



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad De Ingeniería Civil

Escuela Profesional De Ingeniería Civil

“Mejoramiento de la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante mediante biopolímero gellan, san sebastian, cusco, 2021”

Tesis

Para Optar el título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Jose Luis Huaman Ccente

Asesor:

Dr. Eugenio Evaristo Andrade Flores

Huacho – Perú

2023

MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE UN SUELO ARCILLOSO DE SUBRASANTE MEDIANTE BIOPOLÍMERO GELLAN, SAN SEBASTIÁN, CUSCO, 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	1library.co Fuente de Internet	1%
2	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	wrap.warwick.ac.uk Fuente de Internet	<1%

**MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE UN SUELO
ARCILLOSO DE SUBRASANTE MEDIANTE
BIOPOLIMERO GELLAN, SAN SEBASTIAN, CUSCO, 2021.**

Bach. Huaman Ccente Jose Luis

Tesis de pregrado

ASESOR:

Dr. Eugenio Evaristo Andrade Flores

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

HUACHO

2023

ASESOR Y MIEMBROS DEL JURADO



PRESIDENTE
Dr. Bautista Loyola Francisco



SECRETARIO
M(o) Barrenechea Alvarado Julio Cesar



VOCAL
M(o) Goñy Ameri Carlos Francisco:



ASESOR
Dr. Eugenio Evaristo Andrade Flores

DEDICATORIA

A mi madre que siempre estuvo presente en cada meta alcanzada, y agradecer las enseñanzas que me dio para ser una persona de bien.

El autor

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional José Sánchez Faustino Carrión y
docentes por aceptarme como un alumno más de la facultad de ing. civil

Al asesor que me guio durante la etapa de la elaboración de mi tesis.

El autor

ÍNDICE

I. Planteamiento del problema	
TITULO	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCION	xiv
I. Planteamiento del problema	1
1.1 Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Objetivos de la investigación	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación de la investigación	4
1.5 Delimitaciones del estudio	4
1.6 Viabilidad del estudio	4
II. Marco teórico	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.1.1 Investigaciones internacionales	5
2.1.2 Investigaciones nacionales	8

2.2	Bases teóricas	11
2.3	Bases filosóficas	15
2.4	Definición de términos básicosBiopolímeros.	17
	Gellan.	17
	Propiedades del suelo.	17
2.5	Hipótesis de investigación	18
2.5.1	Hipótesis general	18
2.5.2	Hipótesis específicas	18
III.	Metodología	20
3.1	Diseño metodológico	20
3.1.1	Tipo de investigación	20
3.1.2	Diseño de investigación	20
3.2	Población y muestra	21
3.2.1	Población	21
3.2.2	Muestra	21
3.3	Técnicas de recolección de datos	22
3.4	Técnicas para el procedimiento de la información	36
IV.	Resultados	37
4.1	Análisis de Resultados	37
IV.	DISCUSION	42
V.	CONCLUSION Y RECOMENDACIÓN	45
5.1	Conclusión.	45
5.2	Recomendaciones	45
V:	Referencias	46
5.1	Fuentes bibliográficas	46
ANEXOS		48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Primera trituración de suelo	23
Figura 2 Segunda Trituración de suelo	24
Figura 3 Secado del suelo	24
Figura 4 Análisis de granulometría y límites de consistencia.....	25
Figura 5 Granulometría por tamizado	26
Figura 6 Granulometría por tamizado	26
Figura 7 Ensayo de Humedad y Densidad.....	27
Figura 8 Prueba de Proctor Modificado.....	27
Figura 9 Ajuste cúbico del contenido óptimo de humedad y la densidad máxima seca	28
Figura 10 Dosificación y pesajes de los materiales.....	30
Figura 11 Proctor Modificado	31
Figura 12 Reposo del material 24 horas	31
Figura 13 Mesclado del material con Gellan	32
Figura 14 Compactación 1	32
Figura 15 Ayeccion de la muestra compactada.....	33
Figura 16 Medición de la Geometría.....	33
Figura 17 Peso de la muestra húmeda	34
Figura 18 Comprensión no confinada	35
Figura 19 Muestras con porcentaje de Gellan.....	35
Figura 20 Muestras con porcentaje de Gellan.....	36
Figura 21 Densidad Seca	37
Figura 22 Densidad Seca	38
Figura 23 Reproducibilidad y validez de densidad Seca	38
Figura 24 Análisis de Cohesión	39
Figura 25 Cohesión.....	40

Figura 26 Ajuste no lineal para los datos de la cohesión.....	41
Figura 27 Contenido óptimo de goma Gellan.....	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable	19
Tabla 2 Tamaño de la muestra.....	22
Tabla 3 Diseño experimental.....	29
Tabla 4 Las dosificaciones de los materiales	29
Tabla 5 Coeficiente de regresión	39
Tabla 6 Coeficientes de la regresión lineal	41

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia.....	48
-------------------------------------	----

RESUMEN

Objetivo: Determinar el mejoramiento de la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante mediante biopolímero gellan, San Sebastián, Cusco, 2021. **Metodología:** Tipo de investigación aplicada diseño de carácter experimental puro con nivel de investigación explicativo, el enfoque es cuantitativa, ya que estará basado en una serie de procesos la población son cada una de las hectáreas de suelo superficial de la región de San Sebastián en la ciudad del Cusco y la muestra se requirieron: 5 ensayos de densidad y 5 de compresión simple, haciendo un total de 10 ensayos. **Resultados:** Mediante el cual se demuestra que, para la densidad seca, el coeficiente de determinación alcanza un valor de 0.93 para el modelo lineal de la densidad seca, además la reproducibilidad y la validez del modelo tienen valores altos. Con esta información se puede afirmar estadísticamente que la densidad seca disminuye con el aumento de la goma. Mediante el cual se observa que, para la cohesión, el coeficiente de determinación alcanza un valor de 0.023 para el modelo lineal, además la reproducibilidad y la validez del modelo tiende a cero, lo cual significa que el modelo lineal no representa el fenómeno. Por la consideración anterior y tomando como evidencia la dispersión de los datos se plantea un ajuste no lineal para los datos de la cohesión. **Conclusión:** Mediante un diseño experimental el cual suministró los datos para un posterior análisis estadístico de tipo Anova, se ha logrado determinar que el efecto del biopolímero gellan es significativo en la propiedad física del suelo llamada densidad seca, demostrándose que cuanto más goma se añade al suelo la densidad seca disminuye. Para el caso de la propiedad mecánica del suelo denominada cohesión, se ha logrado determinar mediante un modelo no lineal que dicha cohesión se incrementa hasta cierto límite de dosis de goma, luego de lo cual la cohesión disminuye. Sea determinado por tanto que el contenido óptimo de goma es de alrededor de 1%.

Palabras clave: Polímero de gellan, densidad seca, cohesión, estabilidad de suelo

ABSTRACT

Objective: To determine the improvement of the resistance of a clayey subgrade soil by means of gellan biopolymer, San Sebastian, Cusco, 2021. **Methodology:** Type of research applied design of pure experimental character with explanatory research level, the approach is quantitative, since it will be based on a series of processes the population are each of the hectares of surface soil of the region of San Sebastian in the city of Cusco and the sample 5 density tests and 5 simple compression tests were required, making a total of 10 tests. **Results:** Through which it is demonstrated that, for dry density, the coefficient of determination reaches a value of 0.93 for the linear model of dry density, also the reproducibility and validity of the model have high values. With this information it can be statistically affirmed that the dry density decreases with the increase of rubber. By means of which it is observed that, for cohesion, the coefficient of determination reaches a value of 0.023 for the linear model, also the reproducibility and validity of the model tends to zero, which means that the linear model does not represent the phenomenon. by the previous consideration and taking as evidence the dispersion of the data, a nonlinear adjustment for the cohesion data is proposed. **Conclusion:** By means of an experimental design which provided the data for a later statistical analysis of Anova type, it has been possible to determine that the effect of the biopolymer gellan is significant in the physical property of the soil called dry density, demonstrating that the more gum is added to the soil the dry density decreases. In the case of the mechanical property of the soil called cohesion, it has been determined by means of a non-linear model that cohesion increases up to a certain limit of gum dosage, after which cohesion decreases. It has been determined that the optimum rubber content is about 1%.

Keywords: Gellan polymer, dry density, cohesion, soil stability.

INTRODUCCION

Los minerales de arcilla se componen principalmente de silicatos aluminicos, aunque en ocasiones pueden contener otros elementos como hierro, magnesio, potasio, sodio y litio que reemplazan parcialmente la alúmina. La capacidad de absorción del complejo en los suelos está más relacionada con los contenidos de alúmina. La estructura de los minerales de arcilla es generalmente de láminas, aunque también pueden presentar formas tubulares o fibrosas. Además, los minerales de arcilla tienen propiedades significativas como la actividad superficial, que se refiere a los fenómenos físico-químicos y la intensidad de carga superficial de los granos, las cuales varían según el tipo de mineral que forme la arcilla.

La construcción de pavimentos es una actividad fundamental en la industria de la construcción, y se apoya en suelos que a menudo no cumplen con las condiciones requeridas para su uso. Por esta razón, se utilizan técnicas de estabilización para mejorar las propiedades del suelo, siendo la combinación de suelo natural con material de préstamo la más común. Sin embargo, esto ha generado un aumento en la demanda de agregados y la explotación de canteras en todo el mundo. Para abordar este problema, se han llevado a cabo investigaciones desde el año 2000, como la presente, que buscan utilizar residuos de diferentes productos como alternativa a los agregados convencionales, con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible en la industria de la construcción.

Las sustancias que tienen un peso molecular superior a los 10.000 g/mol se denominan macromoleculares y pueden ser de origen natural, artificial o sintético. Los polímeros de alto peso molecular son productos orgánicos macromoleculares que tienen principios estructurales comunes en sus moléculas y pueden ser naturales, artificiales, semisintéticos o sintéticos. Los polímeros de alto peso molecular artificiales se obtienen mediante la transformación química de los polímeros de alto peso molecular naturales, sin cambiar significativamente su naturaleza macromolecular. En contraste, los polímeros de alto peso molecular sintéticos se obtienen a partir de sustancias de bajo peso molecular, como el nylon, el poliestireno y el estireno, entre otros. Aunque no todos los polímeros de alto peso molecular sintéticos tienen

la capacidad de ser moldeados, se les conoce como plásticos y a veces se les llama resinas sintéticas, ya que comparten características estructurales y propiedades con las resinas naturales.

I. Planteamiento del problema

1.1 Descripción de la realidad problemática

Uno de los recursos más importantes para el desarrollo de la vida humana es el suelo, por lo que contar con un suelo contaminado que haya sufrido cambios tanto en sus características físicas, químicas y biológicas con el tiempo puede no ser apto ni compatible para su uso; lo que pasaría ser una amenaza letal para la salud de todos los seres vivos que habitan el ecosistema.

Para hacer frente a este tipo de contaminaciones que afectan la salud y a las actividades de las personas es necesario recurrir a la economía circular que tiene como fin reutilizar, utilizar biopolímeros como la goma Gellan, al contrarrestar algunos elementos contaminantes como el cemento mismo. Bajo esta premisa los ingenieros civiles actualmente desarrollan varias actividades como parte de su desarrollo profesional, entre ellas está la de realizar carreteras de corto y largo alcance, donde al ejecutar esas actividades se ven limitadas por que se encuentra con un suelo limoso, el cual actualmente es considerado como el suelo más problemático de la ingeniería.

En la investigación una de las posibles soluciones a esta problemática es mezclar polímeros con el suelo, la finalidad de esta acción es básicamente mitigar la contaminación de suelo que existe en la actualidad y así con el tiempo lograr un suelo servible que ayude ejecutar diferentes actividades sobre ello.

De esta manera, el objetivo de la presente tesis es: Determinar la medida en que se da el efecto de la goma Gellan en la mejora del suelo limo arcilloso de San Sebastián, Cusco, 2021. Por otro lado, los objetivos específicos son: determinar el efecto de la goma Gellan en el CBR de un suelo limo arcillosos de San Sebastián. Asimismo, determinar el efecto de la goma Gellan en la ascensión capilar de un suelo limo arcillosos de San Sebastián. Finalmente, determinar el efecto de la goma Gellan en la resistencia a la compresión simple

de un suelo limo arcilloso de San Sebastián.

El cemento es competitivo en la estabilización de suelos debido a su alta resistencia, durabilidad a largo plazo y bajo costo. A pesar de esto, la fabricación de cemento ha llevado a un aumento continuo en la emisión de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, polvo y desechos sólidos, lo que ha causado graves preocupaciones ambientales. Por lo tanto, la búsqueda de un tratamiento sostenible del suelo se hace necesaria (Chen et al., 2022).

El principal desafío que enfrentamos está relacionado con la inestabilidad del suelo en la zona de estudio, la cual se deriva de las características físico-mecánicas de los materiales expuestos y su grado de alteración. Además, la orientación, pendiente y altura de estos materiales en la ladera natural o el talud artificial, así como la presencia de una amplia variedad de especies vegetales, algunas de las cuales tienen un carácter estacional pronunciado, también influyen en la estabilidad del suelo. Además, los movimientos sísmicos pueden desencadenar grandes deslizamientos debido a la generación de vibraciones. Finalmente, el agua es un factor clave que afecta la estabilidad del suelo ya que puede causar la desintegración física de las partículas y su alteración química a través de la disolución y oxidación.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo mejorar la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante con biopolímero gellan, San Sebastián, Cusco, 2021?

1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cómo el biopolímero Gellan mejora la propiedad física del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021?
2. ¿Cómo el biopolímero Gellan mejora la propiedad mecánica del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar el mejoramiento de la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante mediante biopolímero gellan, San Sebastián, Cusco, 2021.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar el mejoramiento mediante biopolímero Gellan en la propiedad física del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021.
2. Determinar el mejoramiento mediante biopolímero Gellan en la propiedad mecánica del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021

1.4 Justificación de la investigación

Justificación teórica

La teoría de la resistencia del suelo será tratada en esta investigación y es considerada como un aspecto relevante para investigaciones posteriores.

Justificación metodológica

La metodología experimental empleada en la tesis tiene un valor práctico significativo para otros trabajos de investigación. Además, se abordará un problema técnico relevante relacionado con la corrección de la debilidad de un suelo mediante la mejora de sus propiedades por medio de la incorporación de un biopolímero.

Justificación Ambiental

La justificación de la tesis se basa en el hecho de que proporcionará fundamentos para la implementación de la economía circular, al mismo tiempo que se aprovechan los biorresiduos con el objetivo de reducir la contaminación ambiental. De esta manera, se contribuye al concepto de economía circular.

1.5 Delimitaciones del estudio

El presente estudio se limita al uso de un biopolímero en particular: la goma gellan. Además, el suelo utilizado para la presente tesis es el suelo limoso de la zona de San Sebastián en la ciudad del Cusco.

1.6 Viabilidad del estudio

El estudio es viable, ya que se tienen todos los materiales disponibles en la zona. Asimismo, existe un laboratorio especializado para hacer los ensayos, así como un ingeniero civil especialista en el tema que guiará la investigación de forma externa.

II. Marco teórico

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Comportamiento y parámetros de resistencia al corte de suelos tratados con gomagelán microbiana: de arena a arcilla.

Los biopolímeros microbianos se han introducido recientemente como un nuevo material para el tratamiento y mejora de suelos. Los biopolímeros brindan un refuerzo significativo al suelo, incluso en pequeñas cantidades (es decir, a 1/10 o menos de la cantidad requerida de aglutinantes convencionales, como el cemento). En particular, se sabe que los biopolímeros termogelificantes, como la goma de agar, la goma gellan y la goma xantana, fortalecen notablemente los suelos, incluso en condiciones de saturación de agua. Sin embargo, aún no se ha realizado un examen explícitamente detallado de las interacciones microscópicas y las características de fortalecimiento entre la goma gellan y las partículas del suelo. En este estudio, se realizó una serie de experimentos de laboratorio para evaluar el efecto de las interacciones suelo-goma gellan en el comportamiento de fortalecimiento de las mezclas de suelo tratadas con goma gellan (desde arena hasta arcilla). Los resultados experimentales mostraron que las resistencias de las mezclas de arena y arcilla aumentaron efectivamente con el tratamiento con goma gellan sobre las de arena pura o arcilla. El comportamiento de endurecimiento se atribuye a la conglomeración de partículas finas así como a la interconexión de partículas finas y gruesas, por la goma gellan. El tratamiento con goma gellan mejoró significativamente no solo la cohesión entre partículas, sino también el ángulo de fricción de los suelos que contienen arcilla (Chang & Cho, 2019).

Estabilización/solidificación de suelos con biopolímeros: un enfoque rápido, micro-macro e interdisciplinario.

En este estudio se presenta un nuevo enfoque de alta eficiencia para la identificación y diseño de sistemas de suelos estabilizados con biopolímeros. El enfoque propuesto utiliza una estrategia de micro-macro, donde en la escala microscópica se emplea una técnica de detección de afinidad de biominerales habilitados por membrana (MEBAS), respaldada por la caracterización de enlaces minerales (MBC) a través de técnicas como TGA, ATR-FTIR y potencial ζ . En la escala macroscópica, los resultados obtenidos en la escala micro son confirmados mediante la Verificación Geotécnica (GV) a través de pruebas de compresión no confinada. Para ilustrar la metodología, se utiliza un sistema de relaves mineros compuesto por Fe_2O_3 - SiO_2 como ejemplo. En el estudio se examinaron cinco tipos de biopolímeros diferentes para determinar su capacidad de interactuar con Fe_2O_3 : goma de algarroba, goma guar, goma gelán, goma xantana y carboximetilcelulosa sódica. Los hallazgos indicaron que la goma de algarroba y la goma guar mostraron una afinidad más alta con el Fe_2O_3 , lo cual se confirmó mediante microscopía de barrido de campo y espectroscopía de vibración molecular. La razón de esta afinidad se atribuye a la habilidad del biopolímero para crear enlaces covalentes C-O-Fe por medio de los grupos β -(1,4)-d-manano. Una vez añadidos al sistema macroscópico de Fe_2O_3 modelo en un 1%, las resistencias a la compresión no confinada se situaron en 5171 y 3848 kPa, respectivamente, lo cual fue significativamente mayor que la de los otros biopolímeros y sistemas sin Fe. En el estudio actual se utilizó el enfoque MEBAS-MBC-GV, el cual permitió una tasa de evaluación aproximadamente 50 veces mayor en comparación con el uso de GV solamente. Además, se discute la posibilidad de aplicar este enfoque a una amplia variedad de componentes y aditivos de suelo/movimiento de tierras, como se expone en Armistead et al. (2020).

Consistencia del suelo y características interpartículas de varios tipos de biopolímeros estabilización de arcilla.

Actualmente se ha prestado más atención a un método de mejora respetuoso con el medio ambiente mediante el uso de biopolímeros de estabilización del suelo para las prácticas de ingeniería geotécnica. Y las preocupaciones existentes se centraron en el desempeño de la arcilla tratada con biopolímeros debido a la ocurrencia de interacción eléctrica. Por lo tanto, el efecto de los tipos de biopolímeros y el contenido de agua en el comportamiento de la mezcla de arcilla y biopolímero debe explorarse en primer lugar en términos de aplicaciones de biopolímeros. En este estudio, se realizaron pruebas de cono de caída para evaluar las variaciones de consistencia de ocho tipos de arcilla tratada con biopolímeros, por ejemplo, goma de carragenina kappa (KG), goma de algarroba (LBG), goma de xantano (XG), goma de agar (AG), goma guar (GG), alginato de sodio (SA), goma gellan (GE) y quitosano (CH) en varias concentraciones de biopolímero (p. ej., entre 0,1 % y 5 % de proporción de biopolímero a masa de suelo). Los resultados indicaron que los biopolímeros neutros (p. ej., LBG y GG) causaron significativamente el aumento del límite líquido y la resistencia al corte sin drenar, independientemente de la concentración del biopolímero. Y el límite líquido y la resistencia al corte sin drenar de los biopolímeros cargados negativamente (p. ej., KG, SA, GE y XG) la arcilla tratada disminuyó primero y luego aumentó, mientras que AG y CH tuvieron un efecto límite en la consistencia del suelo. Además, la tendencia del índice de plasticidad fue similar al límite líquido alterando la clasificación de la USCS de arcilla tratada con biopolímeros como limo o arcilla. Además, también se establecieron ecuaciones empíricas que determinan la resistencia al corte sin drenaje y la viscosidad al corte de la arcilla tratada con biopolímeros.(Cheng & Geng, 2021).

2.1.2 Investigaciones nacionales

Cartílago de vacuno con goma gellan para la estabilización de suelo limoso de la carretera Cu-1516, Yaurisque, Cusco, 2022.

El objetivo principal de este estudio fue examinar cómo el uso de una mezcla de cartílago de vacuno y goma gellan como agente estabilizador afecta al suelo limoso en la carretera CU-1516 en Yaurisque, Cusco-2022. Se llevó a cabo un enfoque cuantitativo y aplicado utilizando un diseño experimental y cuasi-experimental explicativo. La población de estudio incluyó el suelo limoso de la carretera CU-1516, Yaurisque, con una longitud de 26 km, y se realizaron tres calicatas en la primera etapa de 2.6 km. La muestra consistió en 12 especímenes de suelo seleccionados no probabilísticamente siguiendo la dosificación establecida en el diseño factorial. Se registraron los resultados de los ensayos utilizando fichas técnicas. Se llegó a la conclusión de que la incorporación de cartílago de vacuno y goma gellan tuvo un impacto importante en las características físicas y mecánicas del suelo limoso en la carretera CU-1516, Yaurisque, Cusco-2022. Después de la evaluación, se encontró que la dosificación óptima para cada agente estabilizador fue del 1.5%, lo que resultó en mejoras significativas en las propiedades físicas y mecánicas del suelo según un estudio realizado por Cutipa en el 2022.

Evaluación de propiedades mecánicas de mezclas con asfalto PG 76-10E modificado con polímero elastómero y con polímero plástomero

En este estudio se analizaron y compararon las propiedades mecánicas de dos mezclas asfálticas que contenían asfalto modificado con diferentes tipos de polímeros elastómeros y plástomeros. El objetivo fue determinar cómo influye el tipo de polímero en la modificación del asfalto y su desempeño a lo largo de su vida útil. Se emplearon mezclas que cumplieran con las normas ASTM D-6926/D-6927 y granulometrías densas según ASTM D3515 D5. Se evaluaron diferentes propiedades, como el grado de desempeño (PG) y la resistencia al agrietamiento por fatiga (MSCR). Los resultados indicaron que la mezcla con elastómero obtuvo una estabilidad de 1782 kg, mientras que la mezcla con plástomero alcanzó una

estabilidad de 1471 kg. Los flujos de ambas mezclas fueron similares, con valores de 12.8mm y 12.6mm, respectivamente. La prueba de la rueda de Hamburgo arrojó profundidades de ahuellamiento de 3.67 mm y 3.65 mm, respectivamente. Además, la prueba de fatiga en cuatro puntos AASHTO T321 mostró ciclos de carga de 1.28M y 0.52M para la mezcla con elastómero y plástomero, respectivamente. Estos resultados son relevantes para la ingeniería de carreteras, ya que permiten el desarrollo de modelos que caractericen asfaltos avanzados y predigan su comportamiento mecánico y desempeño en el pavimento.

Influencia de la adición del polímero megasoil en los porcentajes de 2%, 4%, 6%, en el cbr del material de cantera para afirmados

El objetivo principal de este estudio fue examinar cómo la adición del polímero Megasoil, en porcentajes de 2%, 4% y 6%, afectó la resistencia mecánica y el California Bearing Ratio (CBR) de una muestra de material de cantera para afirmados. Se recolectó una muestra de la cantera Bazán, ubicada en Cajamarca, y se llevaron a cabo diversas pruebas físicas y mecánicas en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte, incluyendo granulometría, abrasión, compactación, límite líquido, límite plástico y CBR, utilizando los estándares EM-2016-MTC y NTP. Se midió el CBR de una muestra patrón sin aditivo Megasoil para comparar los cambios en las propiedades mecánicas al agregar el polímero. Los resultados indicaron que la adición de Megasoil mejoró significativamente la resistencia mecánica y el CBR, con un CBR del 86% para una adición del 2%, 98% para el 4% y 105% para el 6%. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes en la ingeniería de suelos y la construcción de carreteras.

Propiedades mecánicas y absorción del adobe compactado al incorporar polímero natural de penca

Se realizó una revisión sistemática para evaluar la viabilidad de mejorar las propiedades mecánicas y de absorción del adobe mediante la incorporación de materiales o aditivos. La revisión se llevó a cabo mediante la búsqueda de fuentes relevantes en Redalyc, Scielo, repositorios universitarios y Google Académico, lo que permitió la identificación de 34 artículos pertinentes. El objetivo de la revisión fue analizar estudios teóricos y empíricos para determinar los porcentajes adecuados de aditivos en el adobe. Se reconocen ciertas limitaciones de la revisión, como la restricción de idioma y periodo de tiempo, que deben ser abordadas en futuras investigaciones. No obstante, los resultados indican que existen diversos materiales que pueden mejorar las propiedades del adobe. El adobe ha sido utilizado desde hace mucho tiempo en la construcción debido a su bajo costo, facilidad de fabricación y propiedades térmicas, especialmente en América, Mesoamérica y la región andina de Sudamérica. Es importante tener en cuenta que los materiales utilizados en la construcción deben cumplir con las normas establecidas. (Díaz, 2018)

2.2 Bases teóricas

Goma Gellan

La goma es un compuesto químico que consiste en un polisacárido de alto peso molecular y que contiene D-glucosa, D-manosa y ácido D-glucurónico, según el Instituto Europeo de Dermocosmética en 2020. Este compuesto se produce industrialmente mediante la fermentación de cultivos puros del microorganismo *Xantomonas campestris* y se puede encontrar en forma sódica, cálcica o potásica.

Caraterísticas

El polvo de goma Gellan es de color blanco-crema y se disuelve con facilidad en agua caliente o fría. Su solución tiene un pH neutro y, por lo general, no se disuelve en solventes orgánicos. A una temperatura superior a 65°C, la goma Gellan puede disolverse en glicerina. Asimismo, las soluciones acuosas de la goma Gellan pueden contener solventes miscibles con agua o etanol hasta en un 50% a 60%. No obstante, si se agregan

cantidades mayores de alcohol, la goma puede precipitarse o gelificarse. (Instituto Europeo de Dermocosmética, 2020))

Cementante

El término "material cementante" se refiere a una sustancia que puede unir agregados y formar una masa gracias a sus propiedades de adhesión y cohesión. Entre los principales cementantes hidráulicos se encuentran los cementos y las cales hidráulicas, así como ciertos materiales con propiedades puzolánicas y algunas escorias. (Capítulo 2).

Biopolímeros.

Los biopolímeros son macromoléculas esenciales en la estructura de los organismos vivos que se producen de manera natural. Según la Universidad de Alcalá, estos polímeros se forman a partir de la unión química de monómeros, los cuales pueden ser proteínas (polímeros de aminoácidos), ácidos nucleicos (polímeros de nucleótidos) o polisacáridos (polímeros de azúcares).

Estabilización.

La estabilización de suelos, según el Ministerio de Economía y Finanzas (2015), implica la mejora de las características físicas de un suelo mediante técnicas mecánicas y la adición de productos químicos, ya sean naturales o sintéticos. El objetivo de este proceso es otorgar al suelo una mayor resistencia mecánica y la capacidad de mantener estas propiedades a largo plazo, especialmente en suelos de subrasante inadecuados o pobres. Existen diversas técnicas para llevar a cabo la estabilización del suelo, tales como la incorporación de otros tipos de suelo o la adición de agentes estabilizantes. En cualquier caso, después de aplicar la técnica correspondiente, es necesario realizar un proceso de compactación.

Suelo limoso.

De acuerdo con Das (2001), los suelos limosos se originan a partir de la deposición de materiales transportados por la lluvia o el viento y su formación se encuentra relacionada con la roca madre. Estos suelos están compuestos por minerales pequeños que pueden retener agua y nutrientes durante períodos de tiempo más prolongados. Su color es generalmente marrón oscuro y su consistencia es una mezcla de arena fina y arcilla, lo que les da una textura similar a una masa de barro con lodo y restos vegetales.

Resistencia a la compresión simple de suelos.

Llorens (2007) explica que el ensayo de compresión simple es utilizado para evaluar la resistencia de un suelo cohesivo ante una carga axial con control de deformación. Este ensayo se lleva a cabo utilizando una muestra cilíndrica inalterada de suelo no confinada y requiere que el suelo sea coherente y que la muestra no haya sido alterada. El objetivo de este ensayo es fracturar la muestra de suelo no confinada, con una tensión principal efectiva igual a cero ($\sigma_1=0$), para obtener la curva de tensión-deformación y la resistencia a la compresión simple.

Densidad seca (g/cm³)

Ocete Ruiz, Hernández del pozo, Rubio Garcia, & Hernández Garvayo (2012), define la densidad seca de un material como la proporción entre la masa de las partículas sólidas y el volumen total del suelo. Esta medida es útil para establecer una comparación entre suelos en términos de compactación, utilizando un valor de densidad máxima como referencia.

Densidad húmeda (g/cm³)

(HOSSNE GARCÍA & CEDEÑO CAMPOS, 2012) explica que la densidad húmeda es una medida de la masa de suelo por unidad de volumen, que se determina sin necesidad de secar previamente la muestra. La densidad aparente húmeda se calcula dividiendo la masa total de suelo por el volumen del cilindro utilizado para tomar la muestra.

Cohesión kg/cm²

De acuerdo con la información presentada por Martínez Quiroz en 2003, la cohesión en los suelos se refiere a su capacidad de resistir la fuerza de corte cuando no hay tensión normal en el plano de deslizamiento. Esta propiedad se ve influenciada por el contenido de humedad del suelo, razón por la cual se realizan estudios previos a la construcción para determinarla. Los suelos arcillosos tienen una alta cohesión, que oscila entre 0,25 y 1,5 kg/cm² o más. En contraste, los suelos limosos tienen una cohesión muy baja y en las arenas, prácticamente nula.

Compresión simple kg/cm²

La resistencia a la compresión de un suelo es su capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se mide en términos de esfuerzo, como kg/cm², MPa o psi. Este parámetro permite medir la carga máxima que un suelo puede soportar antes de que falle debido a la deformación, y se mide utilizando micrómetros de alta precisión que miden la deformación con una precisión de 0.0001 mm. (DELGADO-DE LA TORRE, MORALES AYALA, CASTILLO MONTUFAR, & PERALTA CATALAN, 2018)

Software estadístico XLStat.

XLStat es un software estadístico que se integra con Microsoft Excel y proporciona módulos de análisis estadístico para el análisis, personalización y compartición de resultados. Además de esto, ofrece herramientas para el diseño y análisis de experimentos y estadísticas. (XLStat, 2021)

2.3 Bases filosóficas

Biorresiduos

Los biorresiduos son materiales orgánicos que pueden ser descompuestos biológicamente, los cuales provienen tanto de fuentes vegetales como animales. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) considera que estos residuos son alimentos y señala que se pierden o desperdician alrededor de 1300 millones de toneladas de alimentos en todo el mundo cada año. Los biorresiduos tienen un gran potencial para contribuir a la transición hacia una economía circular, como lo destaca la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) en un informe que señala que su reducción y uso adecuado pueden ayudar a disminuir emisiones de gases, mejorar la calidad de los suelos y generar energía.

Economía circular

(Argentina.gob.ar, s.f.) La economía circular propone un enfoque alternativo al modelo de economía lineal basado en la extracción, producción, consumo y desperdicio. En la economía circular, los residuos son considerados como recursos que pueden ser utilizados para reingresar al sistema productivo, fomentando un flujo constante y sostenible.

La economía circular es una forma de producción y consumo que busca lograr un crecimiento sostenible a largo plazo. Este enfoque se compone de cuatro dimensiones principales, que incluyen la sostenibilidad ambiental y el cambio climático, el desarrollo urbano sostenible, el desarrollo económico y social, y la sostenibilidad fiscal. El objetivo

de la economía circular es ser un modelo de desarrollo económico que beneficie a las empresas, la sociedad y el medio ambiente. (Sustantperu, 2019; Dossieres EsF, 2020)

Diseño de experimentos.

El diseño de experimentos es una metodología estadística que tiene como objetivo analizar cómo funciona un proceso determinado y determinar si ciertos factores influyen en la variable que se está estudiando. Esta técnica utiliza herramientas estadísticas para obtener respuestas a preguntas específicas sobre el proceso. Una de las principales ventajas del diseño de experimentos es su capacidad para estudiar una amplia gama de procesos y responder a diversos tipos de preguntas. Sin embargo, es importante definir claramente el objetivo de la investigación antes de comenzar. (TCM, 2017).

Regresión lineal múltiple.

La regresión lineal múltiple se refiere a la técnica de ajustar modelos lineales que incluyen una variable dependiente y varias variables independientes. Esta técnica implica la utilización de múltiples coeficientes para las variables independientes que contribuyen a la variable dependiente. Según Montgomery, Peck y Vining (2012), debido a la complejidad computacional de las variables, este tipo de regresión puede ser más difícil de manejar. Cuando todas las variables predictoras son continuas, se conocen como modelos de regresión múltiple, mientras que si todas las variables predictoras son categóricas, se llaman modelos de análisis de varianza (ANOVA), de acuerdo con Quinn y Keough (2002).

2.4 Definición de términos básicos

Biopolímeros.

El cemento es competitivo en la estabilización de suelos debido a su alta resistencia, durabilidad a largo plazo y bajo costo. A pesar de esto, la fabricación de cemento ha llevado a un aumento continuo en la emisión de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, polvo y desechos sólidos, lo que ha causado graves preocupaciones ambientales. Por lo tanto, la búsqueda de un tratamiento sostenible del suelo se hace necesaria (Chen et al., 2022).

Los biopolímeros se pueden clasificar en función de diferentes términos, incluida la biodegradabilidad (biodegradable y no biodegradable) y la fuente de las materias primas. Se pueden considerar tres grupos al clasificar los biopolímeros en función de su fuente de origen: biopolímeros de origen **vegetal**, biopolímeros de origen **animal** y biopolímeros producidos por **microorganismos** (Fatehi et al., 2021).

Gellan.

La goma gellan es un exopolisacárido de *Sphingomonas elodea*, fermentación aeróbica sumergida cosechada comercialmente. Debido al potencial fisiológico de espesante, se tuvo en cuenta en la familia de espesantes para la disfagia (TSAI & LIN, 2022).

Propiedades del suelo.

En una determinada cantidad de suelo, la masa total m_t se divide entre masa de gases m_g (normalmente despreciable con respecto a las otras masas), masa de líquidos m_l y masa de sólidos m_s . El volumen total V_t se divide entre volumen de gases V_g , volumen de líquido V_l y volumen de sólidos V_s . El volumen de fluido V_f es la suma de V_g y V_l . Usando estas variables, se pueden desarrollar la definición de la densidad seca del suelo como: $\rho_b = \frac{m_s}{V_t}$

V_t

(Bittelli et al., 201

La resistencia al corte del suelo está constituida básicamente por los siguientes componentes: 1) la resistencia estructural al desplazamiento del suelo debido al entrelazamiento de las partículas; 2. la resistencia por fricción a la translocación entre las partículas individuales del suelo en sus puntos de contacto, y; 3. cohesión o adhesión entre la superficie de las partículas del suelo. La resistencia al corte en un suelo sin cohesión resulta únicamente de la fricción intergranular, mientras que en todos los demás suelos resulta tanto de la fricción interna como de la cohesión. Sin embargo, las arcillas y limos plásticos no poseen fricción interna (Punmia, 2010).

2.5 Hipótesis de investigación

2.5.1 Hipótesis general

El mejoramiento de la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante mediante biopolímero gellan, San Sebastián, Cusco, 2021

2.5.2 Hipótesis específicas

1. El mejoramiento mediante biopolímero Gellan en la propiedad física del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021.
2. El mejoramiento mediante biopolímero Gellan en la propiedad mecánica del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021

Tabla 1

Operacionalización de la variable

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	Instrumento.
VARIABLE INDEPENDIENTE	Los biopolímeros se pueden clasificar en función de diferentes términos, incluida la biodegradabilidad (biodegradable y no biodegradable) y la fuente de las materias primas. Se pueden considerar tres grupos al clasificar los biopolímeros en función de su fuente de origen: biopolímeros de origen vegetal, biopolímeros de origen animal y biopolímeros producidos por microorganismos (Fatehi et al., 2021).	Goma de Gellan	—	Fichas de Experimento de laboratorio.
Biopolímero	La goma gellan es un exopolisacárido de <i>Sphingomonas elodea</i> , fermentación aeróbica sumergida cosechada comercialmente. Debido al potencial fisiológico de espesante, se tuvo en cuenta en la familia de espesantes para la disfagia (TSAI & LIN, 2022).		- %G: porcentaje de goma Gellan wSs: peso del suelo seco wG: peso de la goma Gellan $\%G = \frac{wG}{wSs} \times 100$	
VARIABLE DEPENDIENTE	La resistencia al corte del suelo está constituida básicamente por los siguientes componentes: 1) la resistencia estructural al desplazamiento del suelo debido al entrelazamiento de las partículas; 2. la resistencia por fricción a la translación entre las partículas individuales del suelo en sus puntos de contacto, y; 3. cohesión o adhesión entre la superficie de las partículas del suelo. La resistencia al corte en un suelo sin cohesión resulta únicamente de la fricción intergranular, mientras que en todos los demás suelos resulta tanto de la fricción interna como de la cohesión. Sin embargo, las arcillas y limos plásticos no poseen fricción interna (Punmia, 2010).	Física	— Ds: densidad seca del espécimen. $Ds = \frac{W_s}{V_s} [g/cm^3]$	Fichas de Experimento de laboratorio.
		Mecánica	Compresión simple UCS ASTM D2166 $Fv = Q / As$	Fichas de Experimento de Laboratorio.

III. Metodología

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de investigación

Se realizará una investigación de tipo aplicada, el cual se centra en abordar los problemas reales de manera oportuna, utilizando los descubrimientos obtenidos a través de la investigación y buscando soluciones basadas en teorías. Un ejemplo de investigación aplicada es el análisis de la estabilización de la subrasante mediante la adición de polímeros de goma gellan, cuyos resultados podrían aplicarse para abordar problemas similares en investigaciones futuras. Según la teoría revisada, el estudio en cuestión se puede clasificar como una investigación aplicada. (Salinas, 2016).

3.1.2 Diseño de investigación

La investigación que se ha llevado a cabo tiene un enfoque experimental puro, ya que su objetivo es realizar pruebas con la manipulación de una variable, observar los resultados y comprobar la hipótesis planteada.

La metodología utilizada en la investigación se basa en el enfoque experimental, el cual implica la observación y manipulación de fenómenos en un ambiente de laboratorio, según lo explicado por Ccanto (2010).

3.1.3 Nivel de investigación.

El nivel explicativo de la investigación se caracteriza por ir más allá de la mera descripción de conceptos, ya que busca establecer relaciones causales entre fenómenos o eventos físicos. El propósito de este tipo de investigación es evidenciar y explicar el funcionamiento de los fenómenos, identificar las condiciones en las que se producen y establecer sus interrelaciones con otras variables significativas. (Hernández et al, 2014)

3.1.4 Enfoque de Investigación.

El presente estudio se enfoca en una metodología cuantitativa, la cual se basa en la obtención de resultados a través de la realización de pruebas experimentales en un laboratorio, y posteriormente se verifica la hipótesis planteada utilizando análisis numéricos. Este enfoque es utilizado porque se requiere la recolección de datos para probar la hipótesis, mediante la medición numérica y la identificación de patrones de comportamiento para validar las teorías planteadas, tal y como indica Ramos (2014).

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La estadística se vuelve notable siempre que el estudio involucra la investigación de ciertas tipologías de los objetos en una determinada población. En estadística, la palabra población se usa para indicar el conjunto de todos los objetos selectos para el estudio particular que están expuestos al mismo procedimiento o método. Los miembros de una población se denominan unidades de población (Gupta et al., 2020). Las unidades de población son cada una de las hectáreas de suelo superficial de la región de San Sebastián en la ciudad del Cusco.

3.2.2 Muestra

Muestra obtenida.

Una muestra es un subconjunto de toda la población, una reducida selección de individuos u objetos tomados de toda la colección (Kokoska, 2015). La muestra obtenida es de 3 calicatas que son sesenta kilogramos de muestra reducida por cuarteo proveniente de tres calicatas del área de estudio.

Muestras y especímenes de ensayo.

Una "muestra" se refiere a la porción comparativamente pequeña de suelo que se ha recortado de una "muestra" más grande y en la que se realiza una prueba determinada. El material recompactado en un molde, y del que se pueden recortar muestras más pequeñas, también se denomina muestra. Los especímenes de prueba habilitados por recorte manual se denominan generalmente como "no perturbados", aunque la muestra de la que se cortan puede consistir en suelo no perturbado o en material que ha sido recompactado o remodelado (Epps, R.; Head, K. H.; Eng, 2006). Para la presente tesis Se requirieron: 5 ensayos de densidad y 5 de compresión simple, haciendo un total de 10 ensayos, y por lo tanto, igual número de especímenes remodelados (véase el diseño experimental que justifica dicho número de ensayos).

Tabla 2
Tamaño de la muestra

Muestra	Característica del suelo	Gellan (%)
1	Física	0
2	Mecánica	0
3	Física	0.5
4	Mecánica	0.5
5	Física	1
6	Mecánica	1
7	Física	1.5
8	Mecánica	1.5
9	Física	2
10	Mecánica	2

3.3 Técnicas de recolección de datos

Generado desde una estricta perspectiva combinatoria con el fin de crear un diseño reducido con una distribución equilibrada de todos los ajustes de factores. El algoritmo que selecciona los puntos trata los factores multinivel y cuantitativos por igual.

Tamayo y Silva (2018) señalan que la observación directa posibilita el control de datos por parte del investigador, permitiendo manipular las variables en condiciones específicas. De esta forma, se pueden dividir y combinar las variables de interés (en este caso, cenizas de eucalipto y estabilización de subrasante) para analizar cómo se relacionan entre sí. Este tipo de observación experimental o directa se utiliza en la investigación.

Caracterización del suelo.

Antes de la caracterización se procedió a secar y triturar el suelo para obtener una granulometría uniforme de 2mm de diámetro promedio

Figura 1
Primera trituration de suelo



Figura 2
Segunda Trituración de suelo



Figura 3
Secado del suelo

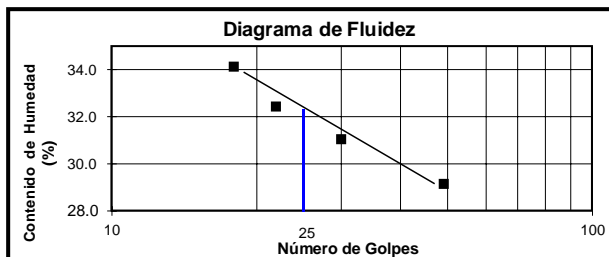


El primer paso para la experimentación fue la caracterización del suelo a través de su clasificación internacional esta resultó ser una arena limosa SM, conforme se aprecia en el resumen de su granulometría y límites de consistencia.

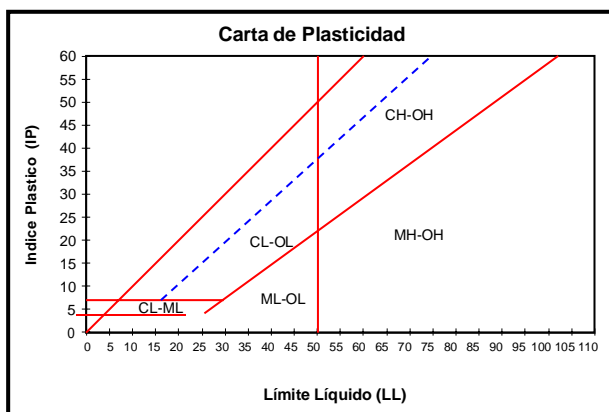
Figura 4
Análisis de granulometría y límites de consistencia.

ENSAYOS : ESTANDAR DE CLASIFICACION
 NORMAS : ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487
 Proyecto: :
 Fecha: :

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	% ACUMULADO QUE PASA	75.000	3"	100.00
		50.000	2"	100.00
		37.500	1 1/2"	100.00
		25.000	1"	100.00
		19.000	3/4"	100.00
		9.500	3/8"	100.00
		4.750	No 004	100.00
		2.000	No 010	94.99
		0.850	No 020	78.27
		0.425	No 040	66.80
		0.250	No 060	57.84
		0.150	No 100	38.10
		0.075	No 200	18.88
D10 (mm)		0.0544	Cu	5.22
D30 (mm)		0.1120	Cc	0.81
D60 (mm)		0.2842		



PESO ESP. RELATIVO DE SÓLIDOS (Gs)		--
PESO ESPECÍFICO NATURAL (γ)	(gr/cc)	--
HUMEDAD NATURAL (ω)	(%)	0.00
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	(%)	32.36
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	(%)	26.36
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	(%)	6.01
LÍMITE DE CONTRACCIÓN (LC)	(%)	-



CLASIFICACION S.U.C.S.	SM
------------------------	----

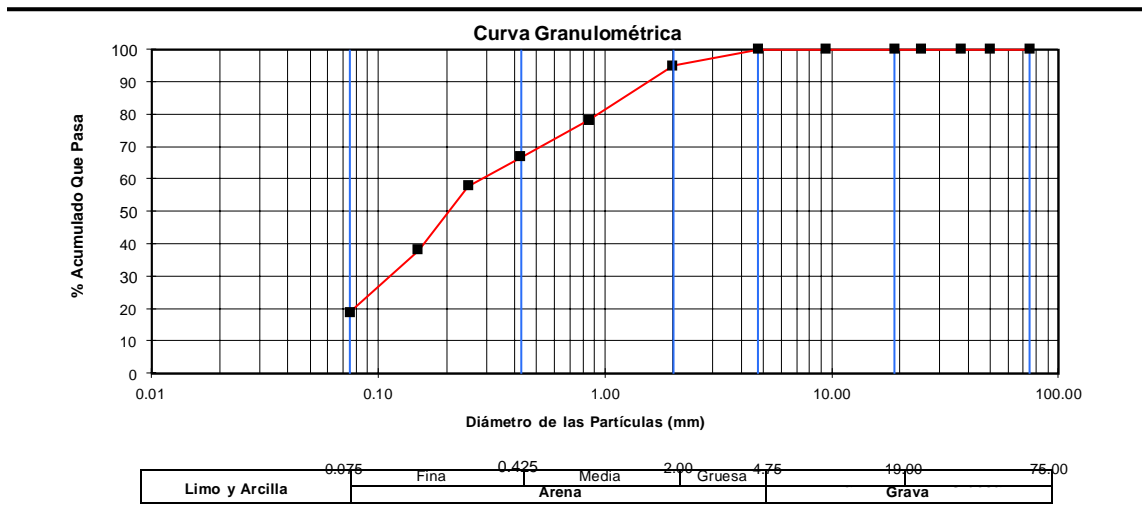


Figura 5
Granulometría por tamizado



Figura 6
Granulometría por tamizado



Ensayo Proctor.

El siguiente paso implicó la identificación del contenido de humedad óptimo y la densidad máxima del suelo antes de proceder con la mezcla de los materiales en la dosificación requerida.

Se obtuvieron los siguientes datos:

Figura 7
Ensayo de Humedad y Densidad

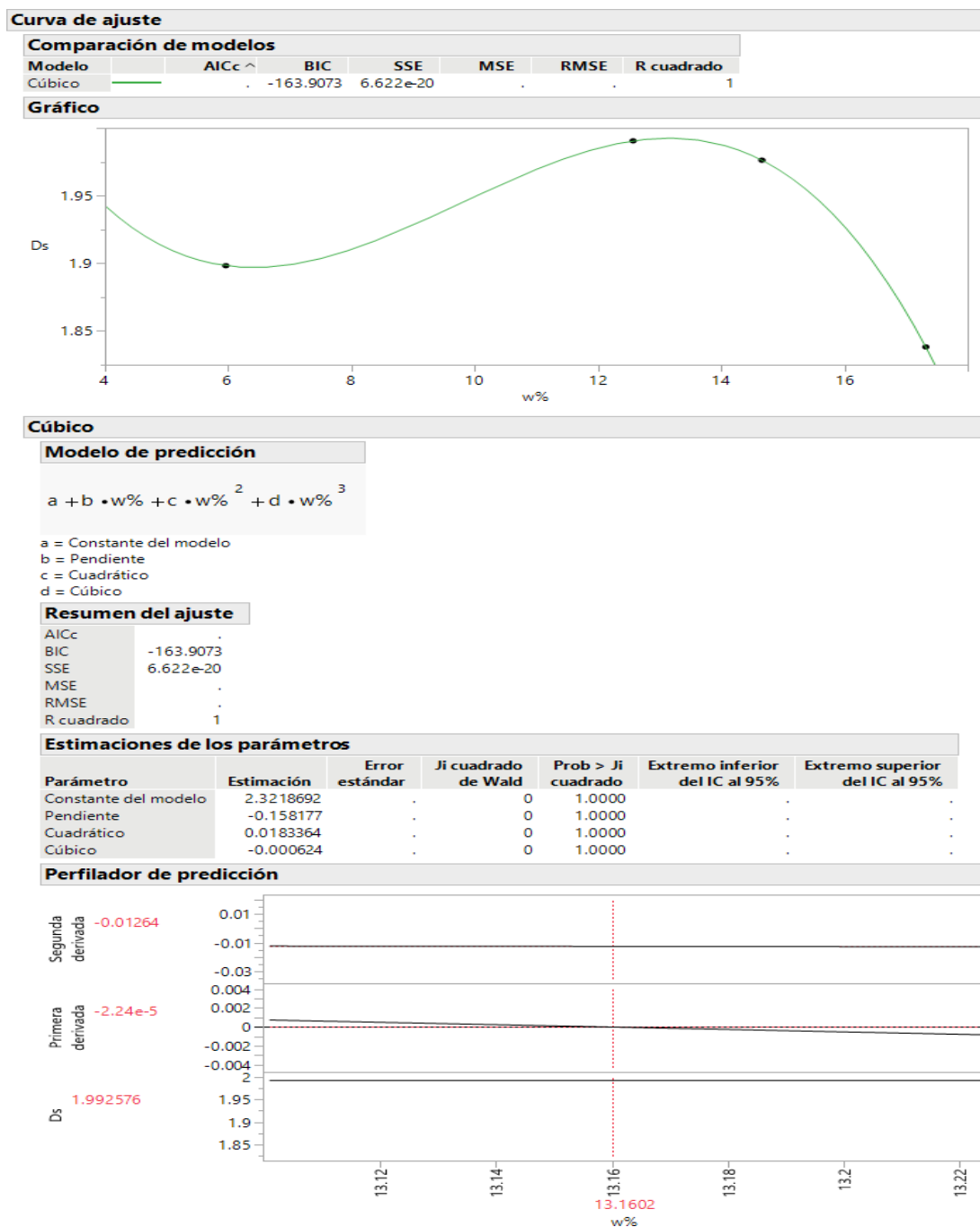
DATOS DEL MOLDE													
Volumen del molde(cc) :	951.07												
DATOS DE LA DENSIDAD													
Determinación	No	1			2			3			4		
Peso del Molde y Muestra	gr.	5676			5894			5918			5814		
Peso del Molde	gr.	3763			3763			3763			3763		
Peso de la Muestra Compacta	gr.	1913			2131			2155			2051		
Densidad Humedad	gr/cc.	2.0114			2.2406			2.266			2.157		
Densidad Seca	gr/cc.	1.8983			1.9905			1.976			1.838		
DATOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD													
Tarro	No	1a	1b	1c	3a	3b	3c	4a	4b	4c	5a	5b	5c
Peso del Tarro	gr.	11.4	11.8	21.5	21.5	21.9	12.1	21.5	21.3	21.5	20.5	21.2	21.5
Peso del T. + Suelo Humedo	gr.	90.6	83.7	152.1	105.3	107.6	70.3	88.1	113.5	108.3	101.8	110.2	106
Peso del T. + Suelo Seco	gr.	86.2	79.8	144.4	95.6	98.1	64	79.6	101.7	97.2	89.7	97.2	93.5
Peso del Agua	gr.	4.4	3.9	7.7	9.7	9.5	6.3	8.5	11.8	11.1	12.1	13	12.5
Peso del Suelo Seco	gr.	74.8	68	122.9	74.1	76.2	51.9	58.1	80.4	75.7	69.2	76	72
Contenido de Humedad	%	5.88	5.74	6.27	13.09	12.47	12.14	14.63	14.68	14.66	17.49	17.11	17.36
Contenido de Humedad Promedio	%	5.96	Desv.Est.	0.274	12.57	Desv.Est.	0.483	14.66	Desv.Est.	0.024	17.32	Desv.Est.	0.194

Figura 8
Prueba de Proctor Modificado



Figura 9

Ajuste cúbico del contenido óptimo de humedad y la densidad máxima seca



COH: 13.16%

DMS: 1.99 g/cm³

Diseño experimental.

Para la presente tesis se empleó un diseño experimental de tipo reducido combinatorio con 10 experimentos sin réplica para un modelo lineal, sin interacción, el cual alcanza un poder de 50%. A continuación, se muestra la tabla de proporciones para el diseño experimental.

Tabla 3
Diseño experimental

Nombre	Orden de ejecución	Gellan (%)
N1	1	0
N2	4	0
N3	6	0.5
N4	10	0.5
N5	9	1
N6	7	1
N7	8	1.5
N8	5	1.5
N9	2	2
N10	3	2

Tabla 4
Las dosificaciones de los materiales

Nombre	Sólidos		Líquidos						Total muestra (g)
	Gellan (%)	Suelo seco (g)	Gellan (g)	Agua actual (%)	Wopt (%)	Agua actual (g)	Agua añadida (g)	Suelo húmedo a mezclar (g)	
N1	0	195.0	0.0	11.5	13.2	22.4	3.2	217.4	220.7
N2	0	195.0	0.0	11.5	13.2	22.4	3.2	217.4	220.7
N3	0.5	195.0	1.0	11.5	13.2	22.4	3.2	216.4	220.7
N4	0.5	195.0	1.0	11.5	13.2	22.4	3.2	216.4	220.7
N5	1	195.0	2.0	11.5	13.2	22.4	3.2	215.4	220.7
N6	1	195.0	2.0	11.5	13.2	22.4	3.2	215.4	220.7
N7	1.5	195.0	2.9	11.5	13.2	22.4	3.2	214.5	220.7
N8	1.5	195.0	2.9	11.5	13.2	22.4	3.2	214.5	220.7
N9	2	195.0	3.9	11.5	13.2	22.4	3.2	213.5	220.7
N10	2	195.0	3.9	11.5	13.2	22.4	3.2	213.5	220.7

Seguidamente se procedió con el proceso de experimentación siguiendo los pasos señalados a continuación:

Para el proceso de experimentación se decidió por un diseño experimental de tipo reducido combinatorio de 8 grados de libertad, con un poder de 50% (10 especímenes de ensayo) el cual es una combinación de principios sólidos de diseño de ingeniería. Para la fabricación de los especímenes de ensayo se procedió con la dosificación en peso de los materiales:

Figura 10
Dosificación y pesajes de los materiales



- 1) suelo seco;
- 2) goma Xanthan con multiniveles de 0.0%; 0.5%; 1.0%; 1.5%; (x_n) con base en la investigación de Chang et al. (2015) para justificar dichos porcentajes;
- 3) Inmediatamente mezclados los sólidos, se procedió a añadir agua en una proporción de 13.16%, siguiendo lo obtenido en el ensayo Proctor modificado previamente realizado al material.

Figura 11
Proctor Modificado



Figura 12
Reposo del material 24 horas



Las mezclas se produjeron en lotes de 220 gramos de peso total de sustancias mezcladas, utilizando un mezclador que cumplió con la norma EN 196-1, y cuya velocidad de rotación fue constante durante todos los ensayos (140 rpm). El proceso de mezcla siguió los siguientes pasos:

Figura 13
Mesclado del material con Gellan



1) agregar suelo al recipiente de mezclado, agregar la goma gellan y por último el agua; la primera etapa de mezcla duro 150 s; 2) Se detuvo la mezcladora para raspar el material adherido a las paredes del recipiente, luego se continuó con la mezcla por 150 s adicionales

Figura 14
Compactación 1



Inmediatamente después de mezclar todos los elementos, se introdujo la mezcla en un

molde tubular adosado a un gato hidráulico con el cual se aplicó a la mezcla una presión estática de 8.15 MPa, luego eyectándose y obteniéndose muestras cilíndricas de 4 cm de diámetro y 8 cm de altura en promedio.

Figura 15
Ayección de la muestra compactada



Inmediatamente obtenidos los especímenes cilíndricos, éstos fueron envueltos en una película plástica y colocados adicionalmente dentro de una bolsa hermética, donde se mantuvieron en un ambiente controlado ($T = 20 \pm 2$ C y $HR = 50 \pm 5$ %) para su curado durante tres días.

Figura 16
Medición de la Geometría



Figura 17
Peso de la muestra húmeda



Luego del tiempo de curado, se permitió a las muestras libres de envolturas, secar a temperatura y humedad ambiente, posteriormente se secaron en un horno de tiro forzado durante 6 horas a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. El paso siguiente fue dejar enfriar las muestras durante una hora a temperatura ambiente. Seguidamente se procedió a la medición de su densidad de acuerdo al método B de la norma ASTM D7263 obteniéndose el diámetro (d) y la altura (h) en milímetros de cada espécimen. A continuación, se determinó su resistencia a la compresión simple (q) según lo especificado en la norma ASTM D2166, para luego, calcular la cohesión (C) mediante la **Error! Reference source not found.**:

Figura 18
Comprensión no confinada



Figura 19
Muestras con porcentaje de Gellan

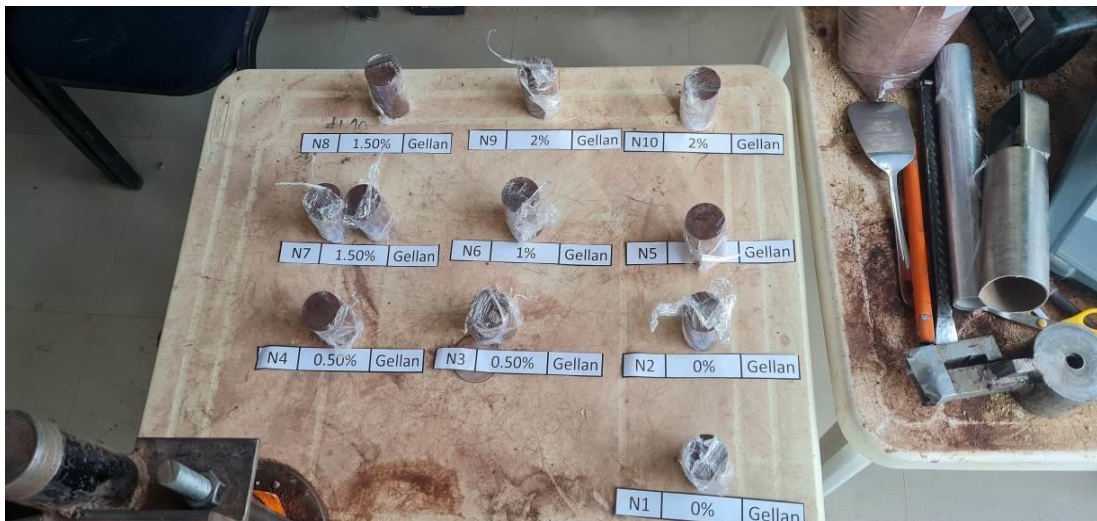


Figura 20
Muestras con porcentaje de Gellan



3.4 Técnicas para el procedimiento de la información

El análisis de varianza (ANOVA) (Neter, Wasserman y Kunter, 1990) se maneja para detectar factores significativos en un modelo multifactorial. En el modelo multifactorial, hay una variable de respuesta (dependiente) y una o más variables factoriales (independientes). Este es un modelo común en experimentos diseñados donde el experimentador instituye los valores para cada una de las variables del factor y luego mide la variable de respuesta (NIST/SEMATECH, 2013). En la presente tesis se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA) para el análisis de datos.

Asimismo, dado que los antecedentes demuestran que el comportamiento de la adición de la goma produce un incremento de la resistencia hasta cierto porcentaje, luego del cual dicha resistencia se reduce, entonces se espera un comportamiento no lineal del fenómeno, por lo tanto, se empleó la regresión no lineal como parte del análisis de la presente tesis.

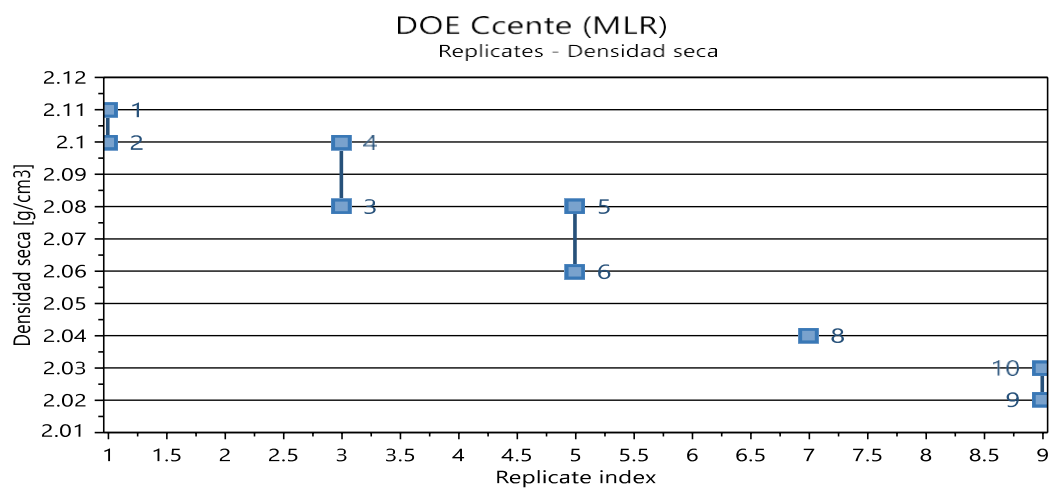
IV. Resultados

4.1 Análisis de Resultados

Análisis para la densidad seca.

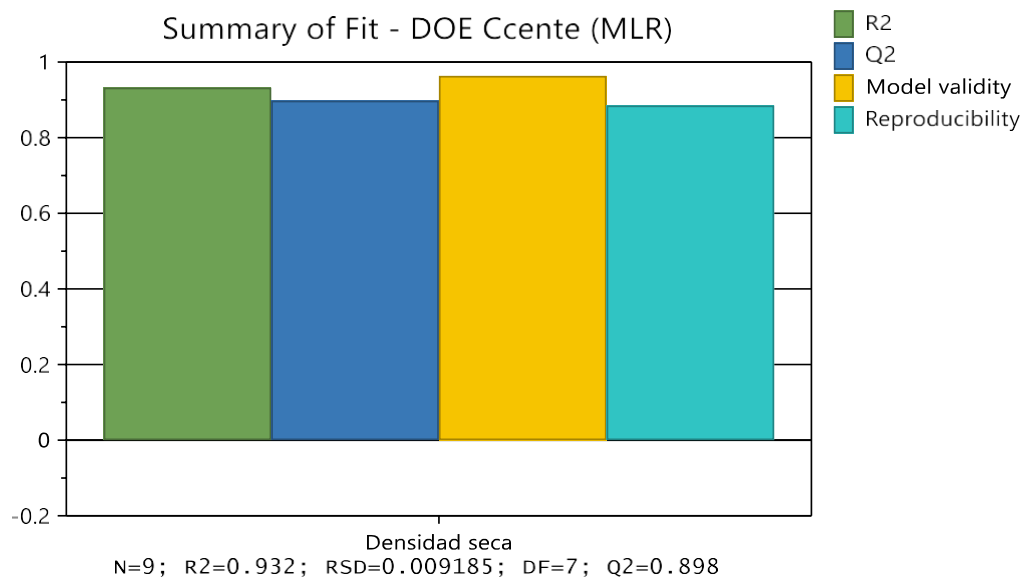
Una vez ejecutado el análisis ANOVA se confeccionó el gráfico de dispersión de resultados:

Figura 21
Densidad Seca



Para el cual se determinaron los valores de los estadísticos de bondad de ajuste que se muestran a continuación:

Figura 22
Densidad Seca

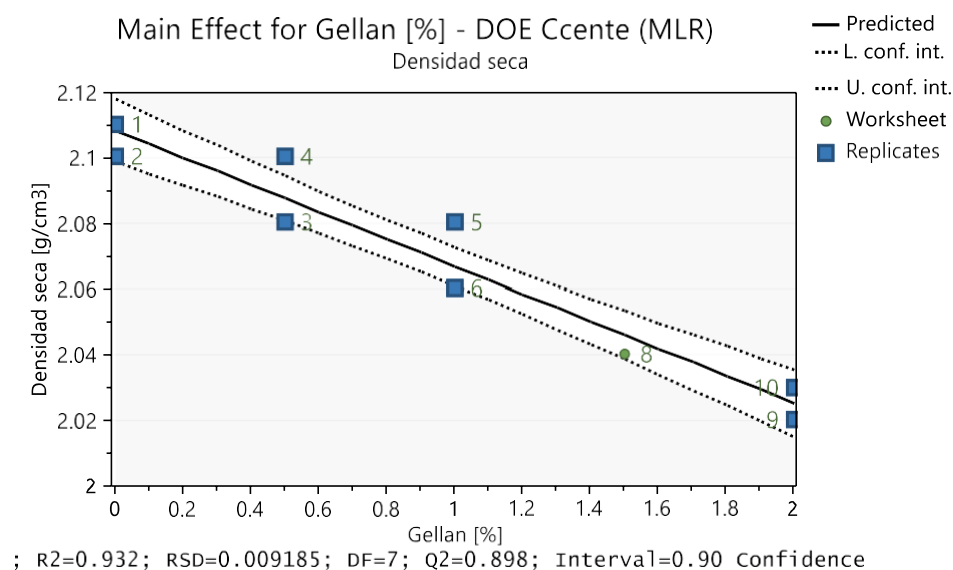


Mediante el cual se demuestra que, para la densidad seca, el coeficiente de determinación alcanza un valor de 0.93 para el modelo lineal de la densidad seca, además la reproducibilidad y la validez del modelo tienen valores altos.

Con esta información se puede afirmar estadísticamente que la densidad seca disminuye con el aumento de la goma.

Esto se aprecia en el siguiente gráfico:

Figura 23
Reproducibilidad y validez de densidad Seca



Los coeficientes de la regresión lineal se muestran a continuación

Tabla 5
Coefficiente de regresión

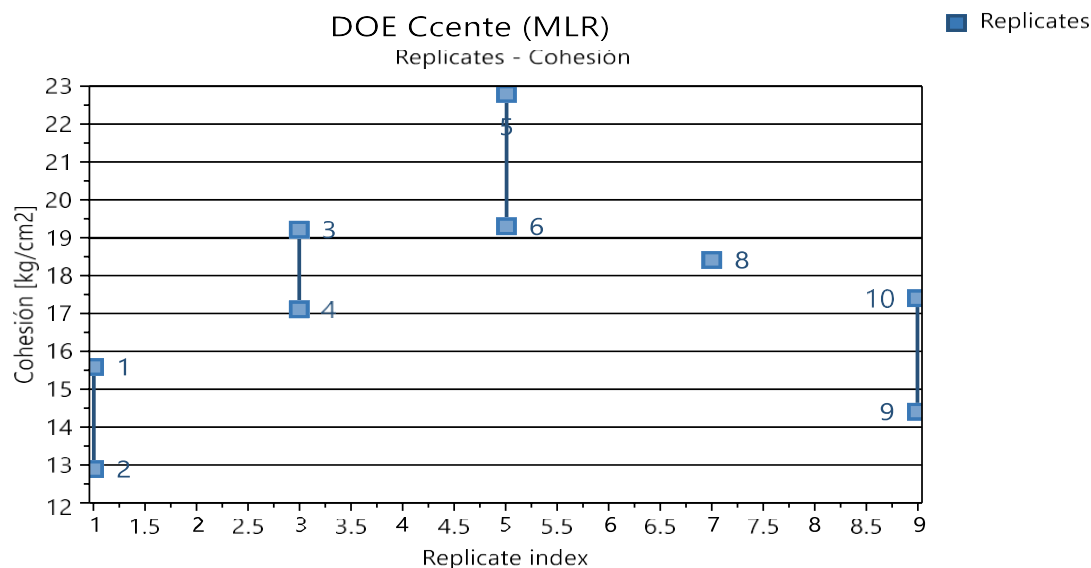
Densidad seca	Coeff. SC	Std. Err.	P	Conf. int(±)
Constante	2.07	0.00	0.00	0.01
Gellan	-0.04	0.00	0.00	0.01
N = 9	Q2 =	0.898	Cond. no. =	1.389
DF = 7	R2 =	0.932	RSD =	0.009185
	R2 adj. =	0.922		
			Confidence =	0.95

Con base en lo anterior se puede afirmar que hay evidencia estadísticamente significativa de que por cada 1% de goma gellan que se adiciona al suelo la densidad seca decrece en 0.04 gramos por cada centímetro cúbico.

Análisis para la cohesión

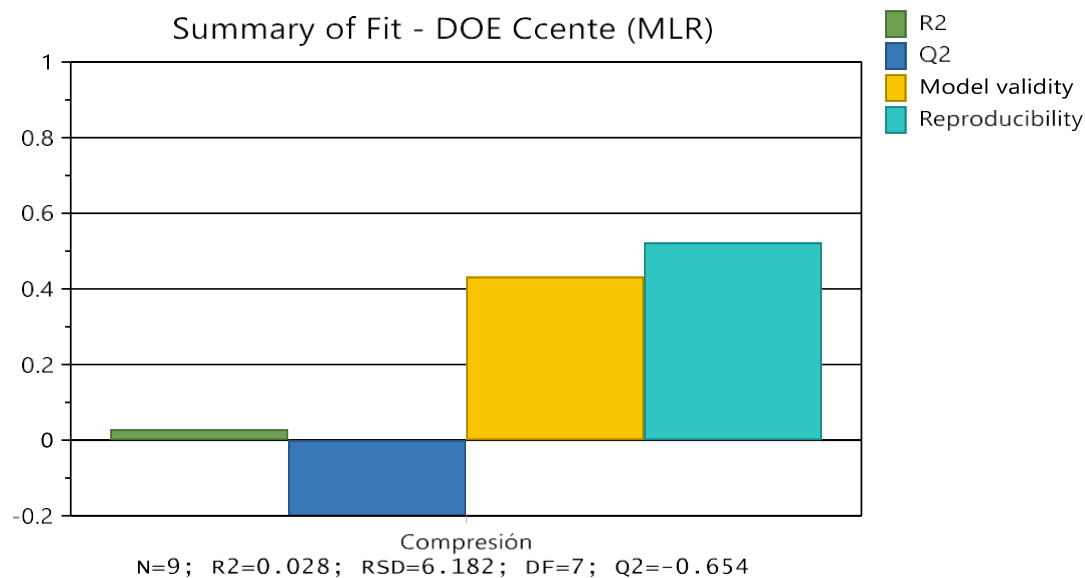
Una vez ejecutado el análisis ANOVA se confeccionó el grafico de dispersión de resultados:

Figura 24
Análisis de Cohesión



Para el cual se determinaron los valores de los estadísticos de bondad de ajuste lineal que se muestran a continuación:

Figura 25
Cohesión

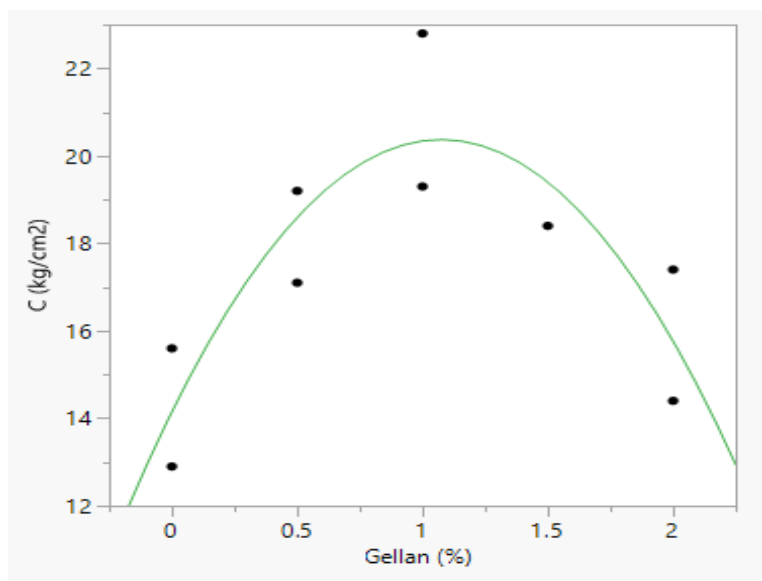


Mediante el cual se observa que, para la cohesión, el coeficiente de determinación alcanza un valor de 0.023 para el modelo lineal, además la reproducibilidad y la validez del modelo tiende a cero, lo cual significa que el modelo lineal no representa el fenómeno.

Por la consideración anterior y tomando como evidencia la dispersión de los datos se plantea un ajuste no lineal para los datos de la cohesión.

Esto se aprecia en el siguiente gráfico:

Figura 26
Ajuste no lineal para los datos de la cohesión



Los coeficientes de la regresión lineal se muestran a continuación

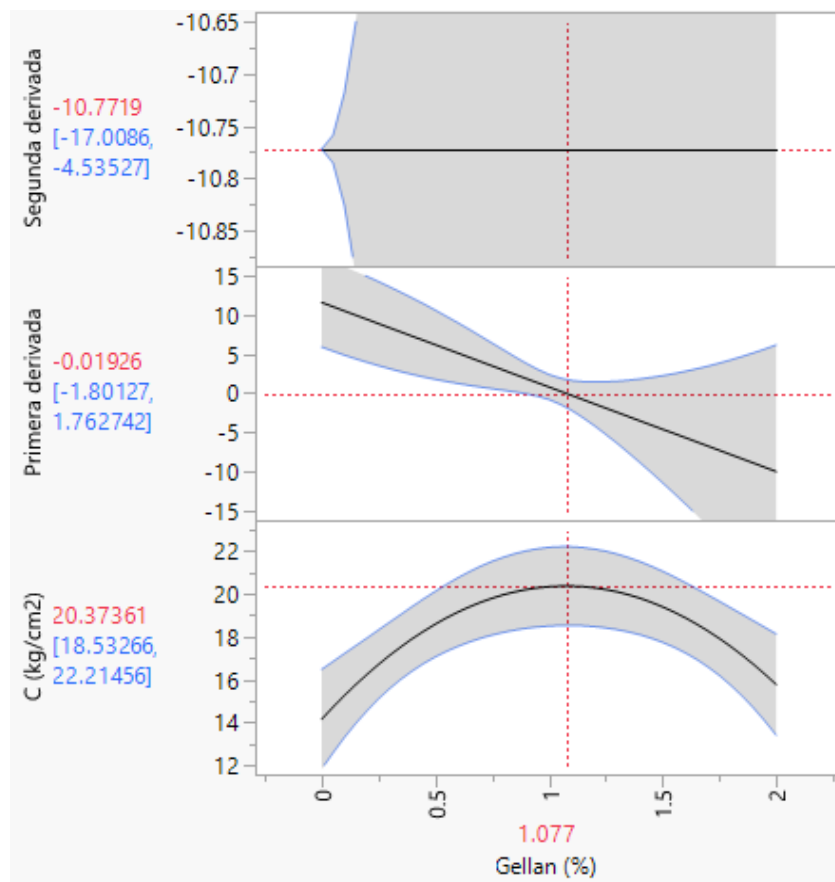
Tabla 6
Coeficientes de la regresión lineal

Parámetro	Estimación	Error estándar	Ji cuadrado de Wald	Prob > Ji cuadrado
Constante del modelo	14.147018	1.1901865	141.28621	<.0001*
Pendiente	11.582105	2.9010795	15.938805	<.0001*
Cuadrático	-5.385965	1.3716221	15.419066	<.0001*

Con base en lo anterior se puede afirmar que hay evidencia estadísticamente significativa de que por cada la cohesión natural del suelo comprimido seco asciende a 14.14 Kg/cm², además mediante un proceso de optimización matemática se puede determinar el contenido óptimo de goma Gellan que maximiza la cohesión, así:

contenido óptimo de goma Gellan

Figura 27
Contenido óptimo de goma Gellan



De lo cual se determina que el contenido óptimo de goma Gellan es de 1.08% para alcanzar una cohesión máxima de 20.4 kg/cm², más allá de dicha dosis el suelo empieza a bajar su cohesión conforme se incrementa la goma.

IV. DISCUSION

Después de analizar y dar sentido a los datos recolectados en el laboratorio, se presentan las discusiones que surgen al comparar los resultados con los antecedentes y la base teórica de la investigación en cuestión.

En términos generales, los resultados de la investigación indican que el biopolímero gellan puede mejorar la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante en San Sebastián, Cusco, en el año 2021. Mediante un diseño experimental el cual suministró los datos para un posterior análisis estadístico de tipo Anova, se ha logrado determinar que el efecto del biopolímero gellan es significativo en la propiedad física del suelo llamada densidad seca, demostrándose que cuanto más goma se añade al suelo la densidad seca disminuye. Este resultado guarda similitud con lo expresado por Chang & Cho (2019). Los resultados experimentales mostraron que las resistencias de las mezclas de arena y arcilla aumentaron efectivamente con el tratamiento con goma gellan sobre las de arena pura o arcilla. El comportamiento de endurecimiento se atribuye a la conglomeración de partículas finas así como a la interconexión de partículas finas y gruesas, por la goma gellan. El tratamiento con goma gellan mejoró significativamente no solo la cohesión entre partículas, sino también el ángulo de fricción de los suelos que contienen arcilla.

Cutipa (2022) en su tesis titulada "Cartílago de vacuno con goma gellan para la estabilización de suelo limoso de la carretera Cu- 1516, Yaurisque, Cusco, 2022" llegó a conclusiones similares a las mencionadas por los autores anteriormente mencionados. Según los resultados de su investigación, el uso de cartílago de vacuno y goma gellan en el suelo limoso de la carretera CU-1516 en Yaurisque, Cusco, tiene un efecto significativo en las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Se determinó que la dosis óptima de cada aditivo es del 1,5%, lo que mejora las características del suelo en cuestión.

El estudio llevado a cabo por Salazar (2019) tuvo como propósito investigar el efecto que produce la inclusión del polímero Mega Soil en el material de cantera utilizado en la construcción de afirmados. Se evaluaron adiciones del polímero en porcentajes del 2%, 4% y 6%, y su efecto en el California Bearing Ratio (CBR), que es una medida de la resistencia mecánica. Para realizar el estudio, se realizaron una serie de pruebas en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte, que incluyeron la realización de pruebas de granulometría, abrasión, compactación, límites de Attenberg y CBR. Se obtuvo una muestra patrón sin el aditivo, cuyo CBR se utilizó como punto de referencia para comparar las variaciones en las propiedades mecánicas de las muestras con diferentes porcentajes de adición del polímero Mega Soil. Los resultados indicaron que la muestra patrón tenía un CBR del 72% a 0.1" de penetración, mientras que se obtuvieron CBR de 86%, 98% y 105% para adiciones de 2%, 4% y 6% del polímero, respectivamente. Además, una investigación similar demostró que la cohesión del suelo aumenta con la adición de goma hasta una dosis óptima de alrededor del 1%, después de lo cual disminuye.

V. CONCLUSION Y RECOMENDACIÓN

5.1 Conclusión.

1. El mejoramiento mediante biopolímero Gellan en la propiedad física del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021.

Mediante un diseño experimental el cual suministró los datos para un posterior análisis estadístico de tipo Anova, se ha logrado determinar que el efecto del biopolímero gellan es significativo en la propiedad física del suelo llamada densidad seca, demostrándose que cuanto más goma se añade al suelo la densidad seca disminuye.

2. El mejoramiento mediante biopolímero Gellan en la propiedad mecánica del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021.

Igualmente, para el caso de la propiedad mecánica del suelo denominada cohesión, se ha logrado determinar mediante un modelo no lineal que dicha cohesión se incrementa hasta cierto límite de dosis de goma, luego de lo cual la cohesión disminuye. Sea determinado por tanto que el contenido óptimo de goma es de alrededor de 1%.

5.2 Recomendaciones

1. Se podría seguir investigando la viabilidad de emplear otros tipos de biorresiduos de origen vegetal o animal para mejorar la estabilidad de los suelos, lo que además tendría el beneficio de fomentar una economía circular al reintroducir estos residuos en el sistema productivo como recursos, generando así un crecimiento sostenible a largo plazo.
2. Realizar ensayos de microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos X y calorimetría diferencial de barrido para examinar la microestructura molecular de las películas y establecer su relación con sus propiedades.
3. Realizar una investigación para analizar cómo el tiempo de almacenamiento afecta las propiedades mecánicas de las películas hechas con el polímero gellan. El objetivo es establecer una relación entre el tiempo de vida y las características de las películas.

V: Referencias

5.1 Fuentes bibliográficas

- Armistead, S. J., Rawlings, A. E., Smith, C. C., & Staniland, S. S. (2020). Biopolymer Stabilization/Solidification of Soils: A Rapid, Micro-Macro, Cross-Disciplinary Approach. *Environmental Science and Technology*, 54(21). <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02001>
- Bittelli, M., Campbell, G. S., & Tomei, F. (2015). Soil Physics with Python. In *Soil Physics with Python*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199683093.001.0001>
- Bordens, K. S., & Abbott, B. B. (2018). Research design and methods: A process approach, 10th ed.
In *Research design and methods: A process approach, 10th ed.*
- Chang, I., & Cho, G. C. (2019). Shear strength behavior and parameters of microbial gellan gum- treated soils: from sand to clay. *Acta Geotechnica*, 14(2). <https://doi.org/10.1007/s11440-018- 0641-x>
- Chen, C., Wei, K., Gu, J., Huang, X., Dai, X., & Liu, Q. (2022). Combined Effect of Biopolymer and Fiber Inclusions on Unconfined Compressive Strength of Soft Soil. *Polymers*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/polym14040787>
- Cheng, Z., & Geng, X. (2021). Soil consistency and interparticle characteristics of various biopolymer types stabilization of clay. *Geomechanics and Engineering*, 27(2). <https://doi.org/10.12989/gae.2021.27.2.103>
- Draper, N. R. (2012). Design and Analysis of Experiments, Volume 3, Special Designs and Applications edited by Klaus Hinkelmann. *International Statistical Review*, 80(3). https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2012.00196_16.x
- Epps, R.; Head, K. H.; Eng, C. (2006). Manual of soil laboratory testing Volume 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility tests Third Edition. In *Whittles Publishong ; Boca Raton, Year: 2006* (Vol. 2).
- Fatehi, H., Ong, D. E. L., Yu, J., & Chang, I. (2021). Biopolymers as green binders for soil improvement in geotechnical applications: A review. *Geosciences (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/geosciences11070291>
- Ganesan, R. (2021). *Research Methodology for Engineers*.
- Gupta, B. C., Guttman, I., & Jayalath, K. P. (2020). Statistics and Probability with Applications for Engineers and Scientists using MINITAB, R and JMP. In *Statistics*

and Probability with

Applications for Engineers and Scientists using MINITAB, R and JMP. <https://doi.org/10.1002/9781119516651>

Kokoska, S. (2015). *Introductory Statistics: A Problem Solving Approach*.

Lewis, S. (2015). Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches. In *Health Promotion Practice* (Vol. 16, Issue 4).

<https://doi.org/10.1177/1524839915580941> Liamputtong, P. (2019). Handbook of

Research Methods in Health Social Sciences. In *Handbook of Research Methods in Health Social Sciences*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5251-4>

Lind, D. A., Marchal, W. G., Wathen, S. A., Iván, J., Sánchez -Farley, J., Rojas, S., Julieth, R.-H., Galvis, O., Iván Jiménez Sánchez, J., Sary, F., Restrepo, R., Julieth, H., Scherger, V. P., ArbelaezR, M. A., Zulet J, L. A., Velazco M, A., Rosales R, M. F., Dominguez G, C., Economicas, D. E.C., ... Analisis, E. N. E. L. (2014). Estadística Aplicada a lo Negocios y La Economía. In *Cienciay Sociedad: Vol. XVI* (Issue 4).

NIST/SEMATECH. (2013). Engineering Statistics Handbook (Improve chapter). *National Institute Standart Tech*.

Punmia, B. (2010). Soil Mechanics and Foundations. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 1, Issue 9).

Sampieri, R. H., & Collado, C. F. (2017). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación* (Vol. 5, Issue 1).

Saunders, M., Lewis, P., Thornhill, A., Lewis, S., & Thornhill. (2019). *Research Methods for Business Students*. www.pearsoned.co.uk

Sekaran, U., & Bougie, R. (2013). *Research Methods for Business: A Skill-Building Approach*. 34(7). <https://doi.org/10.1108/lodj-06-2013-0079>

Tang, H. (2020). *Engineering Research: Design, Methods, and Publication*.

TSAI, C. R., & LIN, Y. K. (2022). Artificial steak: A 3D printable hydrogel composed of egg albumen, pea protein, gellan gum, sodium alginate and rice mill by-products. *Future Foods*, 5, 100121. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2022.100121>

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia

“Mejoramiento de la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante mediante biopolímero gellan, San Sebastián, Cusco, 2021”						
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Independiente			
¿Cómo mejorar la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante con biopolímero gellan, San Sebastián, Cusco, 2021?	Determinar el mejoramiento de la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante mediante biopolímero gellan, San Sebastián, Cusco, 2021.	El mejoramiento de la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante mediante biopolímero gellan, San Sebastián, Cusco, 2021.	Biopolímeros	Goma Gellan	$\%G = \frac{wG}{wSs} \times 100$ Donde: %G: porcentaje de goma Gellan wSs: peso del suelo seco wG: peso de la goma Gellan	Tipo de investigación Que la investigación de tipo aplicada se orienta a la solución inmediata de problemas de la realidad Diseño de investigación La investigación desarrollada presenta un diseño de carácter experimental puro, debido a que tiene el propósito de realizar ensayos con la manipulación de la variable.
Problemas específicos	Objetivos específicos		Dependiente			
¿Cómo el biopolímero Gellan mejora la propiedad física del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021?	Determinar el mejoramiento mediante biopolímero Gellan en la propiedad física del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021.	El mejoramiento mediante biopolímero Gellan en la propiedad física del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021.	Suelo.	Física	Densidad seca ASTM D7263: $Ds = \frac{ws}{vs} [g/cm^3]$ Donde: Ds: densidad seca del espécimen. Ws: Peso seco del espécimen. Vs: volumen del espécimen seco.	Nivel de investigación. El nivel explicativo es más que una simple explicación de conceptos, esto quiere decir que conducen a una descripción causal de fenómenos o eventos físicos. Enfoque. El enfoque de la investigación está centrado en una investigación cuantitativa, ya que estará basado en una serie de procesos, mediante los cuales obtendremos resultados una vez realizados los ensayos en laboratorio
¿Cómo el biopolímero Gellan mejora la propiedad mecánica del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021?	Determinar el mejoramiento mediante biopolímero Gellan en la propiedad mecánica del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021.	2.El mejoramiento mediante biopolímero Gellan en la propiedad mecánica del suelo arcilloso de subrasante, San Sebastián, Cusco, 2021.		Mecánica	Compresión simple UCS ASTM D2166 $Fv = Q / As$ Donde: Q: carga en kilogramos fuerza. As: Área inicial de la sección transversal del espécimen.	