1.5.10. Concha de abanico<sup>10</sup>

La concha de abanico son moluscos bivalvos cuyo nombre científico es “*Argopecten purpuratus*” están se encuentran distribuidas por la costa del océano pacífico, en el Perú se encuentran mayormente en los departamentos de Piura, Ancash e Ica. Las valvas de la presente investigación se obtuvieron en la provincia de Sechura ubicada en el norte del departamento de Piura donde existe una gran contaminación ambiental encontrándose en la zona con muchos botaderos de conchas de abanico.<sup>73</sup><sup>53</sup>

## 2.1. Tipo y Diseño de Investigación

### 2.1.1. Tipo de investigación

Es del tipo Aplicada - Cuantitativa, ya que, cuenta con variables las cuales se someterán a la observación, medición y análisis de los datos de laboratorio, además la investigación presentada es original con el fin de considerar un nuevo conocimiento a futuro, pero está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico. [31]

### 2.1.2. Diseño de la investigación

Esta investigación se ha considerado un diseño cuasi experimental, debido a que las variables dependientes tendrán diferentes efectos respecto a la variable independiente, y de esta forma determinar si la manipulación de estas variables dependientes genera algún beneficio o mejora. [35]

G1 -----> Pe -----> O

G2 -----> Pe1 -----> O1

G3 -----> Pe2 -----> O2

G4 -----> Pe3 -----> O3

G5 -----> Pe4 -----> O4

G6 -----> Pe5 -----> O5

G7 -----> Pe6 -----> O6

G8 -----> Pe7 -----> O7

G9 -----> Pe8 -----> O8

Donde:

G1-9: Grupo de pruebas.

Pe: Muestra Patrón.

Pe1: Prueba experimental, 4% de caucho.

Pe2: Prueba experimental, 7% de caucho.

Pe3: <sup>1</sup> Prueba experimental, 10% de caucho.

Pe4: Prueba experimental, 12% de caucho.

Pe5: Prueba experimental, óptimo de caucho + 4% de concha de abanico triturada.

Pe6: Prueba experimental, óptimo de caucho + 5% de concha de abanico triturada.

Pe7: Prueba experimental, óptimo de caucho + 6% de concha de abanico triturada.

Pe8: Prueba experimental, óptimo de caucho + 7% de concha de abanico triturada.

O. <sup>3</sup> Observación de resultados de la muestra patrón.

O1-4: Observación de resultados con caucho.

O5-8: Observación de resultados con caucho y concha de aba

## 2.2. Variables, Operacionalización

**Tabla VIII**

*Variables dependientes.*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable
Propiedades mecánicas y microestructurales	Propiedades del suelo que lo describen mediante ensayos de laboratorio	Propiedades	Físicas y mecánicas	5 Análisis granulométrico	Análisis de documentos y utilizando formatos con los equipos del laboratorio	100 mm - %	MTC E 107 – NTP 339.128:1999
				Contenido de humedad		%	MTC E 108 – NTP 339.127:1998
				Límite líquido		%	6 MTC E 110 – NTP 339.129:1999
				Límite plástico e índice de plasticidad		%	MTC E 111 – NTP.129:1999
				Proctor modificado		KN/m <sup>3</sup>	MTC E 115 – NTP 339.141:1999
				C.B.R.		%	MTC E 132 – NTP 339.145:1999
			Microestructurales	Difracción rayos x (DRX)		Wt%	ASTM E1382

				Microscopia de barrido (SEM)		Wt% - at%	
--	--	--	--	------------------------------	--	-----------	--

**Tabla IX**

<sup>2</sup> Variables independientes.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Valores finales
Caucho reciclado	(Es una definición acordada por comunidad científica o profesional y resulta de la revisión de la literatura de la misma)	<sup>1</sup> Es un conjunto de procedimientos, técnicas y métodos para medir una variable directamente de la realidad, problema o fenómeno a investigar)	Dosificación	4%, 7%, 10%, 12%	Análisis de documentos y utilizando formatos con los equipos del laboratorio	gr

Concha de abanico				4%, 5%, 6%, 7%		
-------------------	--	--	--	----------------	--	--

## 2.3. <sup>1</sup> Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

### 2.3.1. Población

El proyecto de investigación es de carácter experimental por ello, la población serán los diferentes ensayos que se realizarán que cuantificara los resultados obtenidos en el laboratorio.

### 2.3.2. Muestra

**Tabla X**

*Cantidad de muestras por variables*

Muestra	Simbología	N° de ensayos	
		Proctor Modificado	CBR
Suelo	S	3	3
Suelo + 4% Caucho Reciclado	S + 4%CR	3	3
Suelo + 7% Caucho Reciclado	S + 7%CR	3	3
Suelo + 10% Caucho Reciclado	S + 10%CR	3	3
Suelo + 12% Caucho Reciclado	S + 12%CR	3	3
Suelo + 7% Caucho Reciclado + 4% Concha de Abanico	S + 7%CR + 4%CA	3	3
Suelo + 7% Caucho Reciclado + 5% Concha de Abanico	S + 7%CR + 5%CA	3	3

Suelo + 7% Caucho Reciclado + 6% Concha de Abanico	S + 7%CR + 6%CA	3	3
Suelo + 7% Caucho Reciclado + 7% Concha de Abanico	S + 7%CR + 7%CA	3	3
Total		27	27

### 3 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

#### 2.4.1. Técnicas de recolección de datos

Observación directa: La utilización de esta técnica permite tener el registro visual de lo ocurrido y de esta forma realizar un análisis de medición de las variables de estudios.

Análisis de documentación: Se realiza para obtener datos de los ensayos propuestos, se extraen los datos, para ser clasificados, ordenados y analizados por el punto de vista conveniente para esta investigación que serán expuestos en formatos brindados por la vigente normativa peruana. [31]

Se utilizan los materiales bibliográficos (tesis, libros, artículos, normas técnicas peruanas, etc.) para el recojo de información de cada ensayo siguiendo sus formatos de las Normas Técnicas Peruanas.

#### 1 2.4.2. Instrumentos de recolección de datos

- Formato del ensayo MTC E 107 [36] y NTP 339.128:1999 [37]
- Formato del ensayo MTC E 108 [38] y NTP 339.127:1998 [39]
- Formato del ensayo MTC E 110 [40], MTC E 111 [41] y NTP 339.129:1999 [42]
- Formato del ensayo MTC E 115 [43] y NTP 339.141:1999 [44]
- Formato del ensayo MTC E 132 [45] y NTP 339.145:1999 [46]

### 2.4.3. Validez

También denominada exactitud o eficacia, este instrumento de medición es la exactitud con la que determinará los datos que el investigador le interesa.

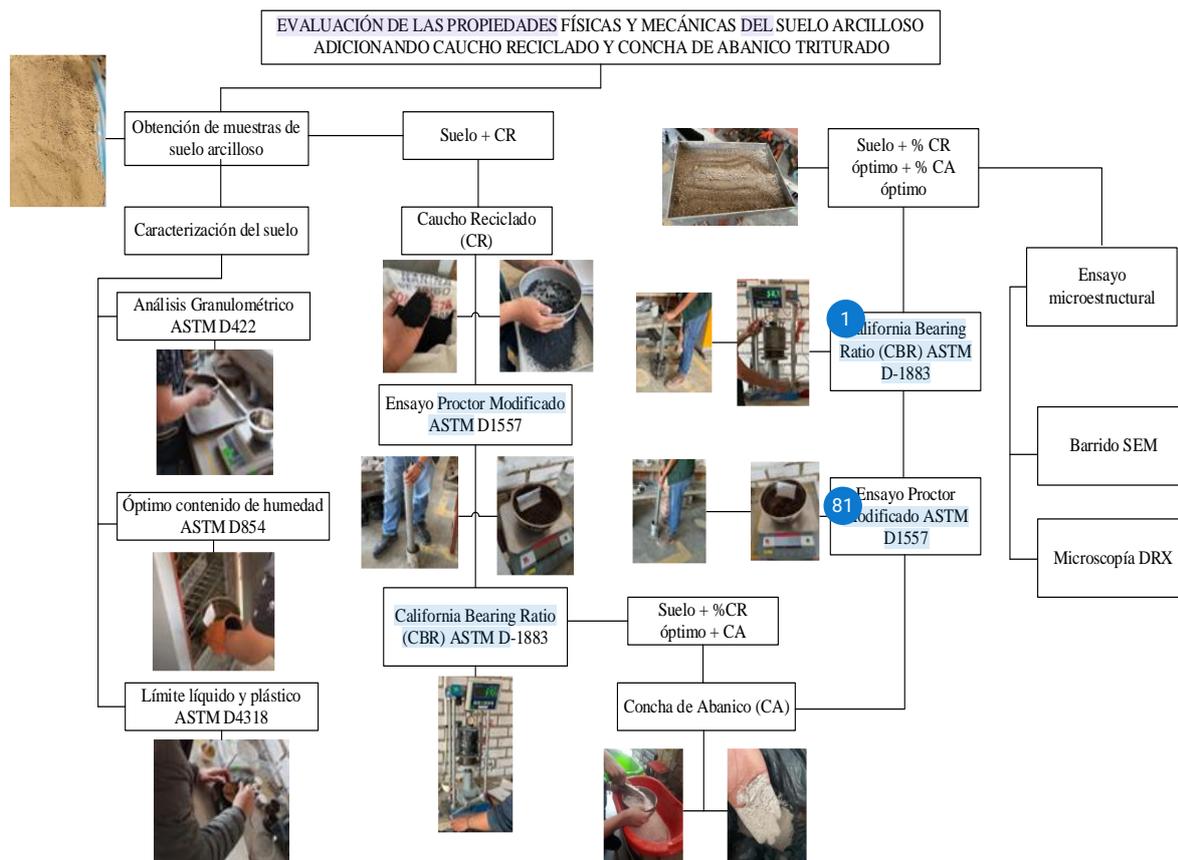
### 2.4.4. Confiabilidad

El instrumento será confiable, por lo que los datos hallados no tendrán variaciones significativas, se usa para obtener resultados coherentes y racionales con la investigación. [35].

Los instrumentos de los ensayos por ejecutar estarán debidamente calibrados y serán utilizados como lo exige la normativa peruana.

## 2.5. Procedimiento de análisis de datos

### 2.5.1. Diagrama de flujo de procesos



**Fig. 1.** <sup>1</sup> Diagrama de flujo de las propiedades mecánicas y microestructurales del suelo arcilloso adicionando caucho reciclado y concha de abanico triturada.

#### 2.4.7.2. Descripción del proceso

En esta investigación para garantizar los resultados válidos y la información teórica confiable se elabora un proceso de la investigación. Dentro de los materiales principales a usar son el Suelo arcilloso, Caucho reciclado y Concha de abanico.

a) Suelo arcilloso: El material fue extraído en la urbanización Galilea, Los Portales del departamento de Lambayeque - Perú. Para obtener sus ensayos físicos contando con el análisis granulométrico en la Fig. 2. y porcentaje de humedad, P. específico, LL y LP que se encuentran en la Tabla II.

b) Caucho reciclado: El material se obtuvo de una reencauchadora en Chiclayo, Lambayeque, el material utilizado para fue pasarlo por el tamiz N°04 obteniendo un tamaño nominal de 4.75 mm quitándole las fibras de tela y alambre que contenían, para preparar la muestra se mezclan las cantidades pre calculadas de Caucho reciclado, suelo y <sup>12</sup> agua hasta obtener una mezcla uniforme, se sustituyó en porcentajes del 4%, 7%, 10% y 12% de caucho reciclado <sup>2</sup> respecto al peso del suelo en su estado seco.



**Fig. 2.** Caucho Reciclado

c) Concha de abanico: Se obtuvo en el balneario de Parachique - Piura, en un botadero de la zona, se le sometió a un lavado para poder eliminar la parte orgánica. El proceso de lavado fue realizado solamente con agua potable y cepillada manualmente, se secó al aire y bajo sombra. La trituration de la variable fue mediante un molino hasta llevarlo a un tamaño nominal de 4.75 mm. El material se trabajó en el tamiz N°04 para asegurar su tamaño nominal.



**Fig. 3.** Concha de abanico Triturada

Para la realización de los ensayos, se tuvo que preparar las muestras, las cuales fueron:

- Suelo arcilloso sin alterar.
- Suelo arcilloso + caucho reciclado.
- Suelo arcilloso + Caucho reciclado + Concha de abanico.

Propiedades físicas

- Contenido de humedad, se toma en cuenta la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.127 [39]. Este ensayo nos permite determinar el contenido de agua acumulada en el suelo de material. Para realizar este ensayo será necesario tener los instrumentos y equipos necesarios los cuales fueron:

- Balanza

- Cucharon
- Espátula
- Franelas
- Guantes
- Horno
- Recipiente

En el porcentaje de humedad del suelo, se utilizó un molde rectangular en donde irá la muestra en tres capas. Se compacta cada capa con golpes para eliminar el aire atrapado y luego se enrasa, limpia y pesa para obtener el peso de la muestra. Después de pesar la muestra, se coloca en un recipiente y se coloca al horno por 1 día. Luego se retira del horno y se pesa nuevamente para determinar el peso de la muestra seca NTP 339.129 / (ASTM D2216) [47]

$$W\% = \frac{(W_h - W_s)}{W_s} * 100$$

$W_h$  = peso muestra húmeda (gr)

$W_s$  = peso muestra seca (gr)



**Fig. 4.** Puesta de material en el horno

Análisis Granulométrico, se toma en cuenta la NTP 339.128 / [48]. Este ensayo nos permite cuantificar la distribución de tamaños de las partículas del suelo estudiado. Para

realizar este ensayo será necesario tener los instrumentos y equipos necesarios los cuales fueron:

- Agua
- Balanza
- Bandeja de aluminio
- Brocha
- Cucharón
- Espátula
- Horno
- Recipiente para dejar el material suelo.
- Serie de mallas 3/8" - #200
- Vaso de aluminio

Para realizar la granulometría, se extrae una muestra de suelo que debe ser de al menos 6000 gramos. <sup>102</sup> Luego, se pasa la muestra por una serie de tamices con diferentes tamaños de malla, comenzando por el tamiz con la malla más grande (9.50 mm) y terminando con el tamiz con la malla más pequeña (#200).

Después de tamizar el suelo, se pesa cada fracción obtenida y se registra la masa correspondiente a cada tamaño de partícula en gramos. Es importante tener en cuenta que los tamaños de las mallas utilizadas para el análisis granulométrico son expresados en milímetros (mm).

Después de pasar <sup>1</sup> la muestra de suelo por los tamices, se debe seleccionar aproximadamente 500 a 1000 gramos <sup>98</sup> del material que pasó a través del tamiz N°04. Luego, se debe secar la muestra hasta recolectar 200 gramos, los cuales deben ser vaciados en un vaso de aluminio y llenados con agua.

<sup>69</sup> Es importante mencionar que, durante el proceso de tamizado y selección de la

muestra, se deben registrar las masas correspondientes a cada fracción obtenida en gramos. Además, para conocer el porcentaje de humedad suelo, se utiliza un molde rectangular en el que se coloca una muestra compactada en tres capas y se pesa para obtener el peso total de la muestra en gramos.

Si durante el proceso de selección de la muestra, el suelo presenta grumos, se debe dejar saturar por 24 horas. Esto significa que se debe agregar agua a la muestra y dejarla reposar durante un día completo para que los grumos se deshagan y la muestra esté lista para continuar con el análisis granulométrico. Es importante asegurarse de que la muestra esté completamente saturada antes de continuar con el proceso de tamizado y selección. Por último, pesar y registrar el material retenido en cada malla. La fórmula para el cálculo se da de la siguiente manera:

$$\%Retenido = \frac{W_r}{W_s} * 100$$

Dónde:

$W_r$  = peso retenido.

$W_s$  = peso total de la muestra.



**Fig. 5.** Tamices para el ensayo granulométrico

LL y LP, se toma en cuenta la NTP 339.129 /ASTM D4318 [49], la cual nos permite determinar el nivel de plasticidad que contiene el suelo, eso depende de la humedad que contenga el suelo. Si bien es cierto, no existe un límite definido para cada uno de los estados, pero en esta investigación se ha establecido como estudio el LL y LP. El límite líquido marca para definir la etapa semilíquida y el límite de plasticidad; mientras que el límite plástico limita le estado plástico con el estado sólido. Para realizar este ensayo será necesario tener los instrumentos y equipos necesarios los cuales fueron:

- Balanza
- Bandeja Aluminio.
- Calibrador Vernier
- Cápsula de porcelana
- Copa de Casa grande
- Espátula
- Franela
- Horno con temperatura 110°C +/- 5°C
- Malla N°40
- Papel absorbente Agua
- Piseta
- Placa de vidrio
- Un alambre con un diámetro de 3.2 mm
- Un molde de contracción lineal
- Un ranurador laminar

El procedimiento para determinar el límite líquido y límite plástico de un suelo se

realiza utilizando la norma NTP 339.129 /ASTM D4318 [49]. En primer lugar, se debe obtener una muestra representativa del suelo en estudio y secarla al aire libre hasta que alcance una humedad constante.

En el cálculo del LP, se debe tomar una muestra menos húmeda de la muestra de suelo y realizar un boleado en forma circular con un diámetro no mayor a 1.5 cm. Luego, se debe apoyar sobre una placa de vidrio con un diámetro de 3.2 mm. El cilindro debe ser comparado con un alambre del mismo diámetro y si presenta múltiples agrietamientos, se puede decir que el suelo está en el límite plástico.

En caso contrario, se debe repetir el proceso hasta conseguir la forma del cilindro con múltiples agrietamientos. Si el suelo no presenta agrietamientos después de varios intentos, se considera que está en estado líquido.

Del mismo modo, en el cálculo del LL, se utiliza un aparato llamado "Copa Casagrande". Se toma una muestra húmeda del suelo y se coloca en la copa Casagrande. Luego, se levanta y deja caer la copa desde una altura específica varias veces hasta que el surco hecho por la copa cerrado por 13 mm después de 25 golpes estandarizados. La cantidad de humedad presente en ese momento es registrada como el LL del suelo. Para el caso de que no se cumpla lo mencionado anteriormente, se tendrá que repetir el proceso hasta conseguir la condición anterior y llegar a la muestra deseada. La fórmula para el cálculo se da de la siguiente manera:

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

$W_w$ = Peso del agua

$W_s$ = Peso de la muestra seca.

$$I_p = LL - LP$$

LL= Límite líquido

LP= Límite Plástico



**Fig. 6.** Ensayo de limite plástico y limite líquido

Proctor modificado. La realización de este ensayo nos brinda la capacidad de soporte del suelo al aplicarle algún tipo de fuerza y evitar asentamientos en esta. En la normativa NTP 339.141 / [50]. Los instrumentos y equipos por utilizar fueron:

- Agua
- Balanza, aproximación de 0.01gramos.
- Bandeja de aluminio
- Brocha
- Cucharón
- Espátula
- Horno
- Malla N°200 (0.075mm)
- Serie de mallas
- Vaso de aluminio.

El procedimiento consiste en primer lugar, Luego se procede a cuartear la muestra del suelo seleccionado, aproximadamente 35 kg, en porciones de 5 a 6 kg. Hallamos el peso del

molde. El molde será realizado en 5 capas y con cada llenado se le dará 25 golpes alrededor del collar, una vez realizado quitamos el collar y enrasamos. Por lo cual, al pesar el molde con la basa y el material, se debe de tomar un ejemplar del suelo sacado del collar, y una muestra para hallar su humedad. Por último, se procede a calcular la humedad, considerando que se obtendrán valores de contenido de humedad y el nivel de densidad, hasta llegar a tener cinco puntos.



**Fig. 7.** Ensayo de Proctor modificado

El (CBR), este análisis nos permite evaluar la capacidad de soporte del suelo y está regida por la norma ASTM D1883. [51]

En primer lugar, se obtiene una muestra del suelo en estudio, luego se prepara una muestra de suelo compactada en el laboratorio para representar las condiciones del suelo en el sitio utilizando un molde cilíndrico de 150 mm de diámetro y 127.3 mm de altura, con una base perforada en la parte inferior. Se llena el molde con capas de suelo compactado, aplicando 56, 25 o 16 golpes de compactación en cada capa utilizando un martillo normalizado. Se continúa añadiendo capas y compactando hasta que el molde esté completamente lleno. Se procede a nivelar y a alisar la superficie superior del suelo compactado. Luego de haber realizado esto, se coloca el anillo con la muestra de suelo

compactada en una prensa de carga y se le va aplicando una carga vertical de 4.88 kN por cada 2.54 mm de penetración, de forma continua y sin golpes bruscos. Se registra la carga y la penetración en incrementos de 0.25 mm de penetración y se continúa aplicando la carga hasta que la penetración alcance un valor de 2.54 mm. En la cual se calcula el CBR dividiendo la carga correspondiente a esa penetración por la carga requerida para la misma penetración en una muestra patrón de suelo de referencia, luego se expresa el resultado del CBR como un porcentaje multiplicando el valor obtenido por 100. Un valor de CBR más alto indica una mayor capacidad de soporte del suelo, mientras que un valor más bajo indica una menor capacidad.



**Fig. 8.** Ensayo de CBR

Difracción rayos X (DRX). El ensayo de difracción de rayos X (DRX), también conocido como difractometría de rayos X, la cual tiene por norma la ASTM E1382 [52], es una técnica utilizada para analizar la estructura cristalina de materiales. Este ensayo se realizó con el equipo DRX Bruker modelo D8 Discover con radiación de cobre ( $\text{CuK}\alpha = 0.15418 \text{ nm}$ ), corriente de 40 mA y voltaje de aceleración de 40 kV, con un detector Lynxeye con selectividad de energías. El procedimiento fue:

### Preparación de la muestra:

a) Selección de la muestra: Elige la muestra adecuada para el análisis de DRX. Puede ser un polvo, una lámina delgada o un cristal monocristalino, dependiendo de la información que desees obtener.

b) Molienda: Si la muestra es un material en polvo, es recomendable molerlo para obtener partículas finas y homogéneas. Esto ayudará a obtener un patrón de difracción más claro.

c) Orientación de cristales: Si estás trabajando con un cristal monocristalino, es importante orientar adecuadamente el cristal en relación con el sistema de ejes cristalinos para obtener una difracción óptima.

### Configuración del equipo:

a) Ajuste de parámetros: Configura los parámetros del equipo de difracción de rayos X, como la longitud de onda de los rayos X y el ángulo de incidencia del haz, de acuerdo con las características de la muestra y el análisis deseado.

b) Calibración: Calibra el equipo utilizando patrones de referencia adecuados para garantizar una medición precisa y confiable.

### Montaje de la muestra:

a) Soporte de muestra: Coloca la muestra preparada en un soporte adecuado, como un portaobjetos o un porta muestras específico para DRX.

b) Centrado de la muestra: Asegúrate de que la muestra esté centrada y posicionada correctamente en el soporte para que el haz de rayos X incida adecuadamente sobre ella.

### Realización de la medición:

a) Alineación: Alinea el detector con la muestra según las instrucciones del equipo y el diseño del difractómetro.

b) Toma de datos: Inicia el análisis de difracción y registra los datos de difracción obtenidos, que consisten en los ángulos de difracción y las intensidades de los picos de difracción.

c) Tiempo de exposición: Establece el tiempo de exposición adecuado para asegurar una señal de difracción lo suficientemente fuerte y una relación señal-ruido aceptable.

#### 78 Procesamiento y análisis de datos:

a) El estudio se realizó cumpliendo los parámetros desde los 15° hasta 70° siguiendo los pasos de 0.02°, teniendo un tiempo de recorrido del paso de 2s. Además, se aplicó el método de (RIR) para determinar las fases cristalinas y la parte amorfa.

14 Microscopio electrónico de barrido (SEM): El ensayo de barrido SEM (Scanning Electron Microscopy), es una técnica utilizada para obtener imágenes de alta resolución de la superficie de muestras sólidas, en base a la norma ASTM STP38521S [53]. Las medidas fueron realizadas con ayuda del (SEM) modelo Quanta 200, con una aceleración de 30 kV.

#### Preparación de la muestra:

a) Se seleccionó un fragmento con rasgos de interés, el cual fue montado sobre un poste de aluminio con el fin de tener una vista microscópica.

#### Preparación del equipo:

b) Verificación y limpieza: Asegúrate de que el (SEM) esté en buen estado de funcionamiento. Limpia las cámaras y las partes ópticas según las instrucciones del fabricante.

#### Configuración del microscopio:

a) Ajuste de parámetros: Establece los parámetros necesarios, como voltaje de aceleración, corriente del haz, modo de detección y tamaño de la apertura del condensador, de acuerdo con las características de la muestra y el análisis deseado.

b) Enfoque y alineación: Ajusta la distancia de trabajo y realiza la alineación adecuada para lograr una buena calidad de imagen.

#### 2 Colocación de la muestra:

a) Montaje de la muestra: Asegura la muestra en un soporte adecuado y colócala en

el porta muestras del microscopio.

b) Carga de la muestra: Introduce el porta muestras en el microscopio y asegúrate de que esté bien sujeto.

Recolección de imagen y datos:

a) Se midió un área con una magnificación de 137x a fin de captar los rasgos de interés.

b) Las medidas fueron hechas en un régimen de bajo vacío con inyección de vapor de agua, con la finalidad de evitar la acumulación de carga superficial en las muestras y permitir medidas sin necesidad de recubrir las muestras con oro. Esto fue hecho para prevenir sesgos en las medidas de EDS.

c) El procedimiento para el análisis de los datos brindados fue con ayuda del software EDAX Genesis XM 4.

## 2.6. Criterios éticos

Se rigió bajo los principios específicos establecido en los Art. 5 y Art. 6 del Código de Ética en Investigación de la USS S.A.C., además respetando el código de ingenieros del CIP.

### 3.1. Resultados

#### 3.1.1. Sobre el objetivo específico N° 1: Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a nivel de subrasante.

**Tabla XI**

*Propiedades geotécnicas del suelo arcilloso.*

Propiedades	Suelo arcilloso
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASTHO	A-6
1 Límite líquido, LL (%)	35.5
Límite plástico, LP (%)	21
Índice de Plasticidad, IP (%)	14.5
Contenido de Humedad, W (%)	14.21
Absorción, (%)	1.69
Peso específico, $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.63

2 En la tabla XI, se muestran las características del suelo sin alterar, presentando características de arcilla con baja plasticidad (CL) clasificado por SUCS, su IP resulta restando el LL y LP siendo de 14.5% presentando una plasticidad media, el contenido de humedad después de seca en un horno por 24 horas resulta en 14.21%, P. específico de 2.63 gr/cm<sup>3</sup> por lo que no se encuentra dentro de los rangos de valores típicos de gravedad de los 1 sólidos del suelo.

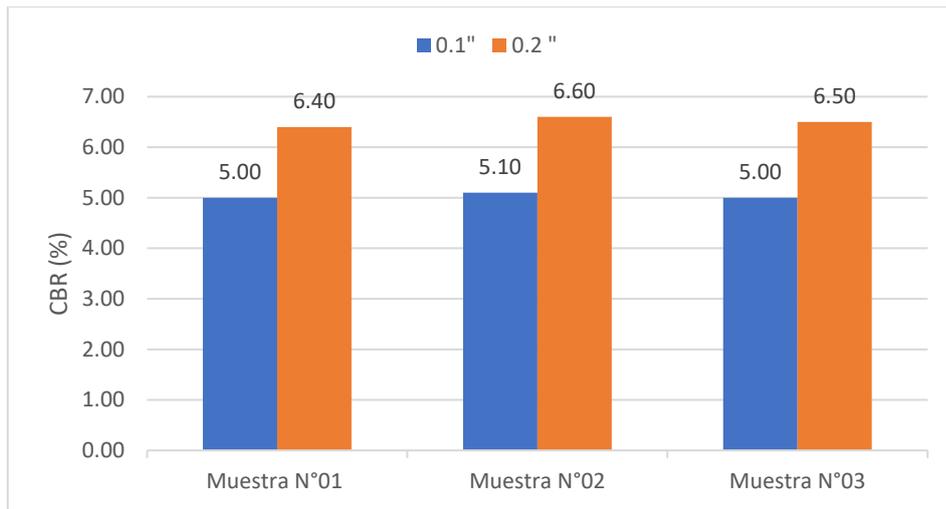
En el Proctor Modificado se realizaron tres muestras del suelo, en la Fig. 09 muestra 37 los valores de la densidad máxima seca siendo de 1.991 gr/cm<sup>3</sup>, 1.988 gr/cm<sup>3</sup> y 1.996 gr/cm<sup>3</sup>

para la muestra 1, 2 y 3 respectivamente. Los valores de CH están en los rangos de 15.30%, 15.31% y 15.37% para la muestra 1, 2 y 3 respectivamente. Teniendo un valor promedio en densidad máxima seca de 1.99 gr/cm<sup>3</sup> y óptimo contenido de humedad de 15.33%.



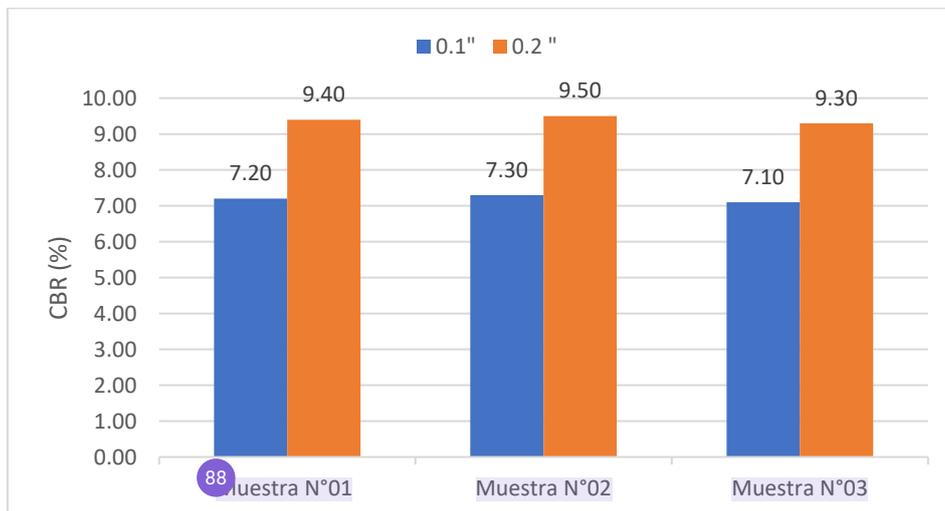
**Fig. 9.** Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad del suelo sin alterar.

En el CBR se realizaron 03 muestras del suelo, en la Fig. 10 muestra los valores del CBR en porcentaje para 0.1" y 0.2" de penetración al 95% de la densidad máxima del suelo sin alterar, siendo sus valores para 0.1" de penetración de 5.00%, 5.10% y 5.00% para la muestra 1, 2 y 3 respectivamente; para 0.2" de penetración de 6.40%, 6.60% y 6.50% para la muestra 1, 2 y 3 respectivamente. Teniendo su valor promedio de CBR al 95% de la densidad máxima seca de 5.03% para 0.1" y 6.50% para 0.2" clasificándose como una subrasante regular.



**Figura 10.** CBR al 95% de la densidad máxima seca del suelo sin alterar.

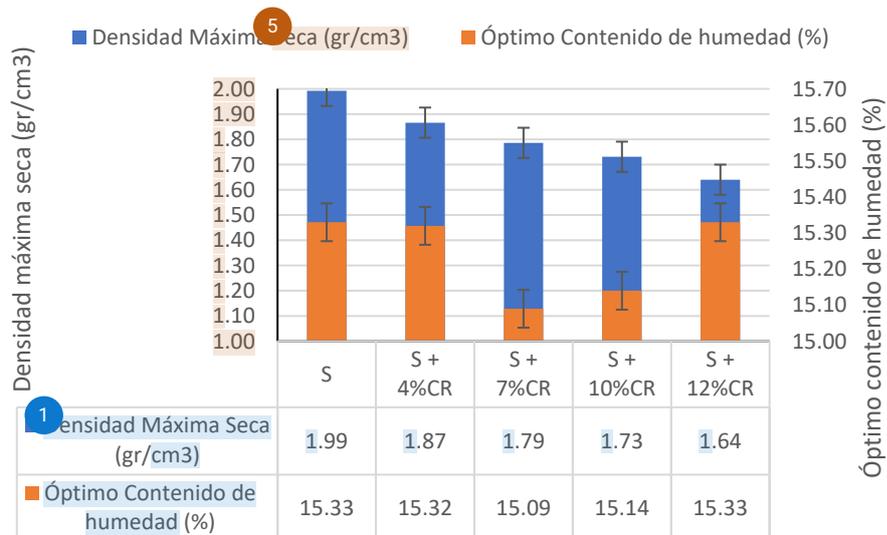
En la Fig. 11 muestra los valores del CBR en porcentaje para 0.1" y 0.2" de penetración al 100% de la densidad máxima seca del suelo sin alterar, siendo sus valores para 0.1" de penetración de 7.20%, 7.30% y 7.10% para la muestra 1, 2 y 3 respectivamente; para 0.2" de penetración de 9.40%, 9.50% y 9.30% para la muestra 1, 2 y 3 respectivamente. Teniendo su valor promedio de CBR al 100% de la densidad máxima seca de 7.20% para 0.1" y 9.40% para 0.2".



**Fig. 11.** CBR al 100% de la densidad máxima seca del suelo sin alterar.

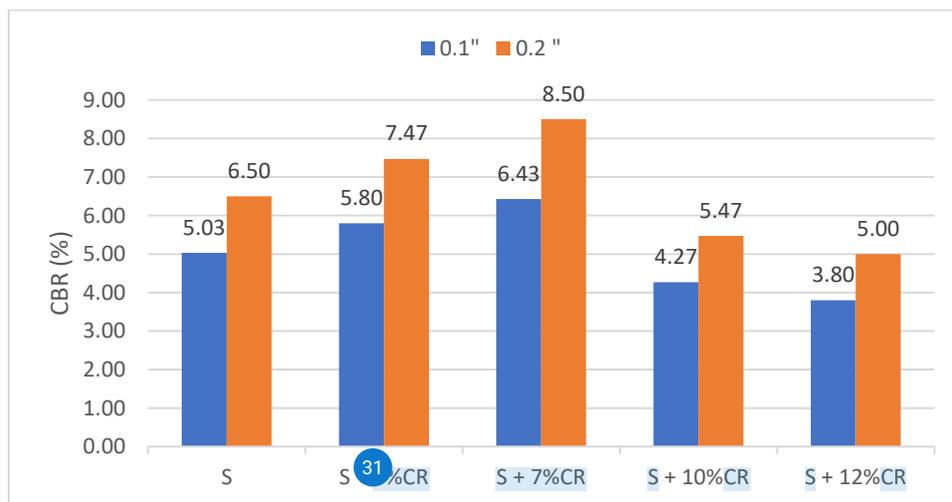
**3.1.2. Sobre el objetivo específico N° 2: Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a nivel de subrasante adicionando 4%, 7 %, 10% y 12% de caucho adicionando al peso seco del suelo.**

Para el ensayo del Proctor Modificado se realizó muestras de suelos incorporadas con caucho reciclado en porcentajes de 4%, 7 %, 10% y 12%, se observa que la densidad va decreciendo mientras más porcentajes de caucho reciclado en un rango del 4% al 12% de caucho reciclado se va incorporando debido a su naturaleza ligera de su densidad reducida y teniendo en cuenta que mientras más porcentaje de caucho reciclado tendrá mayores vacíos en la muestra afectando sus valores, el valor más bajo que se obtuvo fue con la incorporación del 12% de caucho reciclado siendo de 1.64 gr/cm<sup>3</sup>. Los porcentajes de óptimo contenido de humedad con caucho reciclado fueron ligeramente inferiores respecto a la muestra sin alterar, esto es debió a que la reacción con el caucho reciclado con el agua no afecte en mucho, puesto que no hay ninguna reacción cuando el caucho reciclado este humedecido, además que esta variable no presenta porcentaje de absorción; el resultado más bajo que se obtuvo fue con la incorporación del 7% de caucho reciclado siendo de 15.09%.



**Fig. 12.** Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad del suelo incorporando caucho reciclado.

Para el ensayo de CBR se obtuvo la densidad máxima al 0.1" y 0.2", en la Fig. 13 se observa que entre los resultados obtenidos se determinó la mayor resistencia al esfuerzo normal mediante el ensayo CBR la incorporación de 7% de CR incrementa la resistencia del suelo en comparación con el suelo sin alterar aumentando su resistencia para 0.1" en 1.40% y para 0.2" en 2.00%, por otro lado, mientras más porcentaje de CR se va agregando al suelo su capacidad de soporte comienza a disminuir siendo su valor más bajo con la incorporación del 12% de CR disminuyendo sus valores respecto al suelo sin alterar para 0.1" en 1.23% y para 0.2" en 1.50%.



**Fig. 13.** CBR al 95% de la densidad máxima seca del suelo incorporando CR.

En la Fig. 14 muestra los valores del CBR en porcentaje para 0.1" y 0.2" de penetración al 100% de la densidad máxima seca del suelo incorporando CR, se observa que entre los resultados obtenidos se determinó la mayor resistencia al esfuerzo normal mediante el ensayo CBR la incorporación de 7% de CR incrementa la resistencia del suelo 0.1" en 2.13% y para 0.2" en 2.50%, por otro lado, mientras más porcentaje de CR se va agregando al suelo su capacidad de soporte comienza a disminuir siendo su valor más bajo con la incorporación del 12% de CR disminuyendo sus valores respecto al suelo sin alterar para 0.1" en 1.47% y

para 0.2" en 1.90%.

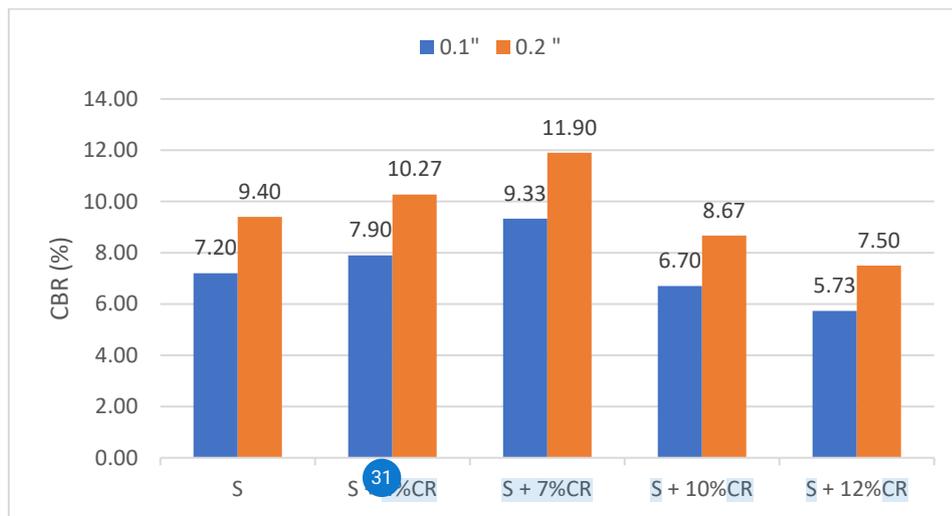
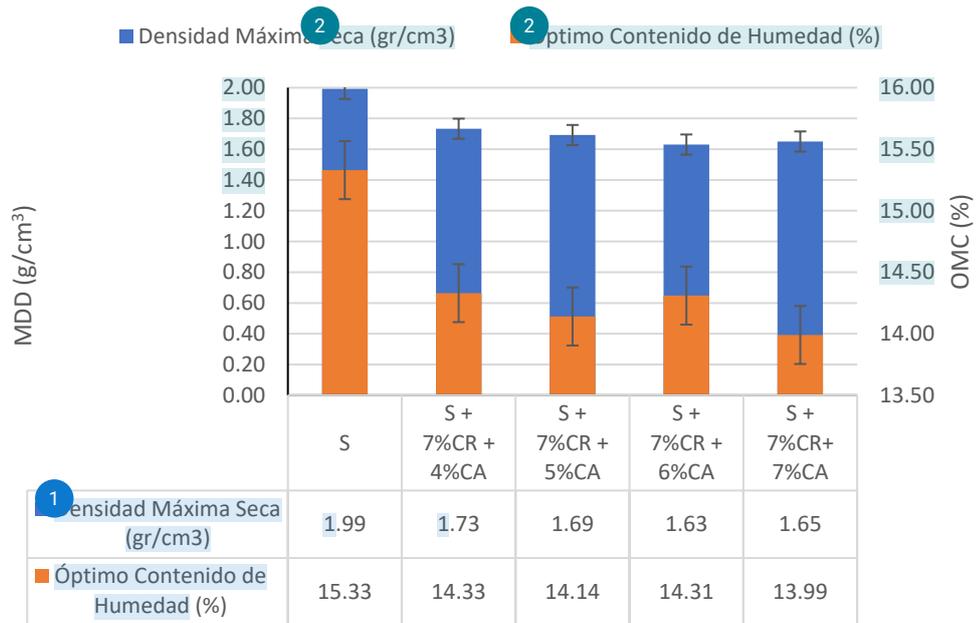


Fig. 14. CBR al 100% de la densidad máxima seca del suelo incorporando CR.

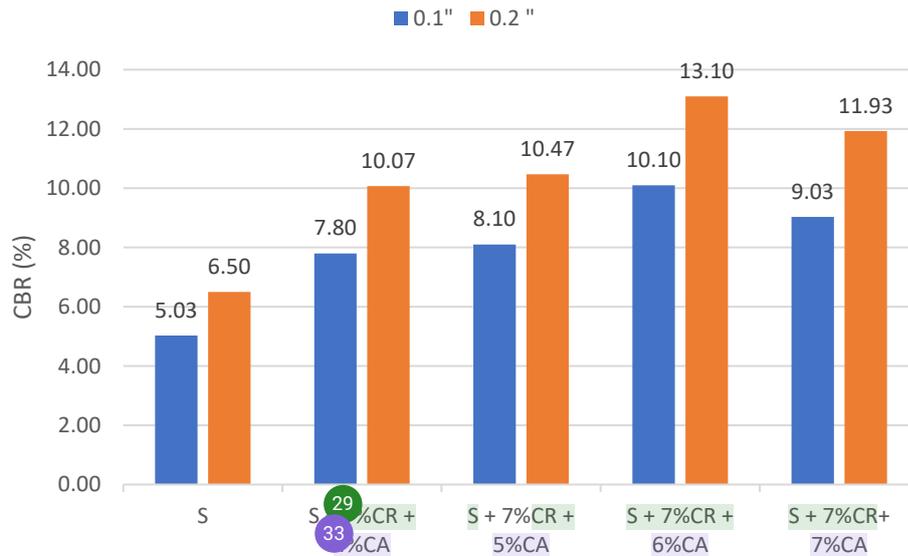
### 3.1.3. Sobre el objetivo específico N° 3: Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a nivel de subrasante con el óptimo contenido de caucho adicionando 4%, 5%, 6% y 7% de concha de abanico respecto al peso seco del suelo.

Después de obtener el óptimo contenido de CR, siendo el 7% que mejora sus propiedades mecánicas del nuevo a nivel de subrasante. Se realizó el ensayo de Proctor modificado a las diversas muestras de suelo incorporando CA al porcentaje óptimo de CR más el suelo en porcentajes de 4%, 5%, 6% y 7% respecto al peso seco del suelo, en la Fig. 15 las muestras con adición de CR y CA los valores disminuyen respecto al suelo sin alterar, el valor más bajo que se obtuvo fue la adición con 7% de CR y 6% de CA siendo de 1.63 gr/cm<sup>3</sup>. Puesto que, con la incorporación de CR y su ligera densidad del material más la incorporación de CA aumentan más sus vacíos de la muestra afectando a la densidad. Las muestras con adición de CR y CA disminuyen su óptimo de humedad respecto a la muestra sin alterar siendo su valor más bajo con la inclusión del 7% de CR y 6% de CA, la incorporación de CA al porcentaje óptimo de CR al suelo disminuirá su óptimo contenido de humedad por lo que la CA tiene un valor de 0.03% de absorción.



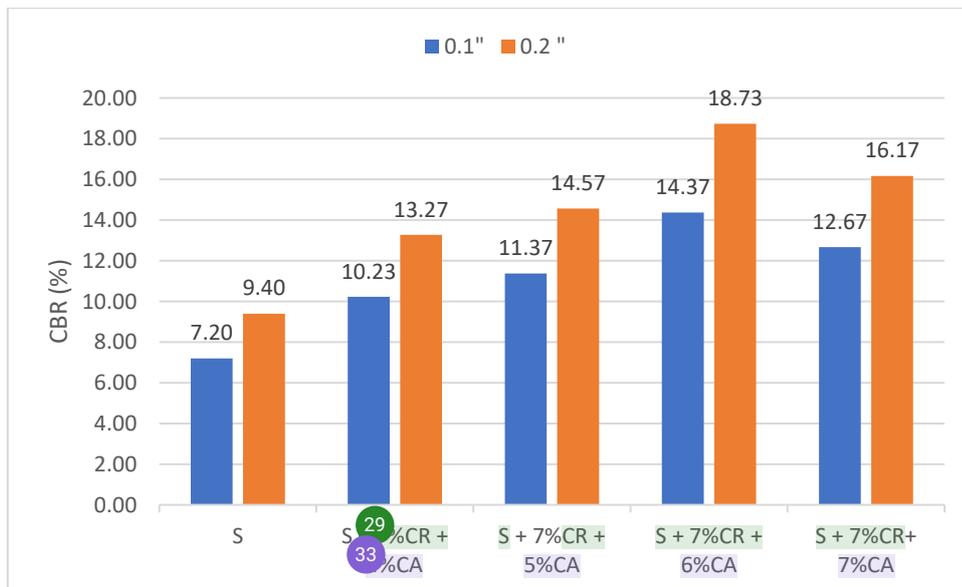
**Fig. 15.** Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad del suelo incorporando caucho reciclado y concha de abanico.

Para el CBR al 95% de la densidad seca máxima al 0.1" y 0.2", en la Fig. 16 se observa que con incorporación de CA al suelo + CR aumentan la capacidad de resistencia o portante, entre los resultados obtenidos se determinó la mayor resistencia al esfuerzo normal mediante el ensayo CBR la incorporación de 7% de CR y 6% de CA incrementa la resistencia del suelo en comparación con el suelo sin alterar aumentando su resistencia para 0.1" en 5.07% y para 0.2" en 6.60%, por otro lado, a partir de la incorporación del 6% de CA comienza a disminuir mientras más porcentaje de CA.



**Fig. 16.** CBR al 95% de la densidad máxima seca del suelo incorporando CR y CA.

En la Fig. 17 muestra los valores del CBR en porcentaje para 0.1" y 0.2" de penetración al 100% de la densidad máxima seca del suelo incorporando CR y CA, se observa que entre los resultados obtenidos se determinó la mayor resistencia al esfuerzo normal mediante el ensayo CBR la incorporación de 7% de CR y 6% de CA incrementa la resistencia del suelo 0.1" en 7.17% y para 0.2" en 9.33%.

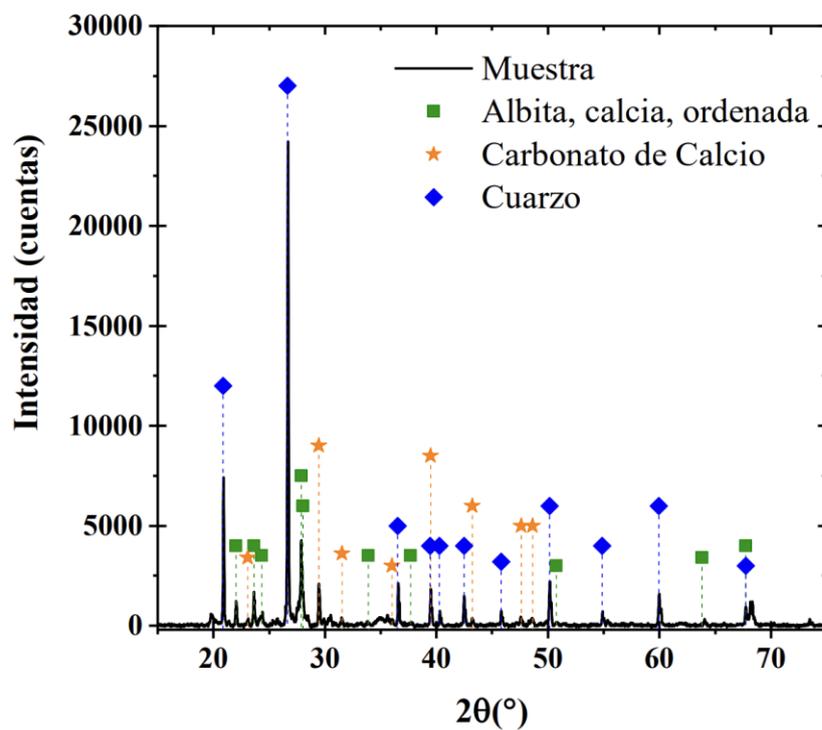


**Fig. 17.** CBR al 100% de la densidad máxima seca del suelo incorporando CR y CA.

**3.1.4. Sobre el objetivo específico N° 4: - Determinar la microestructura, composición química, textura, cristales enlaces del suelo con lo óptimos contenidos de caucho y concha de abanico.**

Mediante un análisis de fases cristalinas mediante difracción de rayos X (DRX), así como el análisis morfológico y composicional mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) en conjunción con espectroscopía de rayos X dispersiva en energía (EDS) para la muestra con porcentajes óptimos siendo de 7% de caucho y 6% de concha de abanico mezclado con el suelo arcilloso.

En la Fig. 18 se presentan los resultados de difracción de rayos X y en la tabla XII se resume los resultados de la composición de fases cristalina.



**Fig. 18.** Difractograma de rayos X de la muestra con las fases cristalinas señaladas.

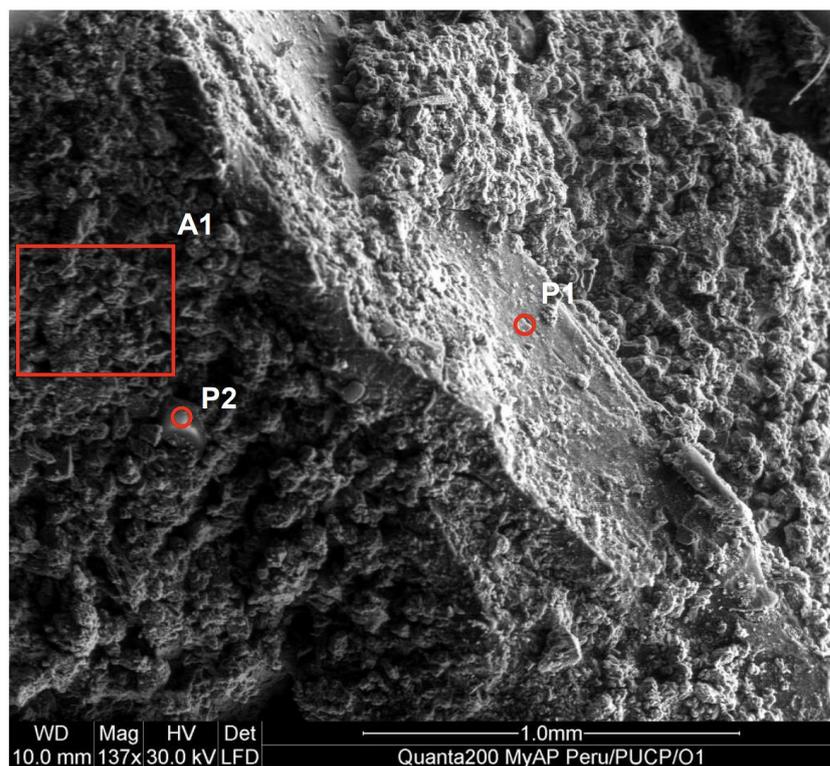
**Tabla XII**

*Concentración de las fases cristalinas en la muestra.*

Fase Cristalina	Fórmula	Concentración
-----------------	---------	---------------

		(Wt%)
Cuarzo	$SiO_2$	43.98
Albita, calcia, ordenada	$(Na, Ca)Al(Si, Al)_3O_3$	24.28
Carbonato de calcio	$CaCO_3$	5.61
Amorfo		26.2

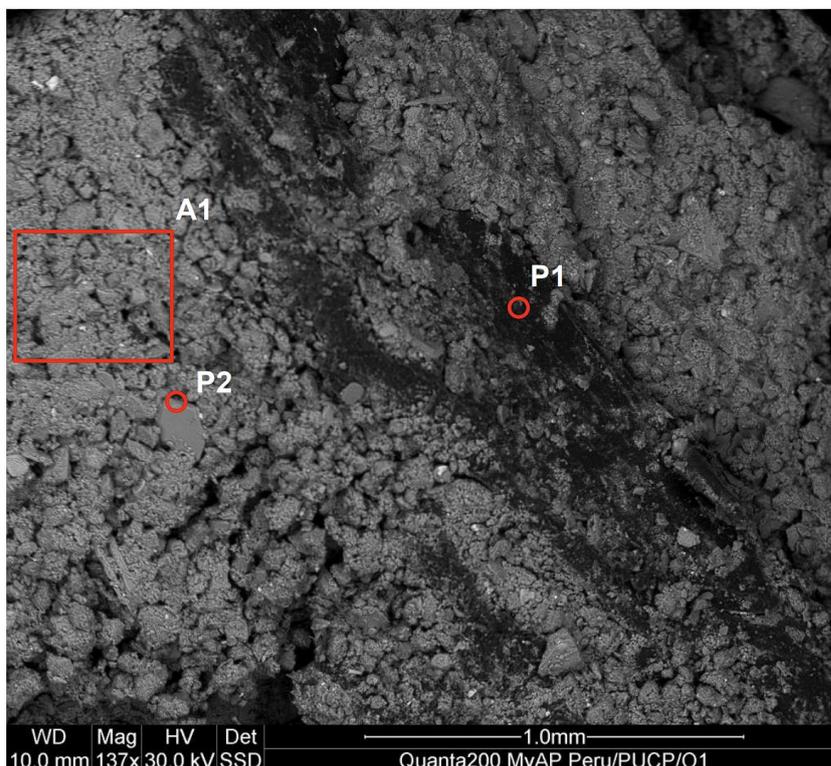
Para las imágenes SEM se muestran dos imágenes de la misma área, en la Fig. 19 corresponde a la señal de electrones secundarios, los cuales provienen mayormente de la superficie de la muestra y brindan mayor sensibilidad a rasgos topográficos.



**Fig. 19.** Micrografía de la muestra a una magnificación de 137x con regiones de interés señaladas, señal de electrones secundarios.

En la Fig. 20 corresponde a la señal de electrones retro dispersados, los cuales

proviene de regiones más profundas de la muestra y brindan mayor sensibilidad a la densidad y, por ende, composición química local.



**Fig. 20.** Micrografía de la muestra a una magnificación de 137x con regiones de interés señaladas, señal de electrones retro dispersados.

En ambas imágenes se han señalado regiones de interés para el análisis elemental denominadas P1, P2 y A1; en la tabla XIII se muestran las medidas de EDS para estas regiones de interés, como también el área total de la imagen. Las concentraciones de cada elemento se expresan en porcentaje por masa (wt%) y porcentaje atómico (at%); cabe destacar que el margen de error en EDS es  $\pm 1$  at% aproximadamente.

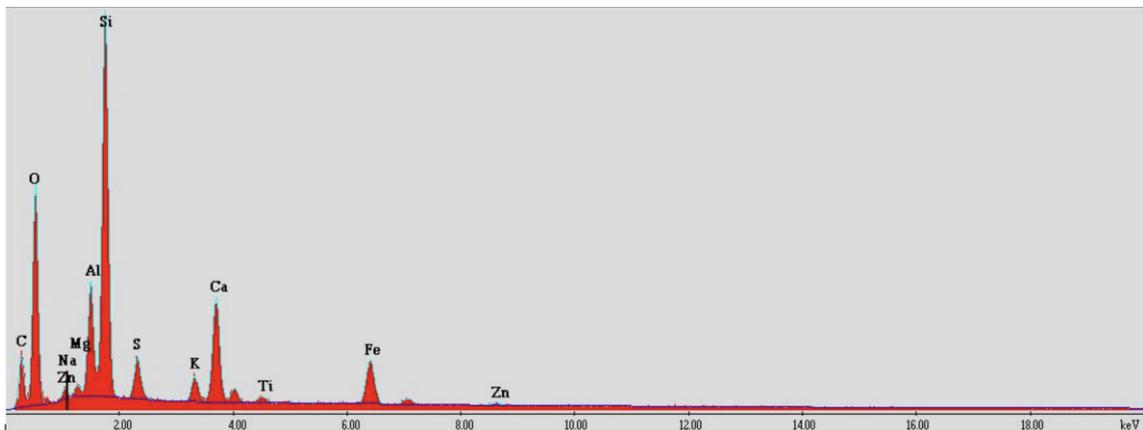
**Tabla XIII**

<sup>1</sup> *Composición química medida por EDS en diferentes regiones.*

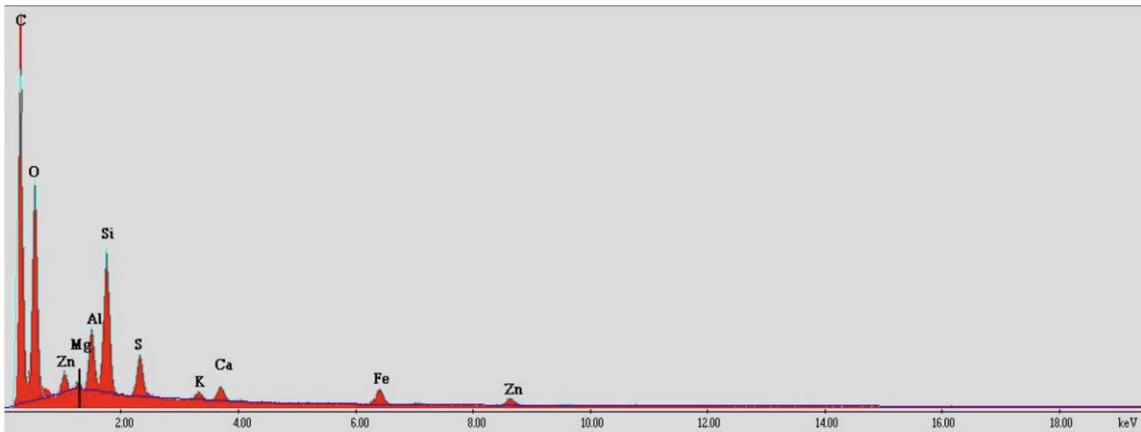
Elemento químico	Área total		P1		P2		A1	
	wt%	at%	wt%	at%	wt%	at%	wt%	at%
C	29.30	40.71	60.77	69.25				

O	42.17	43.98	32.56	27.86	42.57	57.25	48.77	64.83
Na	0.76	0.55			4.46	4.17	1.19	1.10
Mg	0.59	0.41	0.26	0.14			1.01	0.89
Al	4.73	2.92	1.46	0.74	13.89	11.08	8.43	6.64
Si	13.14	7.81	2.64	1.29	28.70	21.99	23.92	18.11
S	1.45	0.75	0.70	0.30	0.75	0.50	2.69	1.79
K	0.86	0.37	0.15	0.05	0.61	0.34	1.46	0.79
Ca	3.50	1.46	0.28	0.09	7.84	4.21	7.10	3.76
Ti	0.27	0.10					0.38	0.17
Fe	2.91	0.87	0.63	0.15	1.18	0.45	5.04	1.92
Zn	0.31	0.08	0.55	0.12				

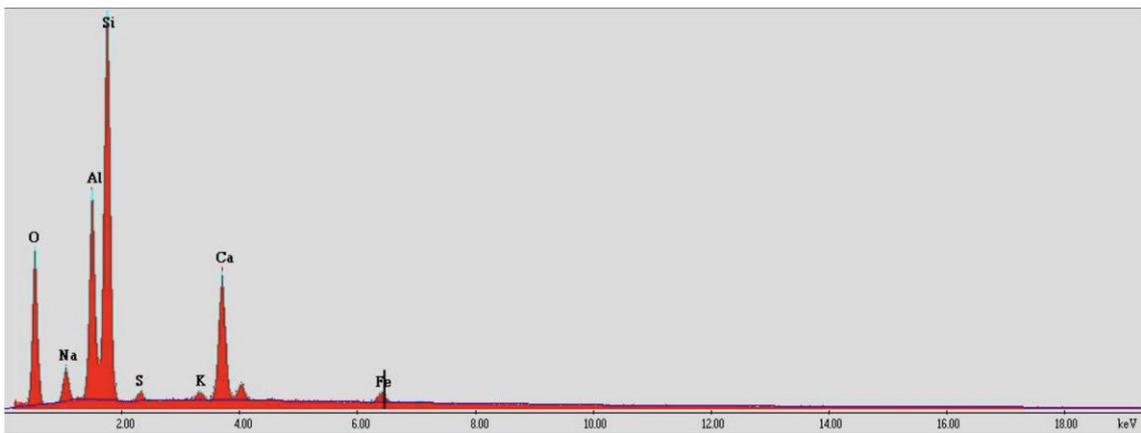
En la Fig. 21, Fig. 22, Fig. 23 y Fig. 24 se muestran los espectros de EDS para cada una de las regiones denominadas P1, P2 y A1, a fin de verificar la calidad del ajuste.



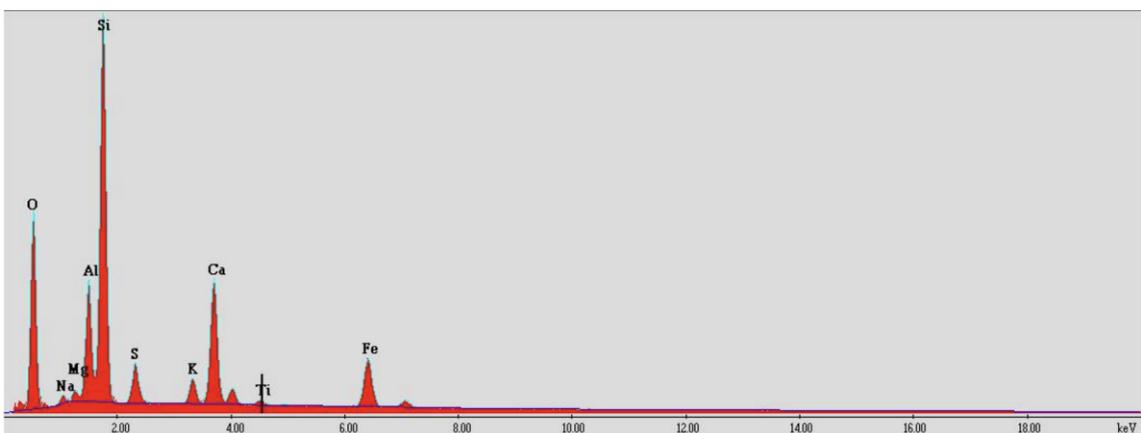
**Fig. 21.** Espectro de EDS del área total.



**Fig. 22.** Espectro de EDS de la región P1.



**Fig. 23.** Espectro de EDS de la región P2.



**Fig. 24.** Espectro de EDS de la región A1.

De los resultados se puede distinguir una matriz con especies de origen principalmente mineral, consistente con la descripción del suelo utilizado en la investigación. En los resultados de EDS de las regiones A1 y P2, este material parece ser una mezcla de óxidos de silicio, aluminio y calcio, esto es corroborado por los resultados de DRX, donde se observa la presencia de cuarzo, aluminosilicatos y carbonato de calcio; este último es indicativo de la presencia de la concha de abanico, así como también la presencia de azufre y hierro. Por otro lado, puede apreciarse una región oscura en la imagen de electrones retro dispersados en la Fig. 20, con una alta presencia de carbono como puede observarse en la región P1, lo cual es consistente con la indicación de la presencia de fragmentos de caucho.

### 3.2. Discusión

1.- Los resultados para determinar las características o propiedades que se encontró en nuestro suelo sin alterar muestra un LL de 35.5%, LP de 21.00% e IP de 14.50% siendo clasificado por S.U.C.S. en C-L (arcilla inorgánica de baja plasticidad) y por A.A.S.H.T.O. en A-6 (suelo arcilloso) donde [27] está compuesto por un 98.1% de materiales finos y un 1,9% de arena, también su LL, LP e IP obtenido fue de 47%, 23% y 24%, respectivamente, siendo este clasificado según SUCS un CL, una arcilla arenosa de baja plasticidad, siendo esta la misma clasificación de la presente investigación; asimismo, este suelo obtuvo valores de óptimo porcentaje de humedad y máxima densidad seca de 9.4% y 1.784 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Asimismo, [26] obtuvo un suelo CH, según la ASTM D2487, el cual es una arcilla altamente plástica, además, su LL, LP e IP obtenido fue de 58%, 31% y 27%, respectivamente. Obteniendo de este suelo un óptimo contenido de humedad de 23% y una máxima densidad seca de 1.42 g/cm<sup>3</sup>, teniendo las propiedades de su suelo sin alterar en sus límites de Atterberg siendo más altos. Por otra parte, [8] en su investigación determino que la clasificación de su suelo según SUCS es ML, siendo este un suelo limo arenoso de baja plasticidad y, además, siendo diferente al tipo de suelo de la presente investigación,

teniendo un LL, LP e IP obtenido fue de 46.42%, 40.41% y 6,01%, respectivamente. Además, sus valores obtenidos de CBR mojado de 5.62% y CBR sin remojar fueron de 3.4%, siendo el valor del CBR mojado similar al valor obtenido en la presente investigación.

2.- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a nivel de subrasante adicionando 4%, 7%, 10% y 12% de caucho respecto al peso seco del suelo. Estos resultados son mayores respecto a las investigaciones antes mencionadas, como en el caso de [25] que en su investigación donde al suelo le añadió caucho, el cual obtuvo resultados satisfactorios pasando de un CBR saturado de 1.86% a 3.96% y CBR seco de 2.01% a 4.72%, siendo el caso de ambos que el resultado óptimo fue con una adición de caucho del 7%, siendo este su resultado óptimo. Además, esta investigación se asemeja al comportamiento del CBR de la presente investigación debido a que conforme se añade caucho el valor de CBR aumenta hasta encontrar el óptimo y luego el valor de CBR comienza a disminuir. Por otro lado, [24] nos menciona que el comportamiento de la máxima densidad seca aumentó mientras se le añadía más cantidad de caucho, sin embargo, el óptimo porcentaje de humedad fue disminuyendo progresivamente, además, el CBR a 2" aumento en 9.18 veces respecto al CBR patrón, de esta forma, la adición de 12% de caucho fue el porcentaje óptimo.

3.- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a nivel de subrasante con el óptimo de contenido de caucho adicionando 4%, 5%, 6% y 7% de concha de abanico respecto al peso seco del suelo. [13] en sus ensayos realizados del suelo incorporando concha de abanico y caucho reciclado se obtuvieron resultados los cuales mostraron que el suelo arcilloso de su muestra tuvo una máxima densidad seca de 1.34 g/cm<sup>3</sup>, su óptimo contenido de humedad fue del 27% y se determinó que adicionando el 12% de concha de abanico y 5% de caucho reciclado tuvo una mejora a la compresión no confinada en un 14%, caso contrario al de la presente investigación dado que la máxima densidad seca fue disminuyendo mientras se le añadía más cantidad de caucho y concha de abanico. Por otra

parte, [27] ya que su investigación tiene una variable diferente a lo propuesto, siendo estos vidrio y concha de abanico, es por ello que obtuvo diferentes resultados, ya que la máxima densidad seca aumentó de 1.784 gr/cm<sup>3</sup> hasta 1.847 gr/cm<sup>3</sup>, siendo este su valor más alto obtenido, pero al llegar al valor más alto disminuyó su máxima densidad seca hasta 1.796 gr/cm<sup>3</sup>, este comportamiento se asemeja al de la presente investigación, ya que al obtener el resultado más alto, luego procede a descender los valores obtenidos. Además, obtuvo óptimo contenido de humedad del 9.4%, siendo este menor al obtenido en la presente investigación, pero mediante la incorporación de concha de abanico el porcentaje de humedad aumentó hasta 12.1%, siendo este el valor más alto obtenido, teniendo un comportamiento contrario a nuestros resultados obtenidos, ya que la humedad disminuye conforme se va añadiendo más porcentaje de concha de abanico. Asimismo, [7] realizó una investigación usando concha de abanico y cáscara de huevo, en el cual en sus resultados obtuvo un porcentaje óptimo de concha de abanico del 12% en el cual, el CBR patrón de 1.42% aumentó hasta 1.61% con la adición de la variable, en el cual mostró una mejora del 13.38%, lo cual está en concordancia con el trabajo de investigación presentado, teniendo así que el CBR al 0.2" aumento de significativamente en un 189%.

4.- Determinar microestructura, composición química, textura, cristales enlaces del suelo con los óptimos contenidos de caucho y concha de abanico triturada. [14] muestra que las imágenes bajo microscopio óptico con un aumento del 200x las partículas del suelo se acumulan alrededor del caucho provocando que adhiera al material, pues la presencia del agua promueve este acontecimiento; esta adhesión entre el caucho y el suelo ayuda a reforzar el suelo, al compartir una superficie más grande con el suelo en la mezcla, las partículas de caucho ofrecen un mejor refuerzo mejorando así la resistencia de la mezcla, concordando con este estudio pues también los resultados de SEM muestran imágenes a una magnificación de 137x, en la región de interés P1, una alta presencia de carbono, indicando la presencia de caucho en la muestra, donde se puede apreciar al suelo y caucho como una mezcla homogénea, lo cual aumenta la resistencia del suelo. [7] en su investigación

de suelo arcilloso preparado en laboratorio con kaolinite incorporando concha de abanico y cáscara de huevo, obtuvo que, al agregar más polvo de concha de abanico, el porcentaje de kaolinite disminuye gradualmente desarrollando nuevos compuestos cementantes tales como hidróxido de silicato de aluminio, picromerita y portlandita; llenando los vacíos intermoleculares entre las partículas de caolinita y aumentan la cohesión entre sus partículas. También [26] su muestra la cual fue manipulada en laboratorio para ser mezclada con kaolinite, cemento y conchas de abanico, su muestra obtenida por SEM se observa que la adición de conchas de abanico es capaz de formar aglomerante con la kaolinite y el cemento; su espectro EDS se presenta con cantidades elevadas de aluminio, calcio y silicio esto es provocado por los elementos predominantes mezclado, concordando con esta investigación pues el suelo con 7% de caucho y 6% de concha de abanico tuvo como mayor concentración el silicio en un 13.14%.

La obtención de concha de abanico no es posible en todas las ciudades del Perú, dado a que estos generalmente se encuentran en la costa peruana, así que la aplicación de concha de abanico en zonas alejadas no resultaría económica. Asimismo, estas deben tener un proceso lavado de eliminación de restos orgánicos, ya que, estos podrían generar malos olores. Además, el caucho reciclado y la concha de abanico deben ser tamizadas para eliminar impurezas y obtener tamaños menores a 4.75mm de diámetro.

## 62 IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

1.- Se determinó las propiedades del suelo utilizado en la presente investigación, presentó un LL, LP e IP de 35.5%, 21% y 14.5 % respectivamente, su densidad máxima seca fue de 1.99 gr/cm<sup>3</sup> y su óptimo contenido de humedad de 15.33%, sus valores de CBR con porcentajes a 0.1" y 0.2" fue de 5.03% y 6.50% respectivamente y su CBR al 100% de la densidad máxima seca a 0.1" y 0.2" fue de 7.20% y 9.40% respectivamente; se clasificó mediante tablas SUCS y AASTHO siendo un suelo CL (arcilloso de baja plasticidad) y A-6 (suelos arcillosos) respectivamente; por lo cual los resultados de la estabilización del suelo incorporando caucho reciclado y concha de abanico han sido utilizados para este tipo de investigaciones.

2.- Se determinó las propiedades físicas y mecánicas del suelo incorporando 4%, 7%, 10% y 12% de CR del suelo. El ensayo de Proctor indica que los valores de la densidad para 4%, 7%, 10% y 12% es de 1.87 gr/m<sup>3</sup>, 1.79 gr/m<sup>3</sup>, 1.73 gr/m<sup>3</sup> y 1.64 gr/m<sup>3</sup> respectivamente, comienza a disminuir al incorporarse mayor porcentaje de CR al suelo estudiado, debido a su naturaleza ligera de su densidad reducida y teniendo en cuenta que mientras más porcentaje de CR tendrá mayores vacíos en la muestra afectando sus valores, siendo el valor más bajo cuando se incorpora 12% de CR. Los porcentajes de humedad con CR incorporando 4%, 7%, 10% y 12% indica valores de 15.32%, 15.09%, 15.14% y 15.33% respectivamente, fueron ligeramente inferiores respecto al suelo estudiado, pues el CR no tiene porcentaje de absorción y al contacto con el agua no afecta en mucho puesto que no hay ninguna reacción cuando el CR este humedecido. Para el ensayo del CBR se obtuvo que con la incorporación de 4%, 7%, 10% y 12% de CR indica valores al 95% a 0.1" de 5.80 %, 6.43%, 4.27% y 3.80% y para 0.2" de 7.47%, 8.50%, 5.47% y 5.00% respectivamente, al 100% a 0.1" de 7.90%, 9.33%, 6.70% y 5.73% y para 0.2" 10.27%, 11.90%, 8.67% y 7.50% respectivamente, al

incorporar el 7% de CR incrementa la resistencia del suelo en comparación con el suelo sin alterar aumentando su resistencia para 0.1" en 1.4% y para 0.2" en 2.0% respecto a los valores de CBR del suelo sin alterar, para el CBR al 100% de la densidad máxima seca para 0.1" en 2.13% y para 0.2" en 2.50%, luego fue disminuyendo sus valores mientras incrementaba el porcentaje de caucho reciclado.

3.- Se determinó las propiedades físicas y mecánicas del suelo con el óptimo contenido de CR incorporando 4%, 5%, 6% y 7% de CA del suelo. El ensayo del Proctor indica que los valores de la densidad en el óptimo contenido de CR incorporando 4%, 5%, 6% y 7% de CA es de 1.73 gr/m<sup>3</sup>, 1.69 gr/m<sup>3</sup>, 1.63 gr/m<sup>3</sup> y 1.65 gr/m<sup>3</sup> respectivamente, con la incorporación de CR y CA aumentan más sus vacíos de la muestra afectando a la densidad máxima seca provocando que este disminuya, siendo el valor más bajo cuando se incorpora 7% de CR y 6% de CA de 1.63 gr/cm<sup>3</sup>. La incorporación 4%, 5%, 6% y 7% de CA al suelo estudiado con el porcentaje óptimo de CR, indican es de 14.33 %, 14.14%, 14.31% y 13.99% respectivamente, estos valores disminuyen puesto que el CA tiene un valor 0.03% de absorción. Para el ensayo del CBR al 95% de la densidad se obtuvo que con la incorporación 4%, 5%, 6% y 7% de CA al óptimo contenido de CR a 0.1" es de 7.80%, 8.10%, 10.10% y 9.03% y a 0.2" es de 10.07%, 10.47%, 13.10% y 11.93% respectivamente, al 100% de la densidad seca máxima a 0.1" es de 10.23%, 11.37%, 14.37% y 12.67% y a 0.2" es de 13.27%, 14.57%, 18.73% y 16.17% respectivamente, con la incorporación de 7% de CR + 6% de CA, indican que su valor de soporte aumenta significativamente, incrementando para 0.1" en 5.07% y para 0.2" en 6.6% respecto al CBR del suelo sin alterar y para el CBR al 100% de la densidad para 0.1" en 7.17% y para 0.2" en 9.33%.

4.- Los ensayos microestructurales realizados (DRX y SEM) indican la presencia de albita, calcita, ordenada, carbonato de calcio y material amorfo, esto es provocado por los elementos predominantes mezclados con el suelo arcilloso. En los resultados de

DRX, donde se observa la presencia de aluminosilicatos comportándose como un compuesto cementante aumentando la cohesión entre sus partículas con el suelo. Los resultados de SEM muestran imágenes a una magnificación de 137x, en la región de interés P1, una alta presencia de carbono, indicando la presencia de caucho en la muestra, donde se puede apreciar al suelo y caucho como una mezcla homogénea, lo cual aumenta la resistencia del suelo.

## 4.2. Recomendaciones

1.- Se recomienda investigar la incorporación de caucho reciclado y concha de abanico en diferentes tipos de suelos arcillosos, debido a que estos resultados solo serán aplicables a suelos arcillosos de baja plasticidad.

2.- Se recomienda que las próximas investigaciones se realicen con bajos porcentajes de caucho reciclado, porque al tener mayores porcentajes de la variable disminuirá la máxima densidad seca debido a la naturaleza ligera del caucho, el cual tiene una densidad reducida.

3.- Se recomienda utilizar bajos porcentajes de caucho reciclado y conchas de abanico como incorporación respecto al peso seco del suelo, ya que, con porcentajes elevados, aumentarán los vacíos provocando que reduzca su máxima densidad seca.

4.- Se recomienda que, para la obtención de las propiedades microestructurales del suelo incorporando caucho y concha de abanico, después de la compactación mediante golpes por capa en el CBR, se pase por la malla N°200 para obtener polvo fino con el fin de tener mejores resultados de DRX, y en el ensayo de SEM, en la preparación de la muestra en estudio deben estar en bolsas herméticas para que de esta forma no tengan contaminantes externos y el porcentaje de la muestra no varíe.

## ● 24% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 21% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 20% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	<b>hdl.handle.net</b> Internet	6%
2	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Internet	4%
3	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Internet	1%
4	<b>repositorio.unc.edu.pe</b> Internet	<1%
5	<b>repositorio.upla.edu.pe</b> Internet	<1%
6	<b>Universidad Andina del Cusco on 2018-05-30</b> Submitted works	<1%
7	<b>repositorio.unj.edu.pe</b> Internet	<1%
8	<b>upc.aws.openrepository.com</b> Internet	<1%

9	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-08-05</b> Submitted works	<1%
10	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-12-06</b> Submitted works	<1%
11	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-07</b> Submitted works	<1%
12	<b>core.ac.uk</b> Internet	<1%
13	<b>creativecommons.org</b> Internet	<1%
14	<b>coursehero.com</b> Internet	<1%
15	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-12-28</b> Submitted works	<1%
16	<b>Universidad Tecnologica del Peru on 2021-12-11</b> Submitted works	<1%
17	<b>Universidad Tecnologica de los Andes on 2020-01-21</b> Submitted works	<1%
18	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-08-05</b> Submitted works	<1%
19	<b>Universidad Privada Antenor Orrego on 2022-09-30</b> Submitted works	<1%
20	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2017-11-29</b> Submitted works	<1%

21	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2020-11-30</b> Submitted works	<1%
22	<b>Universidad Continental on 2022-07-24</b> Submitted works	<1%
23	<b>repositorio.unach.edu.pe</b> Internet	<1%
24	<b>CONACYT on 2017-01-08</b> Submitted works	<1%
25	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-12-20</b> Submitted works	<1%
26	<b>Universidad Señor de Sipan on 2022-12-21</b> Submitted works	<1%
27	<b>tandfonline.com</b> Internet	<1%
28	<b>repositorio.unab.edu.pe</b> Internet	<1%
29	<b>uva on 2019-11-16</b> Submitted works	<1%
30	<b>Universidad Nacional del Centro del Peru on 2022-08-22</b> Submitted works	<1%
31	<b>uva on 2019-11-17</b> Submitted works	<1%
32	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-06-30</b> Submitted works	<1%

33	<b>kwansei.repo.nii.ac.jp</b>	Internet	<1%
34	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2018-10-18</b>	Submitted works	<1%
35	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-01</b>	Submitted works	<1%
36	<b>Indiana University on 2023-07-17</b>	Submitted works	<1%
37	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-10-14</b>	Submitted works	<1%
38	<b>Universidad Privada del Norte on 2023-05-22</b>	Submitted works	<1%
39	<b>docplayer.es</b>	Internet	<1%
40	<b>Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2023-08-16</b>	Submitted works	<1%
41	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-17</b>	Submitted works	<1%
42	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-07-05</b>	Submitted works	<1%
43	<b>Universidad Privada del Norte on 2023-03-10</b>	Submitted works	<1%
44	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2016-08-27</b>	Submitted works	<1%

45	<b>Universidad Continental on 2021-09-16</b> Submitted works	<1%
46	<b>Universidad Continental on 2023-06-13</b> Submitted works	<1%
47	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Internet	<1%
48	<b>repositorio.uancv.edu.pe</b> Internet	<1%
49	<b>repositorio.unan.edu.ni</b> Internet	<1%
50	<b>repositorio.unsm.edu.pe</b> Internet	<1%
51	<b>worldwidescience.org</b> Internet	<1%
52	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2018-10-10</b> Submitted works	<1%
53	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-06-07</b> Submitted works	<1%
54	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-10-12</b> Submitted works	<1%
55	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-07-13</b> Submitted works	<1%
56	<b>Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2022-11-07</b> Submitted works	<1%

57	<b>Universidad Privada del Norte on 2023-06-15</b>	<1%
	Submitted works	
58	<b>Universidad Ricardo Palma on 2019-10-24</b>	<1%
	Submitted works	
59	<b>repositorio.unp.edu.pe</b>	<1%
	Internet	
60	<b>repositorio.usanpedro.edu.pe</b>	<1%
	Internet	
61	<b>repositorio.upla.edu.pe</b>	<1%
	Internet	
62	<b>repositorio.usac.edu.gt</b>	<1%
	Internet	
63	<b>"Adsorption of the main polyphenols of PVPP beer waste stream in hig...</b>	<1%
	Crossref posted content	
64	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-10-14</b>	<1%
	Submitted works	
65	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-07-04</b>	<1%
	Submitted works	
66	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-07-06</b>	<1%
	Submitted works	
67	<b>Universidad Nacional del Centro del Peru on 2017-10-05</b>	<1%
	Submitted works	
68	<b>Universidad Privada Antenor Orrego on 2023-07-20</b>	<1%
	Submitted works	

69	<b>prezi.com</b>	Internet	<1%
70	<b>repositorio.uta.edu.ec</b>	Internet	<1%
71	<b>msc-sahc.org</b>	Internet	<1%
72	<b>1library.co</b>	Internet	<1%
73	<b>ERM PERU S.A.. "EIA del Proyecto de Perforación de Pozos Exploratori...</b>	Publication	<1%
74	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-12-20</b>	Submitted works	<1%
75	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-01-11</b>	Submitted works	<1%
76	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-06-23</b>	Submitted works	<1%
77	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-07-21</b>	Submitted works	<1%
78	<b>Universidad Inca Garcilaso de la Vega on 2019-11-27</b>	Submitted works	<1%
79	<b>Universidad Nacional del Centro del Peru on 2022-05-24</b>	Submitted works	<1%
80	<b>Universidad Privada Antenor Orrego on 2018-11-20</b>	Submitted works	<1%

81	<b>Universidad Privada Antenor Orrego on 2019-01-17</b> Submitted works	<1%
82	<b>Universidad Privada Antenor Orrego on 2019-12-04</b> Submitted works	<1%
83	<b>doku.pub</b> Internet	<1%
84	<b>dspace.utpl.edu.ec</b> Internet	<1%
85	<b>dugi-doc.udg.edu</b> Internet	<1%
86	<b>eprints.ucm.es</b> Internet	<1%
87	<b>es.scribd.com</b> Internet	<1%
88	<b>repositorio.uandina.edu.pe</b> Internet	<1%
89	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Internet	<1%
90	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Internet	<1%
91	<b>reviberoammicol.com</b> Internet	<1%
92	<b>researchgate.net</b> Internet	<1%

93	<b>theibfr.com</b>	Internet	<1%
94	<b>CONACYT on 2017-01-08</b>	Submitted works	<1%
95	<b>Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2007-09-10</b>	Submitted works	<1%
96	<b>SCHLUMBERGER DEL PERU S.A.. "Actualización del Plan de Cierre de ...</b>	Publication	<1%
97	<b>Submitted on 1687534249236</b>	Submitted works	<1%
98	<b>Universidad Andina del Cusco on 2019-10-23</b>	Submitted works	<1%
99	<b>Universidad Católica San Pablo on 2021-12-05</b>	Submitted works	<1%
100	<b>Universidad Católica San Pablo on 2023-06-27</b>	Submitted works	<1%
101	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2017-03-21</b>	Submitted works	<1%
102	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2017-07-18</b>	Submitted works	<1%
103	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2018-10-09</b>	Submitted works	<1%
104	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2018-11-24</b>	Submitted works	<1%

105	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2021-01-02</b> Submitted works	<1%
106	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-05-30</b> Submitted works	<1%
107	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-13</b> Submitted works	<1%
108	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-18</b> Submitted works	<1%
109	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-11-28</b> Submitted works	<1%
110	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-11-29</b> Submitted works	<1%
111	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-06-30</b> Submitted works	<1%
112	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-08-18</b> Submitted works	<1%
113	<b>Universidad Ricardo Palma on 2020-12-05</b> Submitted works	<1%
114	<b>Universidad Tecnologica de los Andes on 2021-11-19</b> Submitted works	<1%
115	<b>Universidad de Oviedo on 2022-10-27</b> Submitted works	<1%
116	<b>repositorio.espe.edu.ec</b> Internet	<1%

117	<b>repositorio.unasam.edu.pe</b>	<1%
	Internet	
118	<b>repositorio.upt.edu.pe</b>	<1%
	Internet	
119	<b>sedici.unlp.edu.ar</b>	<1%
	Internet	
120	<b>science.gov</b>	<1%
	Internet	