

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Estudio comparativo de los aditivos químicos consolid 444
y con-aid para el mejoramiento de la subrasante en suelos
arcillosos**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:

Bach. Junior Jeampier Guevara Camus

Bach. Jaime Villalobos Banda

Asesor:

Dr. Leopoldo Choque Flores

Lima, marzo del 2023

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Dr. Leopoldo Choque Flores, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ADITIVOS QUIMICOS CONSOLID 444 Y CON-AID PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS”**, constituye la memoria que presenta los bachilleres: Junior Jeampier Guevara Camus y Jaime Villalobos Banda, tiene un índice de similitud de 10% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 31 días del mes de marzo del año 2023.



Dr. Leopoldo Choque Flores

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **30** día(s) del mes de **marzo** del año 2023 siendo las **10:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Reymundo Jaulis Palomino**, el secretario: **Mg. Leonel Chahuares Paucar** y los demás miembros: **Ing. Ferrer Canaza Rojas** y el asesor **Dr. Leopoldo Choque Flores** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Estudio comparativo de los aditivos químicos consolid 444 y con-aid para el mejoramiento de la subrasante en suelos arcillosos"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **JUNIOR JEAMPIER GUEVARA CAMUS**.....
b) **JAIME VILLALOBOS BANDA**.....
conducente a la obtención del título profesional de:.....
 **INGENIERO CIVIL**.....
 con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **JUNIOR JEAMPIER GUEVARA CAMUS**

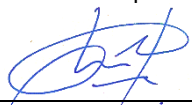
CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	Bueno	MUY BUENO

Candidato (b): **JAIME VILLALOBOS BANDA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy bueno	SOBRESALIENTE

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente
 Mg. Reymundo
 Jaulis Palomino



 Secretario
 Mg. Leonel
 Chahuares Paucar

 Asesor
 Dr. Leopoldo
 Choque Flores

 Miembro
 Ing. Ferrer Canaza
 Rojas

 Miembro

 Candidato/a (a)
 Junior Jeampier
 Guevara Camus

 Candidato/a (b)
 Jaime Villalobos
 Banda

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ADITIVOS QUIMICOS CONSOLID 444 Y CON-AID PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS

COMPARATIVE STUDY OF CONSOLID 444 AND CON-AID CHEMICAL ADDITIVES FOR SUBGRADE IMPROVEMENT IN CLAYEY SOILS

Junior Jeampier, Guevara Camus*; Jaime, Villalobos Banda; Leopoldo, Choque Flores*****

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo comparar los aditivos químicos Consolid 444 y Con-Aid para mejorar la capacidad de soporte de un suelo arcilloso. Las muestras fueron extraídas del tramo de la carretera Pedro Ruiz – San Carlos entre los km 3+000 y 4+000; asimismo se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado y sin estabilizar. Los resultados obtenidos indicaron que el suelo natural fue clasificado como CL según SUCS, y AASHTO lo clasifico como A-7-6 (17), además con la adición de 0.035% para el aditivo Consolid 444 y 2 ml para el aditivo Con-Aid, se logró un incremento de CBR al 95 % de 5.49% a 28.65% y 24.32% respectivamente. Por otro lado, se verifico que el valor de CBR aumentó, al incrementar los periodos de curado a los 7, 14 y 28 días para ambos aditivos. En conclusión, los aditivos Consolid 444 y Con-Aid mejoraron el comportamiento mecánico del suelo arcilloso, logrando subrasantes excelentes, sin embargo, el que aporta mayor resistencia fue el aditivo Consolid 444.

Palabras clave: Subrasante, CBR, Consolid 444, Con-Aid.

ABSTRACT

The objective of this research was to compare the chemical additives Consolid 444 and Con-Aid to improve the bearing capacity of a clayey soil. Samples were taken from the Pedro Ruiz - San Carlos road section between km 3+000 and 4+000; laboratory tests were also carried out to determine the physical and mechanical properties of the stabilized and unstabilized soil. The results obtained indicated that the natural soil was classified as CL according to SUCS, and AASHTO classified it as A-7-6 (17), and with the addition of 0.035% for the Consolid 444 additive and 2 ml for the Con-Aid additive, an increase in CBR at 95% was achieved from 5.49% to 28.65% and 24.32%, respectively. On the other hand, it was verified that the CBR value increased with increasing curing periods at 7, 14 and 28 days for both admixtures. In conclusion, Consolid 444 and Con-Aid admixtures improved the mechanical behavior of the clayey soil, achieving excellent subgrades; however, the one that provided the greatest resistance was the Consolid 444 admixture.

Keywords: *Subgrade, CBR, Consolid 444, Con-Aid*

1. INTRODUCCIÓN

La inversión en infraestructura vial es vital para el desarrollo económico de un país, además de permitir el acceso de los diferentes servicios públicos, mercados, hospitales, fuentes de trabajo, entre otros. En otras palabras, un país que cuente con una mejor infraestructura vial está en la capacidad de ofrecer una mayor fluidez en el transporte de personas y carga, lo que permite reducir costos y, en consecuencia, mejorar la competitividad, eficiencia y los costos agregados de la economía [1].

En este contexto, según informes del Banco Mundial, las inversiones en infraestructura vial en América Latina no son suficientes, lo que provoca un rendimiento de transporte pobre, llegando a compararse con el África Subsahariana. Es así que, mientras que América Latina cuenta con 0.05 Km de vía pavimentada por cada 1 Km² de tierra, los países de Europa tienen 2.1 Km, la India 1.3 Km, China 0.7 Km y los países de América del Norte 0.5 Km pavimentados [2].

En el Perú, solo el 13.3% de la Red Vial Regional de la Macro Región Norte se encuentra pavimentada, esto equivale a 587.4 Km de un total de 4426.4 Km. Mientras que, solo el 2.1% de la Red Vial Vecinal o Rural cuenta con una superficie pavimentada, lo que es equivalente a 566.5 Km de un total de 26745.3 Km. Respecto al estado de las carreteras no pavimentadas, se tiene que, el 53.8% de estas se encuentran en estado de afirmado, 27.8% sin afirmar y el 18.4% son trochas [3].

En este sentido, las carreteras no pavimentadas se encuentran expuestas a un mayor deterioro respecto a una vía pavimentada, puesto que la subrasante se encuentra en contacto directo con la acción física del tránsito vehicular, lo que provoca el disgregamiento superficial y la pérdida

o exceso de humedad, generando la aparición de fallas superficiales como baches, ondulaciones o ahuellamientos. Es así que, numerosas investigaciones se han realizado con el propósito de encontrar materiales que, en las proporciones adecuadas, aporten mejoras a las propiedades físicas y mecánicas de los suelos [4].

2. DESARROLLO

A nivel internacional se han realizado numerosas investigaciones acerca del uso de aditivos para el mejoramiento de los suelos a nivel de subrasante, entre los cuales se puede mencionar el trabajo de M. Supriya, R. N. G. D- Ransinchung, S. Aditya *et al.* [5] , quienes se propusieron en estabilizar un suelo tipo SC (arena arcillosa), empleando cemento y StabilRoad en distintas dosificaciones. Los resultados indicaron que hubo un rendimiento mecánico al aumentar el valor de CBR y UCS con una dosificación de 2% de cemento + 1% de aditivo, además se obtuvo beneficios económicos al utilizar cemento y StabilRoad.

También en el estudio de M. S. Eisa, M. E. Basiouny, A. Mohamady *et al.* [6], se enfocaron en mejorar las propiedades y aumentar la resistencia de un suelo arcilloso estabilizado con: arena, cal, polvo de horno de cemento (CKD) , fibra de vidrio, Addicrete 11 y yeso, se comprobó que se obtuvo mejores resultados al combinar un 47 % de arena, 47 % de arcilla y 6% de cal o CKD con el cual se disminuyó el índice de plasticidad y la humedad óptima, por otro lado, hubo un aumento de la máxima densidad seca y en consecuencia se incrementó el CBR. Así mismo R. Partab, Q. Wenge, P. Huafu *et al.* [7], investigaron la eficacia de cenizas volantes (AF) y Cemento (OPC) para estabilizar la subrasante, mostrando que al adicionar 20% de cenizas volantes + 8% cemento, se redujo el índice de plasticidad, el potencial de inchamiento, la humedad óptima, y también la densidad se incrementó; además el CBR aumentó de 2.9% a 10.12%, por otro lado, la compresión no confinada (UCS) aumentó de 86.88 kpa a 167.75 kpa, respecto al suelo sin estabilizar.

En otro estudio, se sustituyó los materiales convencionales con residuos de la extracción del petróleo, mostrando que al agregar un 6% al material granular mejoró el Módulo Resiliente en

un 40%, así mismo, el porcentaje ideal para tratar la subrasante es de 4% alcanzando un valor de CBR de 37% [8].

A. Salama, evaluó la influencia del polvo de mármol en el rendimiento de la subrasante, mostrando que al adicionar un 10% de polvo de mármol, se incrementó la máxima densidad seca y el CBR [9].

El estudio de [10], se enfocaron en evaluar el comportamiento de mezclas de suelo arcilloso utilizando escoria de acero. Los resultados obtenidos mostraron que la plasticidad del suelo se redujo hasta 0% y el valor de CBR aumentó en un 378.92% con una dosificación de 75% de escoria de acero, sin embargo, la dosificación más recomendada fue de 25% debido a que también aumentó el índice de CBR y la densidad.

Por otra parte, se realizó un experimento de laboratorio para investigar las propiedades de estabilización de suelos expansivos utilizando piedra pómez y cal; los resultados indicaron que con la adición de un 3% de piedra pómez + 7% de cal, se redujo el hinchamiento de 0.91% para la muestra (HM) y 0.21% para la muestra (SGH) a un 0.03%, además la resistencia de los suelos expansivos aumentó de 0.8% a 8.2% para (HM) y de 0.9% a 6.2% para (SGH) [11].

P. Kushwaha, A. Singh- Chauhan, S. Swami *et al.* [12], esta investigación se centró en estudiar la variación de las propiedades geotécnicas empleando nanoquímicos (estabilizador iónico) y (copolímero de unión). Según los resultados obtenidos, se verificó que hubo una reducción en el índice de plasticidad, humedad óptima y un aumento de la densidad, además el CBR se incrementó respecto al suelo natural; por otra parte, la compresión no confinada (UCS) se mejoró de acuerdo a los días de curado. Asimismo se realizó una investigación para mejorar las propiedades de los suelos pobres de la subrasante empleando polvo de horno de cemento (CKD), mostrando que al adicionar el 20% de CKD con curado por 14 días aumentó el valor de CBR de 3.4% a 48%, en comparación con el suelo sin estabilizar, además se disminuyó el hinchamiento, así mismo, concluyeron que se redujo los espesores de la carpeta asfáltica y base en 80 mm y 75 mm respectivamente, disminuyendo el costo en unos \$/ 25, 875 por metro cuadrado [13].

También se llevó a cabo una investigación en laboratorio para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de algodón negro (arcillas expansivas), empleando el Sistema Consolid (Consolid 444 y Solidry) con la finalidad de reducir el espesor del pavimento y abaratar costos. Los resultados indicaron que la dosificación óptima fue de C-444 (1.75%) y SD (1.75%) mostrando un CBR de 9.53% y 19.986% respectivamente, además al emplear los aditivos

químicos se redujo el espesor del pavimento en un 20.89% y el costo en un 15.03% respecto al costo original del suelo sin tratar [14].

Por otro lado, [15], realizó una investigación basada en analizar el comportamiento físico y mecánico de un suelo A-7-5 estabilizado y sin estabilizar, empleando el aditivo Con-Aid. Los resultados indicaron que el suelo natural presentó un (CBR) de 13.0% y una expansión de 1.81%, sin embargo, al añadir una dosificación de 0.2% se obtuvo un valor de CBR de 10.5 % y una reducción de expansión de 0.86 %, por lo que según el manual de pavimentos de Brasil estos resultados se encuentran en los parámetros para materiales de la subrasante donde deben presentar una expansión, medida en la prueba C.B.R, menor o igual al 2% y un C.B.R. $\geq 2\%$, concluyendo que el suelo en estudio puede ser utilizado en su estado natural. L.Peter, P. K. Jayasree, K. Balan *et al.* [16], quienes realizaron una investigación para estabilizar suelos blandos empleando residuos de coco, y al adicionar 2% de medula y 0.6% de fibra de coco el índice de CBR incrementó en un 192% y 335% respectivamente, además con un tratamiento combinado el valor de CBR aumentó en 4,6 veces y el Módulo Elástico (E) paso de 7,92 MPa a 9.66 MPa.

En el ámbito nacional según L.A. Chamba, realizó un análisis comparativo del mejoramiento de la subrasante incorporando cloruro de sodio y el sistema Consolid. Con una dosificación óptima de 6% de cloruro de sodio y 0.045% de CD 444 + 2% de Solidry se obtuvieron buenos resultados en cuanto a resistencia con valores de CBR de 44% y 55.07% respectivamente [17].

3. METODOLOGIA

La investigación fue de tipo aplicada, definida por [18] el cual “se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad” [18, p.43]. Asimismo, la investigación tuvo un enfoque cuantitativo, descrita por R. Hernández- Sampiere, C. Fernández-Collado *et al.* [19], como aquella investigación que hace uso de la medición numérica y el análisis estadístico para comprobar las teorías. Por otra parte, el diseño de la investigación fue experimental, como aquellas investigaciones donde el investigador provoca una situación para tratar de explicar el efecto logrado, tanto en los participantes como en el grupo de control [19].

La población de estudio estuvo conformada por la carretera Pedro Ruiz – San Carlos, la cual tiene una longitud total de 10+000 Km. La muestra de estudio estuvo comprendida por el tramo de carretera desde el Km 3+000 hasta el Km 4+000 de la carretera Pedro Ruiz – San Carlos, según el Manual de Carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC [20],

menciona que “para determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la sub rasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima” [20, p.26].

En laboratorio se realizaron ensayos de granulometría, valor equivalente de arena, límites de Atterberg, contenido de humedad, Proctor modificado y CBR, para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural.

3.1. Matriz de dosificación de aditivos

Se estableció una matriz de dosificación de aumento gradual para el aditivo Consolid 444 (0.035%, 0.040%, 0.045% y 0.050%), lo mismo para el aditivo Con-Aid (2.00 ml, 3.00 ml, 4.00ml y 5.00 ml), luego se determinó el peso que se reemplazó por cada aditivo para cada porcentaje indicado, quedando la matriz de dosificación que se muestra en la Tabla 1 y 2.

El plan de dosificación consistió en mezclar el suelo con los aditivos de manera uniforme para que todas las partículas de la arcilla se aglutinen con las moléculas de los aditivos, ver Figura 1.

Tabla 1. Matriz de dosificación para aditivo Consolid 444. Fuente: los autores

Dosificación (%)	Peso Muestra (gr)	Peso Consolid 444 (gr)	Peso Suelo Neto (gr)
0.035	2500.00	87.50	2412.50
0.040	2500.00	100.00	2400.00
0.045	2500.00	112.50	2387.50
0.050	2500.00	125.00	2375.00

Tabla 2. Matriz de dosificación para aditivo Con-Aid. Fuente: los autores

Dosificación (ml)	Peso Muestra (gr)	Peso Con-Aid (gr)	Peso Suelo Neto (gr)
2.00	2500.00	50.00	2450.00
3.00	2500.00	75.00	2425.00
4.00	2500.00	100.00	2400.00
5.00	2500.00	125.00	2375.00



Figura 1. Mezclado de aditivo Consolid 444 y Con-Aid con suelo arcilloso. Fuente: los autores

4. RESULTADOS

4.1. Resultado de suelo natural

La muestra de suelo natural extraída, fue sometida a ensayos de clasificación de suelos, valor equivalente de arena, contenido de humedad, límites de Atterberg, Proctor modificado y Relación de Soporte California (CBR), los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Características del suelo natural. Fuente: los autores

Ensayo	Valor obtenido	
Clasificación	SUCS	CL
	AASHTO	A-7-6 (17)
Valor equivalente de arena (%)		11.27
Contenido de Humedad (%)		19.38
Límites de Atterberg	LL (%)	42.597
	LP (%)	25.35
	IP (%)	17.25
Proctor Modificado	M.D.S (gr/cm ³)	1.788
	Humedad Óptima (%)	14.377
Relación de Soporte California (CBR)	95%	5.49
	100%	6.07

Como se puede observar en la Tabla 3, el suelo natural es clasificado, según el sistema SUCS, como arcilla de baja plasticidad, con alto contenido de grano fino, limo y material inorgánico. AASHTO, por su parte, lo clasifica como un suelo limoso-arcilloso con más de 35% que pasa por el tamiz N° 200, para la muestra se obtuvo un Índice de Grupo (IG) de 17, considerado en el manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC como una subrasante muy pobre para la construcción de caminos. Por otra parte, el suelo posee un valor equivalente de arena de 11.27% el cual también es considerado por el mismo manual como muy bajo, lo que indica que se trata de un suelo plástico y arcilloso. Asimismo, se encontró que la humedad natural fue de 19.38% y que presenta una plasticidad mediana, con un índice de plasticidad de 17.25%. En el ensayo de Relación de Soporte de California (CBR) se obtuvo un valor de CBR al 95% de 5.49% y CBR al 100% de 6.07%, lo que indica que se trata de una subrasante pobre [20].

4.1. Resultados de suelo tratado con aditivo Consolid 444

En la Tabla 4 se muestran los resultados de los cambios de la propiedad física en el suelo arcilloso al emplear el aditivo Consolid 444.

Tabla 4. Resultados de suelo natural y suelo mejorado con Consolid 444. Fuente: los autores

Dosificación	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Limite Liquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
Muestra Patrón	14.377	1.788	42.60	25.35	17.25
0.035%	14.154	1.742	40.38	23.89	16.49
0.040 %	14.017	1.820	39.41	23.52	15.89
0.045 %	13.694	1.866	38.08	23.54	14.54
0.050 %	13.702	1.896	37.11	23.09	14.02

Se puede observar un incremento de la M.D.S del suelo, este cambio se debe a la eliminación de capa de agua adsorbida, permitiendo un contacto más cercano entre las partículas de arcilla, es así que, cuando se compacta la arcilla junto con el químico, las partículas se reacomodan y los espacios vacíos son sustituidos por moléculas del estabilizador. También se nota una reducción de la humedad óptima, mostrando un porcentaje de 13.702% tratado con 0.050% de

aditivo Consolid 444. Así mismo, se verifico una disminución del I.P proporcional al aumento del porcentaje de aditivo, alcanzando su menor valor de 14.02% en la muestra de suelo tratado con 0.050% de aditivo Consolid 444.

En la Tabla 5 se muestran los valores del CBR al 95% y 100% evaluados a los 7,14 y 28 días en dosificaciones de aumento gradual con el aditivo Consolid 444.

Tabla 5. CBR del suelo mejorado con aditivo Consolid 444. Fuente: los autores

Dosificación	7 días		14 días		28 días	
	95%	100%	95%	100%	95%	100%
Patrón + 0.035%	28.65	30.03	38.72	40.58	49.06	51.43
Patrón + 0.040%	32.11	34.06	40.62	43.11	49.94	53.23
Patrón + 0.045%	35.22	36.82	42.92	44.90	52.18	54.56
Patrón + 0.050%	35.73	38.31	44.09	47.30	52.04	55.85

El CBR del suelo mejoró de manera significativa incorporando el aditivo Consolid 444, donde se puede notar que a la edad de los 7 días se obtiene un porcentaje de 28.65 % con una dosificación de 0.035 %, pero se tiene una mejor respuesta en la muestra tratada con 0.050% de aditivo, obteniendo un CBR al 95% de 52.04% a la edad de 28 días, por lo tanto, la capacidad de soporte se incrementa a medida que se tiene más proporción de aditivo y en cuanto al tiempo de curado; sin embargo con la menor dosificación ya encontramos una subrasante muy buena como lo especifica en el manual de carreteras del el MTC [20]. Este hecho también fue observado por G. Chotliya, K. Bhatt *et al.* [14], quienes mejoraron un suelo CH (arcilla de alta plasticidad), donde indicaron que al añadir 1.75% de aditivo Consolid 444 el CBR se incrementó de 2.64% a 9.53%; esto demuestra que al aplicar un químico a los suelos arcillosos tiene efecto en la capacidad de soporte, haciendo una comparación en cuanto a las dosificaciones tiene mayor proporción para mejorar un suelo CH debido a humedad que posee dicho suelo, más aún, para un suelo CL se utilizó una menor proporción en cuanto a la dosificación.

En la Figura 2 se muestra un gráfico comparativo de los valores de CBR del suelo natural y suelo mejorado, se puede evidenciar que a la edad de 28 días la capacidad de soporte del suelo

aumentó de 5.49 % a 52.04% aplicando una dosis de 0.050% de aditivo Consolid 444, esto se debe a que, durante los días de curado, se ha desarrollado una mejor reacción y enlaces químicos entre las partículas del suelo y las moléculas del aditivo, mejorando su comportamiento mecánico al disminuir la plasticidad.

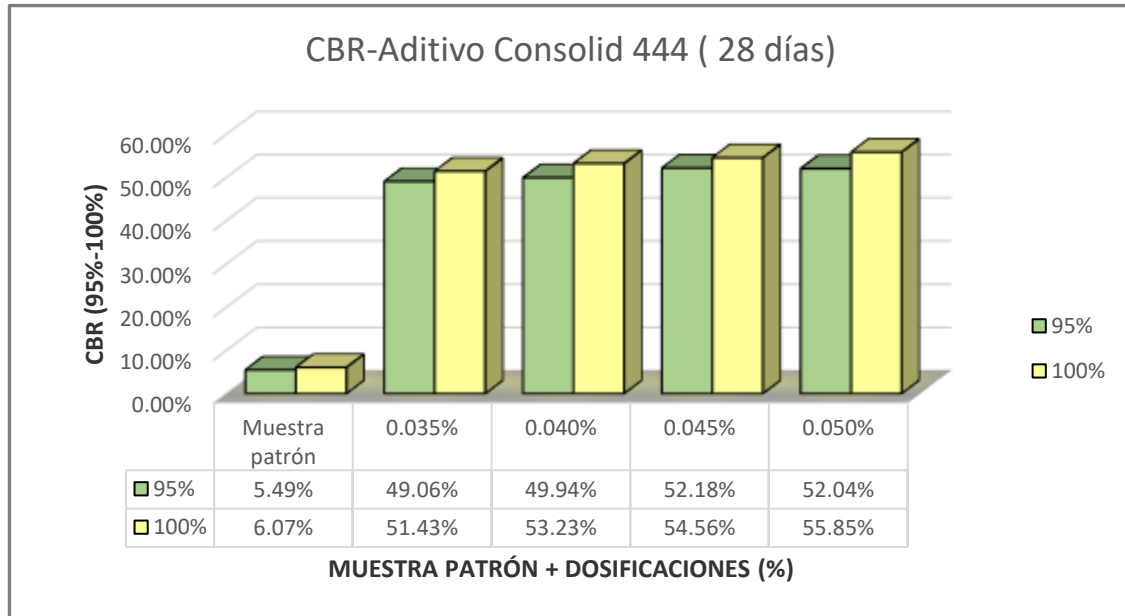


Figura 2. CBR del suelo mejorado con aditivo Consolid 444. Fuente: los autores

4.2. Resultados de suelo tratado con aditivo Con-Aid

Por otra parte, se realizaron ensayos con el aditivo Con-Aid, para Proctor modificado, límites de consistencia y California Bearing Ratio (CBR).

Se muestra en la Tabla 6 los resultados del proctor modificado y límites de consistencia tanto del suelo natural como del suelo tratado con el aditivo Con-Aid.

Tabla 6. Resultados de suelo natural y suelo mejorado con Con-Aid. Fuente: los autores

Dosificación	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca (gr/cm³)	Limite Liquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
Muestra Patrón	14.377	1.788	42.60	25.35	17.25
2.00 ml	14.077	1.714	41.47	25.12	16.35
3.00 ml	13.909	1.748	40.47	24.34	16.13
4.00 ml	13.159	1.796	39.11	23.80	15.31
5.00 ml	13.139	1.818	38.73	23.85	14.88

Se puede evidenciar un aumento de la M.D.S y una reducción de la humedad óptima, incluso el índice de plasticidad presentó una disminución a medida que se incrementó la dosis de aditivo en la muestra de suelo, alcanzando un valor de 14.88% con una dosificación de 5 ml de aditivo Con-Aid.

Se ejecutaron los ensayos de CBR al suelo tratado con el aditivo Con-Aid a los 7,14 y 28 días de curado como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. CBR del suelo mejorado con aditivo Con-Aid. Fuente: los autores

Dosificación	7 días		14 días		28 días	
	95%	100%	95%	100%	95%	100%
Patrón + 2 ml	24.32	29.46	31.15	37.77	41.67	50.36
Patrón + 3 ml	30.09	33.79	37.78	42.66	51.88	55.40
Patrón + 4 ml	32.45	36.69	39.09	44.21	51.42	58.17
Patrón + 5 ml	36.53	40.98	41.10	46.05	53.60	59.80

Se obtuvo una importante mejora en la capacidad de soporte del suelo, el cual alcanzó un valor de CBR al 95% de 53.60% a los 28 días de curado con una dosis de 5 ml de Con-Aid que representa un 0.05%, con este valor el suelo alcanza la clasificación de Subrasante Excelente; aunque con la dosificación de 2 ml ya se tiene una subrasante muy buena con un valor de 24.32 % tal y como lo especifica el manual de carreteras, suelos y pavimentos [20].

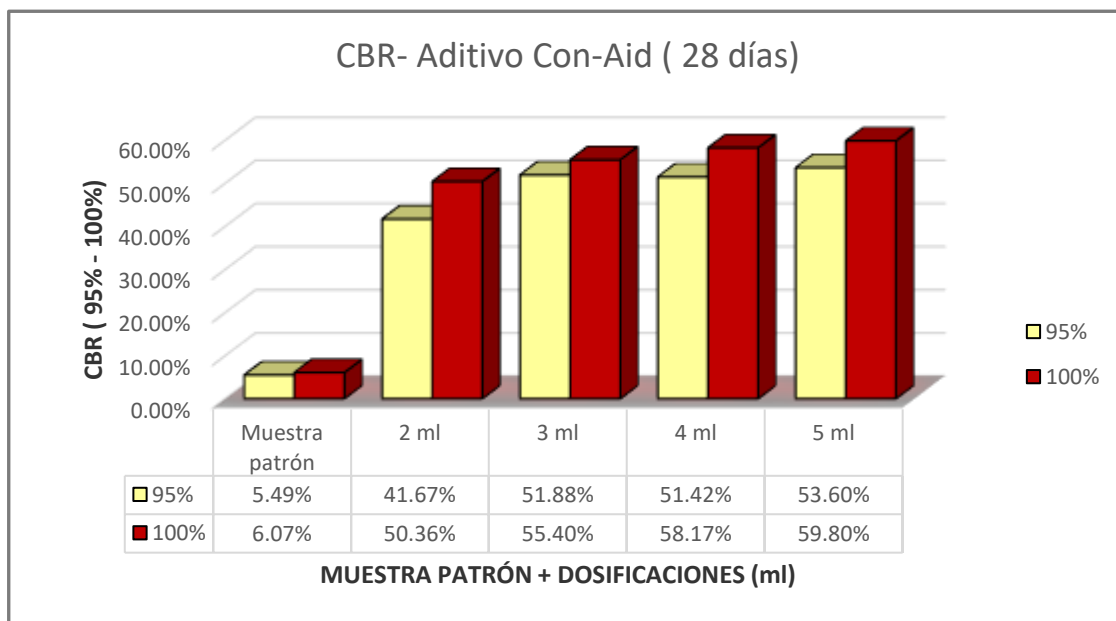
Por otra parte, según [21] sugiere que “el proceso de intercambio iónico ocurre después de la compactación. Es sumamente importante mantener húmeda dicha superficie durante algunos días. En términos generales, se estima un período de curado de 7 a 10 días luego de la compactación” [21, párr.11].

Es así que, en la Tabla 7, se pudo comprobar que con la adición del aditivo Con-Aid, los valores de CBR se incrementaron en cuanto al tiempo de curado.

En la Figura 3 se muestra un gráfico en el que se contrastan los resultados de CBR obtenidos de la muestra patrón con las muestras tratadas con las diferentes dosificaciones de aditivo Con-Aid a la edad de 28 días, se puede notar un incremento de CBR en un 48.11% respecto al suelo natural, es decir, que con la adición del aditivo las moléculas de agua se evaporan y quedan

espacios entre partículas y con la compactación estas se reacomodan y forman un cuerpo sólido, produciendo un aumento en la capacidad de soporte.

Figura 3. CBR del suelo mejorado con aditivo Con-Aid. Fuente: los autores



Finalmente, se muestra, en la Tabla 8, un cuadro comparativo de los resultados obtenidos del índice de plasticidad, humedad óptima y valores de CBR, entre la muestra patrón y el suelo tratado con 0.050% de aditivo Consolid 444 y 5 ml de aditivo Con-Aid, por ser estas dosificaciones de las que se obtuvo mejores resultados.

Tabla 8. Cuadro comparativo de aditivos químico. Fuente: los autores

Dosificación	Índice de Plasticidad (%)	Humedad Óptima (%)	CBR (%)
Muestra Patrón	17.25	14.37	5.49
0.050% Consolid 444	14.02	13.70	52.04
5 ml Con-Aid	14.88	13.14	53.60

En la Figura 4 se puede observar como el índice de plasticidad se disminuyó con la incorporación de ambos aditivos, lo que indica que el suelo, a pesar de poseer un alto porcentaje de finos, ha mejorado su comportamiento ante la presencia de agua. También se puede notar una disminución de la humedad óptima, en comparación a la obtenida en la muestra patrón. Finalmente, se observó un incremento importante del CBR, tanto con el aditivo Consolid 444, como con el aditivo Con-Aid, por lo tanto el suelo pasa de ser una subrasante pobre, con un

valor de CBR de 5.49%, a ser una subrasante excelente, con un CBR de 52.04% en la muestra tratada con 0.050% de Consolid 444 y 53.60% en la muestra tratada con 5 ml de Con-Aid.

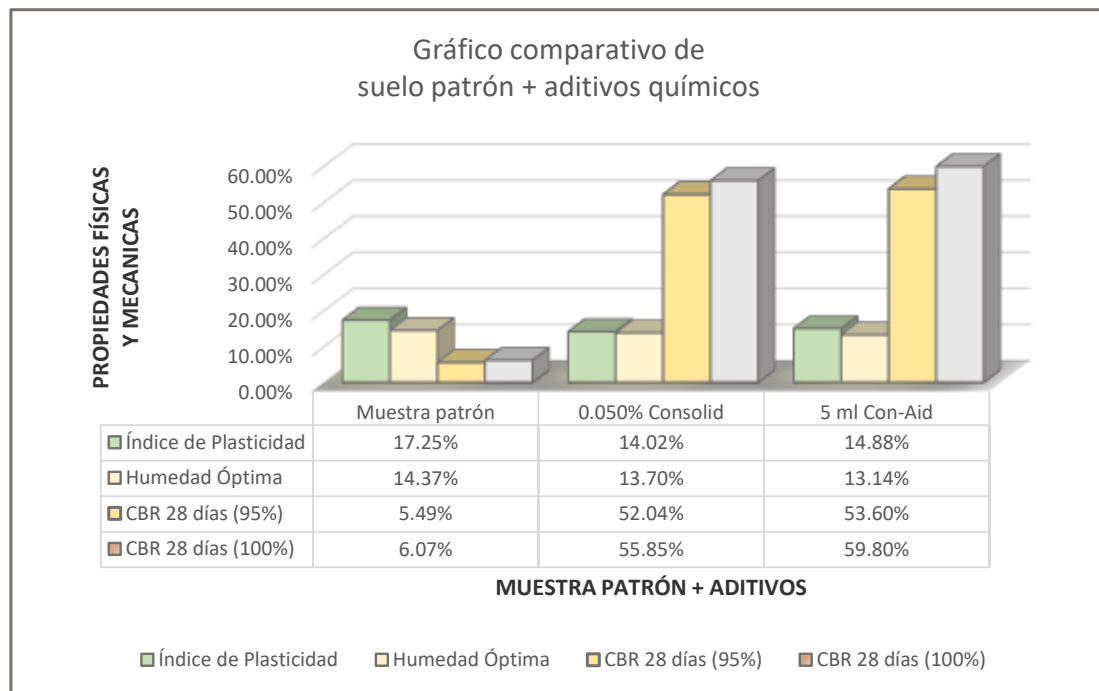


Figura 4. Gráfico comparativo de aditivos químicos. Fuente: los autores

Se ha demostrado que, al adicionar ambos aditivos al suelo arcilloso, mejoraron sus propiedades físicas y mecánicas respecto a la cantidad de dosificación y tiempo de curado, tal y como lo menciona [22], “la mayoría de los aditivos mezclados con suelos problemáticos pueden ser evaluados en términos de sus propiedades de resistencia, en función del porcentaje de aditivo y en el tiempo de curado” [22, p.4].

Desde la perspectiva económica es importante destacar que la implementación del uso de aditivos aumenta los costos de las obras debido a su precio, es decir, a mayor concentración se utilice mayores son los gastos, es por ello que, según los datos mostrados en las Tablas 5 y 7 con las dosificaciones de 0.035% de aditivo Consolid 444 y 2 ml de aditivo Con-Aid, se observa un incremento del CBR mayor a 20 % a los 7 días de curado, clasificando a la subrasante como muy buena, de manera que, estas dosificaciones son las indicadas para mejorar la subrasante del suelo en estudio y de esa manera abaratar costos.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos permiten concluir que los aditivos Consolid 444 y Con-Aid tienen una buena trabajabilidad con el suelo arcilloso, reduciendo la plasticidad y aumentando la capacidad de soporte en comparación con el suelo natural.

En cuanto a la capacidad de soporte al 95% de la máxima densidad seca, con la incorporación de los aditivos químicos los valores de CBR se incrementaron a medida que aumenta el tiempo de curado a los 7,14 y 28 días; siendo estos de 28.65%, 38.72% y 49.06% para Consolid 444, así mismo para el aditivo Con-Aid se obtuvo los siguientes valores de 24.32%, 31.15% y 41.67%, donde se pudo notar que Consolid 444 tuvo un mejor rendimiento.

Con la finalidad de optimizar los costos, las menores concentraciones del estudio resultan ideales para su uso en obras de gran envergadura. Es por ello que, las dosificaciones más recomendadas son de 0.035% y 2 ml para Consolid 444 y Con-Aid respectivamente, y con estas dosificaciones se pudo lograr un aumento significativo del CBR.

Finalmente, el aditivo Consolid 444 es el que presento mejores resultados en cuanto a humedad, densidad, índice de plasticidad y CBR.

6. FINANCIAMIENTO

Propio de los autores

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen a sus representantes legales de las empresas Consolid Perú y Con-Aid, por la asesoría brindada y por facilitarnos sus productos para desarrollar la presente investigación, además agradecemos a nuestro asesor por guiarnos en el proceso de este trabajo y finalmente a nuestros padres quienes han sido el soporte para lograr nuestras metas.

8. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

9. REFERENCIAS

- [1] CEPAL. (2018, ag. 21). "Transporte de carretera en América Latina: evolución de la infraestructura y de sus impactos entre 2007 y 2015".[En línea]. Available: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44440/S1801184_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [2] M. Velásquez. (2018, sep. 28). "¿Qué países de América Latina tienen las mejores vías?". [En línea]. Available: <https://cnnespanol.cnn.com/2018/09/28/que-paises-de-america-latina-tienen-las-mejores-vias/>.
- [3] Perucámaras. (2020, nov. 11). "El 84.2% de carreteras en la Macro Región Norte no está pavimentada".[En línea]. Available: <https://www.perucamaras.org.pe/nt511.html>.
- [4] Y. J. Pineda-Sanchez, *Conservación vial y deterioro de carreteras no pavimentadas en la oficina Zonal XI Ica, Provias 2016, tes Lic*, Universidad Alas Peruanas,Ica, 2016.
- [5] S. Marik, G. D. Ransinchung-R N, A. Singh y P. Khot, "Investigation on use of silica based additive for sustainable subgrade construction," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, n° 0, pp. 1-17, 2022.
- [6] M. S. Eisa, M. E. Basiouny, A. Mohamady y A. Mira, "Improving Weak Subgrade Soil Using Different Additives," *Materials*, vol. 15, n° 13, pp. 1-19, 2022.
- [7] R. Partab, Q. Wenge, P. Huafu, C. Jihui, A. Xufeng, L. Yang y A. Mahmood, "Effect of Fly Ash and Cement on the Engineering Characteristic of Stabilized Subgrade Soil: An Experimental Study," *Geofluids*, vol. 2021, n° 0, pp. 1-11, 2021.
- [8] J. Alarcón, M. Jiménez y R. Benítez, "Stabilization of soils through the use of oily sludge," *Revista ingeniera de construcción*, vol. 35, n° 1, pp. 5-20, 2020.
- [9] E. Ahmed-S, "Improvement of Subgrade Soils by Using Marble Dust - (Libya,Case Study)," *The International Journal of Engineering and Information Technology*, vol. 6, n° 2, pp. 40-43, 2020.
- [10] M. A. Ospina-Garcia, S. A. Chaves-Pabón y L. A. Jiménez-Sicachá, "Mejoramiento de la subrasante tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero," *Rev.investig.desarro.innov*, vol. 11, n° 1, pp. 185-196, 2020.
- [11] R. Tewelde-Mesfun, E. Tucay-Quezon y A. Geremew, "Experimental study of stabilized expansive soil using pumice mixed with lime for subgrade road construction," *International Journal of Research Granthaalayah*, vol. 7, n° 7, pp. 118-124, 2019.

- [12] P. Kushwaha, A. S. Chauhan, S. Swami y B. L. Swami, "Investigating the effects of nanochemical-based ionic stabilizer and co-polymer on soil properties for pavement construction," *International Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 15, n° 3, pp. 379-388, 2019.
- [13] A. Mancy- Mosa, A. Hasan-Taher y L. A. Al-Jaberib, "Improvement of poor subgrade soils using cement kiln dust," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 7, n° 0, pp. 138-143, 2017.
- [14] G. Chotliya, K. Bhatt y N. B. Parmar, "A Laboratory study of thickness desing of flexible pavement by the Consolid System in black catton soil," *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, vol. 4, n° 5, pp. 876-880, 2017.
- [15] G. Mariani y E. Pedro-Arns, *Análise da estabilização de um solo argiloso com a utilização do aditivo con-aid® cbr-plus®, tes Lic*, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2017.
- [16] P. Leema, J. P-K, B. K y S. Alaka-Raj, "Laboratory Investigation in the Improvement of Subgrade Characteristics of Expansive Soil Stabilised with Coir Waste," *Transportation Research Procedia*, vol. 17, n° 0, pp. 558-566, 2016.
- [17] L. A. Chamba- De La Cruz, *Análisis comparativo de estabilización para el mejoramiento de subrasante entre el uso de cloruro de sodio y el sistema Consolid en zonas urbanas no pavimentadas de la urbanización El Parral del distrito de la Victoria, 2020, tes Lic*, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2021.
- [18] S. Carrasco, *Metodología de la investigación científica*, 19 ed., Lima: Editorial San Marcos, 2005.
- [19] R. Hernández, C. Fernández y M. Baptista, *Metodología de la investigación*, 6 ed., México DF: McGraw Hill Interamericana, 2017.
- [20] Ministerio de Transporte y Comunicaciones, "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.," *Manual de Carreteras*, p. 301, 2018.
- [21] ConAid, "Estabilizacion Quimica de Suelos," TDM GRUPO, Buenos Aires, 2016.
- [22] D. D. N-N, A. J. F-N, C. S y K. A. Z-N, "The important aspects of subgrade stabilization for road construction," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 512, n° 0, pp. 1-9, 2019.

10. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Investigación, J.G y J.V.; redacción, J.G y J.V.; supervisión, L.C